УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

КРЫМСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА имени В. И. ВЕРНАДСКОГО. БИОЛОГИЯ. ХИМИЯ

Научный журнал

Том 10 (76), № 3

Журнал «Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия» являеется историческим правопреемником журнала «Ученые записки Таврического университета», который издается с 1918 г.

Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского
Симферополь, 2024

ISSN 2413-1725

Свидетельство о регистрации СМИ – ПИ № ФС77-61791 от 18 мая 2015 года.
Выдано Федеральной службой по надзору сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.

Учредитель – ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»
Печатается по решению Научно-технического совета Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского, протокол № 8 от 31 октября 2024 г.
Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, отрасль науки 1.4.1. – неорганическая химия, 1.4.2. – аналитическая химия, 1.4.3. – органическая химия, 1.4.4. – физическая химия, 1.4.9. – биоорганическая химия, 1.4.15. – химия твердого тела, 1.5.5. – физиология человека и животных, 1.5.9. – ботаника, 1.5.15. – экология, 1.5.20 – биологические ресурсы, 1.5.24. – нейробиология, дата включения – 12.07.2017, а также в систему «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ)
Адрес учредителя и издателя: 295007, Республика Крым, г. Симферополь, пр-т Академика Вернадского, д. 4.

Редакционная коллегия журнала «Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия»:

Главный редактор – Чуян Елена Николаевна, д. б. н., проф.
Ответственный секретать – Туманянц К. Н., к. б. н., доц.
Технический редактор – Ярмолюк Н. С., к. б. н., доц.

Раздел «Биология»:

1. Буков Юрий Александрович, д. б. н., проф.
2. Бушов Юрий Валентинович, д. б. н., проф.
3. Гончаров Николай Васильевич, д. б. н., г. н. с.
4. Диатроптов Михаил Евгеньевич, д. б. н., с. н. с.
5. Ивашов Анатолий Васильевич, д. б. н., проф.
6. Котов Сергей Федорович, к. б. н., доц.
7. Митрофанова Ирина Вячеславовна, д. б. н., доц.
8. Новоселов Владимир Иванович, д. б. н., проф.
9. Павленко Владимир Борисович, д. б. н., проф. (редактор раздела «Биология»)
10. Перов Сергей Юрьевич, д. б. н., в. н. с.
11. Плугатарь Юрий Владимирович, д. б. н., член-корр. РАН
12. Погодина Светлана Владимировна, д. б. н., доц.
13. Солдатов Алесандр Александрович, д. б. н., проф.

Раздел «Химия»:

14. Гришковец Владимир Иванович, д. х. н., проф. (редактор раздела «Химия»)
15. Гусев Алексей Николаевич, д. х. н., доц.
16. Еременко Игорь Леонидович, академик РАН
17. Земляков Александр Евгеньевич, д. х. н., проф.
18. Кискин Михаил Александрович, д. х. н., в. н. с.
19. Кукушкин Вадим Юрьевич, член-корр. РАН
20. Шульгин Виктор Федорович, д. х. н., проф.
21. Яковишин Леонид Александрович, д. х. н.

Адрес редакции: 295007, г. Симферополь, пр-т Академика Вернадского, 4, корп. Б, ауд. 328
Подписано в печать 05.11.2024. Формат 70x100/16. Заказ № НП/126. Тираж 50. Цена «Бесплатно».
Дата выхода в свет «__» _____ 2024 г.
Отпечатано в Издательском доме ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
Адрес типографии: 295051, г. Симферополь, бул. Ленина, 5/7
http://sn-biolchem.cfuv.r

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 3–11.

УДК 616.7:616-036.8

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-3-11

ОЦЕНКА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ С АМПУТАЦИЕЙ ГОЛЕНИ НА ЭТАПАХ ФИЗИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ

Бугаец Я. Е., Гронская А. С., Исаенко Т. А., Малука М. В.

Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, Краснодар, Россия
E-mail: yana_bugaetz@mail.ru

В статье представлены исследования морфофункциональных показателей 15 военнослужащих с ампутацией голени одной из нижних конечностей, полученных в результате минно-взрывных ранений. На этапах после оперативного лечения и периода физической реабилитации фиксировали антропометрические и кардиореспираторные параметры. Реабилитационные мероприятия были направлены на развитие мышечно-суставного чувства, подвижности в суставах ампутированной конечности, укрепление разгибателей коленного сустава, силы и выносливости мышц культи. Было отмечено положительное влияние занятий лечебной физической культурой на проявление весовых характеристик, показателей дыхательной системы, сократительной функции миокарда, развитие устойчивого гемодинамического уровня на фоне оптимизации артериального давления и стабильности периферического сопротивления сосудов. Информация об изменениях морфофункциональных показателей определяет реабилитационные стратегии, направленные на восстановление двигательных возможностей и компенсации утраченных функций военнослужащих с ампутацией нижних конечностей на этапе подготовки к протезированию.
Ключевые слова: морфофункциональные показатели, ампутация голени, физическая реабилитация.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях ведения специальной военной операции в России одной из ведущих причин нарушения функций организма являются минно-взрывные ранения, которые могут приводить к отрыву конечностей, повреждению определенных областей тканей, костей и сосудов, сопровождаться расстройством кровообращения и внешнего дыхания [1]. Выжившие военнослужащие становятся инвалидами, имеют значительное ограничение двигательной активности, снижение трудоспособности и жизнедеятельности [2].

Решение задач при выполнении первичной ампутации направлены на спасение жизни пострадавшего, носят предварительный характер, тогда как подготовка к протезированию часто требует дополнительного хирургического вмешательства и проведения реабилитационных мероприятий, восстановления двигательных

возможностей и компенсации утраченных функций с целью формирования культи и устранения ее пороков и болевого синдрома [3].

Однако в настоящий момент отсутствует единая схема реабилитации пострадавших вследствие военной травмы, в том числе на этапе подготовки к протезированию [4].

Адекватная физическая реабилитация, основанная на применении лечебной физической культуры, является эффективным средством тренировки центральных механизмов, кардиореспираторной системы, нормализации активности сохранившегося мышечного аппарата среди инвалидов с поражением опорно-двигательной системы, в том числе и после ампутации конечностей. Проведение контроля за состоянием функциональных систем, основанного на физиологических константах, отличающихся от общепринятых у соматически здоровых людей, представляет научный и практический интерес [5]. В частотности, изучение морфологических изменений и кардиореспираторных функций у ампутантов нижней конечности позволяет выявить адаптационную динамику на этапе подготовки к протезированию и определить дальнейшую стратегию реабилитации [6]. Целью исследования явилось выявление особенностей морфофункционального состояния военнослужащих с ампутацией голени в период проведения физической реабилитации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обследовали 15 военнослужащих мужчин 34,9±2,1 лет, с ампутацией и реампутацией голени одной из нижних конечностей после получения минно-взрывных ранений в зоне специальной военной операции в 2022–2023 году. Исследования проводили после оперативного лечения перед выпиской из стационара и проведения курса физической реабилитации на этапе подготовки к протезированию в условиях курортно-санаторного лечения.

Реабилитационные мероприятия были направлены на развитие мышечно-суставного чувства, подвижности в суставах ампутированной конечности, укрепление разгибателей коленного сустава, силы и выносливости мышц культи, с целью уменьшения болевого синдрома и подготовки к протезированию.

Занятия лечебной физической культурой проводились ежедневно в зале ЛФК с помощью инструкторов и самостоятельно с учетом индивидуальных возможностей военнослужащих. Специальный комплекс включал 16 упражнений в положении лежа (на спине и на животе), сидя и стоя с опорой (на стул или спинку кровати) с постепенным увеличением времени от 15 минут и более и дозированием нагрузки с 3–4 раз до легкого утомления. На начальном этапе тренировка культи на опорность заключалась в надавливании ее концом на мягкую подушку, а затем – на подушки большей плотности и в ходьбе с опорой культи на мягкую скамейку с вариацией высоты.

Плавание в водном бассейне проводились 3 раза в неделю, с постепенным увеличением времени нахождения в воде с 25 минут до 45 минут, с целью облегчения восстановления навыков ходьбы, создания условий для нагрузки суставов и позвоночника, снижения болевого эффекта, релаксации мышц и

освобождения движений. Продолжительность подготовительной части гидрореабилитационного занятия составляла 5 минут и включала упражнения, направленные на адаптацию к водной среде и снижение нервно-мышечного напряжения. Основная часть коррекционной гимнастики была представлена комплексом из 6 упражнений в воде у опоры (лежа на груди, на спине, стоя лицом к бортику бассейна), реализуемых в течение 20 минут по 6–8 раз. Далее в течение 15–20 минут военнослужащие плавали свободным стилем. Интенсивность нагрузки определялась индивидуально, с учетом возможностей. Время заключительной части занятия составляло 2–3 минуты. Выполнение дыхательных упражнений (3–4 раза) и в положении лежа на спине с закрытыми глазами в течение 1–2 минут было направлено на мышечную релаксацию и нормализацию функционального состояния кардиореспираторной системы.

Все исследуемые не имели тяжелых сопутствующих заболеваний и инфекций. При обследовании были соблюдены этические принципы проведения научных исследований, принятой Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации.

Морфофункциональные исследования проводили по общепринятым методикам [7–9].

Антропометрические параметры включали массу (m, кг), длину тела (L, м).

Рассчитывали индекс массы тела (ИМТ, кг/м^2) по формуле 1:

$$ИМТ = km / L^2, \quad (1)$$

где km – масса тела с учетом корректировки (кг), L – длина тела (м).

Рассчитывали ИМТ по показателю массы тела (km), учитывая корректировочный коэффициент, составляющий 5,3 у.е, для добавления веса, потерянного при ампутации конечности, используя формулу 2:

$$km = m \times 100 / (100-5,3), \quad (2)$$

где m – масса тела (кг).

Для определения функционального состояния кардиореспираторной системы в покое измеряли частоту дыхания (ЧД), артериальное давление (Адсист, АДдиаст), фиксировали частоту сердечных сокращений (ЧСС). Далее проводили расчет гемодинамических показателей:

– пульсовое давление (ПД, мм рт. ст.):

$$ПД = АДсист – АДдиаст, \quad (3)$$

где АДсист – систолическое артериальное давление (мм рт.ст.), АДдиаст – диастолическое артериальное давление (мм рт.ст.);

– среднединамическое давление (СДД, мм рт. ст):

$$СДД = 1/3\ ПД + АДдиаст, \quad (4)$$

где ПД – пульсовое давление (мм рт.ст.), АДдиаст – диастолическое артериальное давление (мм рт.ст.);

– систолический объем крови (СОК, мл):

$$СОК = (90,97+0,54 \times ПД - 0,57 \times АДдиаст - 0,61 \times Г) \times k, \quad (5)$$

где ПД – пульсовое давление (мм рт.ст.), АДдиаст – артериальное диастолическое давление (мм рт.ст.), Г – возраст в годах, k – коэффициент, учитывающий деятельность сердечно-сосудистой системы;

– минутный объем крови (МОК, мл):

$$МОК = ЧСС \times СОК, \quad (6)$$

где ЧСС – частота сердечных сокращений (мин$^{-1}$), СОК – систолический объем сердца (мл);

– периферическое сопротивление сосудов (ОПСС, дин×сек/см$^{-5}$):

$$ОПСС = (СДД \times 1333 \times 60) / МОК, \quad (7)$$

где СДД – среднединамическое давление (мм рт.ст.), МОК – минутный объем крови (мл), 1333 – коэффициент для перевода в дины.

Статистическую обработку результатов проводили с помощью программы Statistica 10 (StatSoftInc, США). Для нормального количественного распределения признаков и сравнительного анализа использовали t-критерий Стьюдента в виде среднего арифметического значения (M) и стандартного отклонения (±σ). Наблюдаемые различия считались не случайными при критическом значении t-критерия 2,045 (P<0,05).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате измерений массы тела и анализа индекса массы тела, рассчитанного с учетом корректировочного коэффициента, статистически значимых различий средних значений на этапах исследования обнаружено не было (табл. 1).

Таблица 1

Морфологические показатели военнослужащих с ампутацией голени на этапах исследования (M±σ)

Показатели	В начале исследования	В конце исследования	P
L (м)	1,77±0,01	1,77±0,01	>0,05
m (кг)	74,33±2,17	75,60±1,75	>0,05
km (кг)	78,49±2,29	79,83±1,85	>0,05
ИМТ (кг/м^2)	25,03±0,58	25,48±0,47	>0,05

Однако было выявлено, что на этапе оперативного лечения нормативные показатели ИМТ обнаруживались у 47 %, а избыточный вес имели 53 % мужчин. После проведения реабилитационных мероприятий соответствующий норме ИМТ встречался у 40 %, а число военнослужащих с избыточной массой тела возросло до 60 %. Такое количественное распределение ИМТ связано с тем, что частота развития избыточного веса находится в прямой зависимости от уровня ампутационного дефекта, с тенденцией достижения значений, имевшихся до ампутации.

Функциональное состояние организма ампутантов часто сопровождается нарушением метаболических процессов, работы сердечно-сосудистой и дыхательной систем, что может негативно отражаться на эффективности реабилитационных мероприятий, затруднять протезирование и освоение ходьбы на протезах, и в целом, снижать реабилитационный потенциал [10].

В связи с этим, было проведено изучение кардиореспираторных и гемодинамических показателей у военнослужащих с ампутацией голени. Результаты обнаружили статистически значимые изменения большинства параметров на этапах исследования (табл. 2).

Оставаясь в пределах нормативных значений после проведения занятий, ЧД снизился на 11 %, ЧСС на 12 % ($P<0,05$). Соответствующие результаты были получены при расчете СОК, который увеличился на 9 %. Однако МОК не обнаружил статистически значимых изменений ($P>0,05$).

Таблица 2

Кардиореспираторные показатели у военнослужащих с ампутацией голени на этапах исследования (M±σ)

Показатели	В начале исследования	В конце исследования	P
ЧД ($мин^{-1}$)	18,80±0,47	16,73±0,32	<0,05
ЧСС ($мин^{-1}$)	79,47±1,89	70,20±1,88	<0,05
СОК (мл)	76,39±2,87	83,64±3,25	<0,05
МОК (мл)	6102,63±298,43	5902,77±325,18	>0,05
АДсист (мм рт.ст.)	125,47±1,35	119,40±1,15	<0,05
АДдиаст (мм рт.ст.)	81,87±1,41	74,93±1,12	<0,05
ПД (мм рт.ст.)	43,60±1,48	44,47±1,75	>0,05
СДД (мм рт.ст.)	96,40±1,20	89,76±0,77	<0,05
ОПСС ($дин \times сек/см^{-5}$)	1326,63±98,70	1275,81±80,41	>0,05

Физическая реабилитация военнослужащих способствовала улучшению гемодинамики. Несмотря на то, что показатели артериального давления на обоих этапах исследования находились в пределах нормы, можно отметить уменьшение средних систолических (АДсист) и диастолических (АДдиаст) значений на 5 % и 9 %, соответственно ($P<0,05$).

После проведения лечебной физической культуры параметры пульсового давления не обнаруживали статистически значимых изменений ($P>0,05$), оставались в пределах нормы, что демонстрировало удовлетворительный результат сократительной функции сердца, растяжимости артерий и величины волны отражения взаимодействия систолических возможностей сердца и факторов артериальной системы [11].

На фоне отсутствия изменений МОК и изменчивости АД энергию непрерывного движения крови отражает СДД. Поэтому снижение данного гемодинамического показателя на 7 % ($P<0,05$) отражало достаточное поддержание давления в артериях во время диастолы сердца за счет высокой упругости артериальных стенок в систолический период [12].

После проведения реабилитационных мероприятий у военнослужащих-ампутантов статистически значимые изменения ОПСС отсутствовали ($P>0,05$). Однако при распределении параметров ОПСС в начале исследований у 33 %

мужчин обнаруживались нормативные значения, ниже нормы были у 47 %, выше нормы – у 20 %. В конце исследований количество военнослужащих с ОПСС, соответствующих норме, снизилось до 27 % за счет увеличения мужчин со сниженными показателями (53 %). Учитывая, что средний показатель ОПСС характеризует тонус сосудов эластического типа, выраженность структурных изменений их стенки и жесткость, можно утверждать, что физическая нагрузка, связанная с повышенной активностью сердечной мышцы, привела к развитию компенсаторной реакции на уровне периферических сосудов, сформировался оптимальный уровень сопротивления току крови, степени сужения резистивных сосудов на фоне снижения параметров АДсист, АДдиаст и отсутствия изменений пульсового давления [13, 14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, физическая реабилитация инвалидов, перенесших ампутации голени нижних конечностей, способствовала однонаправленным изменениям морфофункциональных показателей. Учитывая, что двигательная нагрузка способствует укреплению ослабленных вследствие ампутации мышечных групп, отсутствие изменений средних показателей массы и индекса массы тела можно считать результатом положительного влияния занятий лечебной физической культурой на проявление морфологических особенностей организма.

Полученные результаты кардиореспираторной активности демонстрировали достаточный уровень для обеспечения стабильности сократительной функции миокарда, высокой эластичности сосудистой стенки, суммарного сопротивления кровотоку резистивных сосудов, объема циркулирующей крови. Нормальный уровень диастолического давления определял оптимальную работу сердца и степень периферического сопротивления кровотоку. Неизменные показатели пульсового давления демонстрировали развитие устойчивого гемодинамического уровня и аэробной способности сердечной мышцы.

Информация об изменениях морфофункциональных показателей позволит определять долгосрочные реабилитационные стратегии, направленные на укрепление здоровья военнослужащих с ампутацией нижних конечностей на этапе подготовки к протезированию.

Список литературы

1. Созаонти З. Р. Лучевые исследования при минно-взрывных травмах туловища и конечностей // З. Р. Созаонти, Л. А. Низовцова, Т. В. Ридэн // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2011. – № 5. – С. 48–56.
2. Полушин Ю. С. Взрывные поражения (лекция) / Полушин Ю. С. // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2022. – Т. 19. – № 6. – С. 6–17.
3. Курдыбайло С. Ф. Повышение эффективности реабилитации инвалидов вследствие боевых действий и военной травмы, перенесших ампутации конечностей: Методическое пособие / С. Ф. Курдыбайло, К. К. Щербина, В. Г. Сусляев, М. Г. Гусев, Е. Е. Аржанникова, А. С. Малыхин. – СПб.: Изд-во «Человек и здоровье», 2006. – 86 с.
4. Чупряев В. А. Организационные проблемы протезно-ортопедического обеспечения военнослужащих / В. А. Чупряев, И. М. Самохвалов, М. Б. Борисов, К. К. Щербина,

В. Ф. Николаев, В. Г. Сусляев // Медицинская помощь при травмах. Новое в организации и технологиях. Роль национальной общественной профессиональной организации травматологов в системе здравоохранения РФ Сборник тезисов СПб.: Изд-во «Человек и его здоровье», 2021. – 182. – С. 151–153.
5. Скрябин А. И. Адаптивная физическая реабилитация лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата (ампутации конечностей) / А. И. Скрябин, Е. Ю. Овсянникова // Форум молодых ученых. – 2020. – 6 (46). – С. 659–665.
6. Попов С. Н. К вопросу о физической реабилитации при подготовке к протезированию инвалидов с культей голени / С. Н. Попов, Д. М.Шапиро, О. В.Козырева, А. Вехби // Юбилейный сборник трудов ученых РГАФК, посвященный 80-летию академии. – 1998. – Т. 4. – С. 195–197.
7. Индекс массы тела для ампутаций / Информация об Индексе Массы Тела. – 2023. – URL: https:// calculator-imt.com/калькулятор-имт-для-людей-с-ампутация/?ysclid=ltbltxfhpe564814825 (дата обращения 03.03.2024).
8. Заболотских А. И. Влияние пробы сердечно-дыхательного синхронизма на основные параметры центральной гемодинамики / А. И. Заболотских, Н. В. Заболотских // Кубанский научный медицинский вестник. – 2014. – № 5 (147). – С. 52–55.
9. Семенович А. А. Формула расчета среднего гемодинамического давления для условий покоя и физической нагрузки / А. А. Семенович, А. П. Комякович // Военная медицина. – 2011. – №2(19). – С. 96–97.
10. Курдыбайло С. Ф. Изменение жировой массы тела у инвалидов после ампутации нижних конечностей / С. Ф. Курдыбайло, Д. С. Поляков // Адаптивная физическая культура. – 2007. – № 4(32). – С. 31–36.
11. Хурса Р. В. Пульсовое давление крови: роль в гемодинамике и прикладные возможности в функциональной диагностике / Р. В. Хурса // Медицинские новости. – 2013. – №4. – С. 13–18.
12. Маковеева Е. А. Среднее гемодинамическое артериальное давление как интегральный показатель поражения органа мишени (сердца) при гипертонической болезни / Е. А. Маковеева // Современная медицина: актуальные вопросы: Сборник статей по материалам XXV международной научно-практической конференции. – Новосибирск, 2013. – № 11 (25). – С. 22–31.
13. Кожухова В. К. Динамика общего периферического сопротивления сосудов в течение года у женщин / В. К. Кожухова // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). – 2019. – №11 (68). – С. 35–39.
14. Лукьянов В. Ф. Особенности общего периферического и регионарного сосудистого сопротивления при гипертонической болезни / В. Ф. Лукьянов, Т. И. Капланова, Н. А. Брояка, О. М. М. Гомпассунон, О. В. Варежникова, М. В. Потапова // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2019. – Т. 15, № 3. – С. 763–769.

MORPHOFUNCTIONAL INDICATORS OF MILITARY PERSONNEL WITH AMPUTATION OF LOWER LEG AT THE STAGE OF PREPARATION FOR PROSTHETICS

Bugaets Y. E., Gronskaya A. S., Isaenko T. A., Maluka M. V.

Kuban State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Krasnodar, Russia
E-mail: yana_bugaetz@mail.ru

The article presents studies of morphofunctional indicators of 15 military men 34,9±2,1 years old with amputation of the lower leg of one of the lower extremities, obtained as a result of mine-explosive wounds. Studies were carried out after surgical treatment before discharge from the hospital and a course of physical rehabilitation at the stage of preparation for prosthetics in the conditions of spa treatment. Rehabilitation

measures were aimed at developing muscle-joint feeling, mobility in the joints of the amputated limb, strengthening the extensors of the knee joint, strength and endurance of the muscles of the stump. At the stages after surgical treatment and the period of physical rehabilitation, anthropometric and cardiorespiratory parameters were recorded.

After rehabilitation measures, the body mass index corresponding to the norm was found in 40 % of military personnel, and the number of overweight men increased to 60 %. The results of studies of the cardiorespiratory system revealed compliance with the normative values of heart rate, systolic and minute blood volume in military personnel at both stages of research. After physical rehabilitation, a statistically significant decrease in respiratory rate by 11 %, heart rate by 12 % and an increase in stroke volume by 9 % were found. Naturally, there were no changes in the minute blood volume.

A satisfactory result of the capabilities of the heart muscle and arterial system factors showed a decrease in systolic blood pressure parameters by 5 %, and diastolic by 9 %, average dynamic by 7 %. Increased cardiac activity in some of the subjects contributed to the development of a compensatory reaction at the level of peripheral vessels, manifested in a decrease in vascular resistance.

Thus, the physical rehabilitation of disabled servicemen who underwent lower limb amputations contributed to unidirectional changes in morphofunctional indicators. Motor load contributed to the strengthening of weakened muscle groups and unidirectional positive adaptive rearrangements of regulatory mechanisms from the circulatory system. Information on changes in morphofunctional indicators allows determining rehabilitation strategies aimed at restoring motor capabilities and compensating for lost functions of military personnel with lower limb amputation at the stage of preparation for prosthetics.

***Keywords*:** morphofunctional indicators, amputation of the lower leg, physical rehabilitation.

References

1. Sozaonti Z. R., Nizovczova L. A., Ride`n T. V. Luchevy`e issledovaniya pri minno-vzry`vny`x travmax tulovishha i konechnostej, *Vestnik rentgenologii i radiologii*, **5**, 48 (2011).
2. Polushin Yu. S. Vzry`vny`e porazheniya (lekciya), *Vestnik anesteziologii i reanimatologii*, **19 (6)**, 6 (2022).
3. Kurdy`bajlo S. F., Shherbina K. K., Suslyaev V. G., Gusev M. G., Arzhannikova E. E., Maly`xin A. S. *Povy`shenie e`ffektivnosti reabilitacii invalidov vsledstvie boevy`x dejstvij i voennoj travmy`, perenesshix amputacii konechnostej*: Metodicheskoe posobie*,* 86 s. *(*SPb.: Izd-vo «Chelovek i zdorov`e», 2006).
4. Chupryaev V. A., Samoxvalov I. M., Borisov M. B., Shherbina K. K., Nikolaev V. F., Suslyaev V. G. *Organizacionny`e problemy` protezno-ortopedicheskogo obespecheniya voennosluzhashhix, Medicinskaya pomoshh` pri travmax. Novoe v organizacii i texnologiyax. Rol` nacional`noj obshhestvennoj professional`noj organizacii travmatologov v sisteme zdravooxraneniya RF*, 182, 151 (Chelovek i ego zdorov`e, 2021).
5. Skryabin A. I., Ovsyannikova E. Yu. Adaptivnaya fizicheskaya reabilitaciya licz s narusheniyami oporno-dvigatel`nogo apparata (amputacii konechnostej), *Forum molody`x ucheny`x*, **6 (46)**, 659 (2020).
6. Popov S. N., Shapiro D. M., Kozy`reva O. V., Vexbi A. K voprosu o fizicheskoj reabilitacii pri podgotovke k protezirovaniyu invalidov s kul`tej goleni, *Yubilejny`j sbornik trudov ucheny`x RGAFK, posvyashhenny`j 80-letiyu akademii*, **4**, 195 (1998).
7. *Indeks massy` tela dlya amputacij / Informaciya ob Indekse Massy` Tela.* (2023). Aviailable aturl: https:// calculator-imt.com/kal`kulyator-imt-dlya-lyudej-s-amputaciya/?ysclid=ltbltxfhpe564814825 (accessed 03.03.2024).

8. Zabolotskix A. I., Zabolotskix N. V. Vliyanie proby` serdechno-dy`xatel`nogo sinxronizma na osnovny`e parametry` central`noj gemodinamiki, *Kubanskij nauchny`j medicinskij vestnik*, **5 (147)**, 52 (2014).
9. Semenovich A. A., Komyakovich A. P. Formula rascheta srednego gemodinamicheskogo davleniya dlya uslovij pokoya i fizicheskoj nagruzki, *Voennaya medicina*, **2(19)**, 96 (2011).
10. Kurdy`bajlo S. F., Polyakov D. S. Izmenenie zhirovoj massy` tela u invalidov posle amputacii nizhnix konechnostej, *Adaptivnaya fizicheskaya kul`tura*, **4(32)**, 31 (2007).
11. Xursa R. V. Pul`sovoe davlenie krovi: rol` v gemodinamike i prikladny`e vozmozhnosti v funkcional`noj diagnostike, *Medicinskie novosti*, **4**, 13 (2013).
12. Makoveeva E. A. Srednee gemodinamicheskoe arterial`noe davlenie kak integral`ny`j pokazatel` porazheniya organa misheni (serdcza) pri gipertonicheskoj bolezni, *Sovremennaya medicina: aktual`ny`e voprosy`: Sbornik statej po materialam XXV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*, **11 (25)**, 22 (2013).
13. Kozhuxova V. K. Dinamika obshhego perifericheskogo soprotivleniya sosudov v techenie goda u zhenshhin, *Evrazijskij Soyuz Ucheny`x (ESU)*, **11 (68)**, 35 (2019).
14. Luk`yanov V. F., Kaplanova T. I., Broyaka N. A., Gompassunon O. M. M., Varezhnikova O. V., Potapova M. V. Osobennosti obshhego perifericheskogo i regionarnogo sosudistogo soprotivleniya pri gipertonicheskoj bolezni, *Saratovskij nauchno-medicinskij zhurnal*, **15**, **3**, 763 (2019).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 12–31.

УДК [574.3+582.594](477.75)
DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-12-31

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОНТОГЕНЕТИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ И СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ *ECBALLIUM ELATERIUM* (L.) RICH. НА АЗОВСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КЕРЧЕНСКОГО ПОЛУОСТРОВА (КРЫМ)

Вахрушева Л. П.[1], Кандаурова Д. А.[2]

[1]Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского - природный заповедник РАН – филиал ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, Курортное, Феодосия, Российская Федерация
[2]ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», Севастополь, Российская Федерация
E-mail: vakhl@inbox.ru

В статье приводятся данные о комплексном исследовании популяции *E. elaterium* высокой численности (1924 особи), обнаруженной в 2020 году на Азовском побережье Керченского полуострова. Авторами выявлены морфологические критерии дифференциации возрастных состояний у *E. elaterium,* изучен его онтогенез, в котором установлены 4 онтогенетических периода и 8 фаз. Онтогенетический спектр полночленный, бимодальный с пиком на ювенильных и виргинильных особях. Значения индексов восстановления Iв, замещения Iз, старения Iс, эффективности Iэ, возрастности Δ и «дельта-омега» подтвердили, что популяция молодая, имеющая достаточный резерв растений прегенеративной фазы развития и не зависящая от поступления зачатков извне. По виталитету – процветающая, пространственная структура – контагиозная. Жизненная форма *E. elaterium* в природных популяциях Крыма – многолетняя поликарпическая трава.
Ключевые слова: *Ecballium elaterium,* популяция, онтогенетическое состояние, пространственная структура, онтогенетическая структура, виталитет, Керченский полуостров.

ВВЕДЕНИЕ

Стратегия мирового сообщества по биоразнообразию определена до 2030 года международным документом Convention on Biological Diversity, в котором важнейшее место отводится комплексу действий по сохранению популяций редких видов растений *in situ* и отмечается: только в естественных местообитаниях в полной мере проявляются адаптивные популяционные признаки, сформировавшиеся в процессе эволюции [1].

На территории Крымского полуострова, с точки зрения произрастания охраняемых видов, наиболее уязвимыми естественными местообитаниями являются морские побережья. Они в первую очередь уничтожаются при организации пляжей, сооружении глэмпингов, набережных и мест отдыха, а слагающие их геологические породы и природный рельеф этих территорий нередко представляют собой весьма

динамичные, в том числе и оползневые структуры, создающие экстремальные условия для произрастающих здесь видов. Именно к таким местам обитания в Крыму преимущественно приурочен объект нашего исследования *Ecballium elaterium* (L.) Rich. Вследствие уникальной способности растения синтезировать многочисленные биологически активные соединения, у зарубежных ученых он является одним из наиболее излюбленных объектов исследования по поиску новых, фармакологически значимых химических веществ [2–4]. Именно с целью выявления биологически активных тканей и клеток тщательно изучены анатомические особенности *E. elaterium* [5, 6, 9] для их дальнейшего биотехнологического использования [7–9]. Из анатомо-морфологических особенностей отметим важность данных об аномалиях в строении и развитии корня [10], а также о специфике морфологии цветка, особенности строения и функционирования которого у *E. elaterium* оказались необходимы для уточнения общих вопросов эволюции этого органа и приспособлений к опылению [11–14]. Практическую значимость имеют результаты о характере варьирования морфологических признаков вегетативных органов в естественных условиях и при культивировании [15, 16].

Однако, несмотря на разнообразие подходов к изучению *E. elaterium*, научные данные о биологии и экологии вида преимущественно ограничиваются очерками в Красных книгах, где полностью отсутствуют сведения о современном состоянии и структуре его природных популяций – крайне необходимые для созологической оценки вида, внесенного в природоохранные документы. Цель настоящего исследования – определить численность, особенности пространственной локализации особей, выявить принадлежность к жизненной форме, морфологические критерии онтогенетических состояний вида и на этой основе определить онтогенетическую структуру популяции *E. elaterium* высокой численности, найденной в 2020 г. на северном побережье Азовского моря.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

E. elaterium, как средиземноморско-евразиатский степной вид, имеет широкий географический ареал: Средиземноморье, Восточная Европа, Малая и Средняя Азия, Кавказ и Африка [17]. В Крыму он дизъюнктивный: предгорье, южный берег и Керченский полуостров. Охраняется в Казантипском и Опукском природных заповедниках, но в целом отмечается, что численность популяций не превышает 50–100 особей [23]. В 2020 году на северных склонах береговых обрывов Керченского полуострова, в 1,8 км к северо-западу от пос. Маяк Глазовского сельского поселения Республики Крым была найдена популяция *E. elaterium* высокой численности: 1924 особей формируют линейную популяцию вдоль побережья Азовского моря (Рис. 1).

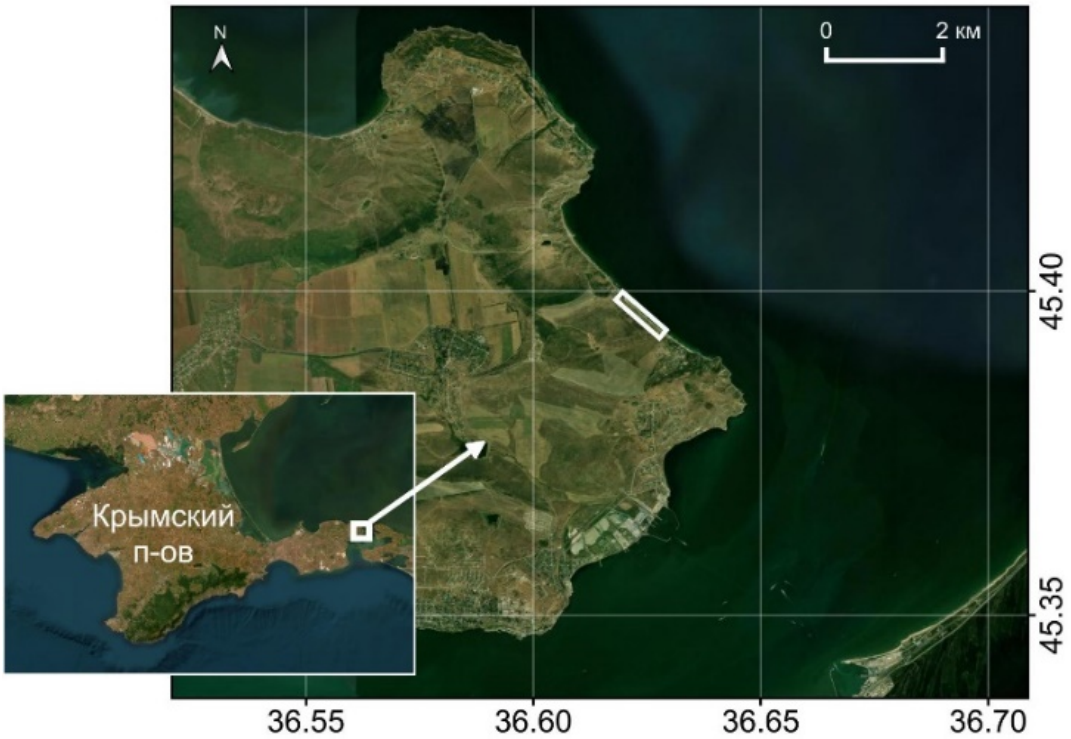


Рис. 1. Локализация популяции *Ecballium elaterium* на побережье Азовского моря.

Эта территория прибрежной части Азовского моря и Керченского пролива характеризуется сложным балочно-оползневым рельефом, отличающимся высокой динамикой оползневых и осыпных процессов [18]. *E. elaterium* преимущественно встречается на береговых абразионных склонах крутизной до 90^0, сложенных песчанистыми и известняковистыми глинами верхнего миоцена с прослоями карбонатных песчаников [19]. Глины тонко- и средне-слоистые, при выветривании распадающиеся на отдельные пластины, которые образуют осыпи при основании береговых обрывов. Местами они осложнены мелкими оползневыми телами и оплывинами деляпсивного типа. Эти формы рельефа из мелко обломочных и весьма подвижных отложений являются основным субстратом для произрастания популяции *E. elaterium.* Скорость смещения обломочных отложений на этом местообитании является лимитирующим фактором, влияющим на возраст отдельных особей, нередко вызывая их катастрофическую гибель (Рис. 2).

Рис. 2. Популяция *E. elaterium* на береговых склонах Азовского побережья Керченского полуострова.

Почвенный субстрат с точки зрения химических характеристик имеет следующие особенности: слабощелочной (pH=7,536), средне-гумусный (гумус=3,05 %), повышенной карбонатности (36,05 %), которая блокирует усвоение многих макро- и микроэлементов и усиливает проявление хлора, что может приводить к нарушению баланса потребления почвенных питательных веществ и негативно сказываться на росте растений и снижении для большинства из них возможности произрастания на подобных субстратах (табл. 1). Вероятно, этими особенностями объясняется небольшое число видов, обитающих на береговых склонах данной территории.

Таблица 1

Анализ химического состава грунта в месте произрастания *E. elaterium*

№	EC, mms	Na, мг/л	Cl, мг/л	K, мг/л	Ca, мг/л	P, мг/л	Mg, мг/л	N-N03, мг/л
1	1,22	240,44	134,19	28,21	266	3,48	42,72	1,00

Популяция простирается на 820 м как целостное образование, а далее к северо-западу встречаются локусы *E. elaterium,* содержащие от 2 до 15 особей, расположенные друг от друга на расстояниях 100–350 м. Популяция представляет практически моноценоз *E. elaterium,* поскольку бешеный огурец пружинистый дает здесь до 25 % проективного покрытия из 35 %, характерных для травостоя этой

полосы. Единично в составе популяции отмечены еще 8 видов, встречающихся совместно с ним на оползневых склонах: *Atriplex patula* L., *Lactúca serriola* L., *L. tatarica* L., *Polygonum robertii* Loisel, *Cynanchum acutum* L., *Camelina macrocarpa* Wierzb. ex Rchb., *Cakile euxina* Pobed., *Crambe maritima* L., количественное участие каждого из них колеблется от единично встречающегося до 1–3 % проективного покрытия. *Crambe maritima* – вид также внесенный в КК РК – у подножия склона и с выходом на песчаный пляж формирует моноценозные группировки площадью 2–4 м^2, которые внедряются в линию популяции *E. elaterium.*

По экологическим предпочтениям *E. elaterium* отличается широким спектром адаптаций к разнообразным факторам: аэропедофит, гелиофит, мезоксерофит, галофит [22]. Растет группами, что связано со способом распространения семян и особенностями пространственного расположения надземных побегов [23, 24]. В Красную книгу РК [23] *E. elaterium* внесен с природоохранным статусом «редкий вид» (3) и характеризуется как «жестко шероховатое растение с простертым или восходящим стеблем», без указания принадлежности к определенной жизненной форме и каких-либо характеристик популяций.

Установление численности, плотности, пространственной структуры, выяснение морфологических критериев возрастных состояний, определение онтогенетической структуры популяции *E. elaterium* проводилось стандартными методами [26–28]. Для получения комплексной популяционной оценки определялись индексы восстановления Iв, замещения Iз [29], старения Iс [30], эффективности Iэ [31], возрастности [28], рассчитывалась «дельта-омега» [31] и на их основе устанавливался тип популяции [29].

Пространственная структура изучалась методом «ближайшего соседа», данные анализировались по значению коэффициента неравномерности Кларка-Эванса [32]: $\mathbf{R = \frac{\bar{r}_A}{\bar{r}_E}}$ – мера того, насколько изучаемое распределение особей отличается от случайного. Дополнительно рассчитывали индекс Одума (I_O) $I_0 = \frac{S^2}{D}$, где D – абсолютная плотность; S – варианса (дисперсия), поскольку I_O характеризует распределение особей в каждый момент сбора, поэтому может быть использован в будущем при мониторинговых исследованиях для анализа изменений пространственной структуры популяции [33]. Виталитет популяции определяли по методике Ю. А. Злобина [27]. Учитывая созологическую ценность *E. elaterium* и поэтому невозможность измерения фитомассы растений, для оценки виталитетной структуры в качестве детерминирующих признаков были избраны морфологические признаки: длина побегов, их количество, размер листа при основании 3-го от верхушки генеративного побега. Приемом трехмерного ранжирования особи группировались в классы виталитета: a (высший), b (промежуточный), c (низший). В результате устанавливался тип популяции: процветающая (Q=1/2(a+b)>c), депрессивная Q=1/2(a+b)<c) или равновесная (Q=1/2(a+b)=c) [27]. Объем выборки составил 30 особей *E. elaterium* генеративного возраста.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В изученной популяции были найдены растения всех возрастных состояний и выявлены морфологические признаки, типичные для каждого из них. *E. elaterium* в изученной популяции реализует 4 возрастных периода и проходит 8 онтогенетических состояний.

Латентный период, длительность которого у *E. elaterium* составляет около одного месяца, растение проводит в виде семян. Семена от коричневых до тёмно-коричневых, эллипсоидные, бочонковидные, гладкие, блестящие, узко-окаймленные, длиной около 3,4 ± 0,2 мм (Рис. 3а). К моменту созревания (середина июля-сентябрь) окружающая их ткань плода превращается в слизистую массу, что приводит к возникновению внутри гидростатического давления до 6 атмосфер, под действием которого плод резко отделяется от плодоножки, а семена, вместе со слизью, с силой выбрасываются на расстояния до 12 м [35].

а б

Рис. 3. Внешний вид *Ecballium elaterium:* а) семена; б) стадия проростка [Фото авторов].

Прегенеративный период. В первый год жизни бешеный огурец успевает пройти, как правило, две фазы онтогенеза: проростки и ювенильную. Если осень теплая (до конца октября–ноябрь) и длительно задерживаются положительные ночные температуры, отдельные экземпляры могут перейти в имматурную фазу, но такие явления единичны.

Проростки (p) были обнаружены и изучались в естественном фитоценозе.

Прорастание семян подземное, большая часть их появляется спустя месяц после попадания семян в почву (середина августа-сентябрь), но может быть (5–7 % от числа ювенильных особей) и весеннее прорастание (конец апреля-май). Проростки имеют морфологию, типичную для большинства двудольных: семядольные листья с цельной листовой пластинкой, ланцетные, цельнокрайние, верхушка округлая с мало заметной выемкой, сидячие, супротивные до 0,7 ± 0,3 см длины и 0,4 ± 0,3 см ширины (Рис. 3б). Корень стержневой, нитевидный, слабо ветвящийся в нижней трети, длиной до 5,5 см диаметром до 1 мм (Рис. 3б). Вследствие произрастания на постоянно осыпающемся грунте, у проростка хорошо

выражен гипокотиль, достигающий в длину до 1,2–2,0 см, но он обнаруживается только при обнажении почвы, т.к. присыпан грунтом.

Переход в **ювенильное (j)** возрастное состояние происходил примерно через 1 месяц, о чем свидетельствовало появление у проростков двух листьев с листовыми пластинками округло-почковидной формы (0,8 ± 0,4 см длина и 1,0 ± 0,2 см ширина), с неравномерно волнистым краем и короткими черешками: длиной 1,2±0,7 см, диаметром 0,4 ± 0,2 см. К моменту появления листьев ювенильной генерации листья проростков сохранялись зелеными (Рис. 4а). У главного корня в его нижней трети появлялись 2-3 боковых, а главный корень, начиная со средней части, заметно увеличивался в диаметре до 0.6–0.8 см, оставаясь нитевидным на верхушке. В этой же фазе у *E. elaterium* развивалась еще одна пара округло-почковидных ювенильных листьев. Большая часть растений (92–98 %) уходили в первую перезимовку в ювенильном возрасте (Рис. 4).

а б

Рис. 4. *Ecballium elaterium* в ювенильной фазе: а) закладка первой пары ювенильных листьев у проростка; б) зрелое ювенильное растение [Фото авторов].

Подчеркнем также, что у ювенильных особей уже хорошо выражена контрактильность, что обеспечивает к концу вегетации погружение гипокотиля в почву на глубину 3–5 см, и это способствует эффективному закреплению растений на динамичном оползневом грунте к наступлению неблагоприятного времени года (Рис. 5).

Перед уходом в состояние зимнего покоя у ювенильных растений первыми начинают усыхать вторая и третья пары собственно ювенильных листьев, а семядольные долго остаются зелеными и усыхают перед погружением в зимний период покоя.

Рис. 5. Ювенильные растения после смыва грунта штормом [Фото автора].

Имматурные особи (im) появляются весной следующего года. Они имеют яйцевидно-сердцевидные листья (1,3 ± 0,4 см длина; 1,2 ± 0,4 см ширина) со слегка волнистым краем листовой пластинки, заметно выступающей верхушкой и четко выраженными листовыми черешками (1,9 ± 0,6 см длина). У имматурных растений некоторое время сохраняются остатки отмерших за зиму семядольных и ювенильных листьев, но для собственно имматурных особей характерны 4 зелёных листа. Надземная часть стебля еще не выступает над поверхностью почвы, однако хорошо заметна при выкапывании и в этом возрастном состоянии имеет длину до 2,5–3(5) см (Рис. 6).

Рис. 6. *Ecballium elaterium* в имматурном возрасте [Фото авторов].

Диаметр корня утолщается до 1,0 ± 0,3 см. Утолщение от его нижней трети, типичной для ювенильной фазы, распространяется ближе к корневому основанию, что приводит к заметному оформлению каудекса.

В течение второго вегетационного сезона происходит переход имматурных растений в **виргинильное** онтогенетическое состояние (v). Виргинильные особи отличаются яйцевидно-сердцевидными слегка лопастными листьями (7, 9 ± 1,2 см длина; 7,7 ± 0,9 см ширина), с городчато-зубчатым краем и уплощенным листовым черешком (0,7 ± 0,3 см ширина). В этот период меняется супротивное листорасположение на очередное. Над поверхностью почвы стебель поднимается на высоту до 1,0–2,5 см, но примерно столько же его длины находится под слоем грунта. Главный корень утолщается, становится мясистым почти по всей длине, достигая в диаметре до 1,5–2,0 см, но по-прежнему остается резко утончающимся к верхушке. У виргинильных особей один боковой корень (редко два), расположенный в средней части главного корня, принимает горизонтальное положение – специфическая морфологическая черта, свойственная большинству растений оползневых экотопов для более надежного закрепления.

По отмеченным признакам виргинильные особи уже вполне соответствуют морфологии взрослого растения (Рис. 7).

Рис. 7. Виргинильное растение *Ecballium elaterium* в естественном местообитании и в гербарном образце [Фото авторов].

Генеративный период.

В генеративную фазу *E. elaterium* обычно переходит только на третий, а чаще на четвертый год жизни. Молодые генеративные особи (g_1) отличаются от виргинильных появлением длинных цветоносов (9,1 ± 0,8 см), которые выходят из пазух верхушечных листьев. Листья такой же морфологии, как и у виргинильных растений: жестко-шероховатые, снизу серовойлочные (длина 9,5 ± 0,5 см, ширина

11,8 ± 0,3 см), на мясистых уплощенных черешках (длина 1,3 ± 0,6 см). Стебель поднимается над поверхностью грунта на высоту до 5–10 см, если он выше, то становится лежачим и достигает при этом максимальной длины 36,1 ± 1,4 см. У молодых генеративных особей формируются 1–3 надземных побега, все зеленые. Нижняя часть стеблей у молодых растений всегда погружена в грунт на 3–5 см. Корень уходит на глубину до 25 см, по всей длине мясистый, в самой толстой части достигает 3 см в диаметре, а в верхушечной остается суженным и здесь его толщина не превышает 2 мм. Цветки однополые, однодомные, пентамерные, чашечка спайнолистная, с короткой трубочкой и пятью длинными зубцами; венчик-желтый, спайнолепестный (Рис. 8).

а б

Рис. 8. Внешний вид *E. elaterium* в молодой генеративной фазе [Фото авторов].

В зрелом генеративном состоянии (**g_2**) стебель имеет длину до 88, 1 ± 2,7 см, варьируя от 36 до 136 см. В литературе отмечается максимум до 150 см. Благодаря контрактильности, всегда на 12–15 см длиннее, т.к. на эту глубину стебель погружен в почву. Количество живых надземных стеблей 4–9 штук, но уже появляются 1–3 сухих побега. Листья сохраняют яйцевидно-сердцевидную форму с вытянутой верхушкой (длина 11,5 ± 0,6 см, ширина 13,8 ± 0,4 см), но в фазах g_2 и g_3 край листовых пластинок становится сильнее надрезанным, чем в фазе g_1. В зоне, примыкающей к каудексу, корень имеет диаметр 6,0–7,4 см и проникает на глубину до 50 см, а в средней части и нижней трети обычны 2–3 ветвящихся у верхушек

боковых корня, имеющих в почве горизонтальное расположение, нередко растущие почти под прямым углом по отношению к главному корню (Рис. 9).

В старом генеративном состоянии (**g_3**) стебель достигал длины 58, 3 ± 4,3 см, количество живых надземных стеблей 4–5 штук, остатков отмерших – до 7 штук, т.е. в этом возрастном состоянии процессы отмирания начинают преобладать над процессами новообразования. Корень достигал диаметра до 10,5 см в зоне, примыкающей к каудексу и проникал примерно на такую же глубину, как и в фазе **g_2** (50–55 см). В средней части и нижней трети сохраняются 2–3 ветвящихся горизонтальных корня, но диаметр их в этом возрасте увеличивается в 2–3 раза и составляет1,3 – 1,7 см (Рис. 9б).

а б

Рис. 9. *E. elaterium* в зрелом (а) и старом (б) генеративном состояниях [Фото авторов].

В **постгенеративны**й период у *E. elaterium* достоверно прослеживается только одно онтогенетическое состояние – сенильное. Для **сенильных** (s) особей характерно развитие 2–4 надземных побегов длиной 5–7 см, одревесневших в погруженной в грунт части, множественные остатки оснований отмерших побегов. Листья округло-почковидной формы, напоминающие листья ювенильных растений (длина 5,3 ± 0,6 см, ширина 6,5 ± 0,5 см), со слегка волнистым краем листовой пластинки, у многих побегов листья недоразвиты (Рис. 10а). Корневая система деформированная, за счет отмерших верхушек корней, а также вследствие одревеснения и частичного отмирания тканей в области основания корня и в зоне каудекса, который уже не имеет способности формировать почки возобновления. Цветоносные побеги не образуются. Растение в этом возрасте пребывает не более 1–2 вегетационных сезонов и погибает (Рис. 10а, б).

а б

Рис. 10. Сенильные особи *E. elaterium* [Фото авторов].

На основании выявленных морфологических критериев была проведена дифференциация особей на фрагменте линейной трансекты с подсчетом доли участия каждой онтогенетической группы растений в структуре популяции, что показало: популяция нормальная, полночленная, поскольку содержит особи всех возрастных состояний, тип возрастного спектра бимодальный, с пиком на ювенильных и виргинильных особях, при небольшом преобладании виргинильного пика, т.е. популяция молодая. Такой тип спектра свидетельствует о благополучном ее состоянии и достаточном резерве для будущего существования: особи прегенеративных онтогенетических фаз развития в сумме достигают более 80 % состава популяции (Рис. 11).

Расчет дополнительных онтогенетических индексов: восстановления ($I_в$), старения ($I_с$), замещения ($I_з$), эффективности (ω) и коэффициента возрастности (Δ) позволили подтвердить и расширить онтогенетическую характеристику популяции *E. elaterium* (Табл. 2).

Индексы восстановления и замещения показали средние значения (Табл. 2), но каждое из них > 1, значит: на одно генеративное растение приходится более одного потомка и самоподдержание в популяции протекает эффективно [34]. Индекс старения оказался наименьшим (Ic=0,19), что подтвердило данные онтогенетического спектра – число особей постгенеративного периода соответствует 2 % (Рис. 11). Индексы возрастности (Δ) и эффективности (ω) также показали, что популяция является молодой. По принятым современным системам

классификации [26, 29], популяция *E. elaterium* является нормальной, т.е. процессы самоподдержания протекают в ней нормально, и она не зависит от зачатков извне.

Рис. 11. Онтогенетический спектр *Ecballium elaterium.*

Таблица 2

Онтогенетические индексы популяции *E. elaterium*

Онтогенетические индексы по Л.А. Жуковой и Н.В. Глотову			Индекс возрастности по А.А. Уранову	Индекс эффективности по Л.А. Животовскому	Тип популяции по классификации «дельта-омега»	Тип популяции по Л.А. Жуковой
$I_в$	$I_с$	$I_з$	Δ	ω		
2,6	0,19	1,3	0,13	0,43	Молодая	Нормальная

Пространственно по всей линии склонов побережья популяция представлена в виде локусов размером 100 – 200 м^2 с проективным покрытием *E. elaterium* 25 %, которые чередуются с участками такой же площади, где полностью отсутствуют растения или встречаются в количестве 1–7 экземпляров. Пространственная структура внутри локусов, оцененная по значению коэффициентов (коэффициент Кларка Эванса R=4,00; индекс Одума (I_O) =1,02), свидетельствует о высокой степени агрегированности особей и групповом их распределении по площади локусов, что, в значительной степени, обусловлено групповым разбрасыванием семян, объединенных слизью плода и, как следствие, групповым прорастанием. Взаимное размещение локусов в пределах линейной популяции является также типично групповым (контагиозным) и определяется преимущественно высокой динамичностью субстрата и успешностью закрепления особей на оползневом

грунте. Таким образом, в пространственной структуре популяции имеют место два уровня агрегированности: первый – групповое внутри локусов и второй – контагиозный тип размещения локусов на более стабильных участках склона.

В соответствии с избранными значениями признаков, особи *E. elaterium* были распределены по классам виталитета, что показало преобладание растений с высоким классом виталитета: в популяции 55 % особей принадлежат к классу **a** (Табл. 3).

Таблица 3

Оценка виталитета ценопопуляции *E. elaterium*

Популяция	Доля особей по классам			Тип популяции
	a	b	c	
E. elaterium	0,55	0,24	0,21	Процветающая

Значение критерия Q (0,395) подтвердило принадлежность изученной популяции *E. elaterium* к процветающему типу.

Дискуссия

В научной литературе, где приводится общее описание признаков *E. elaterium*, авторы относят его к летне-зеленым озимым однолетникам [22, 35, 37]. Однако в отечественных и зарубежных публикациях [24, 38–40] есть мнение, что *E.elaterium* – это многолетнее травянистое растение. В Красной книге РК [23] в очерке об *E. elaterium* деликатно обойден этот нерешенный вопрос, и вид охарактеризован как «жестко шероховатое растение с простертым или восходящим стеблем», без указания принадлежности к определенной жизненной форме. Наши наблюдения в течение 5 лет за длительностью процессов вегетации и особенностями перехода из одного возрастного состояния в другое, а также изучение морфологии подземных побеговых органов (в частности, каудекса) и корневой системы этого растения (Рис. 9, 10) позволяют без сомнения утверждать, что в условиях Крымского полуострова *Ecballium elaterium* в природных популяциях является многолетним травянистым поликарпиком.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Найдена в 2020 г новая популяция *Ecballium elaterium* высокой численности (1924 особи) на 820 м Азовского побережья.
2. В онтогенезе *E. elaterium* выделено 4 периода и 8 онтогенетических состояний. Для дифференциации особей всех онтогенетических состояний информативными оказались форма и размер листа. Для разделения на **p, j, im, v** показаны также число листьев, строение корневой системы, степень развития надземной части стебля и каудекса. Разделение на $\mathbf{g_1}$, $\mathbf{g_2}$ **и** $\mathbf{g_3}$ проводили по наличию генеративных побегов, количеству надземных побегов, соотношению зеленых и сухих побегов, дополнительно – по характеру изменения морфологии

корневой системы. Сенильные растения (**s**) отличали по деструктивным морфологическим трансформациям всех органов.

3. Онтогенетический спектр изученной популяции полночленный, бимодальный; онтогенетические индексы показали, что популяция является молодой, нормальной (самоподдержание осуществляется эффективно, не зависит от зачатков извне), имеет достаточный резерв для будущего существования: особи прегенеративных онтогенетических фаз в сумме составляют более 80 %.
4. Пространственная структура контагиозная на протяжении линии популяции и внутри локусов.
5. В популяции преобладают растения с высоким классом виталитета **a** (55 %). Значение критерия Q (0,395) подтверждает принадлежность изученной популяции *E. elaterium* к процветающему типу.
6. В условиях природных популяций Крыма *E. elaterium* по жизненной форме является многолетним травянистым поликарпиком.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Биоразнообразие как основа устойчивого функционирования морских экосистем, критерии и научные принципы его сохранения» (№ гос. регистрации 124022400148-4).

Работа выполнена в рамках темы НИР «Изучение биотических и абиотических компонентов наземных экосистем, особенности их структурно-временной организации в различных климатических условиях среды» номер темы 124030100098-0 Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН

Список литературы

1. The Convention on Biological Diversity [Электронный ресурс]: https://www.cbd.int (дата обращения: 12.06.2024). – Текст электронный
2. Abbassi F. Phenolic contents and antimicrobial activity of squirting cucumber (*Ecballium elaterium*) extracts against food-borne pathogens / F. Abbassi, B. Ayari, B. Mhamdi [et al.] //Pakistan journal of pharmaceutical sciences. – 2014. – Vol. 27, №. 3. – P. 475–479.
3. Arslan S. A new experimental rat model of pancreatitis using *Ecballium elaterium* / S. Arslan, M. H. Okur, H. Zeytun [et al.] // International Journal of Surgery. – 2015. – Vol. 23. – P. 160–164.
4. Karimi N. The Evaluation of Cytotoxic Effect of Nanoliposomal Extract of *Ecballium Elaterium* on Human Gastric Adenocarcinoma (AGS) cell line / N. Karimi, S. Bohlooli, M. Mazani // Nanomed Res. – 2016. – Vol. 1. – P. 9–14.
5. Christodoulakis N. Leaf structure and histochemistry of *Ecballium elaterium* (L.) A. Rich. (squirting cucumber) / N. S. Christodoulakis, K. Kollia, C. Fasseas // Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants. – 2011. – Vol. 206, №. 3. – P. 191–197.
6. Rus L. Morphological and histo-anatomical study of *Bryonia alba* L.(Cucurbitaceae) / L. Rus, I. I. Ielciu, R. Păltinean [et al.] // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. – 2015. – Vol. 43, №. 1. – P. 47–52
7. Attard E. Rapid Detection of Cucurbitacins in Tissues and in vitro Cultures of *Ecballium* / E. Attard // Cucurbit Genet Coop Rep. – 2002. – Vol. 25. – P. 71–75.
8. Bohlooli S. Cytotoxic effect of freeze-dried extract of *Ecballium elaterium* fruit on gastric adenocarcinoma (AGS) and esophageal squamous cell carcinoma (KYSE30) cell lines / S. Bohlooli, N. Jafari, S. Jahed // Gastrointest Cancer. – 2012. – Vol. 43.– P. 579–583.

9. Ielciu I. I. *Bryonia alba* L. and *Ecballium elaterium* (L.) A. Rich. – two related species of the cucurbitaceae family with important pharmaceutical potential / I. I. Ielciu // Farmacia. – 2016. – Vol. 64, №. 3. – P. 323–332.
10. Dubravec K. Anomalna sekundarna graa korijena (trcalice (*Ecballium elaterium* (L.) A. Rich.) / K. Dubravec // Acta Bot. Croat. – 1967. – Vol. 26. – P. 151–159.
11. Fahn A. Nectary structure and ultrastructure of unisexual flowers of *Ecballium elaterium* (L.) A. Rich. (Cucurbitaceae) and their presumptive pollinators / A. Fahn, C. Shimony // Annals of Botany. – 2001. – Vol. 87, №. 1. – P. 27–33.
12. Rust R. W. Pollinator biodiversity and floral resource use in *Ecballium elaterium* (Cucurbitaceae), a Mediterranean endemic / R. W. Rust, B. E. Vaissière, P. Westrich //Apidologie. – 2003. – Vol. 34, №. 1. – P. 29–42.
13. Геращенков Г. А. Мобильные генетические элементы в эволюции пола у растений / Г. А. Геращенков, Н. А. Рожнова // Генетика. – 2010. – Т. 46, №. 11. – С. 1445–1457.
14. Гашкова И. В. Коллекция дыни (*Cucumis melo* L.): мобилизация, изучение, хранение / Гашкова И. В. // Проблемы изучения и сохранения растительного мира Евразии: Материалы II. – 2017. – С. 147–149.
15. Inan M. Investigation of some morphological properties of *Echallium elaterium* L. in the natural habitat and cultivation conditions / M. Inan, S. Kirici, A. Özel // Plants of the Balkan Peninsula: into the next Millennium. The Proceedings of the 2nd Balkan Botanical Congress held at Istanbul, Turkey. – 2000. – Vol. I. – P. 569–572.
16. This volume contains submitted papers presented at the «Second Balkan Botanical Congress». – 2001 [Электронный ресурс]: https://biore.bio.bg.ac.rs/handle/123456789/2288 (дата обращения: 24.04.2024).
17. PlantNet [Электронный ресурс] : https://identify.plantnet.org/ru/k-worldflora/species/Ecballium%20elaterium%20(L.)%20A.Rich./data (дата обращения: 27.04.2024).
18. Благоволин Н. С. Геоморфология Керченско-Таманской области / Н. С. Благоволин // Москва: АН СССР. – 1962. – 193 с.
19. Муратов М. В. Руководство по учебной геологической практике в Крыму / Муратов М.В. – Москва: АН СССР, Т.1. – 1973. – 192 с.
20. Игнатов Е. И. Эколого-геоморфологическая оценка побережья и дна Керченского пролива в связи с решением транспортных проблем / Е. И. Игнатов, С. В. Чистов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон. – 2003. – Т. 8. – С. 163.
21. Смекалова Т. Н. Археолого-геофизические разведки памятников в юго-восточной части Керченского полуострова / Т. Н. Смекалова, А. В. Куликов, Д. В. Бейлин [и др.] // История и археология Крыма. – 2020. – №. 13. – С. 373–384.
22. Голубев В. Н. Биологическая флора Крыма / Голубев В. Н. – Ялта: НБС-ННЦ, 1996. – 86 с.
23. Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли, грибы / Отв. ред. д. б. н., проф. А. В. Ена и к. б. н. А. В. Фатерыга. – Симферополь: ООО «ИТ «Ариал», 2015. – 480 с. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / Сост. Р. В. Камелин и др. – М., 2008. – 855 с.
24. Красная книга Краснодарского Края. (Растения и грибы) / Отв. ред. С. А. Литвинская. – Краснодар, 2017. –850 с.
25. Червона книга України. Рослинний світ / Под ред. Я. П. Дідух. – К.: Глобалконсалтинг, 2009. – 900 с.
26. Работнов Т. А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах / Т. А. Работнов // Труды БИН АН СССР. – Сер. 3, Геоботаника. – М.: АН СССР, 1950. – Вып. 6. – С. 7–204.
27. Злобин Ю. А. Популяции редких видов растений: теоретические основы и методика изучения / Ю. А. Злобин, В. Г. Скляр, А. А. Клименко. – Сумы: Университетская книга, 2013. – 439 с.
28. Уранов А. А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов / А. А. Уранов // Научные доклады высшей школы. Биологические науки. – 1975. – № 2. – С. 7–34.
29. Жукова Л. А. Динамика ценопопуляций луговых растений в естественных фитоценозах / Жукова Л. А. // Динамика ценопопуляций травянистых растений. – Киев: Наукова думка, 1987. – С. 9–19.

30. Глотов Н. В. Об оценке параметров возрастной структуры популяции растений / Глотов Н. В. // Жизнь популяций в гетерогенной среде. – 1998. – С. 146–149.
31. Животовский Л. А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений / Л. А. Животовский // Экология. – 2001. – № 1. – С. 3–7.
32. Харитонов С. П. Метод «ближайшего соседа» для математической оценки распределения биологических объектов на плоскости и на линии / С. П. Харитонов // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Сер. Биология. – 2005. – № 1. – С. 213–221.
33. Одум Ю. Экология. / Одум Ю. – М.: изд-во Мир, 1986. – Т. 1. – 328 с.
34. Животовский Л. А. Популяционная биогеография растений / Л. А. Животовский, Г. О. Османова // Йошкар-Ола: ООО «Вертикаль. – 2019. – 128 с.
35. Chen Y. Preparation of cucurmin- loaded liposomes and evaluation of their skin permeation and pharmacodynamics / Y. Chen, WuQ, Z. Zhang [et al.] // Molecules. – 2012. – Vol. 17, № 5. – P. 5972–5987.
36. Денисова Г. А. Семейство тыквенные (Cucurbitaceae) / Г. А. Денисова (под ред А. Л. Тахтаджана) // Жизнь растений. – 1981. – Т.5 (2). – Ч.2.– с. 53–60.
37. Alabama Plant Atlas, 2021. [Электронный ресурс] : https://web.archive.org/web/20220519092034/http://floraofalabama.org/ (дата обращения: 24.04.2024). – Текст электронный
38. Алехин А. А. Виды и сорта сем. Cucurbitaceae в Ботаническом саду Харьковского университета / А. А. Алехин. – Редакционная коллегия. – 2001. – Т. 88. – С. 37
39. European Regional Development Fund (ERDF) in Malta. [Электронный ресурс] :https://pact-for-skills.ec.europa.eu/stakeholders-and-business/funding-opportunities/european-regional-development-fund-erdf-malta_en (дата обращения: 24.04.2024).
40. Keener B. R. Alabama Plant Atlas / B. R. Keener, A. R. Diamond, L. J. Davenport [et al.]. – Alabama : University of West Alabama, 2021. – 274 p.
41. Юрцев Б. А. Жизненные формы: один из узловых объектов ботаники / Б. А. Юрцев // Проблемы экологической морфологии растений. – М.: Наука. – 1976. – С. 9–44.
42. Нотов А. А. О роли популяционно-онтогенетического подхода в развитии современной биологии и экологии / А. А. Нотов, Л. А. Жукова // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. – 2013. – №. 32. – С. 293–330.

MORPHOLOGICAL CRITERIA OF ONTOGENETIC STATUS AND POPULATION STRUTURE OF *ECBALLIUM ELATERIUM* (L.) RICH. ON AZOV BICH OF KERCH PENINSULA (CRIMEA)

Vakhrusheva L. P.[1], Kandaurova D. A.[2]

[1]T.I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of the RAS, Kurortnoye, Feodosia, Russian Federation
[2]A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia
E-mail: vakhl@inbox.ru

Ecballium elaterium (L.) Rich. is a Mediterranean-Eurasian steppe species with a wide geographic area. In Crimea, the area is disjunctive: the foothills, the southern coast and the Kerch Peninsula. It is listed in the Red Book of the Republic of Crimea [23] with a conservation status of 3. *E. elaterium* is a well-studied species, but there is no data on the population structure, which is a gap in its study as a protected component of the flora of Crimea. The purpose of this study is to establish the number, spatial structure, clarify the morphological criteria of age states, determine the ontogenetic structure of the new

population. high numbers (1924 individuals) found in 2020 on the northern coast of the Azov Sea.

Morphological criteria were found, according to which 4 periods and 8 ontogenetic states were distinguished in ontogenesis. In the pregenerative period plantlet, juvenile and immature plants were divided by the number of leaves, shape and size of leaves. Morphological features of the root system, the degree of development of the above-ground part of the stem and caudex were used from additional features. The generative phase of ontogenesis was distinguished by the presence of generative shoots, individuals g_1, g_2 and g_3 were differentiated by the shape and size of leaves, the number of above-ground shoots, the ratio of green and dry shoots in an individual, additionally - by the nature of changes in the morphology of the root system. In the post-generative phase of ontogenesis, senile plants are characterized by a return of the leaf shape to juvenile plants, a decrease in the size and underdevelopment of leaves, a reduction in the number and length of green shoots (by 6–8 times or more), destructive morphological transformations of the caudex and root system.

According to the ontogenetic spectrum, the population is normal, contains plants of all ages, the age spectrum type is bimodal, with a peak in juvenile and virginile individuals, which means that the population is young. Additional ontogenetic indices allowed us to confirm and expand the ontogenetic characteristics of the population. The indices of restoration and replacement showed average values > 1, which means that self-maintenance in the population is effective. The aging index was the lowest (Ic = 0.19). The age (Δ) and efficiency (ω) indices also showed that the population is young. Thus, in the *E. elaterium* population, self-maintenance processes are normal, and it does not depend on diaspores from the outside. In the spatial structure, two levels of aggregation are traced: the 1st shows the mutual arrangement of individuals within the loci of the population and it was determined as random, which is due to the random distribution and germination of seeds. The 2nd one displays the mutual arrangement of loci within the linear population and is typically group and depends on the dynamism of the substrate and the success of fixation of individuals on it. According to the value of the Q criterion (0.395), the population of *E. elaterium* is prosperous. The proportion of individuals with a high vitality class is 55 %.

The established duration of ontogenesis and its individual phases, the morphology of the root system and the presence of caudex indicate that life form of *Ecballium elaterium* is a perennial herbaceous polycarpic plant in natural populations of the Crimean Peninsula.

***Keywords*:** *Ecballium elaterium*, population, ontogenetic spectrum, spatial structure, ontogenetic structure, vitality, Kerch Peninsula.

References

1. The Convention on Biological Diversity. – URL: https://www.cbd.int (accessed: 12.06.2024).
2. Abbassi F., Ayari B., Mhamdi B. [et al.] Phenolic contents and antimicrobial activity of squirting cucumber (*Ecballium elaterium*) extracts against food-borne pathogens, *Pakistan journal of pharmaceutical sciences*, **27** (3), 475 (2014).
3. Arslan S., Okur M. H., Zeytun H. [et al.] A new experimental rat model of pancreatitis using *Ecballium elaterium*, *International Journal of Surgery*, **23**, 160 (2015).

4. Karimi N., Bohlooli S., Mazani M. The Evaluation of Cytotoxic Effect of Nanoliposomal Extract of *Ecballium Elaterium* on Human Gastric Adenocarcinoma (AGS) cell line, *Nanomed Res*, **1**, 9 (2016).
5. Christodoulakis N. S., Kollia K., Fasseas C. Leaf structure and histochemistry of *Ecballium elaterium* (L.) A. Rich. (squirting cucumber) *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, **206** (3), 191 (2011).
6. Rus L., Ielciu I. I., Păltinean R. Morphological and histo-anatomical study of *Bryonia alba* L.(Cucurbitaceae), *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, **43** (1), 47 (2015).
7. Attard E. Rapid Detection of Cucurbitacins in Tissues and in vitro Cultures of *Ecballium, Cucurbit Genet Coop Rep*, **25**, 71 (2002).
8. Bohlooli S. Jafari N., Jahed S. Cytotoxic effect of freeze-dried extract of *Ecballium elaterium* fruit on gastric adenocarcinoma (AGS) and esophageal squamous cell carcinoma (KYSE30) cell lines, *Gastrointest Cancer,* **43**, 579 (2012).
9. Ielciu I. I. *Bryonia alba* L. and *Ecballium elaterium* (L.) A. Rich. – two related species of the cucurbitaceae family with important pharmaceutical potential, *Farmacia,* **64** (3), 323 (2016).
10. Dubravec K. Anomalna sekundarna graa korijena (trcalice (*Ecballium elaterium* (L.) A. Rich.), *Acta Bot. Croat,* **26**, 151 (1967).
11. Fahn A. Shimony A. Nectary structure and ultrastructure of unisexual flowers of *Ecballium elaterium* (L.) A. Rich. (Cucurbitaceae) and their presumptive pollinators, *Annals of Botany*, **87** (1), 27 (2001).
12. Rust R. W., Vaissière B. E., Westrich P. Pollinator biodiversity and floral resource use in *Ecballium elaterium* (Cucurbitaceae), a Mediterranean endemic, *Apidologie*, **34** (1), 29 (2003).
13. Gerashchenkov G. A., Rozhnova N. A. Mobile genetic elements in the evolution of sex in plants, *Genetics*, **46** (11), 1445 (2010).
14. Gashkova I. V. Melon collection (Cucumis melo L.): mobilization, study, storage, *Problems of studying and preserving the flora of Eurasia*, **2**, 147 (2017).
15. Inan M., Kirici S., Özel A. Investigation of some morphological properties of *Echallium elaterium* L. in the natural habitat and cultivation conditions, *Plants of the Balkan Peninsula: into the next Millennium. The Proceedings of the 2nd Balkan Botanical Congress held at Istanbul, Turkey*, **1**, 569 (2000).
16. This volume contains submitted papers presented at the «Second Balkan Botanical Congress».– URL: https://biore.bio.bg.ac.rs/handle/123456789/2288 (accessed: 24.04.2024).
17. PlantNet.– URL: https://identify.plantnet.org/ru/k-worldflora/species/Ecballium%20elaterium%20(L.)%20A.Rich./data (accessed: 27.04.2024).
18. Blagovolin N. S. *Geomorphology of the Kerch-Taman region*,193 p. (Moscow: Academy of Sciences of the USSR, 1962).
19. Muratov M. V. *Guide to educational geological practice in the Crimea*, Moscow: Nedra, **1**, 192 (1973).
20. Ignatov E. I., Chistov S. V. Ecological and geomorphological assessment of the coast and bottom of the Kerch Strait in connection with solving transport problems, *Environmental safety of coastal and shelf zones*, **8**, 163 (2003).
21. Smekalova T. N., Kulikov A. V., Beilin D. V. [et al.] Archaeological-Geophysical sites pamyatnikov in south-eastern parts of Kerch Peninsula, *History and archeology of Crimea*, **13**, 373 (2020).
22. Golubev V. N., *Biological flora of Crimea*, 86 p. (Yalta: NBS-NSC, 1996).
23. Red book of the Republic of Crimea. Plants, algae, fungi, Rel. ed. d. b. n., Prof. A. V. Ena and Ph.D. A. V. Vateryga, 480 p. (Simferopol: it "Arial "LLC, 2015).
24. The Red Book of the Krasnodar Territory. Plants and mushrooms, Resp. ed. S. A. Litvinskaya. – 3rd ed, 850 p. (Krasnodar, 2017).
25. The Red Book of Ukraine. Flora, Ed. Ya. P. Didukh, 900 p. (K.: GlobalConsulting, 2009).
26. Rabotnov T. A., *Life cycle of perennial herbaceous plants in meadow cenoses*, Proceedings of the BIN an USSR. – Ser. 3, Geobotany, 6, 7 (Moscow: USSR Academy of Sciences, 1950).
27. Zlobin Yu. A., Sklyar V. G., Klimenko A. A., *Populations of rare plant species: theoretical foundations and methods of study*: monograph. 439 p. (Sumy: University book, 2013).
28. Uranov A. A. Age spectrum of phytocenopopulations as a function of time and energy wave processes, *Scientific Reports of the Higher School. Biological Sciences*, 2, 7 (1975).
29. Zhukova L. A. *Dynamics of coenopopulations of field plants in natural communities*. In: T. I. Serebriakova (ed.). Dynamics of coenopopulations, 9 (Nauka, Moskow, 1987).

30. Glotov N. V. On the assessment of the parameters of the age structure of the plant population, *Life of populations in a heterogeneous environment*, **1**, 146 (1998).
31. Zhivotovsky L. A., Ontogenetic States, effective density and classification of plant populations, *Ecology*, 1, 3 (2001).
32. Kharitonov S. P., *The "nearest neighbor" Method for mathematical evaluation of the distribution of biological objects on a plane and on a line*, Bulletin of the Nizhny Novgorod University. N. I. Lobachevsky. – Ser. Biology, 1, 213 (2005).
33. Odum Yu., *Ecology*, 1, 328 p. (M.: Mir Publishing House, 1986).
34. Zhivotovsky L. A., Osmanova G. O. *Population biogeography of plants*, 128 p. (Yoshkar-Ola: Vertical LLC., 2019).
35. Chen Y., Wu Q, Zhang Z. [et al.] Preparation of cucurmin- loaded liposomes and evaluation of their skin permeation and pharmacodynamics, *Molecules*, **17** (5), 5972 (2012).
36. Denisova G. A. The pumpkin family (Cucurbitaceae) (ed. by A.L. Takhtajyan), *Plant life*, **5** (2), 53 (1981).
37. Alabama Plant Atlas, 2021.– URL: https://web.archive.org/web/20220519092034/http://floraofalabama.org/ (accessed:: 24.04.2024).
38. Alekhine A. A. Types and varieties of seeds. Cucurbitaceae in the Botanical Garden of Kharkov University, *The editorial board*, **88**, 37 (2001).
39. European Regional Development Fund (ERDF) in Malta.– URL: https://pact-for-skills.ec.europa.eu/stakeholders-and-business/funding-opportunities/european-regional-development-fund-erdf-malta_en (accessed: 24.04.2024).
40. Keener B. R., Diamond. A. R, Davenport L. J. [et al.]. Alabama Plant Atlas, 274 p. *(*Alabama : University of West Alabama, 2021).
41. Yurtsev B. A. Life forms: one of the nodal objects of botany, *Problems of ecological morphology of plants. M.: Nauka*, **1**, 9 (1976).
42. Notov A. A., Zhukova L. A. On the role of the population-ontogenetic approach in the development of modern biology and ecology, *Bulletin of Tver State University. Series: Biology and Ecology,* 32, 293 (2013).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 32–44.

УДК 612.15

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-32-44

ОСОБЕННОСТИ ЦЕРЕБРАЛЬНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ У ЛЮДЕЙ ПРЕДПЕНСИОННОГО ВОЗРАСТА

Веселовская Е. Д., Севрюкова Г. А.

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет», Волгоград, Россия
E-mail: veselovskaya15@mail.ru

Статья посвящена исследованию церебральной гемодинамики у людей предпенсионного возраста (женщины n = 104, мужчины n = 83). Эукинетический тип кровообращения отмечался у 52,6 % женщин зрелого возраста второго периода. Преобладание гипокинетического типа у мужчин и женщин пожилого возраста, обусловливает значимые изменения в соотношении церебрального притока крови ее оттоку и свидетельствует о снижении приспособительных реакций системы кровообращения. Люди предпенсионного возраста с гиперкинетическим типом составляют группу риска и имеют значимые отклонения параметров реоэнцефалографии от возрастной нормы. Лимит вазоконстрикторных реакций, обусловленный инволюционными процессами, является причиной ухудшения условий регионарного оттока крови, что необходимо учитывать при проведении функциональных проб у людей старше 50 лет.
Ключевые слова: реоэнцефалография, предпенсионный возраст, церебральная гемодинамика, тип системного кровообращения.

ВВЕДЕНИЕ

Превентивная медицина – современное направление, целью которого является профилактика любого рода расстройств и сохранение активного долголетия у людей предпенсионного возраста [1]. В настоящее время остается в приоритете функциональная диагностика жизнеобеспечивающих систем и программы, направленные на профилактику различных возрастных заболеваний [2, 3]. Среди них особое значение приобретают заболевания сердечно-сосудистой системы, процент которых растет с каждым годом [4].

Известно, что важная роль в кровоснабжении головного мозга отводится виллизиевому кругу, способному в определенных условиях компенсировать функционально нарушенный кровоток [5]. При этом до 20–25 % крови поступает в головной мозг, обеспечивая должный уровень кислорода, являющегося окислителем в биохимических реакциях клеточного уровня для адекватного образования и сохранения энергии организмом. В ряде работ показано, что кровоснабжение структур головного мозга изменяется и в большей степени зависит от течения инволюционных процессов, особенно у людей старшей возрастной группы [6, 7].

Известно, что кровоснабжение мозга осуществляется сосудами каротидного и вертебрально-базилярного бассейнов. При этом должный уровень артериального

давления на уровне системы церебральных сосудов поддерживается за счет изменения тонуса резистивных артерий головного мозга. Тонус артериальных сосудов прекапилярного звена обеспечивает адекватный приток крови. Механизмы констрикции и дилатации артериол обладают высокой оперативностью и позволяют своевременно устранять функциональные признаки церебрального венозного застоя крови [7, 8]. В связи с вышеизложенным целью работы явилось изучение особенностей церебральной гемодинамики у людей предпенсионного возраста.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании на добровольной основе и с соблюдением принципов информированного согласия приняли участие люди предпенсионного возраста: женщины от 50 лет до 55 лет – первая условная группа (n = 76), женщины от 56 до 60 лет – вторая условная группа (n = 64); мужчины от 55 до 60 лет – первая условная группа (n = 65), мужчины от 61 до 65 лет – вторая условная группа (n = 68). При этом таковое распределение совпадает с возрастной периодизацией [9]: зрелый возраст (2-й период) для мужчин 35 – 60 лет, для женщин 35 – 55 лет, что соответствует первой условной группе; пожилой возраст от 55 для женщин и от 60 лет для мужчин до 75 лет, что соответствует второй условной группе.

Участвующие предпенсионеры являются преимущественно работниками умственного труда и не имеют прогрессирующих нервно-мышечных или неврологических расстройств, а также противопоказаний со стороны сердечно-сосудистой системы.

Полушарная реоэнцефалография (РЭГ) осуществлялась в стандартных отведениях: фронто-мастоидальные (FM) и окципито-мастоидальные отведения (ОМ) («РЕО-СПЕКТР», «Нейрософт», г. Иваново). Регистрировали: реографический индекс (РИ, у.е.), амплитудно-частотный показатель (АЧП, у.е.), время быстрого наполнения (Альфа1, с), скорость медленного наполнения (Vср, Ом/с), венозный отток (ПВО, %), дикротический индекс (ДИК, %.), диастолический индекс (ДИА, %), коэффициент асимметрии реографического индекса (КаРИ, %). Нормативные значения представлены в таблице 1 [10–12]. Запись реоэнцефалограммы проводилась в состоянии спокойного бодрствования с открытыми глазами, обследуемые располагались в удобной позе в кресле. У обследуемых определяли систолическое (САД, мм рт.ст.), диастолическое (ДАД, мм рт.ст.) артериальные давления, частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин) автоматическим тонометром «OMRON M2 Basic» (Япония). Рассчитывались пульсовое давление (ПД, мм рт.ст.), ударный объем крови по формуле Старра (УО, мл), минутный объем кровообращения (МОК, л/мин). Площадь тела (S, $см^2$) определялась по формуле Дюбуа, сердечный индекс (СИ, л/мин/$м^2$) рассчитывался как отношение МОК к S [13].

Статистический анализ данных проводили с помощью программы IBM SPSS, v. 26.0. Нормальность распределения оценивали с применением критерия Колмогорова–Смирнова с последующим применением параметрического или непараметрического методов. Различия считались значимыми при $p \leq 0{,}05$.

Таблица 1

Возрастные нормы показателей реоэнцефалографии в зависимости от возрастного критерия

Показатели РЭГ	36-55 лет		старше 55 лет	
	FM	OM	FM	OM
РИ, у.е.	1,0-1,5	0,8-1,2	0,9-1,4	0,7-1,4
АЧП, у.е.	1,37-2,25	0,87-1,5	1,37-2,25	0,87-1,5
Альфа1, с	0,04-0,05	0,04-0,05	0,04-0,05	0,04-0,0
Vср, Ом/с	0,6-1,4	0,2-0,8	0,6-1,4	0,2-0,8
ПВО, %	0-20	0-20	0-30	0-30
ДИК, %	55-70	60-75	60-80	65-85
ДИА, %	55-85	60-90	65-85	65-90
КаРИ, %	0-10	0-20	0-10	0-20

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По данным реоэнцефалографии установлены возрастные изменения в кровоснабжении головного мозга у людей предпенсионного возраста (табл. 2, 3).

У женщин относительно нормативных значений как в возрастной группе 50–55 лет, так и в группе 56–60 лет выявлены отклонения. В бассейне внутренней сонной артерии и в вертебрально-базилярном бассейне имеются тенденции к повышению объемного церебрального кровотока по реографичекому индексу относительно возрастной нормы (в среднем по группе 50–55 лет в $FM_{л,\ п}$ отведениях на 11,8–14,4 %; в $OM_{л,\ п}$ отведениях на 21,1–23,1 %; в группе 56–60 лет в $FM_{л,\ п}$ отведениях на 12,1–22,8 %; в $OM_{л,\ п}$ отведениях на 3,2–10,2 %). При этом амплитудно-частотный показатель имел разнонаправленные отклонения. В $FM_{л,\ п}$ отведениях он оказался выше нормативных значений в пределах 14,4–27,8 %, тогда как в $OM_{л,\ п}$ отведениях – ниже на 3,9–13,1 %. У всех женщин отмечалось повышение относительно нормативных значений показателя, отражающего сосудистый тонус на уровне прекапилляров по данным дикротического индекса.

Независимо от возраста у женщин не было зарегистрировано наличие пресистолической венозной волны, что является благоприятным признаком. При этом отмечалось снижение тонуса средних и мелких артерий по скорости медленного наполнения сосудов, затруднение венозного оттока крови из региона и полушарная асимметрия кровенаполнения.

У мужчин предпенсионного возраста в состоянии покоя в бассейне внутренней сонной артерии отмечается тенденция к повышению объема кровотока по реографическому индексу и амплитудно-частотному показателю относительно нормативных значений. При этом наблюдается тенденция к снижению тонуса мелких и средних артерий по скорости медленного наполнения сосудов головного мозга.

Таблица 2

Показатели церебральной гемодинамики у женщин предпенсионного возраста в состоянии оперативного покоя (Me (Q_{25}-Q_{75})

Группы / Показатели			РИ	АЧП	Альфа 1	Vср	ПВО	ДИК	ДИА	КаРИ
Женщины	50-55 лет	$FM_л$	1,79 (1,52-2,11)	1,97 (1,39-2,47)	0,04 (0,036-0,045)	0,64 (0,52-0,72)	28,0 (20,0-37,3)	80,0 (76,0-87,0)	76,0 (69,0-84,0)	23,0 (12,3-32,5)
		$FM_п$	1,77 (1,29-2,12)	2,05 (1,39-2,38)	0,039 (0,037-0,043)	0,67 (0,48-0,76)	25,5 (21,3-32,5)	80,0 (74,0-86,0)	76,0 (69,0-85,0)	
		$OM_л$	0,95 (0,55-1,32)	1,08 (0,58-1,93)	0,033 (0,032-0,04)	0,37 (0,21-0,57)	27,5 (21,5-42,0)	76,0 (69,0-85,0)	83,0 (61,0-89,0)	31,5 (12,8-52,5)
		$OM_п$	0,89 (0,73-1,24)	1,21 (0,88-1,38)	0,035 (0,029-0,038)	0,34 (0,27-0,43)	39,0 (24,5-48,5)	72,0 (67,0-85,0)	77,0 (69,0-86,0)	
	56-60 лет	$FM_л$	1,61 (1,31-1,94)	1,95 (1,67-2,41)	0,039 (0,035-0,043)	0,53 (0,47-0,72)	33,0 (29,0-41,3)	79,0 (74,0-82,0)	75,0 (68,0-82,0)	27,5 (13,3-62,3)
		$FM_п$	2,05 (1,49-2,45)	2,55 (1,64-2,99)	0,038 (0,036-0,041)	0,74 (0,53-0,91)	35,5 (20,3-40,0)	75,0 (65,0-82,0)	73,0 (66,0-79,0)	
		$OM_л$	0,99 (0,72-1,67)	1,25 (0,72-1,72)	0,035 (0,031-0,038)	0,41 (0,28-0,59)	34,5 (17,8-45,0)	77,0 (67,0-84,0)	83,0 (69,0-87,0)	20,5 (10,3-54,8)
		$OM_п$	0,87 (0,67-1,12)	1,07 (0,85-1,38)	0,037 (0,033-0,038)	0,33 (0,25-0,46)	27,0 (23,3-40,3)	73,0 (59,0-85,0)	76,0 (63,0-85,0)	

Примечание: FM – фронто-мастоидальное отведение, OM – окципито-мастоидальное отведение, индексы л – левое полушарие, п – правое полушарие

В отличие от женщин у мужчин установлено значимое повышение дикротического индекса в $FM_{л,\ п}$ отведениях во второй условной группе по сравнению с мужчинами первой условной группы на 54,7–61,1 %.

В вертебрально-базилярном бассейне у всех мужчин выявлена тенденция к повышению тонуса средних и мелких сосудов по реографическому индексу. Значимое повышение дикротического индекса относительно нормативных значений отмечалось у мужчин второй условной группы по сравнению с таковым параметром в первой группе на 41,7–44,3 %. При этом тонус крупных артерий, определяемый по скорости медленного наполнения не выходил за пределы допустимых возрастных отклонений.

У мужчин по данным РЭГ как в бассейне внутренних сонных артерий, так и в вертебрально-базилярном бассейне наблюдается затруднение венозного оттока крови, а в вертебрально-базилярном бассейне выявлена асимметрия кровенаполнения.

Таблица 3

Показатели церебральной гемодинамики у мужчин предпенсионного возраста в состоянии оперативного покоя (Me (Q_{25}-Q_{75})

Группы / Показатели			РИ	АЧП	Альфа 1	Vср	ПВО	ДИК	ДИА	КаРИ
Мужчины	55-60 лет	$FM_л$	1,42 (1,31-1,63)	1,72 (1,46-2,00)	0,038 (0,036-0,039)	0,55 (0,46-0,87)	34,0 (21,5-39,0)	84,0 (77,0-91,0)	85,0 (71,0-94,0)	17,0 (12,0-22,5)
		$FM_п$	1,52 (1,32-1,63)	1,67 (1,53-2,08)	0,04 (0,035-0,045)	0,61 (0,47-0,96)	33,0 (17,5-40,5)	80,0 (59,0-83,0)	75,0 (56,0-84,0)	
		$OM_л$	1,19 (0,69-1,43)	1,26 (0,88-1,81)	0,036 (0,033-0,041)	0,46 (0,29-0,57)	36,0 (23,5-48,0)	80,0 (69,0-89,0)	85,0 (71,0-95,0)	38,0 (12,0-45,5)
		$OM_п$	1,11 (0,88-1,48)	1,36 (1,11-1,69)	0,038 (0,035-0,043)	0,58 (0,43-0,65)	28,0 (15,5-40,5)	70,0 (57,0-81,0)	79,0 (62,0-83,0)	
	61-65 лет	$FM_л$	1,19 (0,98-2,61)	1,39 (1,04-2,58)	0,034 (0,031-0,042)	0,38 (0,32-0,85)	27,0 (16,0-44,0)	92,0 (79,0-94,0)	92,0 (76,0-99,0)	19,0 (12,)-27,0)
		$FM_п$	1,64 (1,15-2,42)	1,64 (1,30-2,24)	0,038 (0,034-0,062)	0,52 (0,41-0,74)	17,0 (8,0-29,0)	84,0 (81,0-89,0)*	86,0 (71,0-92,0)	
		$OM_л$	0,76 (0,63-1,27)	0,89 (0,66-1,41)	0,035 (0,03-0,043)	0,23 (0,18-0,4)	34,0 (25,0-64,0)	88,0 (79,0-94,0)	93,0 (83,0-98,0)	36,0 (22,0-52,0)
		$OM_п$	1,09 (0,8-1,91)	1,15 (0,97-2,08)	0,06 (0,027-0,043)	0,36 (0,26-0,61)	23 (19-35)	87 (73-91)*	88 (76-95)	

Примечание: FM – фронто-мастоидальное отведение, OM – окципито-мастоидальное отведение, индексы л – левое полушарие, п – правое полушарие, * – значимые различия при сравнении первой и второй условных групп ($p \leq 0,05$)

Выявленные разнонаправленные отклонения фоновых значений показателей РЭГ в целом укладываются в допустимые пределы нормативных значений (± 20 %). Однако, показатели, характеризующие интенсивность артериального кровотока (АЧП), тонус и эластичность сосудов (Vср, ДИК), а также венозный отток крови из исследуемого региона (ПВО) как у женщин, так и у мужчин имели широкий межквартильный диапазон, что позволяет использовать их в качестве индивидуально-типологических вариабельных критериев оценки церебрального кровоснабжения.

Распределение обследуемых по типам системного кровообращения с учетом полового и возрастного критериев позволило выявить преобладание лиц с гипокинетическим типом кровообращения (69,2 %) среди мужчин первой условной группы, тогда как у женщин преобладающим оказался эукинетический тип кровообращения (52,6 %) (табл. 4).

Во второй условной группе как у мужчин, так и у женщин преобладающим типом кровообращения оказался гипокинетический тип (57,1 % и 46,2 % соответственно), в то время как гиперкинетический тип чаще встречался у женщин, чем у мужчин.

Представленность эукинетического типа кровообращения у обследуемых мужчин пожилого возраста оказалась выше по сравнению с мужчинами зрелого возраста 2 периода.

Таблица 4

Сопряженное соотношение типов системного кровообращения с учетом полового и возрастного критериев (%)

Группы		Гипокинетический тип	Эукинетический тип	Гиперкинетический типа
Первая условная группа	Мужчины	**69,2**	15,4	15,4
	Женщины	31,6	**52,6**	15,8
Вторая условная группа	Мужчины	**57,1**	40,1	2,8
	Женщины	**46,2**	30,8	23,1

Степень отклонения показателей церебральной гемодинамики от нормативных значений у женщин и мужчин в зависимости от типа системного кровообращения представлены в таблицах 5, 6.

Количественный анализ РЭГ позволил установить снижение амплитудно-частотного показателя на 21,2 % и повышение реографического индекса на 32,2 % в $ОМ_{л}$ отведении у женщин первой условной группы с гипокинетическим типом кровообращения. При этом у них выявлено затруднение венозного оттока как с левой, так и с правой стороны (повышение ПВО более 40 %). У этой группы женщин также были повышены дикротический индекс с 29,5 по 39,2 % и коэффициент асимметрии более 40 % относительно нормы.

Напротив, у женщин второй условной группы с гипокинетическим типом кровообращения реографический индекс и амплитудно-частотный показатель находились в пределах возрастной нормы. Однако, отклонения показателя венозного оттока (33,3–57,5 %), дикротического индекса (28,2–30,5 %) и коэффициента асимметрии имели схожую картину, но оказались менее выражены, что свидетельствует об адаптации церебрального кровообращения в условиях естественной инволюции.

У женщин первой условной группы с эукинетическим типом кровообращения наблюдалось повышение в FM-отведении реографического индекса справа на 20,8 %, а слева диастолического индекса на 21,9 %. При этом затруднение венозного оттока наблюдалось с обеих сторон. Коэффициент асимметрии у них повышался в $FM_{л, п}$ и $ОМ_{л, п}$ отведениях более 40 %.

Таблица 5

Степень отклонения показателей церебральной гемодинамики от нормативных значений у женщин в зависимости от типа системного кровообращения

Тип, отведение, условные группы / показатели РЭГ			РИ	АЧП	Альфа1	Vср	ПВО	ДИК	ДИА
Гипокинетический тип	$FM_л$	1	-	-	-	-	+	++	+
		2	-	-	-	-	+++	+	-
	$FM_п$	1	-	-	-	-	+	++	+
		2	-	-	-	-	++	++	-
	$OM_л$	1	++	+	-	-	++	++	-
		2	-	-	-	-	+++	+	-
	$OM_п$	1	-	-	-	-	+++	+	-
		2	-	-	-	-	++	-	-
Эукинетический тип	$FM_л$	1	-	-	-	-	+++	++	+
		2	+	+	-	-	+++	++	-
	$FM_п$	1	-	-	-	-	+++	++	-
		2	++	++	-	-	+++	+	-
	$OM_л$	1	-	-	-	-	+++	-	-
		2	-	-	-	-	+++	+	-
	$OM_п$	1	+	-	-	-	+++	+	-
		2	-	+	-	-	+++	-	-
Гиперкинетический тип	$FM_л$	1	++	+++	-	-	+++	+	-
		2	+	++	-	-	+++	+++	-
	$FM_п$	1	+++	+++	-	-	+++	++	-
		2	+++	+++	-	-	+++	++	-
	$OM_л$	1	+	-	-	-	+++	-	-
		2	++	-	-	-	+++	+	-
	$OM_п$	1	+++	+	-	+	+++	-	-
		2	+	-	-	-	+++	+	-

Примечание: FM – фронто-мастоидальное отведение, OM – окципито-мастоидальное отведение, индексы л – левое полушарие, п – правое полушарие; 1 – первая условная группа (женщины 50–55 лет), 2 – вторая условная группа (женщины 56–60 лет); «-» – показатель РЭГ в допустимых пределах нормы; «+» – отклонение от нормативных значений 20–30% (К1); «++» – отклонение от нормативных значений 30–40 % (К2); «+++» – отклонение от нормативных значений более 40 % (К3)

Во второй условной группе у женщин с эукинетическим типом в $FM_{л,\ п}$ отведениях выявлено повышение реографического индекса на 24,5–31,5 %, амплитудно-частотного показателя на 25,3–36,5 %. Однако, в $OM_{л,\ п}$ отведениях амплитудно-частотный показатель оказался ниже на 23 % относительно нормативных значений. Во всех отведениях наблюдалось повышение показателя

венозного оттока более 40 % от возрастной нормы, дикротического индекса и коэффициента асимметрии до 30 %.

Таблица 6

Степень отклонения церебральной гемодинамики от нормативных значений у мужчин в зависимости от типа системного кровообращения

Тип, отведение, условные группы / показатели РЭГ			РИ	АЧП	Альфа1	Vср	ПВО	ДИК	ДИА
Гипокинетический тип	FM л	1	-	-	-	-	+++	+++	-
		2	+++	+++	-	-	+	+++	-
	FM п	1	-	-	-	-	++	+	++
		2	+++	-	-	-	++	+++	-
	OM л	1	-	-	-	-	+++	++	+
		2	+++	-	-	-	-	++	-
	OM п	1	+	-	-	-	++	+	-
		2	+++	-	-	-	+	+++	-
Эукинетический тип	FM л	1	-	-	+	-	+++	++	-
		2	-	-	-	++	+++	+++	+++
	FM п	1	-	-	++	-	+++	++	+
		2	-	-	++	+	++	+++	++
	OM л	1	-	-	-	-	+++	+	-
		2	-	-	-	+	+++	+++	+++
	OM п	1	-	-	+	-	+++	+	-
		2	-	+	++	-	+++	+++	+
Гиперкинетический тип	FM л	1	-	++	-	-	+++	++	-
		2	-	-	-	++	+++	+++	+++
	FM п	1	-	-	+++	-	+++	-	-
		2	-	-	+++	+	+	+++	++
	OM л	1	+++	-	+++	-	+++	-	-
		2	++	-	-	+	+++	+++	+++
	OM п	1	+++	++	+++	-	+++	-	-
		2	-	-	++	-	+++	+++	+

Примечание: FM – фронто-мастоидальное отведение, OM – окципито-мастоидальное отведение, индексы л – левое полушарие, п – правое полушарие; 1 – первая условная группа (мужчины 55–60 лет), 2 – вторая условная группа (мужчины 61–65 лет); «-» – показатель РЭГ в допустимых пределах нормы; «+» – отклонение от нормативных значений 20–30 % (К1); «++» – отклонение от нормативных значений 30–40 % (К2); «+++» – отклонение от нормативных значений более 40 % (К3)

У женщин с гиперкинетическим типом кровообращения независимо от возраста наблюдалось повышение реографического индекса до 58,7 %, показателя

венозного оттока более 40 % относительно нормативных значений. В первой условной группе дикротический индекс увеличивался только в $FM_{л,\ п}$ отведениях, тогда как во второй условной группе повышение этого показателя наблюдалось в каждом исследуемом отведении ($FM_{л,\ п}$, $OM_{л,\ п}$) относительно возрастной нормы. Повышение скорости медленного наполнения сосудов на 26,3 % в $OM_{п}$ отведении отмечено только у женщин первой условной группы.

Амплитудно-частотный показатель у пожилых женщин отличался от нормативных значений только в $FM_{л,\ п}$ отведениях, тогда как у женщин зрелого возраста 2 периода АПЧ оказался повышенным во всех отведениях ($FM_{л,\ п}$, $OM_{л,\ п}$). При этом у женщин первой условной группы отклонение коэффициента асимметрии зарегистрировано в $OM_{л,\ п}$ отведениях (более 40 %), у женщин второй условной группы – в $FM_{л,\ п}$ отведениях.

Исследование церебральной гемодинамики у мужчин позволило установить, что РЭГ в первой условной группе с гипокинетическим типом кровообращения характеризовалась увеличением реографического индекса в $OM_{п}$ отведении на 20,9 %. При этом во всех отведениях выявлено увеличение показателя венозного оттока свыше 40 %, дикротического индекса до 41,7 %. Повышение диастолического индекса наблюдалось в $FM_{л}$ и $OM_{л}$ отведениях на 34,4 % и 20,8 % соответственно. Увеличение значения коэффициента асимметрии установлено в $OM_{л,\ п}$ отведениях более 40 % от возрастной нормы.

У мужчин второй условной группы с гипокинетическим типом кровообращения отмечалось повышение реографического индекса во всех отведениях в диапазоне более 40%, показателя венозного оттока на 20,2-38,7%, дикротического индекса на 39-54,5%. Увеличение амплитудно-частотного показателя выявлено только $FM_{л}$ отведении на 29%. Коэффициент асимметрии в большей степени оказался увеличенным в $OM_{л,\ п}$ отведениях.

У мужчин с эукинетическим типом в первой условной группе выявлено разнонаправленное отклонение скорости медленного наполнения. Так в $FM_{л,\ п}$ отведениях отмечается уменьшение этого параметра на 21,5–29,5 %, тогда как в $OM_{л,\ п}$ отведениях повышение на 23,5 %. Для мужчин этой группы было характерно затруднение венозного оттока и повышение тонуса средних артерий, особенно в $FM_{л,\ п}$ отведениях. Коэффициент асимметрии в большей степени повышался в $OM_{л,\ п}$ отведениях свыше 40 % относительно нормативных значений.

Во второй условной группе у мужчин с эукинетическим типом кровообращения отмечалось снижение амплитудно-частотного показателя $OM_{п}$ отведении на 20,7 %, повышение времени быстрого наполнения сосудов в $FM_{п}$ и $OM_{п}$ отведениях, тогда как увеличение скорости медленного наполнения на 26,3–37,3 % и затруднение венозного оттока отмечалось во всех исследуемых отведениях ($FM_{л,\ п}$, $OM_{л,\ п}$). При этом повышение коэффициента асимметрии более 40 % наблюдалось только в $OM_{л,\ п}$ отведениях.

У мужчин первой условной группы с гиперкинетическим типом выявлено увеличение большинства показателей РЭГ во всех исследуемых отведениях относительно возрастной нормы, что может являться неблагоприятным признаком. При этом во второй условной группе у мужчин с гиперкинетическим типом

наблюдалось снижение амплитудно-частотного показателя в $ОМ_{л}$ отведении на 24,6 %, а также скорости медленного наполнения во всех отведениях на 24,4–37,6 %. По нашему мнению, полученные результаты могут свидетельствовать о приспособительных реакциях системы кровоснабжения головного мозга у данной категории мужчин в процессе естественной инволюции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гетерогенность церебрального кровообращения, обусловленная широким межквартильным диапазоном показателей РЭГ, характеризующих интенсивность артериального кровотока (АЧП), тонус и эластичность сосудов (Vср, ДИК), а также венозный отток крови из исследуемого региона (ПВО) в FM- и ОМ-отведениях свидетельствует о внутригрупповой неоднородности и наличии индивидуально-типологических различий, зависящих от системного типа кровообращения.

Преобладание гипокинетического типа у мужчин и женщин пожилого возраста, обусловливает значимые изменения в соотношении церебрального притока крови ее оттоку и свидетельствует о снижении приспособительных реакций системы кровообращения. Поддержание должного уровня артериального давления происходит за счет повышения общего периферического сопротивления сосудов при снижении работы миокарда, а также, по-видимому, связан со снижением эластичности сосудов разного калибра и особенностями чувствительности рецепторов сосудистой стенки к гормональным факторам [14].

В результате проведенного исследования установлена закономерность изменения регионарного церебрального кровообращения в зависимости от возрастного критерия и типа системного кровообращения. Как оказалось, в мужской когорте наиболее выраженные отклонения наблюдались во второй условной группе с гипокинетическим и эукинетическим типами, где количество параметров с отклонения К3 (свыше 40 % от нормативных значений) в 3 раза превышало таковые параметры РЭГ по сравнению с первой условной группой. Однако, мужчины с гиперкинетическим типом кровообращения независимо от возраста имели значимые отклонения исследуемых параметров РЭГ от возрастной физиологической нормы.

Среди женщин предпенсионного возраста в меньшей степени прослеживаются различия между первой и второй условными группами в зависимости от типа системного кровообращения. При этом максимальное количество показателей РЭГ с отклонениями свыше 40,0 % от нормативных значений также наблюдалось в группах с гиперкинетическим типом кровообращения.

Таким образом, людей предпенсионного возраста с гиперкинетическим типом кровообращения, имеющих значимые отклонения параметров РЭГ от физиологической нормы можно отнести к группе риска. Лимит вазоконстрикторных реакций, обусловленный инволюционными процессами является причиной ухудшения условий регионарного оттока крови. У людей старше 50 лет изменения в соотношении церебрального притока крови ее оттоку являются маркерами снижения приспособительных реакций системы кровообращения. Выявленные отклонения параметров РЭГ от физиологической нормы необходимо учитывать при

проведении функциональных проб, а также в программах донозологической диагностики, организации оздоравливающих и профилактических мероприятий.

Список литературы

1. Lunenfeld B. The clinical consequences of an ageing world and preventive strategies / B. Lunenfeld, P. Stratton //Best practice & research Clinical obstetrics & gynaecology. – 2013. – Т. 27, №. 5. – С. 643–659.
2. Piccirillo F. Changes of the coronary arteries and cardiac microvasculature with aging: Implications for translational research and clinical practice / F. Piccirillo, M. Carpenito, G. Verolino, C. Chellob, A. Nusca et al. // Mechanisms of Ageing and Development. – 2019. – 184. – P. 111161. URL: https://doi.org/10.1016/j.mad.2019.111161
3. Green C. L. Regulation of metabolic health by essential dietary amino acids / C. L. Green, D. W. Lamming // Mechanisms of Ageing and Development. – 2019. – 177. – P. 186–200. URL: https://doi.org/10.1016/j.mad.2018.07.004
4. Бичурин Д. Р. Сердечно-сосудистые заболевания. Региональный аспект / Д. Р. Бичурин, О. В. Атмайкина, О. А. Черепанова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2023. – № 8(134). – DOI 10.23670/IRJ.2023.134.103.
5. Vrselja Z. Function of circle of Willis / Z. Vrselja, H. Brkic, S. Mrdenovic et al. // Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism. – 2014. – Т. 34, №. 4. – С. 578–584.
6. Ouarné M. From remodeling to quiescence: the transformation of the vascular network / M. Ouarné, A. Pena, C. A. Franco // Cells & Development. – 2021. – Т. 168. – С. 203735.
7. Севрюкова Г. А. Возрастные особенности реоэнцефалографии, связанные с фазами дыхания / Г. А. Севрюкова, И. В. Хвастунова, И. Б. Исупов // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2020. – Т. 6 (72), № 2. – С. 204–213. – DOI 10.37279/2413-1725-2020-6-2-204-213.
8. Meng L. Cardiac output and cerebral blood flow: the integrated regulation of brain perfusion in adult humans / L. Meng W. Hou, J. Chui et al. // Anesthesiology. – 2015. – 123. – P. 1198–1208. DOI: 10.1097/ALN.0000000000000872
9. Залевская М. А. Возрастная периодизация в Российской Федерации в современных условиях / М. А. Залевская // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – № 12-3(102). – С. 17–20. – DOI 10.23670/IRJ.2020.102.12.073.
10. Зенков Л. Р. Функциональная диагностика нервных болезней : Руководство для врачей / Л. Р. Зенков, М. А. Ронкин; Л. Р. Зенков, М. А. Ронкин. – 3. изд., перераб. и доп.. – Москва : МЕДпресс-информ, 2004. – 488 с. – ISBN 5-98322-009-8.
11. Комплекс реографический «Рео-спектр». Методические указания. – ООО «Нейрософт». Россия, Иваново. – 2010. – 152 с.
12. Кулаичев А. П. Компьютерная и функциональная диагностика / А. П. Кулаичев. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 640 с.
13. Аверьянова И. В. Особенности сердечно-сосудистой системы и вариабельности кардиоритма у юношей Магаданской области с различными типами гемодинамики / И. В. Аверьянова, А. Л. Максимов // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2017. – № 40. – С. 132–149. – DOI 10.17223/19988591/40/8.
14. Craven P. A. Effects of extracellular sodium on cytosolic calcium, PGE2 and cAMP in papillary collecting tubule cells / P. A. Craven, F. R. DeRubertis // Kidney international. – 1991. – Т. 39, №. 4. – С. 591–597.

FEATURES OF CEREBRAL HEMODYNAMICS IN PEOPLE OF PRE-RETIREMENT AGE

Veselovskaya E. D., Sevriukova G. A.

Volgograd State Medical University, Volgograd, Russian Federation
E-mail: veselovskaya15@mail.ru

The article is devoted to the study of cerebral hemodynamics in people of pre-retirement age, differentiated by age and sex criteria and types of systemic circulation (women (n = 104), men (n = 83).

Objective: to research of the features of cerebral hemodynamics in people of pre-retirement age. Evaluation of blood supply to the brain was carried out at rest using the reoencephalographic method.

The reoencephalographic examination was performed in 4 leads (FM, OM left hemisphere; FM, OM right hemisphere). Indicators were registered: integral index of pulse filling, amplitude-frequency index, rheographic index and time of propagation of the rheographic wave, average vessel filling rate, venous outflow, dicrotic index, diastolic index and coefficient of asymmetry. The type of systemic circulation was determined using the cardiac index.

The predominance of the hypokinetic type in elderly men and women causes significant changes in the ratio of cerebral blood flow to its outflow and indicates a decrease in adaptive reactions of the circulatory system.

Many men and older women have a hypo-kinetic circulating type, which may be an unfavorable feature. People of pre-retirement age with hyperkinetic type of blood circulation can be classified as a risk group, because they have significant deviations of rheoencephalography parameters from the physiological norm.

Changes in the ratio of regional blood inflow to outflow in people over 50 years of age are markers of a decrease in adaptive reactions of the circulatory system. The limit of vasoconstrictor reactions caused by the aging of the body is the cause of deterioration of the conditions of regional blood outflow.

The revealed deviations of rheoencephalography parameters from the physiological norm should be taken into account when conducting functional tests, as well as in programs of prenosological diagnostics, organization of healing and preventive measures.

***Keywords*:** reoencephalography, pre-retirement age, cerebral hemodynamics, type of systemic circulation.

References

1. Lunenfeld B. and Stratton P., The clinical consequences of an ageing world and preventive strategies, *Best practice & research Clinical obstetrics & gynaecology*, **27(5)**, 643 (2013).
2. Piccirillo F., Carpenito M., Verolino G., Chellob C. and Nusca A., Changes of the coronary arteries and cardiac microvasculature with aging: Implications for translational research and clinical practice, *Mechanisms of Ageing and Development*. **184**, 111 (2019). URL: https://doi.org/10.1016/j.mad.2019.111161

3. Green C. L. and Lamming D. W. Regulation of metabolic health by essential dietary amino acids, *Mechanisms of Ageing and Development.* **177**, 186 (2019). URL: https://doi.org/10.1016/j.mad.2018.07.004
4. Bichurin D. R., Atmaikina O. V. and Cherepanova O. A. Cardiovascular diseases. a regional aspect, *International Research Journal*, **8(134)** (2023). – DOI 10.23670/IRJ.2023.134.103.
5. Vrselja Z., Brkic H., Mrdenovic S. Function of circle of Willis, *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism.* **34 (4)**, 578 (2014).
6. Ouarné M., Pena A. and Franco C. A. From remodeling to quiescence: the transformation of the vascular network, *Cells & Development*. **168**, 203 (2021).
7. Sevriukova G. A., Khvastunova I. V. and Isupov I. B. Age specific features of reoencephalography associated with respiratory phases, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*. **6 (72)**, 204 (2020) – DOI 10.37279/2413-1725-2020-6-2-204-213.
8. Meng L., Hou W. and Chui J., Cardiac output and cerebral blood flow: the integrated regulation of brain perfusion in adult humans, *Anesthesiology*. **123**, 1198. (2015). – DOI: 10.1097/ALN.0000000000000872
9. Zalevskaya M. A., Contemporary conditions of age groups in the russian federation, *International Research Journa,* **12 (102)** (2020). – https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.073.
10. Zenkov L. R. and Ronkin M. A. *Functional diagnosis of nervous diseases,* 488 p. (MEDpress-inform, Moscow, 2004.)
11. *Rheographic complex "Rheo-spectrum",* 152 p. (OOO "Neurosoft", Ivanovo, 2010)
12. Kulaichev A., *Computer and functional diagnostics,* 640 p. (OOO "INFRA-M Scientific Publishing Center", Moscow, 2010)
13. Averyanova I. V. and Maksimov A. L., Cardiovascular profiles and heart rate variability observed in young male residents of Magadan region having different hemodynamic types, *Tomsk State University Journal of Biology*, **40**, 132 (2017). – DOI 10.17223/19988591/40/8.
14. Craven P. A. and DeRubertis F. R., Effects of extracellular sodium on cytosolic calcium, PGE2 and cAMP in papillary collecting tubule cells, *Kidney international*, **39 (4)**, 591 (1991).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 45–54.

УДК 57.017.647

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-45-54

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОРГАНИЗМА СТУДЕНТОВ С РАЗЛИЧНЫМ ПСИХОФУНКЦИОНАЛЬНЫМ СОСТОЯНИЕМ

Витвицкий П. А.[1], Багнетова Е. А.[1], Мальков О. А.[1], Ибрагимова Э. Э.[2]

[1]БУВО «Сургутский государственный педагогический университет», Сургут, Россия
[2]ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: omalkov@surgpu.ru

Выполнено исследование особенностей физиометрических показателей организма студентов с различным психофункциональным статусом. Комплексная оценка физиометрических показателей с использованием традиционных антропометрических и функциональных измерений позволила выделить некоторые особенности групп студентов с различным уровнем личностной тревожности и студентов с различным уровнем нейропсихической устойчивости. В частности, при анализе физиометрических показателей у юношей и девушек с различным психофункциональным статусом, было установлено их соответствие референтным возрастным показателям. Однако у студентов, имеющих высокий уровень личностной тревожности и слабую нейропсихическую устойчивость, функциональные адаптационные резервы организма находились на более низком уровне.
Ключевые слова: психофункциональный статус, студенты, физиометрические показатели, физическое развитие.

ВВЕДЕНИЕ

Состояние здоровья студенческой молодежи постоянно находится в фокусе внимания научных исследований психолого-педагогического и медицинского направления [1–4]. Учитывая главную роль системы образования в подготовке кадров для решения проблем больших вызовов стоящих перед нашей страной. Здоровьесбережение в образовательных организациях должно стать одним из ключевых направлений реализации программ подготовки молодых специалистов. При этом одним из важнейших критериев оценки здоровья молодого поколения является морфофункциональное развитие [3, 4, 7].

Физиометрические показатели организма отражают основные закономерности развития и совершенствования морфофункционального состояния. На основании этих показателей данное состояние может рассматриваться с позиции оценки адаптационных процессов организма студентов к меняющимся условиям внешней среды [4]. Однако психофункциональный статус организма, чаще всего рассматривается как отдельный физиологический компонент здоровья [8, 10, 12]. При этом большинство научных исследований рассматривает взаимодействие психофункционального и физического развития только в детском возрасте.

Единичные исследования студентов посвящены изучению взаимного влияния психологического статуса и уровня физического развития [5, 10–12]. Учитывая эти факторы, было проведено исследование особенностей физиометрических показателей организма студентов с различным психофункциональным статусом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на базе БУ ВО «Сургутский государственный университет» и ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова». В исследование включено 158 студентов (средний возраст 18,5±0,7 лет). Все участники исследования были проинформированы и дали добровольное информированное согласие на исследование в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52379-2005. Участники исследования были разделены на группы по уровню личностной тревожности (шкала тревожности Спилбергера-Ханина). Также всех участников исследования распределили на группы по уровню нервно-психической устойчивости (опросник «Прогноз» Рыбников В. Ю.).

В исследовании применяли стандартную антропометрическую методику В. В. Бунака (1941), с учетом требований НИИ антропологии Московского государственного университета [9]: длина тела (ДТ) (см), масса тела (МТ) (кг), окружность грудной клетки (ОКГ) (см), жизненная емкость лёгких (ЖЕЛ) (л), мышечная сила кисти обеих рук (кг). Были рассчитаны индексы характеризующие физическое развитие: индекс Кетле-2 (ИК-2) ИК-2 = МТ/ДТ^2 (кг/м^2) (нормативные показатели 18,5–24,9) [6], индекс Эрисмана (ИЭ) ИЭ = ОГК – 0,5ДТ (см) (ИЭ < 3.3 грудная клетка определяется как узкая, ИЭ от 3.3 до 5.8 – пропорциональная, если ИЭ > 5.8 – широкая) [2], жизненный индекс (ЖИ) ЖИ = ЖЕЛ / МТ (мл/кг) (Низкий (юноши ≤ 50; девушки ≤ 40), Средний (юноши 51–65; девушки 41–56, Высокий (юноши ≥ 66; девушки ≥ 56)) [6], силовой индекс для обеих руки (СИ) СИ = мышечная сила кисти / МТ х 100 % (%) (Низкий (юноши ≤ 60; девушки ≤ 40), Средний (юноши 61–80; девушки 41–60, Высокий (юноши ≥ 81; девушки ≥ 61)) [6].

Статистические расчеты проводились с использованием пакета прикладных программ «Statistica 6», «MicrosoftExcel», предложенных для анализа медико-биологических данных. Рассчитывали среднее арифметическое значение показателей (M), и среднеквадратичное отклонение (σ). Нормальность распределения полученных показателей определяли с помощью теста Колмогорова – Смирнова. В соответствии с результатами данного теста, в работе использовались параметрические методы обработки результатов. Статистически значимыми считали различия между значениями показателей при уровне $p<0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В нашем исследовании мы провели системный анализ особенностей физиометрических показателей организма студентов с различным психофункциональным статусом. Данные показатели характеризуют физическое развитие и состояние здоровья исследуемого контингента. Психофункциональное состояние личности оказывает интегративное влияние на факторы сохранения здоровья и физическое развитие (таблица 1). Комплексная оценка совокупности

измеренных параметров позволяет в полной мере оценить взаимосвязь этих физиологических компонентов.

Физиометрические показатели традиционных антропометрических и функциональных измерений позволяют выделить некоторые особенности студентов с различным уровнем личностной тревожности. Длина тела участников исследований с высоким уровнем тревожности в среднем ниже на 6 % у юношей и на 7 % у девушек. При этом масса тела у этой группы юношей ниже, а у девушек выше группы сравнения. При этом достоверно значимых различий не выявлено ($p>0,05$) и данные результаты оцениваются как возможная тенденция.

Таблица 1.

Физиометрические показатели студентов с различным уровнем личностной тревожности (M±σ)

Показатели	Высокий уровень (n=119)		Умеренный и низкий уровень (n=39)	
	Юноши	Девушки	Юноши	Девушки
Длина тела, см	176,6±0,2	163,4±0,5	177,7±0,3	164,3±0,4
Масса тела, кг	67,3±0,3	62,4±0,3	70,8±0,7	60,8±0,3
Окружность грудной клетки, см	91,3±0,2	84,7±0,2	91,7±0,4	85,3±0,3
Жизненная емкость лёгких, л	4,2±0,6	3,4±0,4	4,5±0,5	3,7±0,5
Мышечная сила кисти левой руки, кг	42,2±0,2	25,6±0,4	42,8±0,4	26,5±0,2
Мышечная сила кисти правой руки, кг	44,1±0,3	25,8±0,3	45,4±0,2	26,6±0,3

Окружность грудной клетки в исследуемых группах практически не зависит от психофункционального состояния студентов. Однако жизненная емкость легких у юношей с умеренной и низкой личностной тревожностью выше на 7 %, чем в группе юношей с высоким уровнем. В группе девушек данные показатели имеют различия в 8 %. При этом данные различия статистически не значимы ($p>0,05$) и рассматриваются как тенденция.

Показатели кистевой динамометрии не выявили достоверных различий между исследуемыми группами ($p>0,05$), но наибольший показатель мышечной силы зафиксирован в группе с умеренной и низкой личностной тревожностью.

Проведение комплексной оценки физиометрических показателей должно выполняться с учетом их совокупного значения и взаимосвязи. Наиболее полноценно реализовать данную задачу позволяют методики оценки индексов, учитывающие не только абсолютные показатели отдельных параметров, но и взаимосвязь этих показателей между собой (таблица 2).

Таблица 2.

Индексы физического развития студентов с различным уровнем личностной тревожности (M±σ)

Показатели	Высокий уровень (n=119)		Умеренный и низкий уровень (n=39)	
	Юноши	Девушки	Юноши	Девушки
Индекс Кетле- 2, кг/м^2	21,8±0,4	23,4±0,3*	22,4±0,2	22,5±0,4
Индекс Эрисмана, см	3,5±0,2	3,2±0,3	2,9±0,3*	3,3±0,3
Жизненный индекс, мл/кг	62,4±0,4	54,4±0,5	63,6±0,5	60,9±0,3*
Силовой индекс левой руки, %	68,9±0,2	41,1±0,3	60,4±0,3	43,6±0,2
Силовой индекс правой руки, %	71,7±0,2*	41,4±0,3	64,1±0,2	43,8±0,2*

*– достоверность различий между группами ($p<0,05$).

Анализ полученных результатов исследования показал наличие некоторых особенностей в сравниваемых группах. Индекс Кетле в обеих группах не превышал границ нормативных значений. Максимальный средний показатель данного индекса зафиксирован в группе девушек с высоким уровнем личностной тревожности.

На основании индекса Эрисмана мы можем судить о достаточно большом количестве студентов в исследуемых группах с узкой грудной клеткой. Наибольшее представительство данных студентов зафиксировано в группе девушек с высоким уровнем личностной тревожности и юношей с умеренным и низким уровнем данного показателя. Для группы юношей эти различия были статистически достоверными ($p<0,05$).

Более высокий, чем у другой группы жизненный индекс зафиксирован только у девушек с умеренным и низким уровнем личностной тревожности. В остальных группах данный индекс был в пределах средних значений.

Более высокие показатели силового индекса выявлены в группе юношей с высоким уровнем тревожности и в группе девушек с умеренным и низким уровнем личностной тревожности ($p<0,05$). Во всех исследуемых группах данные показатели соответствовали среднему уровню для данной возрастной категории.

В проведенном исследовании были проанализированы физиометрические показатели у студентов с различным уровнем нейропсихической устойчивости.

Комплексная оценка результатов проведенного исследования показателей физического развития групп студентов с неудовлетворительной нейропсихической устойчивостью и с удовлетворительными и более высокими показателями данной устойчивости, позволила выделить некоторые отличительные тенденции данного развития.

Значимых различий в длине тела в исследуемых группах не выявлено ($p>0,05$), хотя тенденция к более низкому росту наблюдается в группе с неудовлетворительным уровнем нейропсихической устойчивости (таблица 3).

При этом анализ показателей массы тела выявил тенденцию к ее увеличению в данной группе по сравнению со студентами с удовлетворительным и более высоким уровнем нейропсихической устойчивости. Значения показателей окружности грудной клетки в обеих исследуемых группах несколько превышало нормативные значения для данной возрастной группы, за исключением юношей с удовлетворительным и более высоким уровнем нейропсихической устойчивости.

Таблица 3.

Физиометрические показатели студентов с различным уровнем нейропсихической устойчивости (M±σ)

Показатели	Неудовлетворительная (n=46)		Удовлетворительная и выше (n=112)	
	Юноши	Девушки	Юноши	Девушки
Длина тела, см	176,0±0,7	162,8±0,8	178,1±0,7	163,8±0,6
Масса тела, кг	74,4±0,6*	63,1±0,6	70,6±0,7	61,1±0,6
Окружность грудной клетки, см	92,6±0,8	86,1±0,8	91,4±0,6	86,1±0,7
Жизненная емкость лёгких, л	4,3±0,8	3,3±0,7	4,4±0,7	3,9±0,8*
Мышечная сила кисти левой руки, кг	40,7±0,8	24,9±0,6	44,1±0,6*	26,8±0,7*
Мышечная сила кисти правой руки, кг	43,9±0,7	25,1±0,6	45,2±0,7*	27,2±0,6*

*– достоверность различий между группами ($p<0,05$).

Однако при анализе показателей жизненной емкости легких обращает на себя внимание тот факт, что при меньшей окружности грудной клетки большую жизненную емкость имеет группа с удовлетворительной и выше нейропсихологической устойчивостью. В большей степени эта особенность выражена у девушек этой группы ($p <0,05$).

Оценка мышечной силы верхних конечностей показала значимую разницу в исследуемых группах ($p<0,05$). При этом в группе с неудовлетворительным уровнем нейропсихической устойчивости показатели были более низкими как у юношей, так и у девушек. В данной группе юношей более низкие показатели зафиксированы при измерении мышечной силы кисти в правой руке, а в данной группе девушек более низкий показатель фиксируется при измерении мышечной силы кисти в обеих конечностях. Снижение данного показателя у девушек зафиксировано на уровне 8 %, по сравнению с группой девушек с удовлетворительной и выше нейропсихологической устойчивостью ($p<0,05$).

Провести дополнительный и более глубокий анализ особенностей морфофункционального развития студентов с различным уровнем нейропсихической устойчивости позволяет методика оценки индексов характеризующих данное развитие. Применение данного подхода комплексно характеризует изучаемые физиологические системы организма студентов (таблица 4).

Оценка показателя индекса Кетле-2 выявила более высокие значения в исследуемой группе с неудовлетворительным уровнем нейропсихической устойчивости. При этом у юношей это превышение достигало практически 10 %, тогда как у девушек оно было не более 5 %. При этом достоверных различий не выявлено ($p>0,05$) и данные результаты оцениваются как возможная тенденция.

Таблица 4.

Индексы физического развития студентов с различным уровнем нейропсихической устойчивости (M±σ)

Показатели	Неудовлетворительная (n=46)		Удовлетворительная и выше (n=112)	
	Юноши	Девушки	Юноши	Девушки
Индекс Кетле- 2, кг/м^2	24,5±0,4	23,8±0,5	22,3±0,3	22,7±0,4
Индекс Эрисмана, см	4,6±0,5	4,7±0,5	2,8±0,4*	3,8±0,5*
Жизненный индекс, мл/кг	57,7±0,4	52,2±0,5	62,3±0,5*	63,1±0,4*
Силовой индекс левой руки, %	54,7±0,5	39,4±0,4	62,5±0,5	43,9±0,5
Силовой индекс правой руки, %	59,0±0,5	39,7±0,4	64,0±0,5*	44,5±0,5*

*– достоверность различий между группами ($p<0,05$).

Оценка развития грудной клетки проводилась с использованием индекса Эрисмана. Полученные в результате исследования показатели свидетельствуют о более узкой грудной клетке у студентов группы с удовлетворительной и более высокой нейропсихической устойчивостью. При этом в группе девушек с неудовлетворительным уровнем нейропсихической устойчивости данный показатель превышает нормативные практически на 18 % ($p<0,05$). Жизненный индекс, косвенно характеризующий функциональные возможности системы дыхания, оказался на среднем уровне во всех изучаемых группах, за исключением девушек с удовлетворительной и более высокой нейропсихической устойчивостью ($p<0,05$). Анализ полученных в результате исследования показателей силового индекса выявил низкий уровень в группе с неудовлетворительным уровнем нейропсихической устойчивости. В группе с удовлетворительной и выше нейропсихологической устойчивостью изучаемый показатель оказался на среднем уровне ($p<0,05$).

Генетически детерминированными физиометрическими показателями определяется конституциональный тип человека, который складывается под воздействием факторов внешней среды. Оценивая систему дыхания, по антропометрическим показателям и методам индексов, нам удалось установить, что в исследуемых группах резервные возможности данной системы находятся на низком уровне. Наиболее удовлетворительные показатели выявлены только в группе девушек с умеренным и низким уровнем личностной тревожности.

Анализ мышечной системы в изучаемых группах позволил выделить некоторые особенности студентов с различным уровнем личностной тревожности. И если показатели кистевой динамометрии не позволили выделить значимые различия, то метод индексов показал значительно более высокие возможности мышечной системы у юношей с высоким уровнем личностной тревожности. Возможно, это связано с тем, что у данной группы исследуемых существует неосознанная потребность в защите. Это в свою очередь стимулирует развитие мышечной массы, иногда без осознанного контроля субъекта.

Взаимосвязи психического и физического развития в основном изучаются в области возрастной физиологии у детей. Исследования у взрослых представлены единичными научными публикациями.

Анализируя антропометрические показатели в изучаемых группах можно сделать вывод о некоторой тенденции к гиперстеничному телосложению в группе с неудовлетворительным уровнем нейропсихической устойчивости. При этом необходимо отметить, что значение индекса позволяющего оценить пропорциональность телосложения и гармоничность физического развития не превышает показателей нормы в изучаемых группах студентов. Однако у юношей с неудовлетворительным уровнем нейропсихической устойчивости этот индекс практически на верхней границе нормативных показателей.

Оценка морфофункциональных показателей системы дыхания показала, что при менее развитой грудной клетке в группе студентов с удовлетворительным и более высоким уровнем нейропсихической устойчивости функциональные резервы данной системы находятся на более высоком физиологическом уровне. Это достоверно показывают значения жизненного индекса.

Анализ возможностей функциональной адаптации студентов к условиям окружающей среды основанный на расчете жизненного и силового индексов показал значительно более низкие возможности студентов с неудовлетворительным уровнем нейропсихической устойчивости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ особенностей физиометрических показателей организма обследованных студентов с различным психофункциональным статусом показал, что, несмотря на то, что большинство показателей у всех исследуемых групп находятся в пределах возрастной нормы, у лиц с высоким уровнем личностной тревожности и неудовлетворительным уровнем нейропсихической устойчивости функциональные адаптационные резервы организма находятся на более низком уровне.

Список литературы

1. Бондаренко А. В. Здоровый образ жизни и индивидуальное здоровье студентов / А. В. Бондаренко, Е. В. Гаврилова // Наука-2020. – 2021. – № 2. – (47). – С. 175–178.
2. Бородина Г. Н. Оценка физического развития юношей-призывников Алтайского края / Г. Н. Бородина, А. А. Мершалова, Е. А. Субботин, Т. Г. Требушинина, И. Ю Федина. // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2021. – № 1 (77). – С. 66–69.
3. Бутыч Н. С. Разработка индивидуальных траекторий здоровья студентов на основе оценки физического состояния обучающихся / Н. С. Бутыч, И. А. Маюрова // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта. – 2023. – № 2 (216). – С. 47–49.
4. Есаков А. О. Показатели здоровья, формирующие психофизиологическую адаптацию у студентов АГЗ / А. О. Есаков, В. В. Черкесов, А. Е. Коваленко // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2021. – № 2 (9). – С. 119–122.
5. Звягина Е. В. Оценка взаимосвязи психологических и физиологических категорий в тренировочном процессе / Е. В. Звягина // Научный вестник МГУСиТ: спорт, туризм, гостеприимство. – 2021. – № 4 (70). – С. 125–132.
6. Калюжный Е. А. Применение метода индексов при оценке физического развития студентов / Е. А. Калюжный, С. В. Михайлова, В. Ю. Маслова // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2014. – № 1 (121). – С. 21–27.
7. Карагодина А. М. Оценка уровня соматического здоровья студентов первого курса в период адаптации к учебной деятельности в техническом ВУЗе / А. М. Карагодина, Е. Г. Прыткова, Н. Д. Жегалов // Преподаватель XXI век. – 2020. – № 2-1. – С. 170–182.
8. Климов В. М. Психофизиологические и личностные особенности юношей и девушек студенческого возраста / В. М. Климов, А. В. Лебедев, Р. И. Айзман // Вестник психофизиологии. – 2020. – № 3. – С. 115–121.
9. Колокольцев М. М. Антропометрическая и физиометрическая характеристика юношей 17–20 лет разных вариантов развития организма / М. М. Колокольцев // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 6 – С. 39–46.
10. Лотова Н.К. Психологические особенности личности студента ВУЗа / Н.К. Лотова, М.И. Андросова, К.К. Сергеева // Проблемы современного педагогического образования. – 2021. – № 70 (3). – С. 27–31.
11. Мальцев В. П. Особенности межсистемных взаимодействий морфотипа и нейродинамики студентов с разным уровнем весо-ростового индекса / В. П. Мальцев, А. А. Говорухина, О. А. Мальков // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2022. – № 3. – С. 123–142.
12. Сейфулина Г. В. Биоритмологический и психофизиологический статус студентов педагогического ВУЗа / Г. В. Сейфулина, Г. В. Бичева, В. Д. Друп // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2022. – № 5. – С. 27–31.

FEATURES OF PHYSIOMETRIC INDICATORS OF THE BODY OF STUDENTS WITH DIFFERENT PSYCHOFUNCTIONAL STATES

Vitvitsky P. A.[1], Bagnetova E. A.[1], Malkov O. A.[1], Ibragimova E. E.[2]

[1]Surgut State Pedagogical University, Surgut, Russian Federation
[2]State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Republic of Crimea "Crimean Engineering and Pedagogical University named after Fevzi Yakubov", Simferopol, Russian Federation
E-mail: omalkov@surgpu.ru

Our study analyzed the features of physiometric indicators of the body of students with different psychofunctional status. Comprehensive assessment of physiometric

indicators using traditional anthropometric and functional measurements allowed to identify some features of groups of students with different levels of personality anxiety and students with different levels of neuropsychic stability.

Genetically determined physiometric indicators determine the constitutional type of a person, which is formed under the influence of environmental factors. In the studied groups of students, based on the classification of somatic constitution types by Chernorutsky M. V., the predominance of normostenics was revealed. Although other constitutional types were represented to a sufficient extent. Evaluating the respiratory system, according to anthropometric indicators and index methods, we managed to establish that in the studied groups the reserve capabilities of this system are at a low level. The most satisfactory indicators were found only in the group of girls with moderate and low level of personality anxiety.

The analysis of the muscular system in the studied groups allowed us to identify some features of students with different levels of personality anxiety. And if the indicators of carpal dynamometry did not allow us to identify significant differences, the method of indices showed significantly higher capabilities of the muscular system in young men with a high level of personality anxiety. This is probably due to the fact that this group of subjects has an unconscious need for protection. This in turn stimulates the development of muscle mass, sometimes without the subject's conscious control. The interrelationships of mental and physical development are mainly studied in the field of age-related physiology in children. Studies in adults are represented by single scientific publications. Analyzing the growth-weight indices in the studied groups it is possible to draw a conclusion about some tendency to hyperstenic physique in the group with unsatisfactory level of neuropsychic stability. At the same time it is necessary to note that values of the index allowing to estimate the proportionality of physique and harmoniousness of physical development do not exceed the norm in the studied groups of students. However, in young men with unsatisfactory level of neuropsychic stability this index is practically at the upper limit of normative indicators. Evaluation of morphofunctional indices of the respiratory system showed that with less developed thorax in the group of students with a satisfactory and higher level of neuropsychic stability functional reserves of this system are at a higher physiological level. This is reliably shown by the values of vital index.

The analysis of students' functional adaptation capabilities to environmental conditions based on the calculation of vital and power indices revealed significantly lower capabilities of students with unsatisfactory level of neuropsychic stability. A comprehensive assessment of the influence of psychofunctional status on the physiometric indicators of the students' organism showed that despite the fact that most of the indicators of all the groups under study are within the age norm, those with a high level of personality anxiety and unsatisfactory level of neuropsychic stability have lower functional adaptation reserves of the organism.

***Keywords*:** psychofunctional status, students, physiometric indices, physical development.

References

1. Bondarenko A. V. Gavrilova E. V., Healthy lifestyle and individual health of students, *Nauka-2020*, **47**, **2**, 175 (2021).
2. Borodina G. N., Mershalova A. A., Subbotin E. A., Trebushinina T. G., Fedina I. Yu., Assessment of the physical development of young conscripts in the Altai region, *Bulletin of Volgograd State Medical University*, **77**, **1**, 66 (2021).
3. Butych N. S., Mayurova I. A., Development of individual trajectories of students' health based on the assessment of physical condition of students, *Scientific Notes of P. F. Lesgaft University*, **216**, **2**, 47, (2023).
4. Esakov A. O., Cherkesov V. V., Kovalenko A. E. Health indicators that form psychophysiological adaptation in students of AGZ, *Fire and technosphere safety: problems and ways of improvement*, **9**, **2**, 119 (2021).
5. Zvyagina E. V. Evaluation of the relationship between psychological and physiological categories in the training process, *Scientific Bulletin of MSUSiT: sport, tourism, hospitality*, **70**, **4**, 125 (2021).
6. Kalyuzhny E. A., Mikhailova S. V., Maslova V. Yu. Application of the index method in assessing the physical development of students, *Physical therapy and sports medicine*, **121**, **1**, 21 (2014).
7. Karagodina A. M., Prytkova E. G., Zhegalov N. D. Assessment of the level of somatic health of first-year students during the period of adaptation to learning activities in a technical university, *Teachers XXI Century*, **3**, 170 (2020).
8. Klimov V. M. Lebedev A. V., Aizman R. I. Psychophysiological and personal characteristics of young men and girls of student age, *Bulletin of Psychophysiology*, **3**, 115 (2020).
9. Kolokoltsev M. M. Anthropometric and physiometric characteristics of young men aged 17–20 years of different variants of body development, *Modern problems of science and education*, **6**, 39 (2017).
10. Lotova N. K., Androsova M. I., Sergeeva K. K. Psychological features of the personality of a student of higher education, Problems of modern pedagogical education, **3**, **70**, 27 (2021).
11. Maltsev V. P., Govorukhina A. A., Malkov O. A. Features of intersystem interactions of morphotype and neurodynamics of students with different levels of weight and height index, *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, **3**, 123 (2022).
12. Seifulina G. V., Bicheva G. V., Drup V. D. Biorhythmological and psychophysiological status of students of pedagogical university, *Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Natural and technical sciences*, **5**, 27 (2022).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 55–68.

УДК 639+664

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-55-68

АНАЛИЗ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖЕЛУДКА У КРЫС ПРИ ВВЕДЕНИИ ПРОБИОТИКА

Джелдубаева Э. Р., Ярмолюк Н. С., Ржевская В. С., Макалиш Т. П., Туманянц К. Н., Аединова Д. З., Назырова Л. Э.

ФГАОУ ВО "Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация
E-mail: delviza@mail.ru

Данное исследование посвящено выявлению изменений морфометрических показателей слизистой желудка у крыс при введении новосинтезированного пробиотика с уникальными по составу компонентами в модели дисбиоза. Показано, что при введении пробиотика у животных на гистологических срезах пилорической части слизистой желудка отмечается увеличение покровного эпителия, уменьшение количества главных клеток и увеличение обкладочных и добавочных экзокриноцитов, также незначительное уменьшение толщины слизистой и рогового слоя пищеводного отдела желудка относительно соответствующих значений контрольной группы животных. У животных, подвергнутых комбинированному введению пробиотика и антибиотика отмечается резкое увеличение толщины покровного эпителия, а также уменьшение толщины железистого эпителия по сравнению с данными животных контрольной группы, что свидетельствует о защитных механизмах пробиотика.
Ключевые слова: пробиотик, дисбиоз, крысы, морфометрический показатель, пищеводная и пилорическая части слизистой желудка.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение новых микробных консорциумов пробиотиков в настоящее время является актуальной областью исследований в связи с растущей осведомленностью о важности микробиоты для здоровья человека, а также необходимостью разработки более эффективных и целенаправленных методов коррекции нарушений микробиома. Проблемы, связанные с микробиотой, включают воспалительные заболевания кишечника, аллергии и аутоиммунные заболевания, антибиотикоиндуцированные диареи, метаболические расстройства и пр. [1], т.е. с развитием дисбиотического состояния [2]. Реализована идея создания новых препаратов – биологически активных микробиотических консорциумов – пробиотиков (ПБ) [4]. Разработка мультиштаммовых и персонализированных ПБ открывает широкие перспективы для профилактики и лечения заболеваний, а также для улучшения общего состояния здоровья [3, 5, 6]. Накапливаются доказательства их более широкой функциональной активности: наряду со способностью нормализовать функции кишечной микрофлоры ПБ могут способствовать усилению

иммунитета, ослаблению проявлений пищевой аллергии, облегчать симптомы непереносимости лактозы, оказывать гипохолестеринемическое, антиканцерогенное и антимутагенное действие [7]. В последнее время появляются сообщения об обнаружении у некоторых штаммов антиоксидантных свойств [6].

Изучение влияния ПБ на состояние желудка представляет собой важное направление в современной гастроэнтерологии. Пробиотики имеют потенциал для профилактики и лечения различных заболеваний желудка, начиная от инфекционных и воспалительных процессов до функциональных расстройств и даже раковых заболеваний [8]. Рост понимания роли микробиоты желудка и развитие новых пробиотических препаратов делают эту область исследований особенно актуальной в контексте растущей распространенности гастроэнтерологических заболеваний и необходимости новых методов их терапии. Показано, что сбалансированность микробиоты может нарушаться «при превышении интенсивности негативных внешних воздействий над пороговыми значениями адаптационной системы организма» [9] и при сдвигах в метаболической активности самой микрофлоры желудка [10]. Одной из наиболее частых причин нарушений является воздействие на нее антибактериальными препаратами. С целью создания модели дисбиоза, антибиотико-индуцированного стресса у животных в экспериментах используют комбинированное применение пробиотика с антибиотиком широкого спектра, что позволяет оценить физиологические показатели при антибиотикотерапии.

В связи с вышеизложенным целью данной работы явилось выявить изменения пищевого потребления и морфометрических показателей желудка у крыс при введении тестируемого пробиотика в модели дисбиоза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа выполнялась в Центре коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» при кафедре физиологии человека и животных и биофизики в рамках программы исследований № АААА-А21-121011990099-6 «Физиологические механизмы биологического действия факторов разной природы и интенсивности» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского».

Эксперименты выполнены на белых половозрелых крысах-самках линии Wistar, которые были специально выведены для лабораторных исследований. Общая выборка животных составила 40 здоровых крыс, массой 220–240 г. Эксперимент проводился на крысах со средней двигательной активностью, низкой эмоциональной реакцией, определяемых в тесте «открытое поле», которых находилось большинство в популяции, вследствие чего у животных развивается типичная среднестатистическая реакция на действие различных раздражающих факторов, включая тестируемые химические соединения. Из общего количества отобранных крыс, было выделено четыре экспериментальные группы. Первой группе «Контроль» (К) в течение 14 дней путем зондирования вводили эквивалентный раствор физраствора. Второй грунппе «Пробиотик» (ПБ) интрагастрально вводили по 3 мл 1 % раствора пробиотика путём зондирования в

течение 14 дней. Третьей группе «Антибиотик» (АБ) вводили антибиотик «Доксициклин» в дозе по 5 мг/кг в течение 14 дней. Четвертой группе животных (АБ+ПБ) – вводили кобинированно антибиотик и пробиотик в течение 14 дней.

Синтез тестируемого пробиотика проводился на кафедре ботаники и физиологии растений и биотехнологий ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» под руководством Ржевской В. С. Микробный консорциум включал штаммы пробиотических микроорганизмов: *Lactobacillus parabuchneri* ВКМ В-3553D, *Lactobacillus plantarum* ВКМ В-3552D, *Lactobacillus acidophilus* ВКМ В-3563D, E*nterococcus faecium* ВКМ В-3551D, *Brettanomyces bruxellensis* ВКМ Y-3064D. Все штаммы микроорганизмов депонированы в Всероссийской коллекции микроорганизмов. Микробный консорциум получали путем совместного культивирования молочнокислых бактерий, энтерококка и дрожжей в жидкой питательной среде MRS следующего состава (г/л): пептон ферментативный – 10,0; экстракт пекарных дрожжей – 4,0; твин-80 – 1,0 мл; мясной экстракт – 8,0; глюкоза – 20,0; калий фосфорнокислый однозамещенный – 2,0; натрий уксуснокислый 3-водный – 5,0; аммоний лимоннокислый однозамещенный – 2,0; магний сернокислый 7-водный – 0,1; марганец хлористый 4-водный – 0,05; pH среды – 6,3; режим стерилизации: 0,75 атм, 20 мин. Культивирование микроорганизмов проводили в биореакторе Minifors 2 объемом 4 л (Minifors 2 HT, Швейцария) при температуре 32 °С и 50 об/ мин в течение 3-х суток. Учет численности микроорганизмов в консорциуме проводили методом предельных разведений. Биологическая концентрация бактерий микробного консорциума составила 1,3·109 КОЕ.

Животных выводили из эксперимента путем декапитации. Подготовка гистологического материала осуществлена в ЦКП «Молекулярная биология» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского». Гистологические препараты готовили в соответствие со стандартными методиками. Фиксировали фрагменты пищеводной части (cardiaca) и тела (corpus) желудка в 10 %-м забуференном формалине (pH 7,2) в течение 24 часов. После этого осуществляли дегидратацию и пропитку парафином в микроволновом гистологическом процессоре LOGOS (Mielstone, Италия) с использованием программы, рекомендованной производителем. Пропитанные парафином кусочки органов заливали в блоки, из которых изготавливали полутонкие срезы толщиной 4 мкм. Срезы окрашивали гематоксилином и эозином [11].

Гистопрепараты просматривали под микроскопом DM2000 с объективами Plan5x, 10x и 40x и фотографировали камерой DFC295 (Leica). Морфометрические измерения выполняли на микрофотографиях в программе ImageJ с использованием шкалы TS-M1 PW106011 (1div=0.01mm) stage micrometer, используя метод наложения точечных морфометрических сеток [12].

Выбор методов и приемов микроскопирования осуществлялся согласно рекомендациям, изложенным в учебном пособии Л. Д. Тимченко, В. Н. Вакулина [13]. Морфометрический анализ на светооптическом уровне включал подсчет количества главных, добавочных и обкладочных клеток на единицу фундальных желез слизистой оболочки, измерение толщины слизистого слоя пилорического

(железистого и покровного эпителия) и пищеводного (слизистой и рогового слоя) отделов и количество эпителиоцитов в желудочных ямках фундального отдела желудка крыс.

Согласно государственному стандарту РФ «ГОСТ 33216-2014, Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными, Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами, Правила оборудования помещений и организации процедур» – испытуемые животные содержались в адекватных условиях, в соответствии с тезисами вышеприведённого государственного норматива.

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены. Все процедуры, выполненные в исследованиях с участием животных, соответствовали этическим стандартам, утвержденным правовыми актами РФ, принципам Базельской декларации и рекомендациям этического комитета по биоэтике ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского» (протокол № 5 от 2022 г.).

Статистическую обработку и анализ материала проводили с помощью непараметрических методов, применение которых позволила проверка полученных данных на закон нормального распределения. Вычисляли среднее значение исследуемых величин, ошибку средней. Проводилась оценка достоверного уровня различий между экспериментальными группами по U-критерию Манна-Уитни. Достоверными показателями считаются показатели меньше $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При проведении морфологического исследования стенки желудка интактных крыс установлено, что ее строение соответствовало нормальному, с учетом особенностей данного вида [14]. Морфометрические показатели желудка находились в пределах нормативных значений (табл. 1).

При экспериментальном введении пробиотика у животных второй группы (ПБ) на гистологических срезах пилорической части желудка отмечается тенденция к увеличению показателей толщины слизистой оболочки на 2,33 %, покровного эпителия на 12,02 %, и толщины железистого эпителия на 1,04 % относительно соответствующих значений контрольной группы (табл. 1, рис. 1). У животных третьей группы (АБ) на модели дисбиоза при введении антибиотика отмечается выраженное уменьшение показателей на 14,80 %, 24,97 % ($p<0,05$) и 13,46 % соответственно относительно данных контрольной группы. У животных четвёртой группы (АБ+ПБ), подвергнутых комбинированному введению пробиотика и антибиотика отмечается резкое увеличение толщины покровного эпителия на 70,53 % ($p<0,05$), а также уменьшение толщины железистого эпителия на 12,38 % по сравнению с данными контрольной группы животных (табл. 1, рис. 1, 2).

Таблица 1.

Морфометрические показатели желудка крыс при изолированном и комбинированном ведения пробиотика и антибиотика

Показатели	Экспериментальные группы			
	К (1)	ПБ (2)	АБ (3)	ПБ+АБ (4)
Пилорическая части желудка				
Толщина слизистой оболочки, мкм	594,41±48,84	608,28±42,34	506,42±39,88*	577,73±36,15
Толщина покровного эпителия, мкм	68,73±8,43	76,98±14,43	51,57±10,99	117,20±18,79
Толщина железистого эпителия, мкм	525,61±71,05	531,08±40,74	454,85±47,21*	460,52±55,93*
Процентное соотношение экзокриноцитов				
Главные клетки	35,58±4,60	32,65±1,76	29,79±4,34*	36,11±3,15
Обкладочные клетки	26,59±1,81	26,89±1,82	39,37±3,32*	23,99±3,26
Добавочные клетки	37,83±3,44	40,46±3,49	30,84±4,98*	39,90±2,93
Количество эпителиоцитов в желудочных ямках	25,06±1,47	24,99±1,05	21,09±1,34*	24,32±1,28
Пищеводная часть желудка				
Толщина слизистого слоя, мкм	419,28 ±22,40	352,29±27,48	140,70±16,20*	242,87±20,48*
Толщина рогового слоя, мкм	130,44±15,45	116,06±11,90	86,27±18,23*	96,267±14,08

Примечание: Указаны средние ± стандартная ошибка средней, $p<0,05$ – достоверность различий по сравнению со значениями контрольной группы животных по U-критерию Манна-Уитни.

При выполнении анализа гистологических препаратов желудка крыс, подвергшихся моделированию дисбиоза (АБ), зарегистрированы дистрофические изменения однослойного призматического железистого эпителия с маленьким базофильным ядром и слабо эозинофильной цитоплазмой, они представлены высоко призматическими и уплощенными клетками, что выражается в виде локальных очагов десквамации покровного эпителия. В глубоких слоях слизистой оболочки, а также в мышечной пластинке и в подслизистой оболочке отмечается лейкоцитарная инфильтрация.

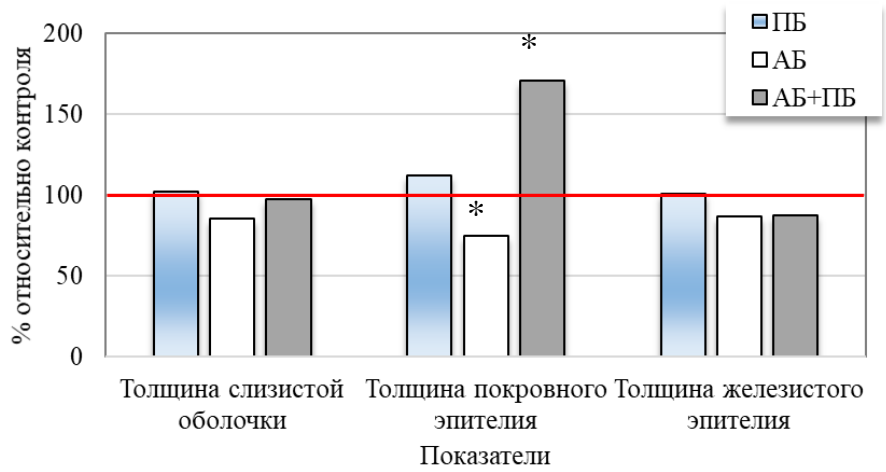


Рис. 1. Изменение толщины пилорической части желудка крыс при изолированном и комбинированном введении пробиотика и антибиотика (по сравнению с показателями крыс контрольной группы, принятых за 100 %).
Примечание: * – достоверность различий по сравнению со значениями контрольной группы животных по U-критерию Манна-Уитни.

Желудочные ямки на гистосрезах пилорического отдела желудка у крыс групп АБ и АБ+ПБ глубокие, длинные, заполненные слизью. Собственная пластинка слизистой оболочки отечна, отмечается лейкоцитарная инфильтрация на границе с мышечной частью данной оболочки. При этом визуализируются уменьшение мышечной оболочки и адвентиция, а также спазмирование кровеносных сосудов. Париетальные клетки значительно увеличены в размере. В желудочных железах определяется значительное укорочение шейки железы, являющейся выводным протоком и ведущей к дну желудочной ямки. Концевые отделы пилорических желез изменены: слизистые клетки полностью заполняют всю железу. Отмечаются очаги склероза, ведущие к деформации желудочных желез, а также к локальным некротическим изменениям. В подслизистой оболочке отмечается лейкоцитарная инфильтрация. Мышечная оболочка развита достаточно, отмечаются участки разрыхления гладкомышечных волокон.

Анализ количества эпителиоцитов в желудочных ямках фундального отдела выявил у животных второй (ПБ) и четвёртой (АБ+ПБ) групп, что данный показатель оставался на уровне значений контрольной группы, при этом у животных третьей группы (АБ) количество эпителиоцитов существенно уменьшилось на 15,84% ($p<0,05$) по сравнению с контрольными значениями (см. табл. 1). Это свидетельствует о повреждении слизистой оболочки желудка. Количество эпителиоцитов в желудочных ямках также может отражать скорость и эффективность процессов регенерации слизистой оболочки после повреждений или воспаления [15].

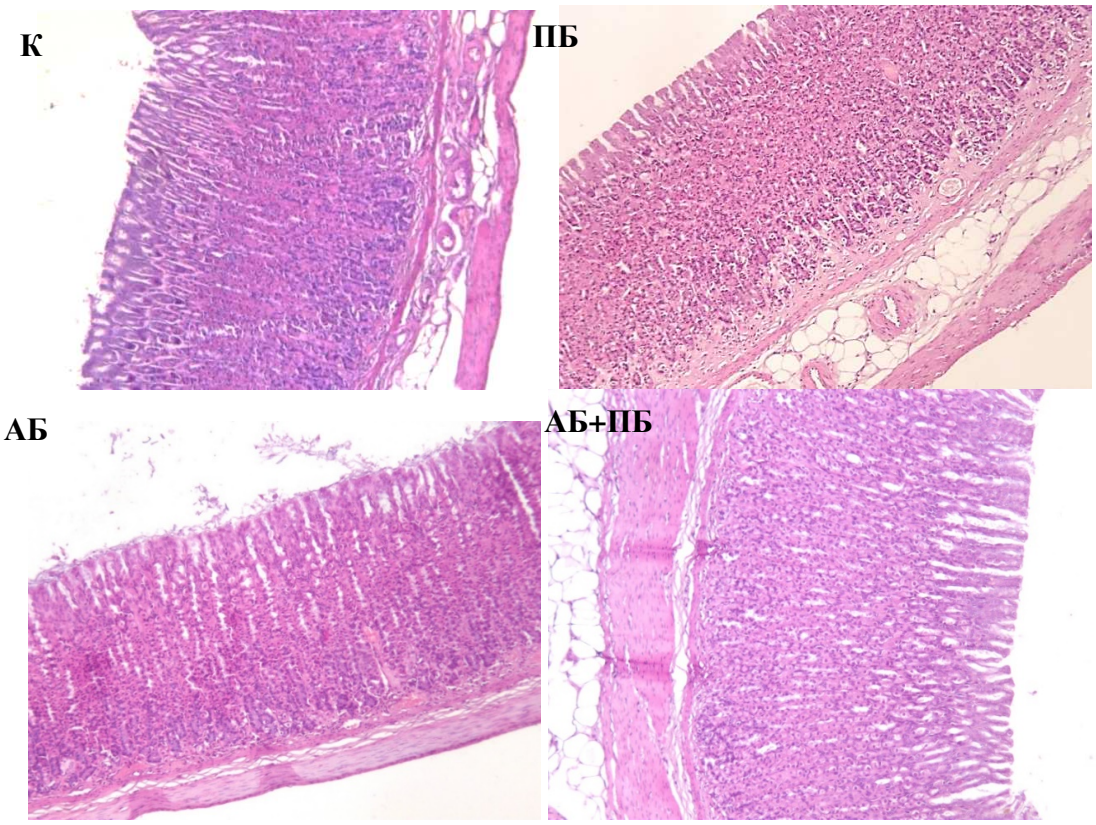


Рис. 2. Гистологические срезы пилорической части желудка крыс при изолированном и комбинированном введении пробиотика (ПБ) и антибиотика (АБ) (увел. х10).

При анализе процентного соотношения экзокриноцитов пилорической части желудка крыс выявлено, что у крыс второй группы (ПБ) зарегистрированы незначительные изменения относительно данных контрольной группы – уменьшение количества главных клеток на 8,23 % и несущественное увеличение обкладочных и добавочных клеток (см. табл. 1, рис. 3). Экзокриноциты несколько набухшие, ядра их полиморфны. Количество эпителиальных клеток уменьшилось по сравнению с контрольной группой.

У животных третьей группы (АБ) введение антибиотика вызвало значимое увеличение количества обкладочных клеток на 48,07 % ($p<0,05$) и уменьшение количества главных и добавочных клеток (на 16,29 ($p<0,05$) и 18,47 % ($p<0,05$)) относительно соответствующих значений в контроле. Визуализируются дистрофические изменения железистого эпителия с маленьким базофильным ядром и слабо эозинофильной цитоплазмой, они представлены высоко призматическими и

уплощенными клетками, что выражается в виде локальных очагов десквамации покровного эпителия.

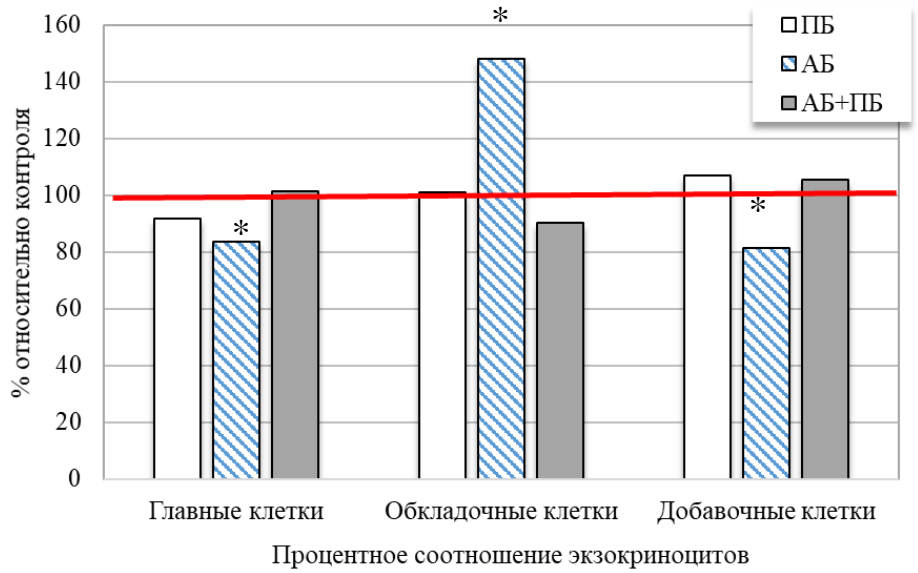


Рис. 3. Процентное соотношение экзокриноцитов пилорической части желудка крыс при изолированном и комбинированном введении пробиотика и антибиотика.
Примечание: * – достоверность различий по сравнению со значениями контрольной группы животных по U-критерию Манна-Уитни.

При комбинированном введении антибиотика и пробиотика у животных четвёртой группы (АБ+ПБ) зарегистрирована тенденция к увеличению главных и добавочных клеток и уменьшению количества обкладочных клеток на 9,81 % по сравнению с контрольными значениями.

Анализ пищеводной части желудка выявил у животных второй группы (ПБ), тенденцию к уменьшению толщины слизистого и рогового слоёв на 15,98 % и 11,02 % соответственно относительно значений контрольной группы (см. табл. 1, рис. 4, 5).

У животных третьей группы (АБ) отмечается резкое уменьшение данных показателей на 66,44 % ($p<0,05$) и 33,86 % ($p<0,05$) соответственно относительно контрольных значений. В эпителиальных пластах блестящий роговой слой определяется не четко и лишь в части препаратов. У крыс четвертой группы (АБ+ПБ) при комбинированном введении антибиотика и пробиотика отмечается уменьшение толщины слизистого и рогового слоев на 44,07 % ($p<0,05$) и 26,26 % ($p<0,05$) соответственно относительно данных контрольной группы (см. рис. 4, 5).

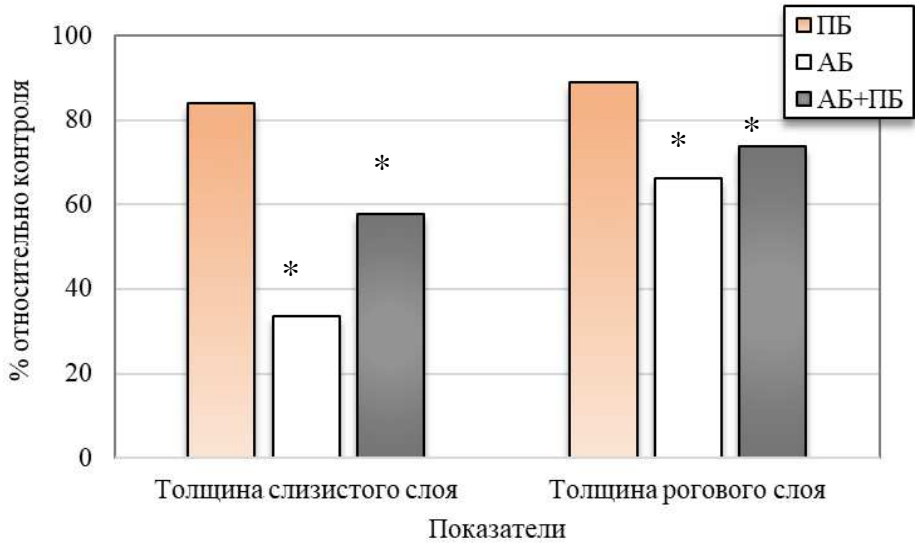


Рис. 4. Изменение толщины пищеводного отдела желудка крыс при изолированном и комбинированном введении пробиотика (ПБ) и антибиотика (АБ) (по сравнению с показателями крыс контрольной группы, принятых за 100 %).
Примечание: * – достоверность различий по сравнению со значениями контрольной группы животных по U-критерию Манна-Уитни.

Таким образом введение пробиотика вызвало незначительные изменения морфометрических показателей желудка. При этом толщина пилорической части желудка (слизистой оболочки, покровного эпителия и железистого эпителия) имела тенденцию к увеличению; процентное соотношение экзоцитов главных добавочных и обкладочных клеток оставалось на уровне контрольного значения, и толщина пищеводного отдела желудка (слизистого и рогового слоя) незначительно уменьшилась относительно контрольных значений. При моделировании дисбиоза с помощью антибиотика в слизистой желудка отмечается уменьшение толщины слизистого и рогового слоя пищеводного отдела желудка; увеличение количества обкладочных и уменьшение количества главных и добавочных экзоцитов пилорической части желудка, уменьшение эпителиоцитов в желудочных ямках фундального отдела и уменьшение толщины покровного эпителия в пилорической части желудка по сравнению со значениями у животных в контроле и при введении пробиотиков. При комбинированном введении антибиотика и пробиотика отмечаются менее выраженные изменения в толщине слизистого и рогового слоя пищеводной части желудка. Кроме того отношения экзокриноцитов, эпителиоцитов в железистых ямках также оставалось на уровне контрольных значений, в пилорической части желудка отмечается существенное увеличение толщины покровного эпителия, что свидетельствует о защитных механизмах пробиотика.

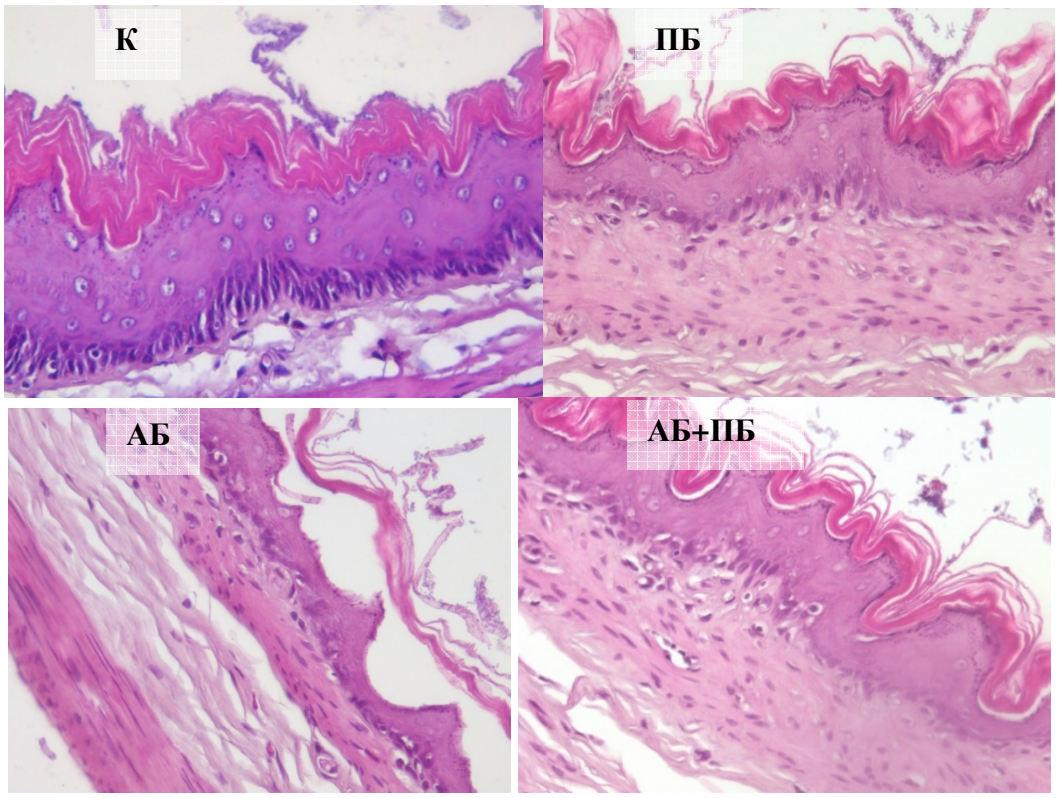


Рис. 5. Гистологические срезы пищеводной части желудка крыс при изолированном и комбинированном введении пробиотика (ПБ) и антибиотика (АБ) (увел. х40).

Так, изменение толщины слизистого покровного и железистого слоя пилорической и пищеводной частей желудка при введении антибиотика может указывать на то, что антибиотики, как правило, уничтожают бактерии, включая как патогенные, так и полезные виды, что приводит к дисбалансу или дисбиозу в составе микробиоты желудка, что в свою очередь может привести к изменениям в составе и функции слизистой оболочки [16]. Также антибиотики могут вызывать раздражение слизистой оболочки желудка, что может привести к изменениям в ее толщине. Это может быть связано с прямым токсическим воздействием антибиотиков или с изменениями в микробиоме, которые в свою очередь могут способствовать развитию воспалительных процессов. Вместе с тем, влияя на железистый слой слизистой оболочки, который ответственен за выработку слизи, антибиотики приводят к снижению секреции слизи, что в свою очередь может изменить толщину слизистой оболочки [17].

В целом, изменение в морфометрических показателях желудка при введении антибиотика может указывать на различные неблагоприятные эффекты антибиотиков на состояние желудочно-кишечного тракта.

Изменение толщины слизистого покровного и железистого слоя пилорической части желудка при комбинированном введении пробиотика и антибиотика выявило синергетический эффект – уменьшение негативных побочных эффектов антибиотиков на кишечную микрофлору, поддержание нормальной структуры и функций слизистой оболочки при сочетанном применении пробиотиков и антибиотиков. Так, изменение толщины слизистой пилорической и пищеводной частей желудка при введении пробиотика может свидетельствовать о способности к укреплению слизистого покрова и восстановлению эпителиального барьера при воздействии различных факторов, так как, например, антибиотико-индуцированный стресс, влияя на функции желудка. Кроме того, пробиотики влияют на состав и активность микробиоты желудка. Изменения в микробиоте могут влиять на состояние слизистой оболочки и приводить к изменениям в ее толщине. Эти изменения при введении пробиотика могут указывать на его положительное воздействие на состояние слизистой оболочки и функции желудка.

Таким образом, исследование эффективности новых микробиотных консорбциумов пробиотиков имеет значительную практическую значимость. С учетом роста проблемы антибиотикорезистентности и нежелательных побочных эффектов при длительном приеме антибиотиков, поиск альтернативных методов лечения и профилактики, таких как пробиотики, становится все более важным. Исследования новых пробиотиков позволяют определить оптимальный состав бактерий, их концентрацию и дозировку для максимальной эффективности в различных условиях, включая модели дисбиоза. Применение эффективных пробиотиков для восстановления микробиоты и профилактики заболеваний может способствовать улучшению здоровья населения, повышению эффективности лечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлены изменения морфометрических показателей пилорического и пищеводного отделов желудка у крыс при введении пробиотика как при изолированном введении, так и на фоне модели дисбиоза.
2. При введении пробиотика у животных на гистологических срезах пилорической части желудка отмечается увеличение покровного эпителия, уменьшение количества главных клеток и увеличение обкладочных и добавочных экзокриноцитов, незначительное уменьшение толщины слизистой и рогового слоя пищеводного отдела желудка относительно соответствующих значений контрольной группы животных.
3. У животных при введении антибиотика отмечается выраженное уменьшение толщины покровного и железистого эпителия пилорической части, количество эпителиоцитов; увеличение количества обкладочных клеток и уменьшение количества главных и добавочных клеток фундального отдела, резкое уменьшение слизистого и рогового слоев пищеводного отдела желудка относительно данных животных контрольной группы, что указывает на различные неблагоприятные эффекты антибиотиков на состояние желудочно-кишечного тракта.

4. У животных четвёртой группы, подвергнутых комбинированному введению пробиотика и антибиотика отмечается резкое увеличение толщины покровного эпителия на 70,53 % а также уменьшение толщины железистого эпителия на 12,38 % ($p<0,05$) по сравнению с данными животных контрольной группы, что свидетельствует о защитных механизмах пробиотика.

Работа выполнена на базе ЦКП «Экспериментальная физиология и биофизика» и ЦКП «Молекулярная биология» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»

Список литературы

1. Симаненко В. И. Опыт экспериментального и доклинического изучения аутопробиотиков / В. И. Симаненко [и др.] // Материалы Всероссийской конференции гастроэнтерологов Юго-Западного региона. – Ростов-на-Дону, 2009. – С. 83–87.
2. Амерханова, А.М. Роль пробиотических микроорганизмов в современных технологиях профилактической и восстановительной медицины и возможности повышения эффективности препаратов на их основе / А. М. Амерханова В.А. Алешкин, С.С. Афанасьев [и др.]. // Сборник «Новые лекарственные средства» – Москва: Медицина. – 2007. – Вып. 4. – С. 4–7.
3. Ардатская, М.Д. Пробиотики, пребиотики и метабиотики в коррекции микроэкологических нарушений кишечника / М. Д. Ардатская. – Москва: Медицина, 2015. – С. 94–99.
4. Sekendar, A. Probiotics and Postbiotics as an Alternative to Antibiotics: An Emphasis on Pigs / A. Sekendar // Pathogens. – 2023. – V.12 (7). – P. 874.
5. Jiang, He. Effect of probiotic supplementation on cognition and depressive symptoms in patients with depression: A systematic review and meta-analysis / Jiang He, Lemei Chang, Lange Zhang [et al.] // Baltimore. – 2023. – V. 24. – P.47.
6. Russo, F. Probiotics against neoplastic transformation of gastric mucosa: effects on cell proliferation and polyamine metabolism / F. Russo, M. Linsalata, A. Orlando // World J Gastroenterol. – 2014. – V. 20 (37). – P. 13258–13272.
7. Koga, Y. Microbiota in the stomach and application of probiotics to gastroduodenal diseases / Koga Y. //World J Gastroenterol. – 2022. – V. 28 (47). – P. 6702–6715.
8. Zachary, D. Effect of Probiotic Supplementation on Intestinal Permeability in Overweight and Obesity: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials and Animal Studies/ Zachary DiMattia// Adv Nutr. – 2024. – V.15. – P. 234–239.
9. Парфенов, А. И. Антибиотико-ассоциированная диарея / А. И. Парфенов [и др.] // Экспер. и клин. гастроэнтерол. – 2002. – № 5. – С. 92–95.
10. Успенский, Ю.П. Мировые тенденции к расширению сферы использования пробиотиков: актуальность применения средств на основе *Bacillus subtilis. Consilium Medicum* / Ю.П. Успенский, Н. В. Барышникова // Гастроэнтерология. – 2012. – № 4 (56). – С. 75–79.
11. Мустафина, Л. Р. Частный курс гистологии: учебное пособие: в 2 частях / Л. Р. Мустафина, А. В. Герасимов, А. В. Потапов [и др.]. – Томск: СибГМУ, 2022. – 169 с.
12. Мыцик, А.В. Использование программы ImageJ для автоматической морфометрии в гистологических исследованиях. / А.В. Мыцик // Омский научный вестник. – 2011. – №2 – С.187–189.
13. Тимченко, Л. Д. Основы микроскопической техники для биолога: учеб. пособие / Л. Д. Тимченко, В. Н. Вакулин. – Ставрополь: Изд-во СГУ, 2005. –164 с.
14. Самоделкин, Е. И. Гистологическая и гипсометрическая характеристики слизистой оболочки желудка интактных не инбредных белых крыс // Е. И. Самоделкин, П. В. Косарева, Л. А. Четвертных, О. В. Шинкарик [и др.] // Биология и экспериментальная медицина. – 2011. – № 2. – С. 108–113.
15. Кувенёва, М.Л. Структурные изменения слизистой, мышечной оболочки и подслизистой прослойки желудка крыс, возникающие под воздействием эпихлоргидрина / М.Л. Кувенёва, В.И.

Лузин, В.Н. Морозов, Е.Н. Морозова // Научные ведомости БелГУ. Серия Медицина. Фармация. – 2015. – № 16 (213). Вып. 31. – С. 225–229.
16. Wauters, L. Novel concepts in the pathophysiology and treatment of functional dyspepsia / L. Wauters, N.J. Talley, M.M. Walker, J. Tack, T. Vanuytsel // Gut. – 2020. – V. 69 (3). – P. 591–600
17. Шаргин, И. А. Влияние антибиотиков на кисломолочные бактерии / И. А. Шаргин, И. В. Лисеенко // Юный ученый. – 2015. – № 5. – С. 120–123.

ANALYSIS OF MORPHOMETRIC INDICES OF THE STOMACH IN RATS DURING PROBIOTIC ADMINISTRATION

Dzheldubaeva E. R., Yarmolyuk N. S., Rzhevskaya V. S., Makalish T. P., Tumanyants K. N., Aedinova D. Z., Nazirova L. E.

V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation
E-mail: delviza@mail.ru

The study of probiotic effects on gastric conditions represents an important direction in modern gastroenterology. Probiotics have the potential to prevent and treat a variety of gastric diseases, ranging from infectious and inflammatory processes to functional disorders and even cancer. The growing understanding of the role of the gastric microbiota and the development of new probiotic preparations make this area of research particularly relevant in the context of the increasing prevalence of gastroenterologic diseases and the need for new therapies. It is shown that the balance of microbiota can be disturbed "when the intensity of negative external influences exceeds the threshold values of the adaptation system of the organism" and when there are shifts in the metabolic activity of the gastric microflora itself. One of the most frequent causes of disorders is the impact of antibacterial drugs on it. In order to create a model of dysbiosis, antibiotic-induced stress in animals, combined use of probiotic with a broad-spectrum antibiotic is used in experiments, which allows us to evaluate physiological parameters during antibiotic therapy.

In connection with the above, the aim of this work was to reveal the changes in food intake and morphometric indices of the stomach in rats during administration of test probiotic in the model of dysbiosis.

Changes in morphometric parameters of the pyloric and esophageal sections of the stomach in rats during probiotic administration both at isolated administration and against the background of dysbiosis model were revealed.

At probiotic administration in animals on histological sections of the pyloric part of the stomach there is an increase in the covering epithelium, a decrease in the number of main cells and an increase in the lining and additional exocrinocytes, an insignificant decrease in the thickness of the mucosa and horny layer of the esophageal part of the stomach relative to the corresponding values of animals of the control group.

In animals under antibiotic administration there is a pronounced decrease in the thickness of the covering and glandular epithelium of the pyloric part, the number of epitheliocytes, an increase in the number of envelope cells and a decrease in the number of main and supplementary cells of the fundal section, a sharp decrease in the mucous and

horny layers of the esophageal section of the stomach relative to the data in animals of the control group, which indicates various adverse effects of antibiotics on the state of the gastrointestinal tract.

In animals of the fourth group, subjected to the combined administration of probiotic and antibiotic, there was a sharp increase in the thickness of the covering epithelium by 70.53%, as well as a decrease in the thickness of glandular epithelium by 12.38% ($p<0.05$) compared to the data in animals of the control group, indicating the protective mechanisms of probiotic

***Keywords*:** probiotic, dysbiosis, rats,morphometric index, esophageal and pyloric parts of gastric mucosa.

References

1. Simanenko V. I. [et al] Experience of experimental and preclinical study of autoprobiotics, Proceedings of the All-Russian Conference of gastroenterologists of the South-West region, 83 (Rostov-on-Don, 2009).
2. Amerkhanova A. M., Alyoshkin V. A., Afanasyev S. S. [et al]. The role of probiotic microorganisms in modern technologies of preventive and regenerative medicine and the possibility of increasing the effectiveness of drugs based on them, Collection "New drugs", **4**, 4 (Moscow: Medicine, 2007).
3. Ardatskaya M. D. *Probiotics, prebiotics and metabiotics in the correction of intestinal microecological disorders*, 94 (Moscow: Medicine, 2015).
4. Sekendar A. Probiotics and Postbiotics as an Alternative to Antibiotics: An Emphasis on Pigs, *Pathogens,* **12 (7)**, 874. (2023).
5. Jiang He, Lemei Chang, Lange Zhang [et al.] Effect of probiotic supplementation on cognition and depressive symptoms in patients with depression: A systematic review and meta-analysis, *Baltimore*, **24**, 47. (2023).
6. Russo F., Linsalata M., Orlando A. Probiotics against neoplastic transformation of gastric mucosa: effects on cell proliferation and polyamine metabolism, *World J Gastroenterol*, **20 (37)**, 13258 (2014).
7. Koga Y. Microbiota in the stomach and application of probiotics to gastroduodenal diseases, *World J Gastroenterol*, **28 (47)**, 6702 (2022).
8. Zachary D. Effect of Probiotic Supplementation on Intestinal Permeability in Overweight and Obesity: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials and Animal Studies, *Adv Nutr*., **15**, 234 (2024).
9. Parfenov A. I. [et al.] Antibiotic-associated diarrhea, *Expert. i klin. gastroenterol*., **5**, 92 (2002).
10. Uspensky Yu. P., Baryshnikova N. V. World tendencies to expansion of probiotics use sphere: relevance of application of means on the basis of Bacillus subtilis. Consilium Medicum, *Gastroenterology*, **4 (56)**, 75 (2012).
11. Mustafina L. R., Gerasimov A. V., Potapov A. V. [et al]. *Private course of histology: textbook: in 2 parts*, 169 (Tomsk: SibGMU, 2022).
12. Mytsik A. V. Using the ImageJ program for automatic morphometry in histological studies, *Omsk scientific bulletin*, **2**, 187 (2011).
13. Timchenko L. D., Vakulin V. N. *Fundamentals of microscopic technique for biologist: textbook*, 164 (Stavropol: SGU Publishing House, 2005).
14. Samodelkin E. I., Kosareva P. V., Chetvertnykh L. A., Shinkarik O. V. [et al.] Histological and hypsometric characteristics of the gastric mucosa of intact non-inbred white rats, *Biology and Experimental Medicine*, **2**, 108 (2011).
15. Kuvenyova M. L., Luzin V. I., Morozov V. N., Morozova E. N. Structural changes in the mucosa, muscle and submucosal layer of the rat stomach arising under the influence of epichlorohydrin, *Scientific Vedomosti BelGU. Series Medicine. Pharmacy*, **16 (213)**, **31**, 225 (2015).
16. Wauters L., Talley N. J., Walker M. M., Tack J., Vanuytsel T. Novel concepts in the pathophysiology and treatment of functional dyspepsia, *Gut*., **69 (3)**, 591 (2020).
17. Shargin I. A., Liseenko I. V. Effect of antibiotics on fermented milk bacteria, *Young Scientist*, **5**, 120 (2015).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 69–78.

УДК [796.056.1:796.017]:612.8
DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-69-78

ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СПОРТСМЕНОВ-ЭКСТРЕМАЛОВ НА ПОДГОТОВИТЕЛЬНОМ ЭТАПЕ

Жмурова Т. А., Рябцев С. М.

Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия
E-mail: tazhmurova@sevsu.ru

Цель работы – определить типологические особенности ВНД спортсменов-скайрангистов на подготовительном этапе. Так, до начала подготовительного этапа, характерным для обследуемых спортсменов являлось психоэмоциональное напряжение и состояние сердечно-сосудистой системы, не соответствующее оптимальному уровню функциональной деятельности. Особенности условий тренировочных занятий спортсменов-экстремалов, в комплексе с дыхательной гимнастикой, обуславливает оптимизацию функциональной работы сердца, что отразилось в снижении степени напряжения регуляторных механизмов, и характеризует снижение психоэмоционального напряжения, обусловленное степенью выраженности тревоги. Так, выявлено повышение количества спортсменов с более низкой личностной тревожностью, относительно фоновых значений психологического состояния.
Ключевые слова: спортсмены, экстремальный спорт. вариабельность ритма сердца, тревожность.

ВВЕДЕНИЕ

По данным литературных источников, количество спортсменов-экстремалов, за последнее десятилетие возросло в полтора раза, вместе с тем, экстремальная деятельность определяет рекреационно-оздоровительной вид отдыха, обуславливая факторы личностного совершенствования, развитие как физических, так и профессиональных качеств [1–4]. Как известно, экстремальность вида деятельности определена сочетанным воздействием на организм климатических условий среды и стресс-фактора, при этом, авторы отмечают значимость воздействия физических нагрузок на функциональную деятельность физиологических систем, в сочетание со сложными условиями среды [1, 5–7]. Вместе с тем, комплекс стресс-факторов экстремальных видов спорта обуславливает значимость стабильной работы психофункциональных систем и высокого уровня психофизиологических резервов, при этом, спортивный стресс обуславливает тренирующий эффект эустресса, тем самым определяя повышение мощности функциональной работы организма и высокий уровень возможностей адаптационных систем [8–10]. Так, анализ научно-исследовательской литературы определяет особенности психофизического состояния и возможности функциональных систем организма, в условиях влияния факторов экстремальных видов спорта, в зависимости от типологических особенностей высшей нервной деятельности обследуемых. Вместе с тем,

определена значимость индивидуально-типологических особенностей в учебно-тренировочном процессе, что обуславливает повышение спортивных результатов [1, 11]. Анализ данных научно-исследовательских работ, характеризующих особенности функциональных свойств нервной системы спортсменов, определяет наличие противоречивых и неоднозначных данных, характеризующих индивидуально-типологические особенности как спортсменов различных видов спорта, так и спортсменов-экстремалов, при этом, авторы отмечают недостаточность исследований, характеризующих индивидуально-типологические особенности функциональной деятельности нервной системы спортсменов, занимающихся экстремальными видами спорта [1, 6, 12–18].

Таким образом, актуальность проведения настоящего исследования определена необходимостью выявления типологических особенностей высшей нервной деятельности спортсменов-экстремалов и обусловлена особенностями условий тренировочного процесса спортсменов-скайрангистов.

На основании вышеизложенного, цель работы – определить типологические особенности ВНД спортсменов-экстремалов, в условиях воздействия на организм экстремальных факторов при занятиях скайранингом, на подготовительном этапе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В настоящем исследовании принимали участие 21 студент в возрасте 20–22 лет (22,1±0,3л), основной группы здоровья, занимающихся в спортивной секции «скайранинг» в течение трех лет. Планирование тренировочного процесса занятий скайранигом предусматривало в подготовительном периоде 18 недель, с включением 3–х занятий в неделю по 120 минут. В основной части занятий тренировка проводилась в умеренной зоне мощности и включала общефизическую и специальную беговую подготовку по пересеченной местности в условиях среднегорья, в заключительной части применяли статические дыхательные упражнения. Исследования проводились на базе ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», в условиях научной лаборатории психофизиологических и функциональных исследований, в соответствие с действующим СанПиН. Для достижения поставленной цели проводили исследования спортсменов до начала (фоновые значения) и по завершению (контрольные значения) подготовительного этапа. С целью оценки психофизиологического и функционального состояния спортсменов применяли общепринятые методики используемых аппаратно-программных комплексов «НС-Психотест», «Поли-Спектр.NET» с применением кардиорегистратора «Поли-Спектр-8/ЕХ» (ООО «Нейрософт», Россия) (табл. 1).

Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы оценивали на основании показателей экспресс-метода вариабельности ритма сердца [19, 20]. Регистрация ЭКГ проводилась с 9 до 12 часов, после 5минут отдыха, в положении лежа на спине. В качестве функциональной пробы проводили клиноортостатическую пробу в течение 10 минут.

С помощью пакета стандартных статистических программ Statistica 6.0 выполнялась обработка накопленной базы данных с определением среднего

арифметического (X), стандартной ошибки (Sx). Для оценки достоверности различий использовались стандартные значения t - критерия Стьюдента.

Таблица 1

Методики оценки психофизиологического и функционального состояния сердечно-сосудистой системы спортсменов, занимающихся экстремальным видом спорта

Методика	Характеристика методик	Аппаратно-программный комплекс
Оценка психофизиологического состояния		
Опросник Ч.Д. Спилбергера	- оценка уровня тревожности человека как личностной характеристики и как психического состояния.	Программа «НС-Психотест.NET» (ООО «Нейрософт»)
Оценка функционального состояния		
Вариабельность ритма сердца (ВРС)	- оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы	«Поли-Спектр.NET» (ООО «Нейрософт»)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ данных оценки уровня тревожности, полученных до начала подготовительного этапа по опроснику Ч. Д. Спилбергера-Ханина, выявил характерным для всех обследуемых спортсменов низкий уровень (29 баллов) ситуативной тревожности, при этом, оценка личностной тревожности определяет низкий (30 баллов) и средний (39 баллов) уровень тревожности в 60 % и 40 % всех случаев, соответственно. Интерпретация результатов по методике Ч. Д. Спилбергера-Ханина на момент обследования, определяет текущее психологическое состояние обследуемых спортсменов в соответствие с его обычным состоянием. Как известно, состояние психологического комфорта определяет уровень функционального состояния систем организма, при этом, нервно-психическая напряженность обуславливает процессы дестабилизации нейрогуморальной регуляции и функциональной деятельности систем [21].

Так, анализ фоновых значений показателей экспресс-метода вариабельности ритма сердца обследуемых соответствует нижней границе оптимального состояния автономного контура регуляции ритма сердца, и обуславливает вегетотип с умеренным его преобладанием в механизмах регуляции функциональной деятельности сердечно-сосудистой системы, что определено уменьшением разброса длительностей вариационного размаха кардиоинтервалов и значением показателя стресс-индекса (128,1 у.е.), и характеризует преобладание активности центральных механизмов регуляции над автономными [20] (табл. 2).

Таблица 2

Фоновые и контрольные значения показателей вариабельности ритма сердца спортсменов-экстремалов на подготовительном этапе (экспресс-метод)

Значение	Показатель					
	Фоновые значения			Контрольные значения		
	MxDMn (мс)	VLF (мс)	SI (у.е.)	MxDMn (мс)	VLF (мс)	SI (у.е.)
X	0,311	604,6	128,1	0,471***	1106,2***	92,8**
Sx	0,91	113,3	9,4	1,2	124,1	7,3

Примечание: X – среднее значение показателя; Sx – ошибка среднего значения;
* – достоверность значений p ≤ 0,05; ** – достоверность значений p ≤ 0,01; *** – достоверность значений p ≤ 0,001

При этом, значение показателя «очень» низкочастотной составляющей спектра определяет психофизиологическое напряжение обследуемых спортсменов. Особенности условий тренировочных занятий спортсменов, занимающихся скайранингом, в сочетание с дыхательной гимнастикой, обуславливает оптимизацию функциональной деятельности сердечно-сосудистой системы обследуемых, что отразилось в изменении значений показателей вариабельности ритма сердца обследуемых (рис. 1).

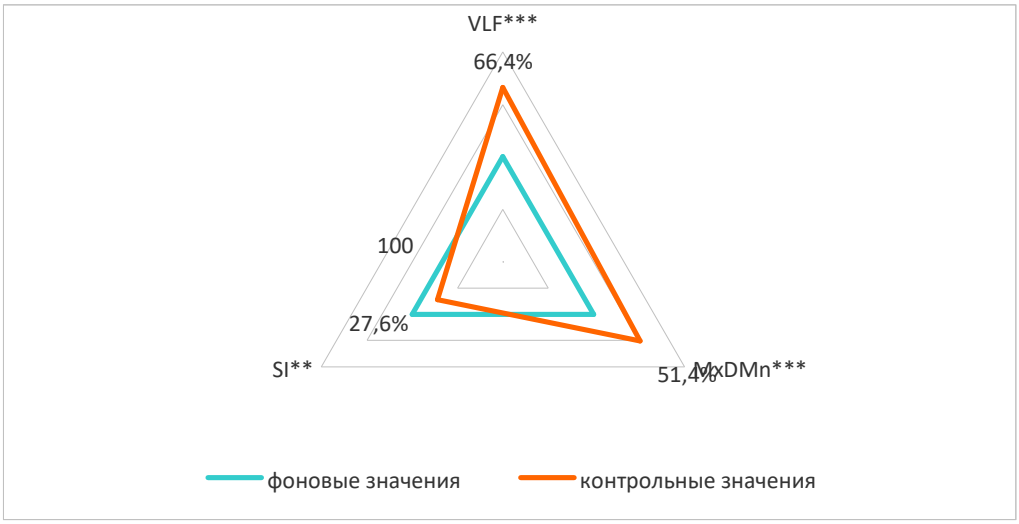


Рис. 1. Показатели вариабельности ритма сердца экспресс-метода обследуемых спортсменов по завершению подготовительного этапа, относительно фоновых значений (%)

Примечание: * – достоверность значений p ≤ 0,05; ** – достоверность значений p ≤ 0,01; *** – достоверность значений p ≤ 0,001

Таким образом, анализ данных вариабельности ритма сердца обследуемых спортсменов, полученных по завершению подготовительного этапа, характеризует вегетотип с умеренным преобладанием автономного контура регуляции сердечного ритма, и соответствует диапазону значений верхней границы оптимального состояния автономного контура, тем самым обуславливая расширение функционального резерва и повышение мощности функциональной работы сердечно-сосудистой системы. Так, повышение значения показателя вариационного размаха кардиоинтервалов (51,4 %, $p \leq 0{,}001$), определяет уменьшение степени напряжения регуляторных систем (27,6 %, $p \leq 0{,}01$). При этом, повышение значения показателя мощности «очень» низкочастотной составляющей спектра, характеризующей активность симпатического отдела вегетативной нервной системы (66,4 %, $p \leq 0{,}001$), обусловлен увеличением мощности спектральных компонентов вариабельности ритма сердца обследуемых, что согласуется с данными литературных источников [20, 22].

Как известно, оптимум функционального состояния организма, обусловленный соматическими параметрами физиологических систем, определяет особенности функционирования нервной системы. Так, при оценке ситуативной тревожности у обследуемых, в соответствие со значениями баллов опросника Ч. Д. Спилбергера-Ханина, выявлено снижение значения показателя до 22 баллов (24,2 %, $p \leq 0{,}01$). При оценке личностной тревожности у обследуемых спортсменов выявлено соответствие низкому (25 баллов) и среднему (31 балл) уровню в 72 % и 28 % всех случаев, соответственно, при этом определено повышение доли количества обследуемых с низким уровнем личностной тревожности на 20 % ($p \leq 0{,}05$), отмечено снижение на 30 % ($p \leq 0{,}01$) доли количества спортсменов с личностной тревожностью среднего уровня, относительно фоновых значений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для обследуемых спортсменов-экстремалов, до начала подготовительного этапа, характерным для всех обследуемых является соответствие текущего психологического состояния низкому уровню ситуативной тревожности. При этом, в 60 % всех случаев для обследуемых спортсменов характерным явился низкий уровень личностной тревожности, в 40 % всех случаев обследования спортсменов выявлен средний уровень личностной тревожности. Вместе с тем, уровень тревожности определяет психофизиологическое напряжение обследуемых, что отразилось в значениях показателей вариабельности ритма сердца спортсменов. Так, характерным для обследуемых явилось уменьшение вариационного размаха кардиоинтервалов, показатель «очень» низкочастотной составляющей спектра определяет психоэмоциональное напряжение, тем самым обуславливая степень напряжения регуляторных систем организма.
2. Особенности условий тренировочных занятий спортсменов, занимающихся скайранингом, в сочетание с дыхательной гимнастикой, обуславливает физиологический оптимум функционального состояния организма и определяет изменения индивидуально-типологических характеристик ВНД,

обусловленное функционированием нервной системы. Так, характерным для обследуемых спортсменов является соответствие диапазону верхней границе оптимального состояния автономного контура, что обусловлено повышением показателя вариационного размаха кардиоинтервалов до значения 0,471±1,2 мс (51,4 %, $p \leq 0{,}001$), относительно фоновых значений. При этом, показатель степени напряжения регуляторных систем снизился на 27,6 % ($p \leq 0{,}01$) и достиг значения 92,8 у.е. При этом, повышение показателя мощности «очень» низкочастотной составляющей до значения 1106,2 мс (66,4 %, $p \leq 0{,}001$), относительно фоновых значений, что определяет снижение психоэмоционального напряжения обследуемых спортсменов. Вместе с тем, анализ данных психофизиологического обследования спортсменов, по завершению подготовительного этапа, определяет характерным для всех обследуемых спортсменов низкий уровень ситуативной тревожности, при этом отмечено снижение показателя на 24,2 % ($p \leq 0{,}01$), относительно фоновых значений. При этом, выявлено повышение количества спортсменов с более низкой личностной тревожности на 20 % ($p \leq 0{,}01$), относительно психологического состояния обследуемых спортсменов до начала подготовительного этапа.

Список литературы

1. Woodman T. Motives for participation in prolonged engagement high-risk sports: An agentic emotion regulation perspective / Woodman T., Hardy L., Barlow M., Scanff C. Le. // Psychology of Sport and Exercise. – September, 2010. – Volume 11, Issue 5. – P. 345–352.
2. Brymer E. The search for freedom in extreme sports: A phenomenological exploration / Brymer E., Schweitzer R. // Psychology of Sport and Exercise. – November, 2013. – Volume 14, Issue 6. – P. 865–873.
3. Рябцев С. М. Исследование влияния краткосрочной высокогорной рекреации на показатели вариабельности сердечного ритма отдыхающих / С. М. Рябцев // Фундаментальные исследования. – 2007. – № 5. – С. 89–90.
4. Новикова О. В. Социально-психологические особенности людей, предпочитающих экстремальные виды отдыха / О. В. Новикова, О. Е. Ляпунова // Психология и современный мир: материалы всероссийской научн. конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Архангельск: САФУ, 2015. – Вып. 8, ч. 1 – С. 32–37.
5. Агаджанян Н. А. Особенности реакции организма горных туристов на воздействие различных экстремальных факторов / Н. А. Агаджанян, А. Н. Кислицын // Вестник восстановительной медицины. – М.: Изд-во ВЦМК «Защита», 2005. – №2. – С. 29–31.
6. Корягина Ю. В. Хронобиологические особенности спортсменов при различных физических нагрузках, тренировочных циклах и условиях среды / Ю. В. Корягина, Г. Н. Тер-Акопов // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2017. – № 5 (143). – С. 29–33.
7. Рябцев С. М. Характеристика психофизиологических реакций и функционального состояния организма человека в условиях кратковременной физической рекреации / С. М. Рябцев, Т. А. Жмурова // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2023. – № 5 (219). – С. 330–336.
8. Тер-Акопов Г. Н. Факторы увеличения резервных возможностей спортсменов в период высотной акклиматизации / Г. Н. Тер-Акопов, Ю. В. Корягина // Современные вопросы биомедицины. – 2018. – Т. 2, № 1 (2). – С. 5–11.
9. Виру А. А. Гормональные механизмы адаптации и тренировки / А. А. Виру. – Ленинград : Наука : Ленингр. отд-ние, 1981. – 155 с.
10. Пухняк Д. В. Оценка повышения уровня стрессоустойчивости парашютистов в процессе тренировок / Д. В. Пухняк, А. Н. Мингалев, В. Г. Абушкевич // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 5. – С. 154–158.

11. Родионов А. В. Проблемы психологии спорта / А. В. Родионов // Теория и практика физической культуры. – 2006. – № 6. – С. 43–45.
12. Ильин Е. П. Психология спорта / Е. П. Ильин. – СПб.: Питер, 2009. – 352 с.
13. Базанова В. В. Проявление типа темперамента в спортивной деятельности велосипедистов, специализирующихся в велоспорте маун-тинбайк / В. В. Базанова, А. А. Залиханова // Рудиковские чтения. – 2019. – С. 51–55.
14. Жмурова Т. А. Оценка психофизиологического и функционального состояния организма студентов, занимающихся рекреационным скалолазанием / Т. А. Жмурова, С. М. Рябцев // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2024. – Том 10 (76), № 1. – С. 76–86.
15. Литовченко О. Г. Влияние экстремальной деятельности на состояние эмоциональной напряжённости студентов-спортсменов / О. Г. Литовченко, А. А. Семенова, Б. П. Яковлев // Спортивный психолог. – 2016. – № 3 (42). – С. 67–71.
16. Нопин С. В. Типологические особенности свойств нервной системы у высоко-квалифицированных спортсменов различных видов спорта / С. В. Нопин, Ю. В. Корягина // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 2.
17. Павленкович С. С. Типологические особенности темперамента и свойства нервной системы студентов командных и индивидуальных видов спорта в условиях соревновательной деятельности / С. С. Павленкович, Т. А. Беспалова, Л. К. Токаева, И. В. Смышляева // Физическая культура, спорт-наука и практика. – 2018. – № 2. – С. 110–116.
18. Пушкина В. Н. Индивидуально-психологические характеристики лиц, занимающихся экстремальными видами спорта / В. Н. Пушкина, А. Н. Зелянина, Н. В. Оляшев // Мир науки. – 2016. – Т. 4, № 3. – С. 1–11.
19. Вариабельность сердечного ритма: стандарты измерения, физиологической интерпретации и клинического использования / Рабочая группа Европейского кардиологического общества и Североамериканского общества стимуляции и электрофизиологии. СПб.: Ин-т кардиол. техники, 2000. – 45 с.
20. Шлык Н. И. Экспресс-оценка функциональной готовности организма спортсменов к тренировочной и соревновательной деятельности (по данным анализа вариабельности сердечного ритма) / Шлык Н. И. // Наука и спорт: современные тенденции. – 2015. – Т. 9, №. 4. – С. 5–15.
21. Левитов Н. Д. О психических состояниях человека / Н. Д. Левитов. –М. : Просвещение, 1964. – 343 с.
22. Гаврилова Е. А. Спорт, стресс, вариабельность : монография / Е. А. Гаврилова. – М. : Спорт, 2015. – 168 с.

TYPOLOGICAL FEATURES OF THE HIGHER NERVOUS ACTIVITY OF EXTREME ATHLETES AT THE PREPARATORY STAGE

Zhmurova T. A., Ryabtsev S. M.

Sevastopol State University, Sevastopol, Russia
E-mail: tazhmurova@sevsu.ru

According to literary sources, the number of extreme athletes has increased one and a half times over the last decade, at the same time, extreme activity determines the recreational and recreational type of recreation, causing factors of personal improvement, the development of both physical and professional qualities. The complex of stress factors of extreme sports determines the importance of stable operation of psychofunctional systems and a high level of psychophysiological reserves, while sports stress causes the training effect of eustress, thereby determining an increase in the capacity of the

functional work of the body and a high level of adaptive systems capabilities. The analysis of research data characterizing the features of the functional properties of the nervous system of athletes determines the presence of contradictory and ambiguous data characterizing the individual typological characteristics of both athletes of various sports and extreme athletes, while the authors note the insufficiency of studies characterizing the individual typological features of the functional activity of the nervous system of athletes engaged in extreme sports. The purpose of the work is to determine the typological features of the GNI of extreme athletes, under the conditions of exposure to the body of factors of the extreme sport of skyrunning, at the preparatory stage. The present study involved 21 students aged 20–22 years (22.1±0.3 liters), the main health group engaged in the sports section "skyraning". The training sessions included general physical and special cross-country running training in mid-mountain conditions, in a moderate power load zone, with the inclusion of breathing exercises in the final part. To achieve this goal, studies of athletes were conducted before the start (background values) and at the end (control values) of the preparatory stage. In order to assess the psychophysiological and functional state of athletes, the generally accepted methods of the hardware and software complexes "NS-Psychotest", "Poly-Spectrum" were used.NET" using the cardioregistrator "Poly-Spectrum-8/EX" (LLC "Neurosoft", Russia). For the extreme athletes being examined, before the start of the preparatory stage, the interpretation of the results according to the method of C.D. Spielberger-Khanin at the time of the examination determines the current psychological state of the athletes being examined in accordance with his usual state. As is known, the state of psychological comfort determines the level of the functional state of the body's systems, while neuropsychic tension causes the processes of destabilization of neuro-humoral regulation and functional activity of the systems. Thus, a decrease in the variational range of cardiac intervals was characteristic for the subjects, the indicator of the "very" low-frequency component of the spectrum determines the psycho-emotional tension, thereby determining the degree of tension of the regulatory systems of the body. The peculiarities of the training conditions of athletes engaged in skyrunning, in combination with respiratory gymnastics, determines the optimization of the functional activity of the cardiovascular system The analysis of the data on heart rate variability of the examined athletes, obtained at the end of the preparatory stage, characterizes the vegetotype with a moderate predominance of the autonomous circuit of heart rate regulation, and corresponds to the range of values of the upper limit of the optimal state of the autonomous circuit, thereby causing the expansion of the functional reserve and an increase in the power of the functional work of the cardiovascular system. Thus, an increase in the value of the index of the variational range of cardiointervals (51.4 %, $p \leq 0.001$) determines a decrease in the degree of voltage of regulatory systems (27.6 %, $p \leq 0.01$). At the same time, an increase in the power index of the "very" low-frequency component of the spectrum characterizing the activity of the sympathetic department of the autonomic nervous system (66.4 %, $p \leq 0.001$) is due to an increase in the power of the spectral components of the heart rate variability of the subjects, which is consistent with the data of literary sources. As is known, the optimum functional state of the body, due to the somatic parameters of physiological systems, determines the functioning of the nervous system. Thus, the analysis of the data of

psychophysiological diagnostics obtained at the end of the preparatory stage, when assessing situational anxiety in the subjects, in accordance with the values of the points of the C.D. Spielberger-Khanin questionnaire, revealed a decrease in the value of the indicator to 22 points (24.2 %, $p \leq 0.01$). When assessing personal anxiety in the examined athletes, compliance with the low (25 points) and average (31 points) levels was revealed in 72 % and 28 % of all cases, respectively, while an increase in the proportion of subjects with a low level of personal anxiety was determined by 20 % ($p \leq 0.01$), a decrease by 30 % ($p \leq 0.001$) the proportion of the number of athletes with average personal anxiety, relative to background values.

***Keywords*:** athletes, extreme sports. heart rate variability, anxiety.

References

1. Woodman T., Hardy L., Barlow M., Scanff C. Le. Motives for participation in prolonged engagement high-risk sports: An agentic emotion regulation perspective. *Psychology of Sport and Exercise*, **1 (5)**, 345 (2010).
2. Brymer E., Schweitzer R. The search for freedom in extreme sports: A phenomenological exploration. *Psychology of Sport and Exercise*, **14 (6)**, 865 (2013).
3. Ryabtsev S. M. Investigation of the effect of short-term high-altitude recreation on the heart rate variability of vacationers, *Fundamental research*, **5**, 89 (2007). (In Russ).
4. Novikova O. V., Lyapunova O. E. Socio-psychological characteristics of people who prefer extreme types of recreation. *Psychology and the modern world: materials of the All-Russian scientific conference of students, postgraduates and young scientists,* **8 (1)**, 32 (Arkhangelsk: SAFU, 2015) (In Russ.).
5. Aghajanyan N. A., Kislitsyn A. N. Features of the reaction of the body of mountain tourists to the effects of various extreme factors. *Bulletin of restorative medicine,* **2**, 29 (2005). (In Russ.).
6. Koryagina Yu. V., Ter-Akopov G. N. Chronobiological features of athletes under various physical exertion, training cycles and environmental conditions. *Therapeutic physical education and sports medicine*, **5 (143)**, 29 (2017) (In Russ.).
7. Ryabtsev S. M., Zhmurova T. A. Characteristics of psychophysiological reactions and the functional state of the human body in conditions of short-term physical recreation. *Scientific notes of the P.F. Lesgaft University*, **5 (219)**, 330 (2023). (In Russ.).
8. Ter-Akopov G. N., Koryagina Yu. V. Factors of increasing the reserve capabilities of athletes during high-altitude acclimatization. *Modern issues of biomedicine*, **2**, **1 (2)**, 5 (2018). (In Russ.).
9. Viru A. A. *Hormonal mechanisms of adaptation and training*, 155 (Nauka, 1981).
10. Pukhnyak D. V. Assessment of increasing the level of stress resistance of parachutists during training. *Fundamental research*, **5**, 154 (2011) (In Russ.).
11. Rodionov A. V. Problems of sports psychology. *Theory and practice of physical culture*, **6**, 43 (2006). (In Russ.).
12. Ilyin E. P. *Psychology of sports,* 352 (St. Petersburg, 2009) (In Russian).
13. Bazanova V. V., Zalikhanova A. A. Manifestation of temperament type in sports activity of cyclists specializing in cycling temperament type in the sports activity of cyclists specializing in mountain biking. *Rudikovskie readings,* 51 (2019) (In Russ.).
14. Zhmurova T. A., Ryabtsev S. M. Evaluation of psychophysiological and functional state of the organism of students engaged in recreational climbing. *Scientific Notes of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky. Biology. Chemistry*, **10 (76)**, **1**, 76 (2024). (In Russ.).
15. Litovchenko O. G., Semenova A. A., Yakovlev B. P. Influence of extreme activity on the state of emotional tension of student-athletes. *Sport Psychologist*, **3 (42)**, 67 (2016). (In Russ.).
16. Nopin S. V., Koryagina Y. V. Typological features of the nervous system properties in highly qualified athletes of different sports. *Modern issues of biomedicine,* **7 (2)** (2023). (In Russ.).
17. Pavlenkovich S. S., Bespalova T. A., Tokaeva L. K., Smyshlyaeva I. V. Typological features of temperament and properties of the nervous system of students of team and individual sports in conditions of competitive activity, *Physical culture, sport-science and practice,* **2**, 110 (2018). (In Russ.).

18. Pushkina V. N., Zelyanina A. N., Olyashev N. V. Individual psychological characteristics of persons engaged in extreme sports, *The world of science,* **4 (3)**, 1 (2016) (In Russ.).
19. Heart rate variability: standards of measurement, physiologic interpretation and clinical use, Working group of the European Society of Cardiology and the North American Society of Stimulation and Electrophysiology. (St. Petersburg: Institute of Cardiol. technics, 2000).
20. Shlyk N. I. Express assessment of the functional readiness of the athletes' body for training and competitive activities (according to the analysis of heart rate variability). *Science and sport: modern trends,* **9 (4)**, 5 (2015) (In Russ.).
21. Levitov N. D. *On human mental states,* 343 (M.: 1964).
22. Gavrilova E. A. *Sport, stress, variability* : monograph, 168 (M. : 2015).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 79–91.

УДК 57.017.722
DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-79-91

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АПИПРОДУКТА «БИЛАР» ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ МИКРОГЕМОЦИРКУЛЯЦИИ СПОРТСМЕНОВ

Кротова К. А., Литвин Ф. Б.

Смоленский государственный университет спорта, Смоленск, Россия
E-mail: bf-litvin@yandex.ru

Целью настоящего исследования явилась оценка влияния продукта из трутневых личинок медоносной пчелы «Билара» на стационарные и колебательные характеристики системы микроциркуляции спортсменов. Методом лазерной допплеровской флоуметрии (ЛДФ) обследовано 50 спортсменов баскетболистов. Включение биопродукта «Билар» в пищевой рацион спортсменов на этапе предсоревновательного тренировочного цикла оказывает двоякий эффект. В состоянии относительного покоя биопродукт способствует экономизации в работе системы микроциркуляции. При дозированной аэробной нагрузке обеспечивает расширение адаптационных возможностей, через усиление перфузии, нутритивного кровотока и оптимизацию механизмов регуляции и повышение клеточного дыхания.
Ключевые слова: лазерная допплеровская флоуметрия, микроциркуляция, спортсмены, биопродукт, физическая нагрузка, колебания кровотока, транспорт кислорода.

ВВЕДЕНИЕ

К особенностям современного спорта относятся: ранняя спортивная специализация, нарастающие по объему и интенсивности физические нагрузки, ограниченное время на восстановление организма из-за перегруженного календаря спортивных соревнований. В своей совокупности указанные факторы являются причиной дизадаптационных процессов, которые приводят к снижению функциональных возможностей и спортивных результатов. Для полноценного восстановления организма во время многоразовых тренировок [1–3] необходимо поступление в организм пластического и энергетического материала [3, 4]. В спорте для повышения физической работоспособности и ускоренного восстановления используются разные способы и технологии, от разрешенных синтетических фармпрепаратов до природных эргогенных средств [4–7]. Следует учитывать, что продолжительное применение разрешенных фармакологических средств с целью повышения адаптационных возможностей снижает чувствительность регуляторных систем, что требует нарастающих доз и отрицательно сказывается на состоянии организма в целом [4]. Повышенный интерес у спортсменов вызывают нутриенты, способные повышать физическую работоспособность [8–11]. В последние годы в спортивное питание внедряется продукт, получаемый из трутневого расплода

медоносной пчелы под названием «Билар» [12–14]. Его актопротекторный эффект направлен на повышение физической работоспособности при выполнении большого объема работы, ускорение процессов восстановления после физической нагрузки.

Одной из систем, на уровне которой разворачиваются адаптационные процессы организма при воздействии физической нагрузки, является система микроциркуляции [15–18]. Оценивая адаптивные изменения в системе микроциркуляции можно получать ценную диагностическую информацию об обменных процессах при воздействии регулярных физических нагрузок. Имеется ограниченное количество научных работ, оценивающих влияние биологически активных добавок на микрогемоциркуляцию [6, 19]. Оптические методы в настоящее время являются наиболее перспективными с точки зрения разработки новых неинвазивных технологий для оценки состояния микроциркуляторно-тканевых процессов [20–22]. Одним из наиболее часто применяемых методов функциональной диагностики системы микроциркуляции является лазерная допплеровская флоуметрия (ЛДФ) [22, 23].

Проведя анализ имеющейся литературы, нами определена **цель исследования**, направленная на изучение влияния апипродукта «Билар» на состояние системы микроциркуляции у баскетболистов в возрасте 17–22 лет в мезоцикле тренировочного периода.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняло участие 50 баскетболистов в возрасте от 17 до 22 лет, имеющих спортивную квалификацию 1 разряд и КМС. Участники исследования были разделены на контрольную группу (КГ), численностью 20 юношей и основную группу (ОГ) численностью 30 юношей. Продолжительность эксперимента составила 21 день. С целью изучения влияния апипродукта «Билара» на работу системы микроциркуляции и транспорт кислорода испытуемые одни раз в день, утром натощак, принимали апипродукт. Схема приема следующая: 1–5 дни – 5 мг/1 кг массы тела; 6–10 дни – 10 мг/1 кг и 11–21 дни 15 мг/1 кг массы тела [12]. Порошок «Билар» (ООО МИП «Апипродукт», г. Брянск) получают методом вакуумного высушивания биомассы из трутневых личинок медоносной пчелы. Он не токсичен и не патогенен [24, 25]. В «Биларе» содержится 51 % белка, в состав которого входят заменимые и незаменимые аминокислоты, 42 % восстанавливающих сахаров, 3 % деценовых кислот, 10 % полиненасыщенных, 63 % мононенасыщенных и 27 % насыщенных жирных кислот; витамины К, Е, С, В, микроэлементы: натрий, калий, магний, кальций, цинк, медь и др Апипродукт содержит около 80 ферментов, гормоны тестостерон, прогестерон, пролактин, эстрадиол. Энерго- и иммуностимулирующие свойства позволяют использовать его в качестве актопротекторного препарата для повышения физической работоспособности, повышения устойчивости газового состава и кислотно-щелочного равновесия крови, повышению концентрации половых гормонов в крови [26]. Спортсмены контрольной группы принимали плацебо (пищевой крахмал) в тех же дозах. Интенсивность физических нагрузок в обеих группах была полностью одинаковой.

Обследования спортсменов обеих групп проводились трижды: исходное состояние оценивалось до начала приема апипродукта, второе исследование сразу после окончания приема апипродукта и третье исследование после дозированной физической нагрузки. Исследования проводились с использованием многофункционального лазерного неинвазивного диагностического комплекса «ЛАКК-М» (ООО НПП «ЛАЗМА»), включающего каналы, реализующие методы лазерной допплеровской флоуметрии (ЛДФ) и лазерной флуоресцентной спектроскопии (ФС). Метод ЛДФ позволяет оценить состояние микроциркуляторно-тканевых отношений, анализируя параметр микроциркуляции (ПМ), который пропорционален концентрации и скорости движения, рассеивающих свет форменных элементов крови, преимущественно эритроцитов, уровень флакса по показателю среднего квадратического отклонения (СКО). Известно, что уровень флакса характеризует изменчивость перфузии и отражает модуляцию тканевого кровотока с разными биоритмами, что позволяет судить о конкретных соотношениях различных механизмов, определяющих состояние микроциркуляции крови [27].

Дополнительные возможности при диагностике системы микроциркуляции дает проведение спектрального разложения ЛДФ-сигнала с помощью вейвлет-анализа. Такой подход делает возможным анализ осцилляций кровотока отражающих действие различных механизмов регуляции периферического кровотока в диапазоне частот от 0,0095 Гц до 1,6 Гц. В настоящее время выделяют частотные диапазоны, учитывающие влияние внутрисосудистых механизмов регуляции, а именно эндотелиальные в диапазоне 0.0095…0.02 Гц, отражающие NO-зависимые влияния; нейрогенные в диапазоне 0.021…0.046 Гц, отражающие влияние нейрогенной симпатической вазомоторной активности; миогенные в диапазоне 0.047…0.145 Гц, связанные с активностью гладкомышечных клеток сосудов; а также диапазоны, учитывающие вклад внесосудистых механизмов: дыхательные в диапазоне 0.2…0.4 Гц и пульсовые в диапазоне 0.8…1.6 Гц, модулирующих интенсивность артериолярного притока и венулярного оттока крови [21–23, 28]. Кроме того, анализ указанных ритмов позволяет рассчитать нутритивный кровоток (Мнутр) – тот объем кровотока, из которого в процессе транскапиллярного перехода извлекаются пластические и энергетические субстраты. Доля нутритивного кровотока в общем кровотоке рассчитывается по формуле Мнутр. = ПМ/ПШ, где ПМ – параметр микроциркуляции, ПШ - показатель шунтирования. Указанные выше параметры микроциркуляции оцениваются в относительных перфузионных единицах (пф. ед.). Уровень вазомоторной активности сосудов микроциркуляторного русла оценивали по коэффициенту вариации (Kv, %), который определяется как соотношение флакса к среднему уровню перфузии.

Метод ФС основан на зондировании биообъекта излучением в видимой или ультрафиолетовой области спектра с целью возбуждения эндогенных флуорофоров никотинамидадениндинуклеотида восстановленного (НАДН) и флавинадениндинуклеотида окисленного (ФАД), которые являются важными участниками энергетического метаболизма клеток. Их соотношения в виде редокс-отношения (Red) = НАДН/ФАД, в относительных единицах (отн. ед.) может быть

использовано для выявления метаболических процессов в микроциркуляторно-тканевых системах [29]. Измерения проводили на волярной поверхности 4 пальца правой кисти в положении сидя, правое предплечье на столе. Продолжительность записи лазерной допплеровской флуолограммы составила 5 минут.

Для оценки состояния регуляторных механизмов кровотока, выявления резервных возможностей в системе микроциркуляции, а также повышения достоверности и информативности диагностики методом ЛДФ применяются функциональные пробы, среди них и дозированная физическая нагрузка. В работе использовали аэробную нагрузку продолжительностью 10 минут из расчета 3 Вт/кг на велоэргометре «Kettler FX1». Частота вращения педалей – 60 оборотов в минуту.

Обработку базы данных производили с помощью приложения для работы с электронными таблицами Microsoft Excel. Данные представлены в виде M±m, где M – среднее арифметическое, а m – ошибка среднего арифметического. Нормальность распределения проверяли методом Колмогорова-Смирнова. Различия определяли с помощью непараметрического U-критерия Манна-Уитни для двух независимых выборок и считали их достоверными при $p<0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ динамики показателей микроциркуляции с применением ЛДФ-метрии до воздействия «Билара» у испытуемых ОГ и КГ свидетельствует об отсутствии статистически значимой разницы по изученным показателям. Принципиальные изменения в микроциркуляторно-тканевых отношениях произошли после трехнедельного приема «Билара». К важнейшим отличиям у баскетболистов основной группы следует отнести максимальный рост на 198 % ($p<0,05$) показателя нутритивного кровотока и уровня перфузии на 62 % ($p<0,05$) (таблица 1).

В литературе отмечается, что усиление нутритивного кровотока обеспечивается включением в работу плазматических капилляров. Непосредственным регулятором функционирующих капилляров выступают гладкомышечные клетки прекапиллярных сфинктеров терминальных артериол [27, 28, 30]. Из данных таблицы следует, что после воздействия «Билара», ведущим регулятором просвета терминальных артериол является миогенный тонус прекапиллярных сфинктеров. Поскольку величина Ам колебаний повышается на 78 % ($p<0,05$), уровень миогенного тонуса прекапиллярных артериол понижается. На этом фоне сравнительно меньший вклад в регуляцию внутрисосудистого кровотока вносит функциональная активность микрососудистого эндотелия, с недостоверным ростом на 4 % ($p>0,05$) Аэ колебаний. По всей видимости, физиологически активные вещества, содержащиеся в «Биларе» в недостаточной степени, влияют на сосудистый тонус нейрогенного происхождения, который формируется симпатическими адренергическими влияниями на гладкие мышцы среднего слоя стенки артериол. После воздействия «Билара» Ан колебаний недостоверно повышается на 34 % ($p>0,05$). Наряду с вовлечением в модуляцию потока крови внутрисосудистых механизмов отмечалось усиление внесосудистых механизмов, а именно, пульсовой и дыхательной волны. Снижение периферического сопротивления со стороны прекапиллярных сфинктеров «облегчает» приток крови в

микрососудистое русло, что подтверждает повышение на 69 % ($p<0,05$) амплитуды пульсовой волны и, как следствие, увеличение венулярного оттока с ростом Ад волны на 50 % ($p<0,05$). Поскольку, одним из маркёров миогенной активности считается показатель Kv [27], достоверный рост Kv на 77 % ($p<0,05$) дополнительно подтверждает доминирующее влияние миогенного тонуса на регуляцию тканевого кровотока. Усиление модуляции кровотока в изученных диапазонах отражается в росте показателя флакса на 120 % ($p<0,05$). Увеличение уровня флакса и Kv относительно исходных значений соответствующих показателей подтверждает улучшение микроциркуляции крови.

Таблица 1

Динамика показателей микроциркуляции при курсовом применении апипродукта «Билар» (M±m)

Показатели	Группа	До физической нагрузки		После физической нагрузки
		1 день	21 день	
ПМ, пф. ед.	КГ	12,20±1,94	13,51±2,10	11,83±1,74
	ОГ	11,91±1,88	19,25±3,15*	17,03±2,87**
СКО, пф. ед.	КГ	1,56±0,24	1,42±0,17	2,04±0,39
	ОГ	1,48±0,20	3,25±0,44*	4,11±0,71**
Kv, %	КГ	13,55±1,84	11,26±1,61	18,30±2,63
	ОГ	12,90±1,59	18,49±2,62*	25,04±4,04**
Мнутр. пф. ед.	КГ	1,96±0,16	2,99±0,16	3,21±0,28
	ОГ	1,85±0,18	5,52±0,34*	6,91±0,64**
Аэ, пф.ед.	КГ	15,11±2,14	15,36±2,01	16,29±2,25
	ОГ	15,77±1,86	16,37±2,40	20,48±2,60
Ан, пф. ед.	КГ	12,51±1,32	12,70±1,66	15,22±1,73
	ОГ	10,09±1,16	13,55±1,74	20,13±2,42*; **
Ам, пф. ед.	КГ	7,50±0,82	8,27±0,92	10,05±1,39
	ОГ	8,00±0,94	14,25±1,82*	18,68±2,16**
Ад, пф. ед.	КГ	2,91±0,27	3,56±0,38	4,03±0,45
	ОГ	2,70±0,20	4,04±0,46*	4,81±0,51
Ап, пф ед.	КГ	3,60±0,39	4,72±0,53	5,26±0,80
	ОГ	3,28±0,30	5,55±0,54	6,39±0,95
Red усл. ед.	КГ	1,73 ± 0,14	2,63 ± 0,25	2,44±0,24
	ОГ	1,88±0,16	3,51 ± 0,30*	2,02±0,17*

Примечание: * – достоверность различий ($p<0,05$) между показателями в группе; ** – достоверность различий показателей между группами.

Важным показателем работоспособности скелетных мышц является митохондриальная функция. По параметрам дыхательной цепи можно косвенно судить об уровне функциональной активности мышечных волокон, диагностировать состояние рабочей гипоксии. Характеристиками митохондриальной функции является соотношение коферментов НАДН и ФАД, которое рассчитывается по

интенсивности их флуоресценции [29, 31, 32]. Указанные коферменты являются неотъемлемой частью реакций клеточного метаболизма, выступая в качестве доноров и акцепторов электронов для синтеза молекул аденозинтрифосфата (АТФ), являющегося единственным источником энергии для жизненно важных биохимических процессов. Оба кофермента претерпевают реакции окисления и восстановления. Мониторинг их флуоресценции в виде редокс-потенциала используется для выявления метаболических изменений при воздействии биологически активных добавок [31, 32]. Увеличение амплитуды флуоресценции НАДН по сравнению с контролем отражает снижение утилизации субстрата и коферментов в исходном состоянии ткани, а, следовательно, и снижение активности окислительного метаболизма. И наоборот, повышение активности окислительного метаболизма сопровождается уменьшением амплитуды флуоресценции НАДН [33, 34]. После воздействия «Билара» в покое снижается уровень окислительного метаболизма, о чем свидетельствует рост на 33 % ($p<0,05$) показателя редокс-потенциала. На наш взгляд, в основе снижения метаболизма лежит усиление нутритивного кровотока, что способствует улучшению диффузии кислорода в ткани с последующим его участием в реакциях окислительного фосфорилирования. Удовлетворение потребностей рабочих органов в АТФ, снижает активность реакций с участием коферментов НАДН и ФАД [33–35]. В отличие от динамки показателей в основной группе, в группе контроля выявлено недостоверное повышение уровня перфузии и нутритивного кровотока на 11 % ($p>0,05$) и 53 % ($p>0,05$) соответственно.

Снижение функциональных возможностей микроциркуляторно-тканевых процессов сопровождается уменьшением показателей флакса и Kv. В контрольной группе отсутствуют достоверно значимые изменения показателей внутрисосудистых и внесосудистых механизмов модуляции кровотока. За время приема плацебо показатели Аэ, Ан, Ам, Ап и Ад колебаний тенденциозно повышаются на 2 %, 1 %, 10 %, 31 % и 22 % ($p>0,05$ во всех случаях). По данным анализа редокс-потенциала у спортсменов КГ сохраняется повышенная активность окислительного метаболизма. О вовлеченности в микроциркуляторно-тканевые процессы внутрисосудистых механизмов при реализации биологического действия «Билара» свидетельствуют данные, полученные при выполнении дозированной физической нагрузки. При этом кроме миогенного компонента дополнительно в регуляцию микрокровотока включается нейрогенный механизм. После физической нагрузки амплитуда миогенных колебаний повышается на 86 % ($p<0,05$) и на 32 % ($p<0,05$) нейрогенных колебаний относительно показателя в КГ. Снижение прессорных симпатических влияний на артериолы связано с формированием рабочей гипоксии после проведения дозированной физической нагрузки. Согласно положения о метаболической регуляции существует связь между течением крови и тканевым метаболизмом [36]. Клетки нуждаются в кислороде и постоянно производят продукты метаболизма, преимущественно сосудорасширяющие. Увеличение объемной скорости и фильтрации жидкости из капилляра достигается за счет увеличения артериального или уменьшения венозного давления, увеличения

радиуса капилляра (а соответственно, и площади обмена между капилляром и тканью) и проницаемости стенки капилляра [36].

Таким образом, избыток продуктов метаболизма в ткани вызывает расширение близлежащих микрососудов, увеличивает объем нутритивного кровотока и восполняет недостаток кислорода.

Особенностью динамики показателей микроциркуляции, отмечавшейся после дозированной физической нагрузки, в отличие от состояния относительного покоя явилось усиление различий между группами, достигающее статистически значимого уровня по большинству показателей. Так, у спортсменов ОГ после физической нагрузки регистрировалось повышение на 44 % ($p<0,05$) уровня перфузии и 115 % ($p<0,05$) нутритивного кровотока. Кроме того, в ОГ после физической нагрузки отмечается прирост Ам и Ан колебаний на 86 % ($p<0,05$) и 32 % ($p<0,05$) соответственно. По амплитуде эндотелий-зависимых, нейрогенных и миогенных колебаний можно судить о метаболических процессах в тканях [27, 37–39]. В частности, [39] предлагает использовать амплитуду миогенных колебаний в качестве маркёра адаптивных изменений при физических нагрузках. Как отмечает автор, увеличение амплитуды миогенного ритма отражает модуляцию гидростатического давления в капиллярах, что приводит к увеличению диффузии кислорода в ткани и, следовательно, к изменениям тканевого метаболизма. Увеличение показателей Ам и Ан колебаний, по всей видимости, и явилось причиной увеличения на 101 % ($p<0,05$) уровня флакса и на 37 % ($p<0,05$) коэффициента вариации относительно показателей в КГ.

Таким образом, результаты, полученные после физической нагрузки у спортсменов, принимающих «Билар», свидетельствуют об улучшении микроциркуляторно-тканевых процессов, обеспечивающих адекватное поступление энергетического и пластического субстрата к клеткам рабочих тканей. При выполнении мышечной работы возможности обеспечения кислородом отстают от растущей потребности рабочих органов, связанной с повышенным расходом энергии. В результате после физической нагрузки возникает рабочая гипоксия, так называемый кислородный долг, который устраняется во время отдыха. Бесспорно, рабочая гипоксия возникает у спортсменов обеих групп. Для устранения кислородного долга требуются дополнительные объемы кислорода, которые идут на окисление молочной кислоты и других продуктов метаболизма. Поскольку в ОГ в нутритивное звено направляется большой объем крови, содержащей кислород, в митохондриях протекают интенсивные окислительно-восстановительные процессы. В результате в ОГ после физической нагрузки относительно показателя до тестовой нагрузки величина редокс-потенциала достоверно снижается на 74 % ($p<0,05$). Гипоксия, возникающая у спортсменов во время тренировок, повышает биоэнергетическую эффективность митохондриальной дыхательной цепи и снижает симпато-адреналовую реактивность [40, 41]. У баскетболистов КГ под влиянием физической нагрузки также формируется рабочая гипоксия, однако из-за ограничения нутритивного кровотока реакции окислительного фосфорилирования выражены в меньшей степени. В частности, после физической нагрузки показатель

редокс-потенциала недостоверно снижается на 7 % ($p>0,05$) по сравнению с величиной до тестовой нагрузки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Курсовое воздействие «Билара» приводит к улучшению микроциркуляторно-тканевых процессов, что отражается в повышении общей перфузии и нутритивного кровотока, преимущественной вазодилатации прекапиллярных сфинктеров, увеличении количества функционирующих капилляров и оптимизации процессов окислительного фосфорилирования.
2. Особенностью реакции на тестовую физическую нагрузку после приема «Билара» является усиление тканевой микроциркуляции в результате снижения нейрогенного и миогенного тонусов, что улучшает клеточный метаболизм, направленный на устранение кислородного долга.

Список литературы

1. Влияние физических нагрузок разной направленности на показатели физической работоспособности и уровень максимального потребления кислорода у квалифицированных спортсменов в зависимости от периода тренировочного процесса / Н. П. Гарганеева [и др.] // Спортивная медицина: наука и практика. – 2019. – №2. – С. 30–38 .
2. Macdermid P. W. A whey-supplemented, high-protein diet versus a high-carbohydrate diet: effects on endurance cycling performance / Macdermid P. W., Stannard S. R. // International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism. – 2006. – 16. – P. 65–77.
3. Борисова О. О. Питание спортсменов: зарубежный опыт и практические рекомендации [Текст]: учеб.-метод. пособие / О. О. Борисова. – М.: Советский спорт, 2007. – 132 с.
4. Кулиненков О. С. Фармакологическая помощь спортсмену: коррекция факторов, лимитирующих спортивный результат / О. С. Кулиненков – Советский спорт; Москва, 2007. – 144 с.
5. Ким В. Н. Коррекция эндотелий зависимых нарушений микроциркуляции, биохимических показателей крови, уровня работоспособности, вегетативного и психоэмоционального статуса у юных и молодых спортсменов с использованием апифитопродукции» / В. Н. Ким, Г. Б. Кривулина, В. М. Шевелев, Р. С. Карпов, Р. Г. Хисматуллин, И. П. Хисматуллина, И. Г. Аксёнова, Е. Н. Долгова, Э. А. Вашкулатова // Бюл. сиб. медицины. – 2013. – Т. 12, №1. – С. 30–37.
6. Брук Т. М. Оценка реактивности системы микроциркуляции на физическую нагрузку при сочетанном применении природных биодобавок и НИЛИ у спортсменов с разными типами регуляции сердечного ритма / Т. М. Брук, Ф. Б. Литвин // Наука и спорт: современные тенденции. – 2023. –Т. 11, №2. – С. 6–14.
7. Новиков В. С. Функциональное питание человека при экстремальных воздействиях. / В. С. Новиков, В. Н. Каркищенко, Е. Б. Шустов – СПб.: Политехника-принт, 2017. – 346 с.
8. Hinton P. S. Iron and the endurance athlete. / Hinton P. S. // Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism. – 2014 – 39(9) – P. 1012–1018. doi: 10.1139/ apnm-2014-0147
9. Maughan R. J. International Association of Athletics Federations. The use of dietary supplements by athletes. / Maughan R. J., Depiesse F., Geyer H. // J Sports Sci – 2007. – 25 (Suppl 1) – S. 103–13. 10.1080/02640410701607395.
10. Potgieter S. Sport nutrition: A review of the latest guidelines for exercise and sport nutrition from the American College of Sport Nutrition, the International Olympic Committee and the International Society for Sports Nutrition / S. Potgieter // South African Journal of Clinical Nutrition. – 2013. – Vol. 26 (1). – P. 6–16.
11. Гаврилова Е. А. Спортивное питание – неотъемлемая составляющая спортивной подготовки / Гаврилова Е. А. – М:. 2021. – 48 с.

12. Прохода И. А. Новая технология производства биларпродуктов. / И. А. Прохода // Пчеловодство – XXI век. Пчеловодство, апитерапия и качество жизни: мат-лы Международ. конф. – М.: Пищепромиздат, 2010. – С. 191–193.
13. Литвин Ф. Б. Влияние препарата «Билар» на вегетативную регуляцию сердечного ритма юных спортсменов. / Ф. Б. Литвин, И. А. Прохода, Е. П. Морозова, С. В. Мартынов, С. С. Голощапова, В. В. Силуванов, М. А. Аверьянов // Ежегодник НИИ фундаментальных и прикладных исследований. – 2014. – (1 (5)) – С. 50–55.
14. Митрофанов Д. В. Применение трутнёвого расплода в рациональном питании и апитерапии. / Д. В. Митрофанов, Н. В. Будникова, А. З. Брандорф // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2021 – 22(2) – С. 188–203. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.188-203
15. Бабошина Н. В. Возрастные особенности формирования системы микроциркуляции, ее регуляторных механизмов и резервных возможностей в периоды младшего школьного, подросткового и юношеского возраста: автореф. Дисс. … канд. биол. наук. / Бабошина Н. В. – Ярославль, 2021. – 22 с.
16. Михайлов П. А. Структура взаимосвязей показателей аэробной работоспособности центральной гемодинамики, микроциркуляции и реологии крови / П. А. Михайлов, А. В. Муравьев, И. А. Осетров, И. А. Тихомирова // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2021. – Т. 20(1) – С. 84–90.
17. Литвин Ф. Б. Влияние биологически активной добавки на основе гомогената трутневых личинок на микроциркуляцию и обмен веществ у лыжников-гонщиков / Ф. Б. Литвин, Т. М. Брук, П. А. Терехов, И. А. Прохода, Д. Б. Никитюк, С. В. Клочкова // Спортивная медицина: наука и практика. – 2018. – Т. 8, № 3. – С. 88–95.
18. Дунаев А. В. Метод и устройство оценки функционального состояния микроциркуляторно-тканевых систем организма человека на основе мультипараметрической оптической диагностики / А. В. Дунаев // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. – 2020. – Т. 23, № 4. – С. 77–91.
19. Быков А. Т. Оценка влияния молочной ферментированной сыворотки на морфофункциональный статус и работоспособность спортсменов при интенсивных физических нагрузках / А. Т. Быков, Ф. Б. Литвин, В. В. Баранов, В. Я. Жигало, В. С. Зезюля // Вопросы питания. – 2016. – Т. 83, № 3. – С. 118–126.
20. Крупаткин А. И. Синхронизация миогенных осцилляций микрокровотока и изменений сатурации кислорода – проявление физиологической адаптации при стрессовых ситуациях / А. И. Крупаткин, В. В. Сидоров, А. В. Дунаев, Э. В. Рафаилов // Микроциркуляция и гемореология (от ангиогенеза до центрального кровообращения) IX Международная конференция (29 июня–2 июля, 2013). Ярославль. – Ярославль: Изд. ЯГПУ им К.Д. Ушинского, 2013. – С. 111.
21. Крупаткин А. И. Проблема адаптации и колебательные процессы в микроциркуляторном русле / А. И. Крупаткин В. В. Сидоров // Физиология человека. – 2016. – Т. 42, № 4. – С. 69–76.
22. Дунаев А. В. Мультимодальная оптическая диагностика микроциркуляторно-тканевых систем организма человека / А. В. Дунаев // Монография. – Старый Оскол. – ТНТ. – 2022. – 440 с.
23. Сидоров В. В. Система локальных анализаторов для неинвазивной диагностики общего состояния компартментов микроциркуляторно-тканевой системы кожи человека / В. В. Сидоров, Ю. Л. Рыбаков, В. М. Гукасов, Г. С. Евтушенко // Медицинская техника. – 2021. – № 6 (330). – С. 4–6.
24. Родичкин П. В. Регуляция моторных функций у спортсменов высокого класса и ее оптимизация с помощью адаптогенов, антигипоксантов и гипербарической оксигенации: дис. … докт. мед. наук / Родичкин Павел Васильевич. – СПб, 2004. – 321 с.
25. Vogel H. G., Drug discovery and evaluation pharmacological assays / H. G. Vogel // Springer. – 2008. – 2129 p.
26. Бурмистрова Л. А. Физико-химический анализ и биохимическая оценка биологической активности трутневого расплода: автореф. дисс. канд биол. наук / Л. А. Бурмистрова. – Рязань, 1999. – 22 с.
27. Козлов В. И. Оценка состояния микроциркуляции у детей 6–7 лет по данным лазерной допплеровской флоуметрии / В. И. Козлов, В. Н. Сахаров, О. А. Гурова, В. В. Сидоров // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2021. – №20(3). – С. 46–53.
28. Stefanovska A. Wavelet analysis of oscillations in the peripheral blood circulation measured by laser Doppler technique / A. Stefanovska, M. Bracic, H. D. Kvernmo Trans Biomed Eng. – 1999. – 46(10) – P. 1230–1239.

29. Bartolomé F. Measurement of mitochondrial NADH and FAD autofluorescence in live cells / F. Bartolomé, A. Y. Abramov // Mitochondrial Medicine. – 2015. – 1 – P. 263–270. Doi: 10.1007/978-1-4939- 2257-4_23.
30. Крупаткин А. И. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: Колебания, информация, нелинейность. / А. И. Крупаткин, В. В. Сидоров // Руководство для врачей. Изд. 2-е. – М.: ЛЕНАНД. – 2016. – 496 с.
31. Heikal A. Intracellular coenzymes as natural biomarkers for metabolic activities and mitochondrial anomalies / A. Heikal // Biomarkers in Medicine. – 2010. – Vol. 4, № 2. – P. 241–263.
32. Luo X. Roles of Pyruvate, NADH, and Mitochondrial Complex 1 in Redox Balance and Imbalance in Cell Function and Dysfunction / X. Luo, R. Li, L.-Jun. Yan // Diabetes Res. – 2015. – P. 1–8.
33. Карнаухов В. Н. Люминисцентный анализ клеток / В. Н. Карнаухов – Пущино, 2002. – 131 с.
34. Глаголева Е. Н. Оценка микроциркуляторно-тканевых систем после косметологических процедур, направленных на коррекцию возрастных изменений / Е. Н. Глаголева, В. В. Сидоров, Н. Д. Подоплекина, Д. Р. Файзуллина // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2020. – №19(3). – С. 25–30.
35. Самойлов В. О. Флуоресценция компонентов дыхательной цепи митохондрий в медицинской диагностике / В. О. Самойлов // Биофизика. – 2013. – Т. 58, Вып. 5. – С. 813–818.
36. Шабрыкина Н. С. Биомеханическая модель микроциркуляции и транскапиллярного обмена веществ. Дисс… канд. ф-м. наук. / Шабрыкина Н. С. – Саратов, 2008. – 159 с.
37. Власов Т. Д. Возможности аутофлуоресцентной органоскопии при ишемическом и реперфузионном повреждении тонкой кишки in vitro / Т. Д. Власов, О. В. Корнюшин, Г. В. Папаян // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2009. – №2(30). – С. 73–75.
38. Kvernmo H. D. Oscillations in the human cutaneous blood perfusion signal modified by endotheliumdependent and endothelium-independent vasodilators / H. D. Kvernmo, A. Stefanovska, K. A. Kirkebøen, K. Kvernebo // Microvascular research. – 1999. – Vol. 57, № 3. – P. 298–309.
39. Дунаев А. В. Метод оценки адаптивных изменений в микроциркуляторно-тканевых системах организма человека / Дунаев А. В. // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2020. – №4-1(342). – С. 88–99.
40. Katayama K. Intermittent hypoxia improves endurance performance and submaximal exercise efficiency / Katayama K., Matsuo H., Ishida K. et al. // High. Alt. Med. Biol. – 2003. – 4 (3). – P. 291–304.
41. Millet G. P. Combining hypoxic methods for peak performance / Millet G. P., Roels B., Schmitt L. et al. // Sports Med. – 2010. – Vol. 40. – P. 1–25.

PROSPECTS OF USING THE BILAR APIPRODUCT TO ENHANCE THE FUNCTIONALITY OF THE ATHLETES' MICROHEMOCIRCULATION SYSTEM

Krotova K. A., Litvin F. B.

Smolensk State University of Sports, Smolensk, Russian Federation
E-mail: bf-litvin@yandex.ru

The purpose of this study was to evaluate the effect of the product from the drone larvae of the honey bee "Bilara" on the stationary and oscillatory characteristics of the microcirculation system of athletes. 50 athletes of basketball players of the control and main groups were examined by laser Doppler flowmetry (LDF) and fluorescence spectroscopy (FS). The inclusion of the bioprodukt "Bilar" in the diet of athletes at the stage of the pre-competitive training cycle has a twofold effect. After applying Bilar, the

nutritional blood flow increases in a state of relative rest, the direct regulator of which is vasodilation of precapillary sphincters. A decrease in the peripheral resistance of precapillary sphincters "facilitates" blood flow into the microvascular bed with the participation of extravascular pulse and respiratory regulation mechanisms. At rest, after "Bilar", the level of oxidative metabolism decreases. In conditions of working hypoxia, activation of vasomotion and flaxmotion increases blood perfusion and the amount of nutritive blood flow. The increase in the intensity of microcirculation is based on a decrease in microvascular tone, which reflects an increase in the amplitude of intravascular mechanisms. Monitoring of fluorescence of NADH and FAD coenzymes in the form of a redox potential showed a significant increase in oxidative metabolism after dosed physical activity.

The analyzed data indicate the high relevance of the further introduction of drone brood preparations into the nutritional component of the athletes' diet, which will serve as a tool for improving the physical performance of athletes and accelerated recovery.

***Keywords*:** laser Doppler flowmetry, microcirculation, athletes, bioproduct, physical activity, fluctuations in blood flow, oxygen transport.

References

1. Garganeeva N. P. [and others], The influence of physical activity of different directions on indicators of physical performance and the level of maximum oxygen consumption in qualified athletes, depending on the period of the training process, *Sports medicine: science and practice*, **2**, 30 (2019).
2. Macdermid P. W., Stannard S. R. A whey-supplemented, high-protein diet versus a high-carbohydrate diet: effects on endurance cycling performance, *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, **16**, 65 (2006).
3. Borisova O. O. *Nutrition for athletes: foreign experience and practical recommendations [Text]: educational method*. Allowance, 132 (Soviet sport, Moscow, 2007).
4. Kulinenkov O. S. *Pharmacological assistance to an athlete: correction of factors limiting sports performance*, 144 (Soviet sport, Moscow, 2007).
5. Kim V. N., Krivulina G. B., Shevelev V. M., Karpov R. S., Correction of endothelium-dependent microcirculation disorders, biochemical blood parameters, level of performance, vegetative and psycho-emotional status in young and young athletes using apiphytoproducts, *Bull. Sib. Medicine*, **12**, 1, 30 (2013).
6. Brook T. M., Litvin F. B. Assessment of the reactivity of the microcirculation system to physical activity with the combined use of natural dietary supplements and LILI in athletes with different types of heart rate regulation, *Science and sport: modern trends*, **2**, 11, 6 (2023).
7. Novikov V. S., Karkishchenko V. N., Shustov E. B. *Functional human nutrition under extreme influences*, 346 (Politekhnika-print, St. Petersburg, 2017).
8. Hinton P. S. Iron and the endurance athlete. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, **39**, 9, 1012 (2014).
9. Maughan R. J., Depiesse F., Geyer H. International Association of Athletics Federations. The use of dietary supplements by athletes, *J Sports Sci*, **25**, 1 (2007).
10. Potgieter S. Sport nutrition: A review of the latest guidelines for exercise and sport nutrition from the American College of Sport Nutrition, *the International Olympic Committee and the International Society for Sports Nutrition,* **26**, 1, 6 (South African Journal of Clinical Nutrition, 2013).
11. Gavrilova E. A. *Sports nutrition is an integral component of sports training*, 48 (Moscow, 2021).
12. Prohoda I. A. *New technology for the production of bilar products. Beekeeping – XXI century.* Beekeeping, apitherapy and quality of life: materials International. conf. (Pishchepromizdat, Moscow, 2010), P. 191–193.

13. Litvin F. B. Prohoda I. A., Morozova E. P., Martynov S. V., The influence of the drug “Bilar” on the autonomic regulation of heart rate in young athletes. *Yearbook of the Research Institute of Fundamental and Applied Research*, **1**, 5, 50 (2014).
14. Mitrofanov D. V., Budnikova N. V., Brandorf A. Z. Application of drone brood in rational nutrition and apitherapy, *Agricultural science of the Euro-North-East*., **22**, 2, 188 (2021).
15. Baboshina N. V. *Age-related features of the formation of the microcirculation system, its regulatory mechanisms and reserve capabilities during the periods of primary school, adolescence and young adulthood: abstract of thesis*, Diss. ...cand. biol. Sci., 22 (Yaroslavl, 2021).
16. Mikhailov P. A., Muravyov A. V., Osetrov I. A., Tikhomirova I. A. Structure of relationships between indicators of aerobic performance of central hemodynamics, microcirculation and blood rheology, *Regional blood circulation and microcirculation*, **20**, 1, 84 (2021).
17. Litvin F. B.. Brook T. M., Terekhov P. A., Prohoda I. A. The influence of a dietary supplement based on drone larvae homogenate on microcirculation and metabolism in cross-country skiers, *Sports medicine: science and practice*, **18**, 3, 88 (2018).
18. Dunaev A. V. Method and device for assessing the functional state of microcirculatory tissue systems of the human body based on multiparametric optical diagnostics, *Izv. universities in Russia. Radioelectronics*, **23**, 4, 77 (2020).
19. Bykov A. T., Litvin F. B., Baranov V. V., Zhigalo V. Ya., Zezyulya V. S. Assessment of the influence of fermented whey on the morphofunctional status and performance of athletes during intense physical activity, *Nutrition issues*, **83**, 3, 118 (2016).
20. Krupatkin A. I., Sidorov V. V., Dunaev A. V., Rafailov E. V. *Synchronization of myogenic oscillations of microblood flow and changes in oxygen saturation – a manifestation of physiological adaptation in stressful situations,* Microcirculation and hemorheology (from angiogenesis to central circulation) IX International Conference (June 29–July 2, 2013), P. 111.
21. Krupatkin A. I., Sidorov V. V. The problem of adaptation and oscillatory processes in the microcirculatory bed, *Human Physiology*, **42**, 4, 69 (2016).
22. Dunaev A. V. *Multimodal optical diagnostics of microcirculatory tissue systems of the human body*, 440 (Monograph, Stary Oskol, 2022).
23. Sidorov V. V., Rybakov Yu. L., Gukasov V. M., Yevtushenko G. S. System of local analyzers for non-invasive diagnostics of the general condition of the compartments of the microcirculatory tissue system of human skin, *Medical technology*, **6**, 330, 4 (2021).
24. Rodichkin P. V., *Regulation of motor functions in high-class athletes and its optimization with the help of adaptogens, antihypoxants and hyperbaric oxygenation*, Dis. ... doc. honey. Sciences, 321 (St. Petersburg, 2004).
25. Vogel H. G. *Drug discovery and evaluation pharmacological assays*, 2129 (Springer, 2008).
26. Burmistrova L. A., *Physico-chemical analysis and biochemical assessment of the biological activity of drone brood*: abstract. diss. Candidate of Biology Sciences, 22 (Ryazan, 1999).
27. Kozlov V. I., Sakharov V. N., Gurova O. A., Sidorov V. V., Assessment of the state of microcirculation in children 6–7 years old according to laser Doppler flowmetry, *Regional blood circulation and microcirculation*, **20**, 3, 46 (2021).
28. Stefanovska A., Bracic M., Kvernmo N. D., Wavelet analysis of oscillations in the peripheral blood circulation measured by laser Doppler technique, *Trans Biomed Eng*., **46**, 10, 1230 (1999).
29. Bartolomé F., Abramov A. Y., Measurement of mitochondrial NADH and FAD autofluorescence in live cells, *Mitochondrial Medicine*, 263 (2015).
30. Krupatkin A. I., Sidorov V. V., *Functional diagnostics of the state of microcirculatory tissue systems*: Oscillations, information, nonlinearity, Guide for doctors. Ed. 2nd., 496 (LENNAND, Moscow, 2016).
31. Heikal A. Intracellular coenzymes as natural biomarkers for metabolic activities and mitochondrial anomalies, *Biomarkers in Medicine*, **4**, 2, 241 (2010).
32. Luo X., Li R., Yan L.-Jun., Roles of Pyruvate, NADH, and Mitochondrial Complex 1 in Redox Balance and Imbalance in Cell Function and Dysfunction, *Diabetes Res*., 1 (2015).
33. Karnaukhov V. N. *Luminescent analysis of cells*, 131 (2002).
34. Glagoleva E. N., Sidorov V. V., Podoplekina N. D., Fayzullina D. R. Assessment of microcirculatory tissue systems after cosmetic procedures aimed at correcting age-related changes, *Regional blood circulation and microcirculation*, **19**, 3, 25 (2020).

35. Samoilov V. O. Fluorescence of components of the mitochondrial respiratory chain in medical diagnostics, *Biophysics*, **58**, 5, 813 (2013).
36. Shabrykina N. S. *Biomechanical model of microcirculation and transcapillary metabolism*., Diss... cand. fm. Sci., 159 (Saratov, 2008).
37. Vlasov T. D., Kornyushin O. V., Papayan G. V. Possibilities of autofluorescent organoscopy for ischemic and reperfusion injury of the small intestine in vitro, *Regional blood circulation and microcirculation*, **2**, 30, 73 (2009).
38. Kvernmo H. D., Stefanovska A., Kirkeboen K. A., Kvernebo K. Oscillations in the human cutaneous blood perfusion signal modified by endothelium-dependent and endothelium-independent vasodilators, *Microvascular research*, **57**, 3, 298 (1999).
39. Dunaev A. V. Method for assessing adaptive changes in microcirculatory tissue systems of the human body, *Fundamental and applied problems of engineering and technology*, **4**, 1, 88 (2020).
40. Katayama K., Matsuo H., Ishida K. et al., Intermittent hypoxia improves endurance performance and submaximal efficiency exercise, *High. Alt. Med. Biol*., **4**, 3, 291 (2003).
41. Millet G. P., Roels B., Schmitt L. et al., Combining hypoxic methods for peak performance, *Sports Med*, **40**, 1 (2010).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 92–105.

УДК 631.465

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-92-105

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ САРАЛИНСКОГО УЧАСТКА ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Кулагина В. И., Сунгатуллина Л. М., Александрова А. Б., Рязанов С. С., Шагидуллин Р. Р., Хайруллина А. М., Гордеева К. А.

Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Казань, Россия
E-mail: viksoil@mail.ru

Определена активность инвертазы, каталазы и фосфатазы в почвах Саралинского участка Волжско-Камского заповедника. Установлено, что каталаза и инвертаза проявляют сильную корреляционную зависимость с содержанием гумуса в почвах (коэффициент корреляции 0,769 и 0,882, соответственно), фосфатаза – слабую (0,349). Согласно тесту Anova (Type I) на активность инвертазы, каталазы и фосфатазы в исследованных почвах оказывают значимое воздействие вид преобладающей породы, группа возраста и совместное воздействие этих факторов. Активность ферментов статистически значимо ниже в почвах сосняков по сравнению с почвами лиственных лесов. Тенденция увеличения активности ферментов с возрастом леса хорошо прослеживается, однако статистическая обработка подтвердила значимую разницу по активности всех ферментов только между почвами сосняков средневозрастных и сосняков перестойных.
Ключевые слова: почва, гумус, инвертаза, каталаза, фосфатаза, лесные экосистемы.

ВВЕДЕНИЕ

Почвенные ферменты участвуют в биогеохимических круговоротах важнейших веществ, в том числе в циклах углерода и азота, вызывающих наибольший интерес в настоящее время в связи с проблемой парниковых газов. Ферменты попадают в почву благодаря деятельности почвенных микроорганизмов, почвенной фауны, из корневых выделений растений. В почве ферменты могут существовать достаточно длительное время, сохраняя активность и проявляя ее при создании благоприятных условий влажности, температуры, реакции среды и др. [1]. В отличие от численности трофических групп микроорганизмов активность ферментов в почвах изменяется не так быстро, но это является плюсом, если необходимо установить корреляционную взаимосвязь с также медленно изменяющимися почвенными свойствами, например, содержанием гумуса [1, 2].

Находящиеся в почве ферменты участвуют во всех этапах трансформации попадающих в почву органических остатков [1]. Однако взаимосвязи запасов органического углерода с активностью ферментов в лесных биогеоценозах изучены недостаточно. Ферментативная активность почв гораздо лучше изучена в агроценозах или на загрязненных территориях. Можно отметить работы о

ферментативной активности на зарастающих вырубках, гарях, в загрязненных почвах лесов [3–7]. Вместе с тем, активность почвенных ферментов в естественных биоценозах может быть весьма полезным индикатором ускоренной или замедленной минерализации, гумификации, накопления органического углерода в почвах и др. Использование активности почвенных ферментов для выявления направленности почвенных процессов, связанных с круговоротом углерода на покрытых лесом землях, является актуальной проблемой.

Цель данной работы – оценка активности почвенных ферментов в почвах лесов Саралинского участка Волжско-Камского заповедника.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Саралинский участок Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (ВКГПБЗ) расположен в Лаишевском районе Республики Татарстан, его общая площадь 5456 га. Площадь территории, занятой лесом – 3706 га. Липняки составляют 42 % от площади лесов, сосняки и березняки 25 % и 24 % соответственно. Около 7 % территории занимают осинники. Преобладают леса старших возрастных групп, то есть средневозрастные и старше.

В мае-июне 2023 г. на территории Саралинского участка заложено 7 пробных площадок под лесами преобладающих пород и групп возраста, на каждой из которых закладывалось по 5 почвенных разрезов. Почвенный покров представлен дерново-подзолистыми почвами. Почвенные образцы отбирались в соответствии с генетическими горизонтами.

Содержание органического вещества определяли по методу И. В. Тюрина (ГОСТ 26213–91).

Таблица 1

Содержание гумуса в почвах пробных площадок Саралинского участка

Характеристика древостоя	Гумус, %	Коэффициент вариации,%
Березняк средневозрастный	3,3±0,2	10,5
Березняк перестойный	5,5±0,5	21,7
Липняк средневозрастный	3,9±0,4	20,8
Липняк перестойный	6,9±0,4	13,6
Сосняк средневозрастный	2,4±0,3	33,8
Сосняк перестойный	4,4±0,3	18,6
Осинник средневозрастный	4,6±0,4	21,2

Почвы березняков, липняков и сосняков, относящихся к разным возрастным категориям, статистически значимо отличаются друг от друга по содержанию гумуса. Более подробные сведения по содержанию гумуса и запасам углерода в почвах Волжско-Камского заповедника приведены в ранее опубликованной статье [8].

Активность почвенных ферментов определялась следующими методами: каталазы – методом Джонсона и Темпле, инвертазы – по Щербакову Т. А., фосфатазы по методу Геллера И. Т. и Гинзбург К. Е.

Оценка статистической значимости разницы проводилась с использованием различных непараметрических и параметрических критериев и способов обработки данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования позволили выявить сильную прямую корреляционную зависимость между активностью инвертазы и содержанием органического углерода в гумусовых горизонтах почв Саралинского участка Волжско-Камского заповедника – коэффициент корреляции Пирсона равен 0,882 (ρ=0,01), что выше, чем в почвах Раифского участка [9].

Полученные данные по активности инвертазы согласуются с обобщенными сведениями Казеева К. Ш. с соавторами о четкой корреляции данного фермента в почвах с содержанием гумуса [2].

Мищенко Н. В. с соавторами, проводившие исследования дерново-подзолистых и серых лесных почв Владимирской области, также обращали внимание на определенную взаимосвязь этих показателей: они отмечали максимальную активность инвертазы в почвах с самым высоким содержанием гумуса [10].

Активность инвертазы в гумусовых горизонтах почв Саралинского участка Волжско-Камского заповедника колеблется от 0,44 до 5,19 мг глюкозы / 1 г почвы за 4 часа. Согласно оценочной шкале Звягинцева обогащенность почв инвертазой варьирует от очень бедной до среднеобогащенной. Максимальная активность фермента отмечена в гумусовом горизонте почв под липняком перестойным, минимальная – под сосняком средневозрастным (рис. 1). Это согласуется с исследованиями, проведенными на территории другого участка заповедника, Раифского, где минимальная инвертазная активность также наблюдалась в почвах под сосняками [9].

Разница ферментативной активности почв под лесами разного породного состава и возраста определяется качеством и количеством поступающего опада. Круговорот веществ в хвойных лесах заторможен по сравнению с лиственными лесами из-за устойчивости хвойного опада к разложению [11]. Наличие хорошо выраженного травянистого покрова под пологом леса, наоборот, может привести к увеличению активности фермента, что, по-видимому, наблюдается для сосняка перестойного Саралинского участка заповедника.

Согласно тесту Anova (Type I) вид преобладающей породы, группа возраста и совместно воздействие этих факторов оказывают значимое воздействие на активность инвертазы в горизонте А1 дерново-подзолистых почв Саралинского участка заповедника (табл. 2).

Согласно тесту Тьюки (Tukey HSD test) без учета возрастной группы статистически значимая разница по активности инвертазы в почве на Саралинском участке заповедника наблюдается только между сосняками и липняками (табл. 3).

Применение того же теста Тьюки к активности инвертазы в почвах уже не просто под преобладающими породами, но и с учетом преобладающих групп

возраста, позволило получить несколько другой результат (табл. 4).

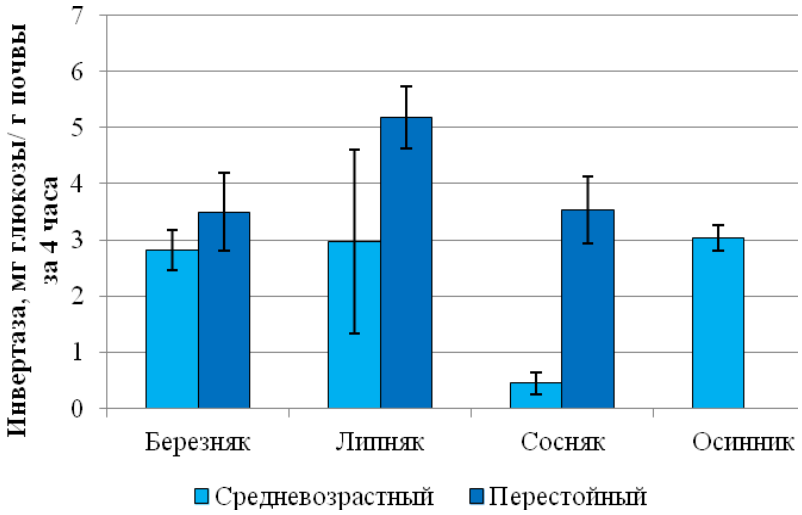


Рис. 1. Активность инвертазы в гумусовых горизонтах почв Саралинского участка заповедника (среднее ± стандартное отклонение).

Таблица 2

Оценка значимости разницы по активности инвертазы согласно тесту Anova (Type I)

Показатель	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Преобладающая порода	3	0,153	0,051	10,056	0,000*
Группа возраста	1	0,108	0,108	21,296	0,000*
Преобладающая порода+ Группа возраста	2	0,087	0,043	8,574	0,001*
Остатки /Residuals	28	0,142	0,005		

Примечание: *разница значима

Активность инвертазы под сосняком средневозрастным статистически значимо отличается от активности инвертазы в почвах под всеми другими лесами. Значимой оказалась также разница между липняком перестойным и березняком средневозрастным (табл. 4).

На рис. 1 хорошо прослеживается тенденция к увеличению активности инвертазы в почвах перестойных лесов по сравнению со средневозрастными для всех преобладающих пород. Тест Тьюки подтвердил статистически значимую разницу для липняков и сосняков разного возраста. В почвах под березняками разного возраста активность инвертазы статистически значимых отличий не имеет (табл. 4).

Таблица 3

Оценка значимости разницы по активности инвертазы в почвах под преобладающими породами согласно тесту Тьюки (Tukey HSD test)

Преобладающие породы	**diff**	**lwr**	**upr**	**p adj**
Липа-Береза	0,924	-0,351	2,199	0,198
Осина-Береза	-0,128	-1,690	1,433	0,995
Сосна-Береза	-1,171	-2,446	0,104	0,077
Осина-Липа	-1,053	-2,614	0,509	0,249
Сосна-Липа	-2,095	-3,370	-0,820	0,001*
Сосна-Осина	-1,043	-2,604	0,519	0,256

Примечание: *разница значима

Таблица 4

Оценка значимости разницы по активности инвертазы согласно тесту Тьюки (Tukey HSD test) под насаждениями пробных площадок

Характеристика древостоя пробных площадок	**diff**	**lwr**	**upr**	**p adj**
Липняк перестойный - Березняк перестойный	1,692	-0,497	3,880	0,192
Сосняк перестойный – Березняк перестойный	0,032	-2,157	2,220	1,000
Березняк средневозр – Березняк перестойный	-0,680	-2,869	1,509	0,947
Липняк средневозр. – Березняк перестойный	-0,523	-2,712	1,665	0,987
Осинник средневозр. – Березняк перестойный	-0,468	-2,657	1,720	0,993
Сосняк средневозр. – Березняк перестойный	-3,053	-5,242	-0,865	0,004*
Сосняк перестойный – Липняк перестойный	-1,660	-3,849	0,529	0,208
Березняк средневозр. – Липняк перестойный	-2,372	-4,560	-0,183	0,030*
Липняк средневозр. – Липняк перестойный	-2,215	-4,404	-0,026	0,046*
Осинник средневозр. – Липняк перестойный	-2,160	-4,349	0,029	0,054
Сосняк средневозр. – Липняк перестойный	-4,745	-6,934	-2,556	0,000*
Березняк средневозр. – Сосняк перестойный	-0,712	-2,900	1,477	0,934
Липняк средневозр. - Сосняк перестойный	-0,555	-2,744	1,634	0,982
Осинник средневозр. - Сосняк перестойный	-0,500	-2,689	1,689	0,990
Сосняк средневозр. – Сосняк перестойный	-3,085	-5,274	-0,896	0,004*
Липняк средневозр.-- Березняк средневозр.	0,157	-2,032	2,345	1,000
Осинник средневозр. – Березняк средневозр.	0,212	-1,977	2,400	1,000
Сосняк средневозр. – Березняк средневозр.	-2,373	-4,562	-0,185	0,029*
Осинник средневозр. – Липняк средневозр.	0,055	-2,134	2,244	1,000
Сосняк средневозр. – Липняк средневозр.	-2,530	-4,719	-0,341	0,019*
Сосняк средневозр. – Осинник средневозр.	-2,585	-4,774	-0,396	0,016*

Примечание: *разница значима

Полученные данные подтверждают выводы Телесиной В. М. с соавторами о том, что инвертазная активность увеличивается с возрастом леса и достигает максимума в старовозрастных лесах [12].

Полученные результаты также согласуются с данными Макеевой Н. А. с соавторами [13], отмечавшими низкую активность инвертазы в сосняках с наиболее сомкнутыми кронами. Изученный нами сосняк средневозрастный отличался большей густотой древостоя и сомкнутостью крон, чем сосняк перестойный.

Активность каталазы в почвах Саралинского участка колеблется от 1,03 мл 0,1 н $KMnO_4$ /1 г почвы за 20 мин под сосняком средневозрастным до 3,63 мл 0,1 н $KMnO_4$ /1 г почвы 20 мин под липняком перестойным (рис. 2). Согласно шкале Звягинцева почвы относятся к очень бедным каталазой.

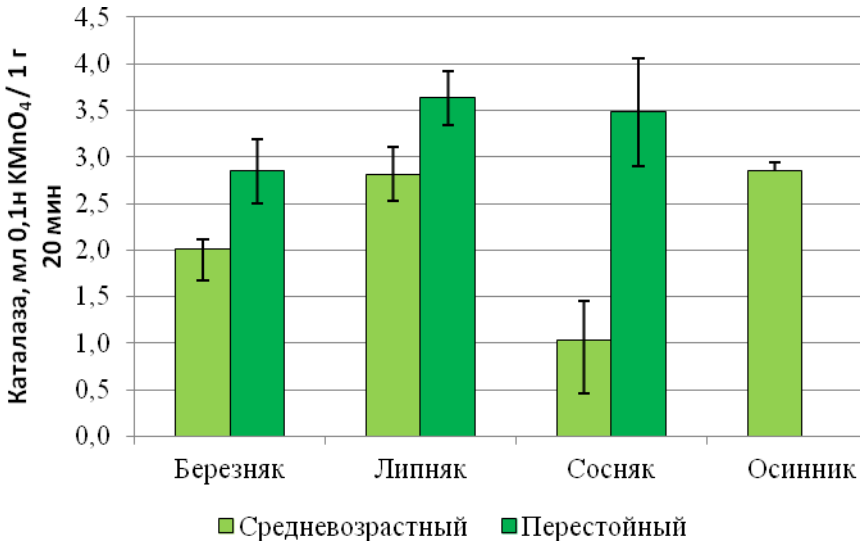


Рис. 2. Активность каталазы в гумусовых горизонтах почв Саралинского участка заповедника (среднее ±стандартное отклонение).

Выявлена высокая степень взаимосвязи активности каталазы в почвах Саралинского участка заповедника с содержанием гумуса (коэффициент корреляции равен 0,769) и с активностью инвертазы (коэффициент корреляции равен 0,840).

Каталаза ускоряет реакцию разложения перекиси водорода, образующейся в результате дыхания или биохимических реакций, инвертаза считается катализатором гидролиза сахаров [2]. То есть, оба фермента непосредственно участвуют в круговороте углерода, с чем и связана их высокая корреляционная зависимость. Полученные результаты согласуются с данными для почв Раифского участка заповедника, где также отмечалась сильная взаимосвязь между активностью каталазы и инвертазы [9].

Согласно тесту Anova (Type I) на активность каталазы, как и на активность инвертазы, оказывают значимое воздействие все рассматриваемые факторы: вид

преобладающей породы, группа возраста и совместное воздействие преобладающей породы и возраста (табл. 5).

Полученные данные несколько отличаются от выводов Перминовой Е. М. с соавторами [7], о том, что тип фитоценоза на активность каталазы существенного влияния не оказывает. Разница объясняется тем, что Перминова Е. М. с соавторами изучали почвы относительно молодых лесов, возобновляющихся после сплошных рубок.

Таблица 5

Оценка значимости разницы по активности каталазы согласно тесту Anova (Type I)

Показатель	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Преобладающая порода	3	3,30	1,10	9,42	0,001*
Группа возраста	1	8,41	8,41	72,04	0,000*
Преобладающая порода+ Группа возраста	2	2,64	1,32	11,32	0,001*
Остатки /Residuals	14	1,63	0,12		

Примечание: *разница значима

Тенденция к увеличению активности каталазы с переходом от средневозрастных лесов к перестойным хорошо прослеживается для всех преобладающих пород (рис. 2), и согласуется с данными Телесиной В. М. с соавторами [12]. Однако тест Тьюки подтвердил статистически значимую разницу только между почвами сосняков разного возраста (табл. 6).

Статистически значимая разница по активности каталазы отмечена между сосняками средневозрастными и лесами разного породного состава практически всех остальных пробных площадок (табл. 6).

Почвы сосняка перестойного статистически значимо отличались от почв березняка перестойного.

Разница между активностью каталазы в почвах лиственных лесов отмечена лишь при сопоставлении активности каталазы под березняком средневозрастным и липняком перестойным.

То есть в шести случаях из семи статистически значимая разница по активности каталазы наблюдалась между почвами сосняков и лиственных лесов Саралинского участка. Полученные данные согласуются с результатами, полученными для Раифского участка заповедника, где также отмечалась статистически значимая разница по активности каталазы между почвами сосняков и лиственных лесов [9].

Фермент фосфатаза отвечает за минерализацию органического фосфора [14], то есть также участвует в круговороте углерода, по крайней мере, в разложении органических соединений, содержащих фосфор. В почвах Саралинского участка заповедника активность фосфатазы проявила слабую корреляционную зависимость с содержанием гумуса в почве (коэффициент корреляции равен 0,349). Корреляция с активностью инвертазы и каталазы средняя (коэффициент корреляции 0,508 и 0,506

соответственно). Активность фосфатазы в почвах Саралинского участка колеблется от 2,93 мг P_2O_5/10 г почвы за 24 часа под сосняками средневозрастными до 9,63 мг P_2O_5/10 г почвы за 24 часа под березняками средневозрастными (рис. 3). Согласно шкале Звягинцева обогащенность почв ферментом фосфатазой от средней до богатой.

Таблица 6

Оценка значимости разницы по активности каталазы согласно тесту Тьюки (Tukey HSD test) под насаждениями пробных площадок

Характеристика древостоя пробных площадок	diff	lwr	upr	p adj
Липняк перестойный – Березняк перестойный	0,783	-0,201	1,767	0,169
Сосняк перестойный – Березняк перестойный	0,633	-0,351	1,617	0,371
Березняк средневозр – Березняк перестойный	-0,833	-1,817	0,151	0,126
Липняк средневозр. – Березняк перестойный	-0,033	-1,017	0,951	1,000
Осинник средневозр. – Березняк перестойный	0,000	-0,984	0,984	1,000
Сосняк средневозр. – Березняк перестойный	-1,817	-2,801	-0,833	0,000*
Сосняк перестойный – Липняк перестойный	-0,150	-1,134	0,834	0,999
Березняк средневозр. – Липняк перестойный	-1,617	-2,601	-0,633	0,001*
Липняк средневозр. – Липняк перестойный	-0,817	-1,801	0,167	0,139
Осинник средневозр. – Липняк перестойный	-0,783	-1,767	0,201	0,169
Сосняк средневозр. – Липняк перестойный	-2,600	-3,584	-1,616	0,000*
Березняк средневозр. – Сосняк перестойный	-1,467	-2,451	-0,483	0,002*
Липняк средневозр. – Сосняк перестойный	-0,667	-1,651	0,317	0,316
Осинник средневозр. – Сосняк перестойный	-0,633	-1,617	0,351	0,371
Сосняк средневозр. – Сосняк перестойный	-2,450	-3,434	-1,466	0,000*
Липняк средневозр. – Березняк средневозр.	0,800	-0,184	1,784	0,154
Осинник средневозр. – Березняк средневозр.	0,833	-0,151	1,817	0,126
Сосняк средневозр. – Березняк средневозр.	-0,983	-1,967	0,001	0,050
Осинник средневозр. – Липняк средневозр.	0,033	-0,951	1,017	1,000
Сосняк средневозр. – Липняк средневозр.	-1,783	-2,767	-0,799	0,000*
Сосняк средневозр. – Осинник средневозр.	-1,817	-2,801	-0,833	0,000*

Примечание: *разница значима

Согласно тесту Anova (Type I) на активность фосфатазы оказывают значимое воздействие вид преобладающей породы, группа возраста и совместное воздействие этих факторов (табл. 7). В этом фосфатаза не отличается от двух других исследованных ферментов.

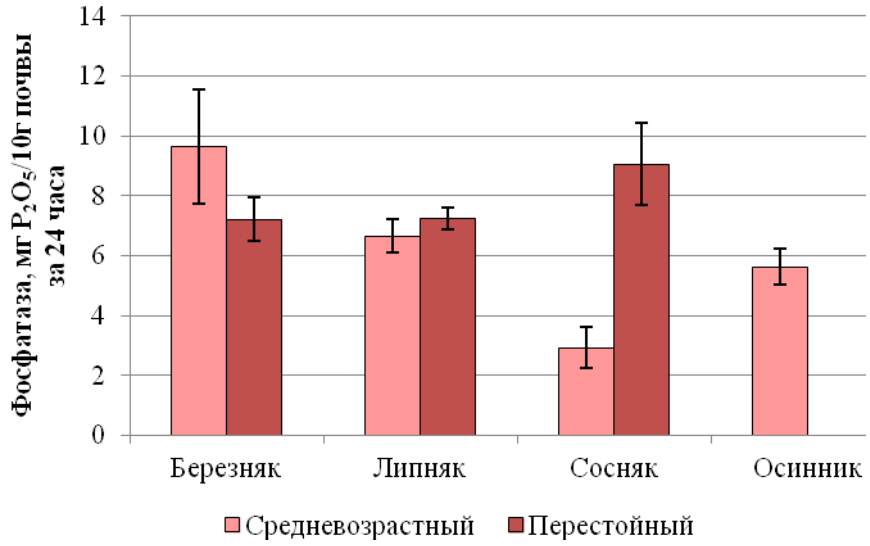


Рис. 3. Активность фосфатазы в гумусовых горизонтах почв Саралинского участка заповедника (среднее ±стандартное отклонение).

Таблица 7

Оценка значимости разницы по активности фосфатазы согласно тесту Anova (Type I)

Показатель	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Преобладающая порода	3	8387,641	2795,880	35,125	0,000*
Группа возраста	1	2002,114	2002,114	25,153	0,000*
Преобладающая порода+ Группа возраста	2	2190,522	1095,261	13,760	0,000*
Остатки /Residuals	14	1114,364	79,597		

Примечание: *разница значима

Однако в отличие от инвертазы и каталазы тенденция к увеличению активности фермента с возрастом леса для фосфатазы прослеживается только в почвах липняков и сосняков. В почвах березняков тенденция обратная.

Курганова И. Н. с соавторами отмечали увеличение активности фосфатазы с возрастом в почвах мелколиственных лесов, к которым относится и береза [15]. Однако их исследования охватывали леса возрастом от 0 до 40 лет, то есть от молодняков до средневозрастных. Наши исследования затрагивали березняки другого возрастного интервала – от средневозрастных и старше, где могут наблюдаться другие закономерности.

Впрочем, тест Тьюки подтвердил статистически значимую разницу по активности фосфатазы только для сосняков разного возраста, для березняков и липняков разница не значима (табл. 8). Статистически значимая разница по активности фосфатазы отмечена в двух случаях между почвами лиственных лесов, и в семи между почвами сосновых и лиственных лесов.

Таблица 8

Оценка значимости разницы по активности фосфатазы согласно тесту Тьюки (Tukey HSD test) под насаждениями пробных площадок

Характеристика древостоя пробных площадок	diff	lwr	upr	p adj
Липняк перестойный – Березняк перестойный	0,045	-2,910	3,000	1,000
Сосняк перестойный – Березняк перестойный	1,859	-1,095	4,814	0,395
Березняк средневозр. – Березняк перестойный	2,428	-0,527	5,383	0,146
Липняк средневозр. – Березняк перестойный	-0,556	-3,511	2,399	0,997
Осинник средневозр. – Березняк перестойный	-1,585	-4,540	1,370	0,576
Сосняк средневозр. – Березняк перестойный	-4,275	-7,230	-1,320	0,003*
Сосняк перестойный – Липняк перестойный	1,815	-1,140	4,770	0,423
Березняк средневозр. – Липняк перестойный	2,383	-0,571	5,338	0,159
Липняк средневозр. – Липняк перестойный	-0,601	-3,555	2,354	0,995
Осинник средневозр. – Липняк перестойный	-1,629	-4,584	1,325	0,545
Сосняк средневозр. – Липняк перестойный	-4,320	-7,274	-1,365	0,003*
Березняк средневозр. – Сосняк перестойный	0,569	-2,386	3,524	0,996
Липняк средневозр. – Сосняк перестойный	-2,415	-5,370	0,539	0,150
Осинник средневозр. – Сосняк перестойный	-3,444	-6,399	-0,489	0,018*
Сосняк средневозр. – Сосняк перестойный	-6,134	-9,089	-3,180	0,000*
Липняк средневозр. – Березняк средневозр.	-2,984	-5,939	-0,029	0,047*
Осинник средневозр. – Березняк средневозр.	-4,013	-6,968	-1,058	0,005*
Сосняк средневозр. – Березняк средневозр.	-6,703	-9,658	-3,748	0,000*
Осинник средневозр. – Липняк средневозр.	-1,029	-3,984	1,926	0,910
Сосняк средневозр. – Липняк средневозр.	-3,719	-6,674	-0,764	0,010*
Сосняк средневозр. – Осинник средневозр.	-2,690	-5,645	0,265	0,087

Примечание: *разница значима

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные по ферментативной активности почв лесов Саралинского участка показали, что для всех трех исследованных ферментов наблюдаются общие закономерности.

Статистическая обработка результатов показала, что существенное влияние на активность инвертазы, каталазы и фосфатазы в гумусовых горизонтах оказывают: преобладающая порода, возраст леса и совместное влияние этих факторов.

Активность всех трех ферментов статистически значимо выше в почвах лиственных лесов по сравнению с сосняками, отличающимися замедленным круговоротом углерода.

Для каталазы и инвертазы прослеживается четкая тенденция к увеличению активности ферментов с возрастом леса для лесов всех преобладающих пород: липняков, березняков, сосняков. Для фосфатазы – только березняков и сосняков. Однако увеличение активности всех ферментов статистически доказано только для сосняков. Для инвертазы статистически значима также разница между почвами липняков разного возраста.

Корреляция активности ферментов с содержанием гумуса в верхних горизонтах почв уменьшается в ряду: инвертаза > каталаза > фосфатаза.

Таким образом, активность всех трех ферментов взаимосвязана с биологическим круговоротом углерода в почвах под лесными насаждениями. Инвертаза, каталаза и фосфатаза могут служить показателями интенсивности протекающих процессов и накопления гумуса. Однако согласно проведенным исследованиям, наибольшая корреляция с параметрами леса и содержанием гумуса в почве отмечена для инвертазы, которую и следует рекомендовать для биомониторинга почв лесных экосистем.

Изучение взаимосвязи активности почвенных ферментов с круговоротом веществ в лесах России должно быть продолжено.

Список литературы

1. Хазиев Ф. Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах / Ф. Х. Хазиев // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. – 2015. – Том 20, № 2 (78). – С. 14–24.
2. Казеев К. Ш. Биодиагностика почв: методология и методы исследований / К. Ш. Казеев, С. И. Колесников – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2012. – 260 с.
3. Сорокин Н. Д. Микробиологическая диагностика состояния почв и филлосферы лесных экосистем Сибири / Н. Д. Сорокин, Е. Н. Афанасова // Известия РАН. Серия биологическая. – 2012. – №1. – С. 100–108.
4. Завалишин С. И. Зависимость активности почвенных ферментов от физико-химических свойств дерново-подзолистых почв трансформированных лесных угодий / С. И. Завалишин, В. С. Карелина // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – №6 (166). – С. 47–52.
5. Bartkowiak A. Effect of forest fire on changes in the content of total and available forms of selected heavy metals and catalase activity in soil / A. Bartkowiak, J. Lemanowicz // Soil science annual. – 2017. – Vol. 68, No. 3. – P. 140–148. DOI: 10.1515/ssa-2017-0017
6. Kazeev K. Sh. Post-fire changes in the biological properties of the brown soils in the Utrish state nature reserve (Russia) / K. Sh. Kazeev, T. A. Poltoratskaya, A. S. Yakimova, M. Yu. Odobashyan, A. K. Shkhapatsev, S. I. Kolesnikov // Nature Conservation Research. Заповедная наука. – 2019. – No. 4 (Suppl.1). – P. 93–104. https://dx.doi.org/10.24189/ncr.2019.055
7. Перминова Е. М. Каталазная активность подзолистых почв коренного ельника черничного и разновозрастных лиственно-хвойных сообществ / Е. М. Перминова, Е. М. Лаптева // Аграрный вестник Урала. – 2018. – №5. – С. 44–53.

8. Кулагина В. И. Запасы углерода, содержание гумуса и азота в почвах Саралинского и Раифского участков Волжско-Камского заповедника / В. И. Кулагина, А. Б. Александрова, С. С. Рязанов, Р. Р. Шагидуллин, Л. М. Сунгатуллина, К. А. Гордеева // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2024. – Т. 10, № 1. – С. 145–158.
9. Кулагина В. И. Микробная биомасса и ферментативная активность лесных почв Раифского участка Волжско-Камского заповедника / В. И. Кулагина, Л. М. Сунгатуллина, С. С. Рязанов, Р. Р. Шагидуллин, А. Б. Александрова, Э. Х. Рупова // Российский журнал прикладной экологии. – 2023. – № 2 (34). – С. 49–56.
10. Мищенко Н. В. Оценка состояния почв необрабатываемых сельскохозяйственных угодий по показателям ферментативной активности, гумуса и тяжелых металлов / Н. В. Мищенко, И. Н. Курочкин, Н. В. Чугай, Е. Ю. Кулагина // Вестник НВГУ. – 2021. – №2(54). – С. 106–111.
11. Глазман Г. Р. Структурная организация лесных подстилок в условиях стационарных насыпных лизиметров факультета почвоведения МГУ имени М. В. Ломоносова / Г. Р. Глазман, Л. Г. Богатырев, В. М. Телеснина, Ф. И. Земсков, А. И. Бенедиктова, М. М. Карпухин, В. В. Демин // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2022. – № 3. – С. 101–112.
12. Телеснина В. М. Особенности морфологии и химических свойств постагрогенных почв южной тайги на легких отложениях (Костромская область) / В. М. Телеснина, И. Е. Ваганов, А. А. Карлсен, А. Е. Иванова, М. А. Жуков, С. М. Лебедев // Почвоведение. – 2016. – № 1. – С. 115–129.
13. Макеева Н. А. Особенности биологической активности почвы в насаждениях сосны обыкновенной различной степени сомкнутости крон / Н. А. Макеева, Е. Ю. Колмогорова, В. И. Уфимцев // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. – 2023. – 16(2). – С. 178–192.
14. Наими О. И. Фосфатный режим и активность фосфатазы в черноземе обыкновенном при возделывании нута / О. И. Наими, О. С. Безуглова, Е. А. Полиенко, В. А. Лыхман, А. В. Горовцов, Ю. С. Поволоцкая, М. Н. Дубинина, Е. С. Патрикеев // Агрохимический вестник. – 2020. – № 3. – С. 25–29.
15. Курганова И. Н. Изменение запасов углерода, микробной и ферментативной активности агродерново-подзолов южной тайги в ходе постагрогенной эволюции / И. Н. Курганова, В. М. Телеснина, В. О. Лопес де Гереню, В. И. Личко, Л. А. Овсепян // Почвоведение. – 2022. – № 7. – С. 825–842.

SOIL ENZYME ACTIVITY OF THE SARALINSKY SECTION OF THE VOLZHSKO-KAMSKY NATURE RESERVE

Kulagina V. I., Sungatullina L. M., Alexandrova A. B., Ryazanov S. S., Shagidullin R. R., Khairullina A. M., Gordeeva K. A.

Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia
E-mail: viksoil@mail.ru

Soil enzymes participate in the carbon cycle, at the same time being indicators of the intensity of ongoing processes of humification, decomposition and mineralization of organic matter, and carbon accumulation in soils. The study of soil enzyme interactions with the carbon cycle in forest ecosystems in different regions of Russia remains a relevant topic in connection with the greenhouse gas problem. The purpose of this work

was to assess the soil enzyme activity in the forests of the Saralinsky section of the Volga-Kama Nature Reserve. On the territory of the Saralinsky site, linden forests make up 42 % of the forest area, pine and birch forests 25 % and 24 %, respectively. About 7 % of the territory is occupied by aspen forests. Forests of middle-aged and older age groups predominate. On the territory of the Saralinsky section 7 test plots have been established under forests of the predominant species and age groups. Soil samples were taken from five sections at each plot. The activity of invertase, catalase, and phosphatase in the humus horizons of the soils was determined. It has been established that catalase and invertase exhibit a strong correlation with the humus content in soils (correlation coefficients of 0.769 and 0.882, respectively), phosphatase is a weak one (0.349). The correlation between invertase and catalase was strong (coefficient 0.840), and the correlation between invertase and phosphatase was average (coefficient 0.508). The invertase activity in the humus horizons of the Saralinsky site ranged from 0.44 to 5.19 mg of glucose per 1 g of soil in 4 hours; catalase activity was from 1.03 to 3.63 ml of 0.1 N KMnO4 per 1 g of soil in 20 minutes; and phosphatase activity was from 2.93 to 9.63 mg of P2O5 per 10 g of soil in 24 hours. According to the Zvyagintsev scale, the soils of the Saralinsky site were very poor in catalase, phosphatase enrichment ranged from medium to rich, and invertase enrichment ranged from very poor to medium. According to the Anova test (Type I), the invertase, catalase, and phosphatase activity in the studied soils was significantly influenced by the type of dominant species, age group, and the combined effect of these factors. According to the Tukey HSD test, the activity of all three enzymes was significantly higher in the soils under deciduous forests compared to middle-aged pine forests, characterized by a slower carbon cycle. A significant difference in enzyme activity between soils of linden, birch, and aspen forests of the same age group was observed only for phosphatase.For catalase and invertase, there was a clear tendency towards an increase in enzyme activity with the age of the forest in linden, birch, and pine forests. For phosphatase, only under birch and pine forests. However, the Tukey HSD test statistically proved an increase in the activity of soil enzymes only during the transition from middle-aged pine forests to over-mature pine forests for all enzymes and for invertase during the transition from middle-aged linden forests to over-mature linden forests. Thus, the activity of all three enzymes was interconnected with the biological carbon cycle in soils under forest plantations. However, according to the studies, the greatest correlation with forest parameters and humus content in the soil was noted for invertase, which should be recommended for biomonitoring of soils in forest ecosystems.

***Keywords*:** soil, humus, invertase, catalase, phosphatase, forest ecosystems.

References

1. Khaziev F. Kh. Functional role of enzymes in soil processes, *Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*, **20**, **2**, 14 (2015).
2. Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I. *Soil biodiagnostics: methodology and research methods*, 260 (Southern Federal University Publishing House, Rostov-on-Don, 2012).
3. Sorokin N. D., Afanasova E. N. Microbiological diagnostics of the state of soils and phyllosphere of forest ecosystems in Siberia, *Izvestiya Russian Academy of Sciences. Biological series*, **1**, 100 (2012).

4. Zavalishin S. I., Karelina V. S. Dependence of soil enzymes activity on physical and chemical properties of soddy-podzolic soils of transformed forest lands, *Bulletin of the Altai State Agricultural University*, **6**, 47 (2018).
5. Bartkowiak A., Lemanowicz J. Effect of forest fire on changes in the content of total and available forms of selected heavy metals and catalase activity in soil, *Soil science annual*, **68**, **3**, 140 (2017). DOI: 10.1515/ssa-2017-0017
6. Kazeev K. Sh., Poltoratskaya T. A., Yakimova A. S., Odobashyan M. Yu., Shkhapatsev A. K., Kolesnikov S. I. Post-fire changes in the biological properties of the brown soils in the Utrish state nature reserve (Russia), *Nature Conservation Research. Заповедная наука*, **4**, 93 (2019) https://dx.doi.org/10.24189/ncr.2019.055
7. Perminova E. M., Lapteva E. M. Catalase Activity of Podzolic Soils of Indigenous Blueberry Spruce Forest and Different Age Deciduous-Coniferous Communities, *Agrarian bulletin of the Urals*, **5**, 44 (2018).
8. Kulagina V. I., Alexandrova A. B., Ryazanov S. S., Shagidullin R. R., Sungatullina L. M., Gordeeva K. A. Organic carbon stocks, humus and nitrogen contents in the soils of the Saralinsky and Raifa sections of the Volzhsko-Kamsky reserve, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **1**, 145 (2024).
9. Kulagina V. I., Sungatullina L. M., Ryazanov S. S., Shagidullin R. R., Alexandrova A. B., Rupova E. H. Microbial biomass and enzymatic activity of forest soils in the Raifa area of the Volzhsko-Kamsky reserve, *Russian Journal of Applied Ecology*, **2**, 49 (2023).
10. Mischenko, N.V., Kurochkin, I.N., Chugay, N.V., Kulagina, E.Yu. Assessment of the State of Soils of Uncultivated Agricultural Lands by Indicators of Enzymatic Activity, Humus, and Heavy Metals, *Bulletin of Nizhnevartovsk State University.* **2**, 106 (2021).
11. Glazman G. R., Bogatyrev L. G., Telesnina V. M., Zemskov Ph. I., Benediktova A. I., Karpukhin M. M., Demin V. V. Structural organization of forest floor under stationary bulk lysimeters of soil science faculty of Lomonosov Moscow state university, *Moscow University Soil Science Bulletin,* **3**, 101 (2022).
12. Telesnina V. M., Vaganov I. E., Carlsen A. A., Ivanova A. E., Zhukov M. A., Lebedev S. M. Features of the morphology and chemical properties of postagrogenic soils of the southern taiga on light sediments (Kostroma region), *Soil Science*, **1**, 115 (2016).
13. Makeeva N. A., Kolmogorova E. Yu., Ufitsev V. I. Biological activity of soil in Scots pine stands with varying degrees of crown closure, *Journal of the Siberian Federal University. Biology*, **16(2),** 178 (2023).
14. Naimi O. I., Bezuglova O. S., Polienko E. A., Lykhman V. A., Gorovtsov A. V., Povolotskaya Yu. S., Dubinina M. N., Patrikeev E. S. Phosphate regime and phosphatase activity in ordinary chernozem when cultivating chickpeas, *Agrochemical herald*, **3**, 25 (2020).
15. Kurganova I. N., Telesnina V. M., Lopes de Gerenyu V. O., Lichko V. I., Ovsepyan L. A. Chenges in the carbon stocks, microbial and enzyme activities of retic albic podzol in southern taiga during postagrogenic evolution, *Eurasian Soil Science*, **7**, 895 (2022).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 106–127.

УДК 577.121.7: 616-092.19:616.8:615.272
DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-106-127

ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ СТРЕСС КАК МОЛЕКУЛЯРНАЯ ОСНОВА НЕЙРОДЕГЕНЕРАТИВНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ И ПУТИ АНТИОКСИДАНТНОЙ ТЕРАПИИ

Микашинович З. И., Телесманич Н. Р., Смирнова О. Б.

ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Министерство здравоохранения Российской федерации, Ростов-на-Дону, Российская федерация
E-mail: zolochevskaj51@mail.ru

В обзоре представлены результаты клинических и экспериментальных исследований, демонстрирующие патогенетическую роль окислительного стресса в генезе нейродегенеративных заболеваний (НДЗ). Различные по этиологии и клинической симптоматике заболевания нервной системы имеют общие механизмы, связанные с повреждением биомолекул: неправильной укладкой белков, их агрегацией, нарушением про- и антиоксидантного баланса. Усиление образования активных форм кислорода (АФК) индуцирует митоптоз, апоптоз, ферроптоз – факторов, приводящих к нарушению функциональной активности структурных единиц нейрона как главного элемента нервной системы. Несмотря на то, что однозначного признания эффективности антиоксидантной терапии в настоящее время нет, тем не менее, применение антиоксидантов можно рассматривать как важнейшее звено нейропротекции, имеющей патогенетическое обоснование
Ключевые слова: окислительный стресс, активные формы кислорода, болезнь Паркинсона, болезнь Альцгеймера, аутоиммунные нарушения, ранняя диагностика, антиокидантная терапия.

ВВЕДЕНИЕ

По мнению ряда авторов, в настоящее время в экономически развитых странах неуклонно растет число пациентов с прогрессирующими заболеваниями нервной системы, которые в будущем станут преобладать над сердечно-сосудистыми и онкологическими заболеваниями. В первую очередь к ним относятся болезнь Альцгеймера (БА) и болезнь Паркинсона (БП), НДЗ, связанные с возрастом. К другим НДЗ относят, болезнь Хантингтона, рассеянный склероз, (РС), боковой амиотрофический склероз (БАС) и многие другие редкие состояния, такие как: прионные заболевания, заболевания двигательных нейронов, спиноцеребеллярная атаксия, спинальная мышечная атрофия, атаксия Фридрейха и синдром Леви. Все эти заболевания, как генетические, так и приобретенные, приводят к прогрессирующему ухудшению или даже полной утрате сенсорных, моторных и когнитивных функций [1–5].

Развивающаяся инвалидизация и социально-экономические последствия этих заболеваний определяют всё возрастающие усилия ученых во всем мире в решении проблемы замедления, а в идеале и предотвращения их прогрессирования [6, 7].

Учитывая сложность патогенеза НДЗ, перспективным является методологический подход вычисления ведущих факторов патогенеза. Несомненно, это позволяет стандартизировать диагностику и терапию, а в последующем создавать клинические рекомендации [8–10].

Целью данной работы было провести анализ роли участников оксидативного стресса в ключевых этапах воспалительного процесса, лежащего в основе НДЗ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В обзоре освещены результаты клинических и экспериментальных исследований, полученные с использованием комплекса клинических, лабораторных и инструментальных методов, позволяющих выявить роль окислительного стресса и антиоксидантов в НДЗ. В процессе подготовки материалов использовались источники из международных и отечественных баз данных: Scopus, Web of Science, Pub Medline, РИНЦ, преимущественно за последние 15 лет (2010–2024г.г.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Серия неудач, связанных с разработкой новых препаратов для лечения НДЗ и отсутствие реального успеха заставляют задуматься о существенном пересмотре взглядов на их патогенез, критерии диагностики, особенно ранней, и направленной терапии.

За последние 20 лет накоплен ряд противоречий и фактов, указывающих на поиск новых критериев и маркеров прогрессирования при РС, БП и БА. Укоренившиеся в клинической неврологии каноны диагностики подразумевают постановку топического, затем синдромального диагноза; вершиной диагностического процесса является постановка нозологического диагноза. На сегодняшний день общепризнано, что в основе развивающегося нейродегенеративного процесса лежит окислительный стресс. Важно подчеркнуть, что для головного мозга характерно интенсивное потребление кислорода, что и вызывает чрезмерное образование его активных форм (АФК). Продукция АФК может привести к серьезному повреждению клеток и тканей и способствовать хронизации воспаления, лежащего в основе НДЗ и других метаболических патологий. Их высокая реактивность приводит к усилению окислительного стресса, который способствует: гликозилированию и окислению белков, приводящее к потере их функции. Активные формы кислорода влияют на углеводы с образованием продуктов гликирования, участвующих в развитии нейродегенеративных заболеваний изменяют гетероциклические основания ДНК и РНК, в частности гуанин. Кроме того, нервные клетки особенно подвержены окислительному повреждению из-за высокого, содержания полиненасыщенных жирных кислот, предшественников простагландинов, и слабой антиоксидантной защиты. АФК в клетках головного мозга реагируют с ПНЖК клеточных мембран, вызывая их перекисное окисление (ПОЛ), что свидетельствует о противовоспалительной роли участников этого процесса. Повреждению также

подвергаются молекулы ДНК при окислении или нитровании гуаниловых оснований [11–13]. В результате ПОЛ образуются относительно стабильные продукты, такие как малоновый диальдегид (МДА), 4-гидрокси-2-ноненаль (ГНЭ), акролеин и изопростан [14, 15].

Изменение текучести и проницаемости мембраны способствует массовому поступлению во внутриклеточную среду веществ, например, K^+, Ca^{2+} и др., которые могут изменять мембранные белки, ферменты и рецепторы. Кроме того, оксид азота (NO), по-видимому, играет важную роль в неврологических расстройствах. Он имеет один неспаренный электрон, что делает его очень восприимчивым к другим молекулам. Попадая в кровоток, он окисляется с образованием нитритов и нитратов. Синтез NO регулируется синтазой оксида азота (NOS), которая в организме человека существует в трех формах: индуцибельная синтаза оксида азота (iNOS), нейрональная синтаза оксида азота (nNOS) и эндотелиальная синтаза оксида азота (eNOS). Количество NO, продуцируемое этими разными изоформами, проявляет различную физиологическую активность. В низких концентрациях NO, по-видимому, оказывает нейропротекторное действие: исследования на животных моделях показали, что ингибирование NOS коррелирует с возникновением и прогрессированием БП, а также со снижением апоптоза нейронов [16]. Тем не менее, NO в высоких концентрациях вызывает провоспалительный стимул с нейротоксическим эффектом [17].

В последнее время активно обсуждается роль повреждения митохондрий при НДЗ. Митохондриальная дисфункция приводит к увеличению продукции АФК, дефектам окислительного фосфорилирования, разрушению митохондрий (митоптоз) и играет ключевую роль в старении и патогенезе НДЗ, поскольку нейроны особенно уязвимы и восприимчивы к окислительному стрессу из-за высоких энергетических потребностей и высоких потребностей в кислороде [18].

Старение и стрессовые факторы

Старение и стрессовые факторы могут служить причиной начала нейродегенеративных болезней. Сообщается о снижении уровня антиоксидантов и увеличении ПОЛ у пожилых людей по сравнению с контрольной группой молодых людей [19, 20]. Кроме того, количество ПНЖК, особенно n-3 ПНЖК, в головном мозге уменьшается с возрастом. Содержание n-3 ПНЖК в старческом мозге в значительной степени зависит от поступления n-3 ПНЖК в течение жизни. Однако сниженная активность ключевых ферментов, участвующих в биосинтезе длинноцепочечных n-3 ПНЖК из пищевых предшественников, Δ6- и Δ5-десатураз, также обнаруживается в пожилом мозге. Нормальное старение связано со снижением антиоксидантной способности, повышенной скоростью ПОЛ и последующим снижением n-3 ПНЖК в ткани мозга, что приводит к изменению химического состава, структуры и функции стареющих клеток мозга. Несколько сообщений подтвердили возрастное ослабление ферментативной антиоксидантной защиты. Более того, вещества, реагирующие с гидропероксидом липидов и тиобарбитуровой кислотой, были идентифицированы как чувствительные маркеры нормального старения [21].

Следовательно, ПОЛ связано с развитием и прогрессированием НДЗ, а также с нормальным старением, участники которого способствуют формированию воспалительной реакции организма.

Начало НДЗ связано со снижением активности аутофагии, т.е. включения компонентов, таких как белки, органеллы и микробные захватчики, в аутофагосомы в результате генетической изменчивости, старения или образа жизни. Формирование и созревание аутофагосом зависит от доступных липидов и липид-связывающих белков, что указывает на важность липидов для обеспечения функциональной активности нервной ткани. Поскольку БА, БП и БАС обычно встречаются у пожилых людей и в первую очередь классифицируются как протеинопатии, это означает, что они связаны с агрегацией и отложением белков с неправильной укладкой, которые вызывают нейротоксичность через пути клеточного стресса [22, 23].

Имеющиеся данные показывают, что высокая частота НДЗ может быть частично связана с негативным влиянием повседневных факторов риска, включая стресс, отсутствие физических упражнений и нездоровое питание [24].

Различные по клинической симптоматике и этиологии НДЗ имеют как общие механизмы, так и особенности молекулярных повреждений, характеризующих специфику патологического процесса.

Болезнь Альцгеймера

Болезнь Альцгеймера (БА), поражающая мозг, характеризуется повышенным карбонилированием и нитрованием, которые, соответственно, вводят в белки монооксид углерода или одну, или несколько групп NO_2 [25].

Имеются данные о том, что, помимо нарушений белкового обмена, нарушения липидного обмена, особенно фосфоинозитолов и сфинголипидов, также играют важную роль в нейродегенерации. Свойства липидов и эффекты в ЦНС напрямую определяются долей конкретных жирных кислот в их молекулярной структуре и, в частности, содержанием длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК). Выделяют три основных механизма воздействия ПНЖК на нервную систему: (1) модуляция физических свойств клеточной мембраны, (2) активность вторичного мессенджера и (3) регуляция экспрессии генов. Наличие ПНЖК в нейральных фосфолипидах благоприятно влияет на проницаемость и текучесть мембран, способствует эндо- и экзоцитозу, активности ионных каналов и мембраносвязанных белков, включая рецепторы нейромедиаторов [26].

АФК, продуцируемые микросомальным Cyt p-450, НАДФН-оксидазой и липоксигеназой атакуют липиды, белки и ДНК мозга, еще больше усиливая окислительный стресс. Окислительное повреждение липидов приводит к образованию продуктов ПОЛ, которые дополнительно атакуют липиды, белки и ДНК, нарушая работу мозга. ПОЛ может воздействовать на разные типы нейронов. В нейронах гиппокампа продукты ПОЛ связываются с β-амилоидным пептидом и образуют неправильно свернутый амилоидный β-пептид и сенильные бляшки амилоидного β, которые нарушают передачу сигналов и структуру нерва и вызывают БА.

БА – прогрессирующее нейродегенеративное заболевание, характеризующееся внеклеточным накоплением β-амилоида и нейрофибриллярных клубочков – сенильных бляшек, состоящих из тау-белка на поверхности нейронов, что нарушает передачу сигналов, структуру нервов и провоцируют развитие болезни. Внедрение β-амилоида в клеточные мембраны генерируют пероксид водорода, который запускает ПОЛ. В аутопсийных образцах головного мозга пациентов обнаруживаются повышенные уровни 12- и 15 липооксигеназы и 12- 15-гидроксиэйкозаеновых кислот [27, 28].

Углубленное изучение молекулярных механизмов развития выявило возможную связь между Apo-ε4 и болезнью Альцгеймера. Показано, что на ранних этапах заболевания в мозге обнаруживается снижение уровня сульфатидов из-за нарушения механизма их транспорта, опосредованного Apo-E. Установлено влияние Apo- ε4 на рост амилоидных тяжей и ускорение гибели нейронов, например, нейронов гиппокампа.

Таким образом аллели Apo-E определяют частоту возникновения болезни и подчеркивают сложность патогенеза, в котором тесно переплетаются активация ПОЛ и генетический полиморфизм ApoE. Люди, гомозиготные по Apo- ε4 имеют в 16 раз большую вероятность развития болезни.

Болезнь Паркинсона

Болезнь Паркинсона (БП) – второе по распространенности нейродегенеративное заболевание в мире после болезни Альцгеймера. Паркенсонизм – это болезнь адренэргической системы мозга. К адренэргической системе мозга относят все нейронные популяции и мозговые структуры, медиатором которых являются дофамин и норадреналин. Этиопатогенез заболевания включает действие внешних факторов, возраст, наследственность. Молекулярной основой определенно можно считать окислительный стресс, эксайтотоксичность, митохондриальную дисфункцию и накопление белка α-синуклеина (α-syn), который в норме может выполнять функцию белка-шаперона. В патогенезе БП ПОЛ считается одним из важнейших индукторов воспаления, драйверов апоптоза, аутофагии и ферроптоза, в результате которых наблюдается гибель различных популяций нейронов. Главным источником АФК во многих клетках являются митохондрии [29].

Согласно ряду теорий, происходит накопление в течение жизни мутаций митохондриальных ДНК, возникших под действием АФК, и прежде всего $O_2^{\cdot-}$. Митохондрии с поврежденными ДНК не могут обеспечить клетки достаточным количеством АТФ. Повышение НАДФ-трансгидрогеназы – важного элемента системы защиты от АФК, блокирует не только образование АТФ, но и высвобождение инсулина β-клетками, что нарушает структурно-функциональный мышечный аппарат, целостность нейронов, и способствует возникновению болезни. АФК действуют на проницаемость эндотелиального барьера, влияя на межклеточные и адгезивные контакты.

При БП аномально свернутая форма белка α-syn образует волокнистые массы, называемые тельцами Леви. Накопление этого белка приводит к недостаточной выработке дофамина в полосатом теле и может рассматриваться как биохимический маркер.

Установлено, что α-syn влияет на метаболизм ГАМК. Сама ГАМК регулирует процессы высвобождения α-syn из синаптических визикул. Повышенные уровни ГАМК вызывают активацию ГАМК β-рецепторов в глутаматэргических терминалах, что приводит к ингибированию Ca^{++}каналов, уменьшая высвобождение α-syn. Таким образом, секреция белка зависит от перекрестного взаимодействия ГАМКэргических нейронов с глутаматэргическими и являются Ca^{++}зависимыми. Установление этого факта важно для объяснения изменений метаболизма α-syn, входящего в гипотезу митохондриальной дисфункции как основы развития БП. Наличие хотя бы одного из компонентов может вызывать нарушение метаболизма α-syn и развитие БП. Перечисленные выше факторы могут быть включены в комплексное понятие «хроническое нейровоспаление», что является ведущей теорией в патогенезе БП. При этом заболевании обнаруживаются сдвиги во многих звеньях гуморально-гормональной системы организма, что может сопровождаться не только патологическими, но и компенсаторными изменениями в биохимических реакциях. Следует учитывать, что разные клинические формы синдрома паркинсонизма могут иметь различные патофизиологические и биохимические особенности, что позволяет считать это заболевание мультисистемным. Наряду с нейровоспалением обсуждается возможная роль активации иммунной системы в процессе нейродегенерации при Б.П. Полученные данные позволяют предполагать, что различия между стадиями можно устанавливать по уникальному профилю специфических антител. Более того, сочетанные изменения маркеров нейровоспаления, эндогенной интоксикации с продуктами ПОЛ, например, МДА, могут рассматриваться как потенциальные маркеры ранней диагностики заболевания, что является одной из наиболее нерешенных диагностических и прогностических задач [30, 31].

Боковой амиотрофический склероз

Боковой амиотрофический склероз – это НДЗ, характеризующееся прогрессирующей потерей моторных нейронов в ЦНС, что приводит к мышечной атрофии, параличу и смерти [32]. Генетические исследования показали, что при БАС наиболее распространенными мутантными генами являются SOD_1 C9 orf 72, TARDBP и FUS. На сегодняшний день описано более 180 различных мутаций в гене SOD_1, которые можно обнаружить в 10–20 % случаев семейного БАС и в 1–5 % случаев спорадического БАС [33]. Имеющиеся данные показывают, что окислительное повреждение нейронов способствует их дисфункции и дегенерации при БАС. В биологических жидкостях обнаружен высокий уровень продуктов ПОЛ, в частности, МДА, что подтверждает роль прооксидантного дисбаланса в патогенезе БАС [34].

Накопление другого промежуточного продукта – 4-гидроксинонеаля (HNE), который атакует ДНК, это сопровождается активацией апоптоза и

модифицированием белков, что является одним из наиболее важных факторов риска, связанных с прогрессированием заболевания. Интересно отметить, что повышенный уровень альдегида (HNE) и, соответственно, модифицированных белков, наблюдается в двигательных нейронах спинного мозга. Следовательно, окислительный стресс лежит в основе молекулярных сдвигов при БАС [35, 36].

Подтверждением этого положения являются данные, указывающие на значимую патогенетическую роль мутаций в $СОД_1$, которые приводят к изменениям в структуре и функций в двигательных нейронах [37, 38]. Мутирование СОД приводит к неправильно свернутым белковым цепям и формирует нейротоксические агрегаты в ядрах глиальных клеток спинного мозга, что способствует дегенерации нейронов [39, 40]. У мутанта SOD снижена ферментативная активность, что приводит к аномальной продукции АФК, следствием чего является изменение клеточной функции, апоптоз и, как последнее звено воспалительного процесса — некроз [41] (Рис. 1).

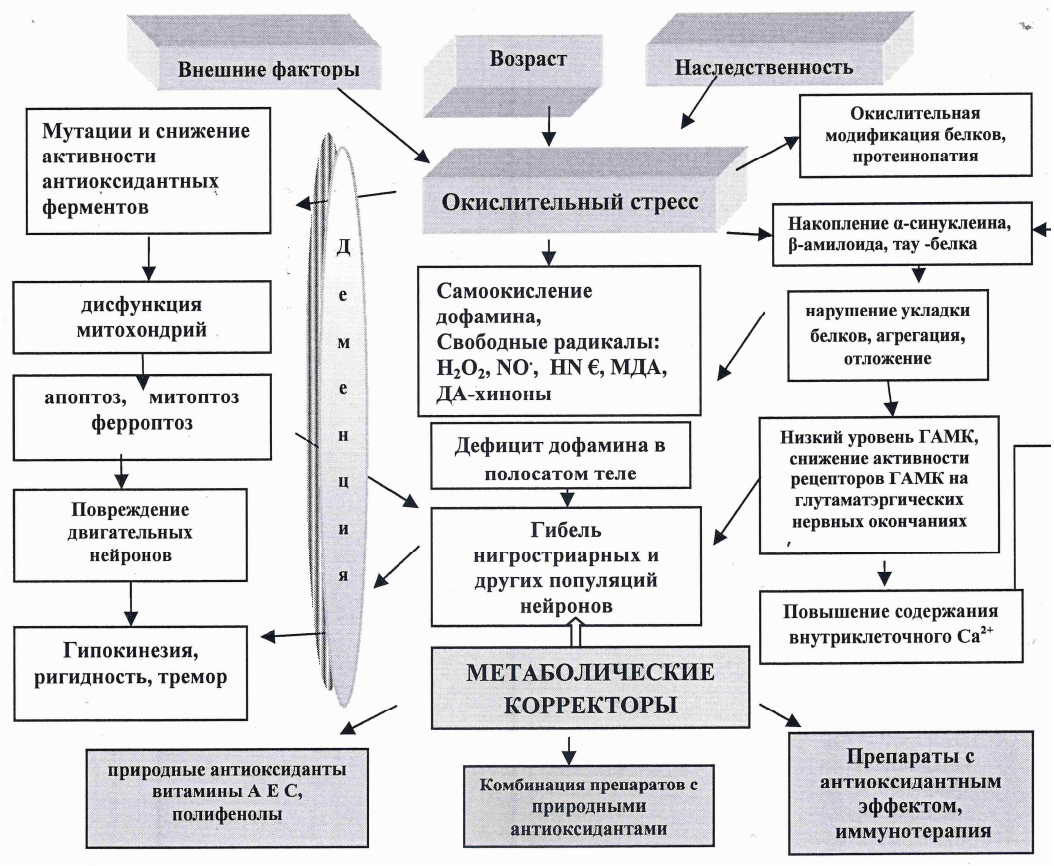


Рис. 1. Патогенетические мишени НДЗ и их коррекция антиоксидантами.

Метаболическая коррекция нейродегенеративных заболеваний

Как следует из приведенных выше данных на рисунке (Рис. 1), НДЗ имеют молекулярные блоки, такие как аномальное накопление агрегированных белков в результате их окислительной модификации, митохондриальную дисфункцию, нарушение лизосомальной деградации белков, накопление β-амилоида (БА), а также α-синуклеида на фоне дефицита дофамина в полосатом теле (БП). Различные по этиологии и клинической симптоматике, НДЗ имеют в патогенезе общие черты, связанные с окислительным повреждением биомолекул, неправильной укладкой белков, их агрегацией, нарушением про- и антиоксидантного баланса за счет накопления АФК. Эндогенная продукция АФК индуцируется накоплением железа в клетках мозга, действием липооксигеназы, миелопероксидазы, ангиотензина и НАДФН-оксидазы, т.е. факторов, ассоциирующихся с хроническим воспалением. В соответствии с этим, ингибирование или снижение интенсивности ПОЛ может замедлить или остановить прогрессирование дегенеративных процессов [42]. Однозначного ответа по поводу оценки эффективности влияния антиоксидантов на ведущие звенья патогенеза при НДЗ в настоящее время нет. Тем не менее, антиоксидантная терапия рассматривается как важнейшее звено нейропротекции.

Метаболическую коррекцию при НДЗ можно разделить на 3 группы.

Первая из них, природные антиоксиданты, защищающие действие АФК: витамины А, Е, С, богатые полифенолами продукты, например, фрукты, могут рассматриваться как потенциальные антиоксиданты.

Вторая – эндогенные антиоксиданты, поступающие с пищей соединения селена, меди, магния, флавоноиды, каротиноиды, которые помогают предотвратить или даже отсрочить начало БАС. Исследования влияния добавок витамина Е показали, что регулярное употребление витамина Е в течение более 10 лет связано с более низким риском смерти от БАС, а Ван и соавторы обнаружили тенденцию к снижению прогрессирования БАС [43].

К третьей группе корректирующих препаратов, можно отнести комбинированную терапию. После трех месяцев лечения витамином и рилузолом (500мг. 2 раза в день) в качестве стандартной лекарственной терапии при БАС, наблюдали снижение уровня МДА и повышение уровня глутатиона в плазме. Тем не менее, значительного влияния витамина Е на выживаемость пациентов с БАС не обнаружено [44]. В рандомизированном контролируемом исследовании (РКИ) комбинация метеонина, витамина Е и селена сопровождалась значительным увеличением выживаемости и увеличением активности глутатионредуктазы у пациентов с БАС через год.

Патогенетические мишени воздействия антиоксидантов

Вещества полифенольной природы воздействуют на множество терапевтических мишеней, что может быть полезным для профилактики и лечения начальных стадий НДЗ:

– вещества полифенольной природы антоцианы при НЗД способствуют выживаемости нейронов;

полифенолы, такие как куркумин, ресвератол, катехин и олеорупеин являются ингибиторами образования телец Леви [45];

– выявлено влияние каротиноидов на двигательную функцию при НДЗ;

– витамин Е представляет собой потенциальную терапевтическую мишень для модификации заболевания.

Защитные эффекты могут быть достигнуты за счет предотвращения окислительного стресса и ингибирования апоптоза. В этом плане перспективно применение препаратов антиоксидантного действия (митохондриально-направленных) в комплексной противовоспалительной терапии.

Наряду с антиоксидантной терапией необходимо отметить активно развивающуюся иммунотерапию, способствующую элиминации аберрантных белков (α-синуклеина, β-амилоида). Это направление открывает перспективы, и подчеркивает необходимость рассматривать прогрессирующее заболевание нервной системы с учетом различных факторов патогенеза, как. например, переплетение свободнорадикальных атак с протеинопатией, что важно для поиска новых направлений патогенетически обоснованной терапии НДЗ. Очевидно, что прогрессирующие заболевания нервной системы – это системная патология и терапевтические мероприятия должны затрагивать все уровни функционирования биосистемы, начиная с молекулярного, способного замедлить или остановить патологический процесс.

Мексидол, как антиоксидантный протектор НДЗ

Как считают Чуканова с соавторами [45], Стаховская [46], Щулькин [44] важное значение для терапии различных заболеваний нервной системы имеют препараты с нейротропным эффектом, позволяющие нейронам функционировать в условиях гипоксии. Из таких препаратов пациентам с ХИМ назначают производные ГАМК, препараты животного происхождения (актовегин, церебролизин, кортексин) мембраностабилизирующие препараты (церетон, глиатилин) препараты с антиоксидантным эффектом, кофакторы, витамины.

Одним из наиболее изученных и широко используемым в настоящее время препаратом антиоксидантного действия, является мексидол – 2-этил-6-метил-3-гидроксипиридина сукцинат. Наиболее важными фармакологическими эффектами мексидола являются его антиоксидантные, мембранотропные эффекты. Он также проявляет способность модулировать функционирование рецепторов и мембранно-связанных ферментов, а также восстанавливать нейромедиаторный баланс [46].

Ряд проведенных клинических исследований, посвященных изучению эффективности и безопасности мексидола в лечении пацинтов с острой ишемией мозга, доказал его клиническую эффективность. В экспериментальных исследованиях Ворониной [47] выявлено, что действие мексидола направлено на свободнорадикальное окисление в биомембранах и внутри клетки. Препарат ингибирует процессы ПОЛ, повышает активность супероксиддисмутазы и церулоплазмина. Кроме того, мексидол стимулирует энергосинтезирующую функцию митохондрий, повышая устойчивость клеток мозга к гипоксии и ишемии. В условиях гипоксии мексидол способствует усилению компенсаторной активации

аэробного гликолиза и снижению степени угнетения окислительных процессов в цикле Кребса, что приводит к увеличению образования и активации энергосинтезирующих функций митохондрий. Было показано, что мексидол прерывает ишемический каскад, воздействуя на важнейшие этапы: расстройство синтеза энергии, глутаматную эксайтотоксичность и оксидативный стресс. Широкий спектр фармакологических эффектов мексидола реализуется как на нейрональном, так и на сосудистом уровнях. Снижает повышенный в мозге при патологии уровень оксида азота. Под воздействием мексидола происходит увеличение концентрации восстановленной формы глутатиона [48].

Дополнительным важным эффектом мексидола является его воздействие на мембраны нейрона, приводящее к снижению их возбудимости. Мексидол препятствует нарушению структурно-функционального состояния биомембран, транспорта нейромедиаторов и улучшению синаптической передачи. Препарат улучшает соотношение липид-белок, а также концентрацию в головном мозге дофамина. Наряду с этим имеются доказательства гиполипидемической активности мексидола. Показано, что прием мексидола сопровождается снижением уровня общего холестерина и ЛПНП [49].

Благодаря мультифакторному механизму действия и широкому спектру фармакологических эффектов – церебропротективного, противогипоксического, транквилизирующего, антистрессорного, ноотропного, вегетотропного, противосудорожного, а также положительно влияющего на кровоснабжение мозга, улучшению реологических и гемокоагуляционных свойств крови, лечение мексидолом приводит к стойкой компенсации хронической ишемии мозга. На фоне применения мексидола, у больных с ишемическим инсультом, происходило достоверное снижение уровня гидроперекисей липидов с одновременной нормализацией эндогенного антиоксидантного фона. Нейропсихологическое исследование в динамике показало, что курс лечения мексидолом оказывал положительное влияние на темп психической деятельности, внимание, зрительную память [46].

В проведенных исследованиях больных с хроническим ЦВЗ было выявлено, что применение мексидола приводит к улучшению состояния пациентов и уменьшению выраженности наиболее часто встречающихся клинических проявлений данной патологии. Максимальный терапевтический эффект мексидола наблюдается у больных с изначально повышенным содержанием продуктов ПОЛ и истощенной антиоксидантной защитой.

Показано, что лечение мексидолом актуально для превентивной коррекции когнитивных расстройств, поскольку он непосредственно влияет на патогенетические факторы их формирования [50]. Широкий спектр эффектов мексидола определяется его базисным политаргетным механизмом действия и мультимодальными свойствами. Мексидол обладает антиоксидантным, антигипоксическим и мембранотропным эффектами, способностью улучшать энергетический статус клетки и восстанавливать процессы в цикле Кребса, индуцировать митохондриогенез, подавлять аскорбатзависимое (неферментативное) и НАДФH_2-зависимое перекисное окисление липидов, повышать активность Se-

зависимой глутатионпероксидазы, снижать активность индуцибельной NO-синтазы и связывать супероксидный анион-радикал. Показано, что фрагмент молекулы мексидола, 2-этил6-метил-3-оксипиридин, при курсовом применении обладает способностью улучшать мнестические процессы и двигательные навыки у пожилых беспородных крыс. Таким образом, механизм действия мексидола, связанный с воздействием на ключевые, базисные процессы повреждения клеточных структур, в том числе при старении, предполагает его позитивное влияние на возрастные изменения и продолжительность жизни [51–56].

Применение селенопротеинов и коэнзима Q10 при НДЗ

Селенопротеины, такие как глутатионпероксидазы (GPx), играют важную роль в антиоксидантной защите. Селен является важным микроэлементом с очень узким рекомендуемым диетическим диапазоном. Рекомендуемая суточная доза селена составляет около 55 мкг/день, и ее можно комбинировать с определенным рационом питания. Селен в форме селеноцистеина является компонентом 25 классов селенопротеинов, включая GPx, селенопротеины P, W и R и тиоредоксины (TrxR). В качестве антиоксиданта он обеспечивает защиту от вызванного АФК повреждения клеток .

Основными селенопротеинами головного мозга являются P и GPx: первый из них был идентифицирован в сенильных бляшках и нейрофибриллярных клубках, что указывает на его важную роль в борьбе с окислительными повреждениями, GPx, который нейтрализует перекиси, экспрессируется нейронами и глиальными клетками.

Биосинтез селенопротеинов зависит от доступности селена. Таким образом, адекватное потребление селена может быть особенно важным для поддержания функции у пожилых людей [57].

Его концентрация в мозгу изменяется у больных болезнью Альцгеймера и рассеянным склерозом; следовательно, этот элемент может играть важную роль в защите от нейродегенерации Учитывая, что пожилые люди более подвержены дефициту селена из-за метаболических изменений, более низкой биодоступности и изменений в рационе в нескольких исследованиях была выдвинута гипотеза о возможности экзогенного поступления селена для предотвращения болезней, связанных со старением.

Коэнзим Q10

Коэнзим Q10 (CoQ10) (2,3-диметокси-5-метил-6-декапренил-1,4-бензохинон) представляет собой жирорастворимое соединение, также известное как CoQ10, витамин Q10, убидекаренон или убихинон. Эндогенное вещество вырабатывается митохондриями в дозах около 3–5 мг в сутки. Это один из основных элементов, участвующих в митохондриальном окислительном фосфорилировании, и действует как антиоксидант. Исследования in vitro показали, что CoQ10 легко проникает через гематоэнцефалический барьер.

Благодаря своим окислительным и антиоксидантным свойствам он является модулятором окислительно-восстановительного состояния клеток. CoQ10 находится во внутренней митохондриальной мембране и защищает клетки от апоптоза на морфологическом и молекулярном уровне Кроме того, как липофильный антиоксидант, он может удалять радикалы из мембран, цитозоля и плазмы.Кроме того, он играет важную роль в патогенезе БП. Фактически, уровень CoQ10 значительно ниже нормы в митохондриях нейронов и тромбоцитов у пациентов с БП. Исследования in vitro на фибробластах пациентов с БП показали, что прием CoQ10 восстанавливает активность электрон-транспортной цепи. О первых клинических исследованиях нейропротекторных эффектов CoQ10 были сообщения еще 1994: это исследование продемонстрировало связь между приемом CoQ10 в течение 16 месяцев (1200 мг в день) и снижением функционального спада (44 %) у пациентов с болезнью Паркинсона. Мюллер с соавторами подтвердили эти данные: 28 пациентов с БП продемонстрировали умеренное улучшение симптомов благодаря пероральному введению CoQ10 (360 мг в день) [58].

Антиоксидантный потенциал CoQ10 был дополнительно оценен в пилотном исследовании на пациентах с синдромом Ретта, тяжелым нарушением развития нервной системы, при котором индуцированный гипоксией окислительный стресс связан с патогенезом и прогрессированием заболевания. После 12-месячного приема CoQ10 (300 мг/день) наблюдалось значительное улучшение энергетического статуса эритроцитов, что свидетельствует об ослаблении окислительного стресса [59–64].

Многообещающие результаты были также получены в двойном слепом рандомизированном клиническом исследовании с участием пациентов с ремиттирующе-перемежающимся рассеянным склерозом. Экспериментальная группа принимала 500 мг CoQ10 в течение 12 недель и показала значительное снижение маркеров воспаления, таких как фактор некроза опухоли α (TNF-α), интерлейкин 6 (IL-6) и матриксная металлопротеиназа 9 (MMP-9).

Исследование группы соавторов выявило влияние CoQ10 и миметика miR-149-5p на miR-149-5p, MMPs и тирозингидроксилазу в моделях крысиной PD. Это взаимодействие стало основой для понимания того, как противодействовать нейродегенерации при БП. Исследование показало, что комбинация микроРНК миР-149 и CoQ10 способна предотвращать окислительное повреждение дофаминергических нейронов и улучшать двигательную функцию, вызванную инъекцией 6-гидроксипопамина, за счет уменьшения матрикса металлопротеиназы 2,9 на животной модели [64]. Перспективны разработки эффективных метаболических средств связаны с митохондриально-адресованными антиоксидантами: SkQ, в соответствии с представлениями о митохондриальной дисфункции. Показано, что SkQ соединения быстро восстанавливаются I и II комплексами дыхательной цепи, являются регулируемыми АО многократного действия. Известно, что митохондриальные АФК, индуцированные β-амилоидом, могут способствовать гиперфосфорилированию тау-белка. Митохондриально-адресованные АО предотвращают такие гиперфосфорилирования.

При изучении липидограммы, не смотря на отсутствие достоверных отличий снижения холестерина, выявлено достоверное снижение ЛПНП и триглицеридов.

Основные компоненты ферментативной антиоксидантной защиты включают супероксиддисмутазу, глутатионпероксидазу и редуктазу, глутамилтранспептидазу и каталазу, тогда как неферментативные эндогенные антиоксиданты включают глутатион (GSH), мочевую кислоту, убихинон, токоферол, ретинол, мелатонин и ядерный фактор эритроид 2, сопутствующий фактор 2.

Из-за сложной природы НЗД рекомендуется многоцелевой подход к лечению, так как он может оказывать дополнительные положительные эффекты. При рассмотрении роли перекисного окисления липидов в развитии и прогрессировании НДЗ необходимы дальнейшие исследования с применением антиоксидантных препаратов при различных формах НДЗ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог вышесказанному, следует отметить, что фармакологическая регуляция образования АФК может рассматриваться в двух аспектах: прямым антирадикальным действием, т.е. непосредственным действием на АФК их связыванием или путем повышения действия активности ферментов АОЗ. Антиоксиданты блокируют индуцированный АФК апоптоз, ослабляют нарушения, связанные с гипоксией, снижают уровень токсических проявлений. В этом плане особенно привлекают внимание "физиологически совместимые" антиоксиданты. Это вещества, являющиеся сопрягающими редокс-факторами, поддерживающими показатели гомеостаза в экстремальной ситуации. Они способны в качестве составной части физиологической системы воздействовать на молекулярные мишени, синхронизируя метаболические реакции.

Препараты, одобренные FDA, такие как ингибиторы ацетилхолинэстеразы (донепезил, ривастигмин), а также леводопа для лечения БП, которые преодолевают гематоэнцефалический барьер и восстанавливают уровень дофамина в черной субстанции, только облегчают симптомы и замедляют прогрессирование заболеваний в течение нескольких лет. Новые терапевтические подходы, направленные на нейрорегенерацию, т.е. структурное и функциональное восстановление поврежденной нервной системы посредством иммуномодуляции, ингибирования образования белковых агрегатов, дезагрегации неправильно свернутых белков и индукции аутофагии, дают надежду на то, что процесс дегенерации пораженных нейронов может замедлиться, а скорость восстановления и продолжительность жизни увеличатся.

Список литературы

1. Воробъёва О. В. Оксидативный стресс, ассоциированный с цереброваскулярной дисфункцией: возможности терапии / О. В. Воробъёва // Фарматека – 2010. – №5. – С. 44–48.
2. Гомазков О. А. Клеточные и молекулярные принципы старения мозга / О. А. Гомазков. // Успехи современной биологии. – 2012. – 132, №2. – С. 141–154.
3. Дума С. Н. Возможности антиоксидантной терапии при астении и когнитивном дефиците у пожилых пациентов с хронической ишемией мозга / С. Н. Дума //Терапевтический архив. – 2013. – №12. – С. 100–105.

4. Гончарова З. А. Альфа-синуклеин и ферменты оксидантного стресса как биомаркеры болезни Паркинсона / З. А.Гончарова, Т. С. Колмакова, М. А. Гельпей // Нейрохимия. – 2017. – 34, № 2. – С. 99–107. doi.org/10.7868/S102781331700066
5. Микашинович З. И. Биомаркеры окислительного стресса и протеопатий в диагностике нейродегенеративных заболеваний / З. И. Микашинович, Н. Р.Телесманич, О. Б. Смирнова, Е. А. Черногубова // Молекулярная медицина. – 2024. – № 2. – С. 16–22. doi.org/10.29296/24999490-2024-02-03
6. J. Paul Taylor. Neurodegenerative diseases: G-quadruplex poses quadruple threat / J. Paul Taylor, H. Robert, Jr. Brown ,W. Don Cleveland, J. P. Taylor // Nature. – 2014. – Vol. 507. – P. 175–177.
7. Гончарова З. А. Мультипараметрическая оценка биохимических маркеров крови при болезни Паркинсона. / З. А. Гончарова, Т. С. Колмакова, О. С. Оксенюк, Е. В. Моргуль, М. А Гельпей, Ю. А Калмыкова, О. Б. Смирнова Х. М. Муталиева // Практическая медицина – 2018. – 10 – С. 87–91. Doi:10.32000/2072-1757-2018-10-87-91
8. Ефимова М. Ю. Молекулярные биомаркеры когнитивных нарушений при ишемическом инсульте / М. Ю. Ефимова, Н. Е Иванова, Т. М. Алексеева, А. Ю. Иванов, А. Е. Терешин, А. О. Макаров, Д. А. Решетник // Медицинский вестник Северного Кавказа. – 2019. – 14, № 3. – С. 567–571. https://doi.org/10.14300/mnnc.2019.14121
9. Reed T. T. Lipid peroxidation and neurodegenerative disease / T. T. Reed // Free Radical.Biol. Med. – Vol. 51 – P. 1302–1319. doi: 0.1016/j.freeradbiomed.2011.06.02732.
10. Miller E. Potential of redox therapies in neurodegenerative disorders. / E. Miller, L. Markiewicz, J. Kabzinski, D. Odrobina, I. Majsterek, E. Miller // Front Biosci (Elite Ed). – 2017. – Vol. 19, №2. – P. 214–234. doi: 10.2741/e797
11. Литвиненко И. В. Фундаментальные и методологические аспекты изучения прогрессирующих заболеваний центральной нервной системы / И. В. Литвиненко // Бюллетень Национального общества по изучению болезни Паркинсона и расстройств движений. – 2022. – №2. – С. 127. doi: 10.24412/2226-079X-2022-12449 2
12. Domanskyi A. Oxidative Stress in Neurodegenerative Diseases./ A.Domanskyi, R. Parlato Antioxidants. – 2022. – Vol. 11, № 3. – P. 504. https://doi.org/10.3390/antiox11030504
13. García-Sánchez A. The Role of Oxidative Stress in Physiopathology and Pharmacological Treatment with Pro- and Antioxidant Properties in Chronic Diseases / A. García-Sánchez, A. G. Miranda-Díaz, E. G. Cardona-Muñoz. // Oxid Med Cell Longev. – 2020. – Jul.23 – 20202082145. doi: 10.1155/2020/2082145.
14. Miller E. Oxidative modification of patient's plasma proteins and its role in pathogenesis of multiple sclerosis. / E. Miller, A. Walczak, J. Saluk, M. B. Ponczek, I. Majsterek // Clinical Biochemistry. – 2012. – Vol. 45, №1-2. – P. 26–30.
15. Вилков Г. А. Коррекция нейроиммунных реакций регуляцией перекисного окисления липидов. / Г. А. Вилков, О. Б Смирнова., Л. И Межова. // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 1993. – Т. 116, №10. – С. 364–366.
16. Новиков В. Е. Роль активных форм кислорода в физиологии и патологии клетки и их фармакологическая регуляция / В. Е. Новиков, О. С. Левченкова, Е. В. Пожилова. // Обзоры по клинической фармакологической и лекарственной терапии. – 2014. – Т. 12, №4. – С. 13–21.
17. Steinert J. R. Nitric oxide signaling in brain function, dysfunction, and dementia. / Steinert J. R., Chernova T., and Forsythe I. D. // Neuroscientis. – t 2010. – №16. – P. 435. doi: 10.1177/1073858410366481
18. Sidorova Y. Detecting Oxidative Stress Biomarkers in Neurodegenerative Disease Models and Patients./ Y Sidorova, A. Domanskyi // Methods Protoc. – 2020 – Sep. 24. – №3 – P. 66. doi: 10.3390/mps3040066
19. Roberts R. A., Laskin D. L., Smith C. V., Robertson F. M., Allen E. M. G., Doorn J. A., Slikker W. / Nitrative and oxidative stress in toxicology and disease / R. A. Roberts, D. L. Laskin, C. V.Smith, F. M. Robertson, E. M. G Allen, J. A. Doorn, W. Slikker // Toxicological sciences. – 2009. – V. 112, №1, P. 4–16.
20. García-Sánchez A. The Role of Oxidative Stress in Physiopathology and Pharmacological Treatment with Pro- and Antioxidant Properties in Chronic Diseases / A. García-Sánchez, A. G. Miranda-Díaz, E. G. Cardona-Muñoz. // Oxid Med Cell Longev. – 2020. – Jul 23. – 2020. – 2082145. doi: 10.1155/2020/2082145.

21. Гомазков О. А. Клеточные и молекулярные принципы старения мозга / О. А. Гомазков // Успехи современной биологии. – 2012. – В. 132, №2. – С. 141–154.
22. Кирова Ю. И. Влияние Мексидола на церебральный митохондриогенез в молодом возрасте и при старении / Ю. И Кирова, Ф. М. Шакова., Э. Л. Германова, Г. А. Романова, Т. А Воронина. //. Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 2020. – Т. 120, №1. – С. 62–69.
23. Ивонина Н. А. Применение нейротропной терапии у молодых пациентов с постковидным синдромом. / Н. А Ивонина, К. Б.Петров. // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова – 2022. – Т. 122, №3. – С. 126-130. https://doi.org/10.17116/jnevro2022122031126
24. Левин О. С Когнитивная реабилитация пациентов с нейродегенеративными заболеваниями. / О. С. Левин, А. Н. Боголепова // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 2020. – Т. 120, №5. – С.110–115. doi: 10.17116/jnevro2020120051110
25. Janssens J. The role of mutant TAR DNA-binding protein 43 in amyotrophic lateral sclerosis and frontotemporal lobar degeneration / Gernot Kleinberger, Hans Wils, Christine Van Broeckhoven // Biochem Soc Trans 1 August 2011. – Vol. 39, №4. – P. 954–959. doi: https://doi.org/10.1042/BST0390954Biochem
26. Uddin M. S. Molecular Mechanisms of ER Stress and UPR in the Pathogenesis of Alzheimer's Disease. / M. S Uddin, D. Tewari, G. Sharma, M. T. Kabir, G. E. Barreto, M. N. Bin-Jumah, A. Perveen, M. M Abdel-Daim, G. M Ashraf // Mol. Neurobiol. – 2020. – Vol. 57. – P. 2902–2919 doi.org/10.1007/s12035-020-01929-y
27. Mondragón-Rodríguez S. Amyloid beta and tau proteins as therapeutic targets for Alzheimer's disease treatment: rethinking the current strategy / S Mondragón-Rodríguez, G Perry, X Zhu, J Boehm // International Journal of Alzheimer's Disease. – 2012. – № 7. – P. 630182
28. Ellis G. Lipid oxidation and modification of amyloid-β (Aβ) *in vitro* and *in vivo* / G. Ellis, E. Fang, M. Maheshwari, E. Roltsch, L. Holcomb, D. Zimmer, I. V. J Murray // Journal of Alzheimer's Disease. – 2010. – V. 22, №2 – P. 593–607.
29. Savelieff M. G. Untangling amyloid-β, tau, and metals in Alzheimer's disease / Savelieff M. G., Lee S., Liu Y., Lim M. H. // ACS Chemical Biology. – 2013. – Vol. 17, №8. – P. 856–865. doi: 10.1021/cb400080f
30. Абрамов А. Ю. Взаимодействие неправильно свернутых белков и митохондрий при нейродегенеративных заболеваниях. / А. Ю. Абрамов, А. В. Бережнов, Е. И. Федотова, В. П. Зинченко, Л. П. Долгачева // *Биохим. соц. Транс.* – 2017. – 45. – С. 1025–1033. doi: 10.1042/bst20170024
31. Гончарова З. А. Возможные лабораторные и инструментальные маркеры болезни Паркинсона / З. А. Гончарова, Т. С. Колмакова, О. С. Оксенюк, Е. В. Моргуль, М А. Гельпей, Н. Д. Власова, О. Б. Смирнова, Х. М. Муталиева // *Саратовский научно-медицинский журнал*. – 2020. – 16, (1). – С. 336–341. DOI: ssmj.ru/en/2020/1/336
32. Gros-Louis F. Genetics of familial and sporadic amyotrophic lateral sclerosis. / F. Gros-Louis, C. Gaspar, G. A. Rouleau // Biochim. Biophys. Acta. – 2006. – Vol. 1762. – P. 956–972.
33. Hardiman O. Amyotrophic lateral sclerosis / O. Hardiman, A. Al-Chalabi, A. Chio, E. M Corr, G. Logroscino, W. Robberecht, P. J Shaw, Z. Simmons, L. H van den Berg // Nature Reviews Disease Primers . – 2017. – № 3. – P. 17071. doi:10.1038/nrdp.2017.71.
34. Taylor J. P. From genes to mechanism / J. P. Taylor, R. H. J. Brown, D. W. Cleveland, A. L. S. Decoding. – Nature. – 2016. – V. 539. – P. 197–206. https://doi.org/10.1038/nature20413.
35. Rakhit R. Monomeric Cu,Zn-superoxide dismutase is a common misfolding intermediate in the oxidation models of sporadic and familial amyotrophic lateral sclerosis./ R. Rakhit, J. P. Crow, J. R. Lepock, L. H. Kondejewski, N. R. Cashman, A. J. Chakrabartty / Biol. Chem. – 2004. – Vol. 279. – P. 15499–15504.
36. Blasco H. Panel of Oxidative Stress and Inflammatory Biomarkers in ALS: A Pilot Study. Can / H. Blasco, G. Garcon, F. Patin, C. Veyrat-Durebex, J. Boyer, D. Devos, P. Vourc'h, C. R. Andres, P. Corcia // J. Neurol. Sci. – 2017. – Vol. 44. – P. 90–95. DOI: https://doi.org/10.1017/cjn.2016.284
37. Rosen D. R. Mutations in Cu/Zn superoxide dismutase gene are associated with familial amyotrophic lateral sclerosis. / Rosen D. R., Siddique T., Patterson D., Figlewicz D. A., Sapp P., Hentati A., Donaldson D., Goto J., O'Regan J. P., Deng H. X. – Nature. – 1993. – Vol. 362. – P. 59–62.

38. Zou Z. Genetic epidemiology of amyotrophic lateral sclerosis: A systematic review and meta-analysis. / Z. Zou, Z. Zhou, C. Che, C. Liu, R. J. He // Neurol. Neurosurg. Psychiatry. – 2017. – Vol. 88. – P. 540–549. 193. doi:10.1136/jnnp-2016-315018 3.
39. Guareschi S. An over-oxidized form of superoxide dismutase found in sporadic amyotrophic lateral sclerosis with bulbar onset shares a toxic mechanism with mutant SOD1. / Guareschi S., Cova E., Cereda C., Ceroni M., Donetti E., Bosco D. A., Trotti D., Pasinelli P. // Proc. Natl. Acad. Sci. – USA 2012. – 109. – P. 5074–5079.
40. Saccon R. A. Is SOD1 loss of function involved in amyotrophic lateral sclerosis? / Saccon R. A., Bunton-Stasyshyn R. K. A., Fisher E. M. C., Fratta P. // Brain – 2013. – 136. – P. 2342–2358.
41. Forsberg K. Glial nuclear aggregates of superoxide dismutase-1 are regularly present in patients with amyotrophic lateral sclerosis. / Forsberg K., Andersen P. M., Marklund S. L., Brännström T. // Acta Neuropathol. – 2011. – 121. – P. 623–634.
42. Petrovic S. Lipid Peroxidation and Antioxidant Supplementation in Neurodegenerative Diseases: A Review of Human Studies. / Petrovic S., Medic D., Cvetkovic Z., Arsic A., Vucic V. // Antioxidants (Basel). – 2020. – 9 (11). – P. 1128. DOI: 10.3390/antiox9111128.
43. Щулькин А. В. Современная концепция антигипоксического и антиоксидантного действия мексидола. / Щулькин А. В. // Ж Неврол-психиатр Им. С. С. Корсакова. – 2018 – 118 (12. Вып. 2) – С. 87–93. doi: 10.17116/jnevro201811812287.PMID: 30830123 Обзор.
44. Wang M. Association Between Vitamins and Amyotrophic Lateral Sclerosis / Wang M., Liu Z., Sun W., Yuan Y., Jiao B., Zhang X., Shen L., Jiang H., Xia K., Tang B. // A Center-Based Survey in Mainland China. Front. Neurol. – 2020. – 11. – P. 488.
45. Катасонов А. Б. Антоцианы для профилактики и лечения нейродегенеративных заболеваний / А. Б. Катасонов // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 2022. – Т. 122, №4. – С. 16–22. http://doi.org/10.17116/jnevro202212204116.
46. Чуканова Е. И. Результаты исследования эффективности и безопасности применения мексидола у пациентов с хроничекой ишемией мозга / Е. И. Чуканова, А. С. Чуканова, Х. И. Мамаева // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсаковаю. – 2015. – №2. – С. 71–74. https://doi.org/10.17116/jnevro20151152171-74
47. Стаховская Л. В. Результаты рандомизированного двойного слепого мультицентрового плацебо-контролируемого в параллельных группах исследования эффективности и безопасности мексидола при длительной последовательной терапии у пациентов в остром и раннем восстановительном периодах полушарного ишемического инсульта (ЭПИКА) / Л. В. Стаховская, Н. А. Шамалов, Д. Р. Хасанова, Е. В. Мельникова, А. С. Агафьина, К. В. Голиков, Э. И. Богданов, А. А. Якупова, Л. В. Рошковская, Л. В. Лукиных, Т. М. Локштанова, И. Е. Повереннова, Л. А. Щепанкевич // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 2017. – Т. 3, №2. – С. 34–39. https://doi.org/10.17116/jnevro20171173255-65
48. Воронина Т. А. Геропротективные эффекты этилметилгидроксипиридина сукцината в экспериментальном исследовании / Т. А Воронина // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 2020. – Т. 120, №4. – С. 81–8. doi.org/10.17116/jnevro2020120041 81.
49. Федин А. И. Результаты международного многоцентрового рандомизированного двойного слепого плацебо-контролируемого исследования по оценке эффективности и безопасности последовательной терапии Мексидолом и Мексидолом ФОРТЕ 250 у пациентов с хронической ишемией головного мозга (МЕМО) / А. И. Федин, В. В. Захаров, М. М Танашян, Е. И. Чуканова, Е. Н. Маджидова, Л. А. Щепанкевич, О. Д. Остроумова // Ж. Неврол Психиатр им. С. С. Корсаковой – 2021. – Т. 121, №11. – С.7–16. Рус. doi: 10.17116/jnevro20211211117. PMID: 34932280
50. Левин О. С. Диагностика и лечение когнитивных нарушений и деменции в клинической практике. / Левин О. С. // МЕДпресс-информ. – 2021. – 448 с. (ICBN:978-5-907632-94-3).
51. Карпов С. М. Исследование эффективности и безопасности последовательного применения препаратов Мексидол и Мексидол Форте 250 при лечении больных с острым ишемическим инсультом / С. М. Карпов, М. Ю. Морозова, К. А. Муравьев, И. А. Вышлова, Ф. С. Кантемирова // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. Спецвыпуски. – 2022. – Т. 122, №3-2. – С. 59-62. https://doi.org/10.17116/jnevro202212203259(In Russ.)

52. Захаров В. В. Эффективность Мексидола у пациентов с хронической ишемией головного мозга и когнитивными нарушениями различных возрастных групп (результаты субанализа международного многоцентрового рандомизированного двойного слепого плацебо-контролируемого исследования последовательной терапии у пациентов с хронической ишемией головного мозга МЕМО) / В. В. Захаров, О. Н. Ткачева, Е. А. Мхитарян, А. И. Федин // Неврол-психиатрииим С. С. Корсакова. – 2022. – Т. 122, №11, Вып. 2. – С. 73–80. doi:10.17116/jnevro202212211273.PMID: 36412160 Клиническое исследование. Русский.
53. Антипенко Е. А. Нейрометаболическая терапия легких когнитивных нарушений у пациентов с хронической ишемией головного мозга. / Е. А Антипенко, А. В. Шулиндин, К. М. Беляков // Неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 2024. – Т. 124, №3. – С. 42–51. doi: 10.17116/jnevro202412403142.PMID: 38529862 Русский.
54. Щепанкевич Л. А. Исследование эффективности и безопасности Мексидола и Мексидола ФОРТЕ 250 у пациентов с хронической ишемией головного мозга / Л. А. Щепанкевич, Я. А. Николаев, Е. В. Танеева, М. А. Первунинская, М. С. Щепанкевич // Ж. Неврол- психиатр им. С. С. Корсакова. 2021. – Т. 121, №10. – С. 32–37. doi: 10.17116/jnevro202112110132.PMID: 34874652 Русский.
55. Кирова Ю. И. Влияние Мексидола на церебральный митохондриогенез в молодом возрасте и при старении / Ю. И. Кирова, Ф. М. Шакова, Э. Л. Германова, Г. А. Романова, Т. А. Воронина // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. – 2020. – Т. 120, №1. – С. 62–69.
56. Журавлева М. В. Эффективность и безопасность этилметилгидроксипиридина сукцината у пациентов с ишемическим инсультом. / М. В. Журавлева, И. А. Щукин, М. С. Фидлер, А. Б. Прокофьев, С. Ю. Сереброва, Н. С. Васюкова, Е. Ю. Демченкова, В. В. Архипов // Ж. Неврол. и психиатр. им. С. С. Корсакова. – 2020. – Т. 120, №6. – С. 119–124. doi: 10.17116/jnevro2020120061119.PMID: 32678558 Обзор. Русский.
57. Steinbrenner H. Selenium homeostasis and antioxidant selenoproteins in brain: implications for disorders in the central nervoussystem / H. Steinbrenner, H. Sies // Arch. Biochem. Biophys. – 2013. – 536. – P.152–157. 10.1016/j.abb..02.021.
58. Ханан М. Абд-Эль-Гавад. Болезнь Паркинсона, вызванная ротеноном: модулирующая роль коэнзима Q10 / М. Ханан. Абд-Эль-Гавад, М. Далаал Абдалла и С. Ханан. Эль-Абхар // Журнал биологических наук. Гарвард. – 2004. – № 4. – С. 568–574. https://doi.org/10.1002/biof.5520090222.
59. Ghasemloo E. Neuroprotective effects of coenzyme Q10 in Parkinson's model via a novel Q10/miR-149-5p/MMPs pathway / E. Ghasemloo, H. Mostafavi, M. Hosseini, M. Forouzandeh, M. Eskandari, S. S. Mousavi // Metab. Brain Dis. – 2021. – Vol. 36. – P. 2089–2100.
60. Félix Javier Jiménez-Jiménez. Coenzyme Q10 and Parkinsonian Syndromes: A Systematic Review / Félix Javier Jiménez-Jiménez, Hortensia Alonso-Navarro, Elena García-Martín, José A. G. Agúndez // Journal of Personalized Medicine. – 2022. – Vol. 12, №6. – P. 975. doi: 10.3390/jpm12060975.
61. Sandro Huenchuguala. Targets to Search for New Pharmacological Treatment in Idiopathic Parkinson's Disease According to the Single-Neuron Degeneration Model. / Sandro Huenchuguala, Juan Segura-Aguilar // Biomolecules. – 2024 . – Vol. 14, №6. – P. 673 doi: 3390/biom14060673
62. Yubero-Serrano Elena M. Coenzyme Q10 as an antioxidant in the elderly / Elena M. Yubero-Serrano, Francisco M. Gutierrez-Mariscal, Antonio Garcia-Rios, Javier Delgado-Lista, Pablo Pérez-Martinez, Antonio Camargo, Francisco Perez-Jimenez, Jose Lopez-Miranda // Aging. – 2020. – P. 165–171. doi:10.1016/B978-0-12-818698-5.00016-X
63. Maria Luisa Genova. Mitochondrial Production of Oxygen Radical Species and the Role of Coenzyme Q as an Antioxidant / Maria Luisa Genova, Milena Merlo Pich, Annalisa Biondi, Andrea Bernacchia, Anna Falasca, Carla Bovina, Gabriella Formiggini, Giovanna Parenti Castelli, Giorgio Lenaz // Experimental Biology and Medicine. – 2016. – № 5. – P. 506–513. doi: 10.1177/15353702-0322805-14
64. Di Pierro D. Effects of oral administration of common antioxidant supplements on the energy metabolism of red blood cells. Attenuation of oxidative stressinduced changes in Rett syndrome erythrocytes by CoQ. / D. Di Pierro, C. Ciaccio, D. Sbardella, G. R.Tundo, R. Bernardini, P. Curatolo // Mol. Cell. Biochem. – 2020. – Vol. 463, №5. – P. 101–113. doi: 10.1007/s11010-019-03633-5.

OXIDATIVE STRESS AS A MOLECULAR BASIS FOR NEURODEGENERATIVE DISEASES AND ANTIOXIDANT THERAPY PATHWAYS

Mikashinovich Z. I., Telesmanich N. R., Smirnova O. B.

FSBEI HE "Rostov State Medical University" Ministry of Health of the Russian Federation, Rostov-on-Don, Russian Federation
E-mail: zolochevskaj51@mail.ru

The review presents the results of clinical and experimental studies demonstrating the pathogenetic role of oxidative stress in the genesis of neurodegenerative diseases (NDD), obtained using a complex of clinical, laboratory and instrumental methods that reveal the role of oxidative stress and antioxidants in NDD. In the process of preparing the materials, sources from international and domestic databases were used: Scopus, Web of Science, Pub Medline, RSCI, mainly over the past 15 years (2010–2024).

Diseases of the nervous system that differ in etiology and clinical symptoms have common mechanisms associated with damage to biomolecules: improper protein stacking, their aggregation, and violation of the pro- and antioxidant balance. Increased formation of reactive oxygen species (ROS) induces mitoptosis, apoptosis, and ferroptosis, factors that lead to impaired functional activity of neuron structural units as the main element of the nervous system. Given the complexity of the pathogenesis of NDZ, a promising methodological approach is to calculate the leading factors of pathogenesis. Undoubtedly, this makes it possible to standardize diagnosis and therapy, and subsequently create clinical recommendations. The purpose of this work was to analyze the role of participants in oxidative stress in key stages of the inflammatory process underlying NDZ. Despite the fact that there is currently no unambiguous recognition of the effectiveness of antioxidant therapy, nevertheless, the use of antioxidants can be considered as the most important link in neuroprotection, which has a pathogenetic justification.

Metabolic correction in NDH can be divided into 3 groups: natural antioxidants, then endogenous oxidants coming from food, the 3rd group includes drugs of combination therapy and immunotherapy. Mexidol and selenoproteins have antihypoxic and antioxidant effects, which are realized at both the neuronal and vascular levels. Prospects for the development of effective metabolic drugs are associated with the restoration of mitochondrial dysfunction. Synchronization of the metabolic processes underlying the functioning of neuron structures will ensure neurogeneration, slow down neurodegenerative processes and increase life expectancy.

FDA-approved drugs such as acetylcholinesterase inhibitors (donepezil, rivastigmine), as well as levodopa for the treatment of PD, which cross the blood-brain barrier and restore dopamine levels in the substantia nigra, only alleviate symptoms and slow the progression of diseases for several years. New therapeutic approaches aimed at neuroregeneration, i.e. structural and functional restoration of the damaged nervous system through immunomodulation, inhibition of the formation of protein aggregates, disaggregation of improperly folded proteins and induction of autophagy, give hope that the process of degeneration of affected neurons may slow down, and the recovery rate and

life expectancy will increase. Due to the complex nature of NDT, a multi-purpose treatment approach is recommended, as it can have additional positive effects.

***Keywords*:** oxidative stress, reactive oxygen species, antioxidants, Parkinson's disease, Alzheimer's disease, autoimmune disorders, early diagnosis, stabilometry.

References

1. Vorobyeva O. V. Oxidative stress associated with cerebrovascular dysfunction: possibilities of therapy, *Farmateka*, **5**, 44 (2010).
2. Gomazkov O.A. Cellular and molecular principles of brain aging, *Successes of modern biology*, **132(2)**, 141 (2012).
3. Duma S. N. The possibilities of antioxidant therapy for asthenia and cognitive deficits in elderly patients with chronic cerebral ischemia, *Therapeutic archive*, **12**, 100 (2013).
4. Goncharova Z. A., Kolmakova T. S., Oksenjuk O. S., Morgul E. V., Gelpey M. A., Mutalieva Kh. M., Alpha-synuclein and oxidative stress enzymes as bio-markers of Parkinson's disease, *Neurochemistry,* **34**, 2, 99 (2017) https://doi.org/10.7868/S1027813317020066. (In Russ.)
5. Mikashinovich Z. I., Telesmanich N. R., Smirnova O. B., Chernogubova E. A. Biomarkers of oxidative stress and proteopathies in the diagnosis of neurodegenerative diseases, *Molekular medicine,* **2**, 16 (2024) https://doi.org/10.29296/24999490-2024-02-03. (In Russ.)
6. Taylor J. P, Jr. Brown H. R., Don Cleveland W., Taylor J. P. Neurodegenerative diseases: G-quadruplex poses quadruple threat, *Nature,* **507**, 175 (2014).
7. Goncharova Z. A., Kolmakova T .S., Oxenyuk O. S., Morgul E. V., Gelpey M. A., Kalmykova Yu. A., Smirnova O. B., Mutalieva H. M. Multi-parametric assessment of biochemical markers of blood in Parkinson's disease, *Practical medicine,* **10**, 87 (2018) Doi:10.32000/2072-1757-2018-10-87-91
8. Efimova M. Yu., Ivanova N. E., Alekseeva T. M., Ivanov A. Yu., Tereshin A. E., Makarov A. O., Reshetnik D.A. Molecular biomarkers of cognitive impairment in ischemic stroke. *Medical Bulletin of the North Caucasus*, **14**, **3**, 567 (2019). https://doi.org/10.14300/mnnc.2019.14121
9. Reed T. T. Lipid peroxidation and neurodegenerative disease, *Free Radical.Biol. Med*. **51**, 1302 (2011) doi: 0.1016/j.freeradbiomed.2011.06.02732.
10. Miller E., Markiewicz L., Kabzinski J., Odrobina D., Majsterek I., Miller E. et al. Potential of redox therapies in neurodegenerative disorders. *Front Biosci (Elite Ed),* **1**, **9**, **(2)**, 214 (2017) doi: 10.2741/e797
11. Litvinenko I. V. Fundamental and methodological aspects of the study of progressive diseases of the central nervous system, *Bulletin of the National Society for the Study of Parkinson's Disease and movement Disorders,* **2**, 127 (2022) DOI: 10.24412/2226-079X-2022-12449 2
12. Domanskyi A., Parlato R., Oxidative Stress in Neurodegenerative Diseases. *Antioxidants,* **11**, **3**, 504 (2022). https://doi.org/10.3390/antiox11030504
13. García-Sánchez A., Miranda-Díaz A. G., Cardona-Muñoz E. G. The Role of Oxidative Stress in Physiopathology and Pharmacological Treatment with Pro- and Antioxidant Properties in Chronic Diseases, *Oxid Med Cell Longev,* **20**, **82**, 145 (2020). doi: 10.1155/2020/2082145
14. Miller E., Walczak A., Saluk J., Ponczek M. B., Majsterek I. Oxidative modification of patient's plasma proteins and its role in pathogenesis of multiple sclerosis, *Clinical Biochemistr,* **45**, **1-2**, 26 (2012).
15. Vilkov G. A., Smirnova O. B., Mezhova L. I. Correction of neuroimmune reactions by regulation of lipid peroxidation. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine.* **116**, **10**, 364 (1993) (in Russian).
16. Novikov V. E., Levchenkova O. S., Pozhilova Ye. V., Senerzhova E. V. The role of reactive oxygen species in cell physiology and pathology and their pharmacological regulation, *Reviews on clinical pharmacological and drug therap*y, **12**, **4**, 13 (2014).
17. Steinert, J. R., Chernova T., Forsythe I. D. Nitric oxide signaling in brain function, dysfunction, and dementia, *Neuroscientist,* **16**, 435 (2010). doi: 10.1177/1073858410366481
18. Sidorova Y., Domanskyi A. Detecting Oxidative Stress Biomarkers in Neurodegenerative Disease Models and Patients, *Methods Protoc,* **3**, **4**, 66 (2020) doi: 10.3390/mps3040066
19. Roberts R. A., Laskin D. L., Smith C. V., Robertson F. M., Allen E. M., Doorn J. A., Slikker W. Roberts R. A. Nitrative and oxidative stress in toxicology and disease, *Toxicological sciences*, **112**, **1**, 4 (2009).

20. García-Sánchez A., Miranda-Díaz A. G., Cardona-Muñoz E. G. The Role of Oxidative Stress in Physiopathology and Pharmacological Treatment with Pro- and Antioxidant Properties in Chronic Diseases, *Oxid Med Cell Longev*, **23**, 2082145 (2020) doi: 10.1155/2020/2082145.
21. Gomazkov O. A. Cellular and molecular principles of brain aging, *Uspekhi sovremennoi biologii,* **132**, 2, 141 (2012) (In Russ.).
22. Kirova Yu. I., Shakova F. M., Germanova E. L., Romanova G. A., Voronina T. A. The effect of Mexidol on cerebral mitochondriogenesis at a young age and during aging, S. S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatr, **120**, **1**, 62 (2020). https://doi.org/10.17116/jnevro202012001162
23. Levin O. S., Bogolepova A. N. Cognitive rehabilitation of patients with neurodegenerative diseases*, Zhurnal nevrologii i psikhiatrii im. S.S. Korsakova*, **120**, **5**, 110 (2020). doi: 10.17116/jnevro2020120051110 (in Russ)
24. Janssens J., Kleinberger G., Wils H., Van Broeckhoven C., The role of mutant TAR DNA-binding protein 43 in amyotrophic lateral sclerosis and frontotemporal lobar degeneration, *Biochem Soc Trans,* **39**, **4**, 954. (2011) doi: https://doi.org/10.1042/BST0390954
25. Ivonina N. A., Petrov K. B. The use of neurotropic therapy in young patients with postcovid syndrome, S. S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry, **122**, **3**, 126 (2022). https://doi.org/10.17116/jnevro2022122031126
26. Uddin M. S., Tewari D., Sharma G., Kabir M. T., Barreto G. E., Bin-Jumah M. N., Perveen A., Abdel-Daim M. M., Ashraf G. M. Molecular Mechanisms of ER Stress and UPR in the Pathogenesis of Alzheimer's Disease, *Mol. Neurobiol,* **57**, 2902 (2020). DOI**:** 10.2174/1568026620666200422105156
27. Mondragón-Rodríguez S., Perry G., Zhu X., Boehm J. Amyloid beta and tau proteins as therapeutic targets for Alzheimer's disease treatment: rethinking the current strategy, *International Journal of Alzheimer's Disease,* 7, 630182 (2012).
28. Ellis G., Fang E., Maheshwari M., Roltsch E., Holcomb L., Zimmer D., Martinez D., Murray I. V., Lipid oxidation and modification of amyloid-*β* (A*β)* in vitro *and* in vivo, *Journal of Alzheimer's Disease,* **22**, **2**, 593 (2010).
29. Savelieff M. G., Lee S., Liu Y., Lim M. H. Untangling amyloid-*β*, tau, and metals in Alzheimer's disease, *ACS Chemical Biology,* **8**, 856 (2013).
30. Abramov A. Y., Berezhnov A. V., Fedotova E. I., Zinchenko V. P., Dolgacheva L. P. Interaction of misfolded proteins and mitochondria in neurodegenerative disorders, *Biochemical Society Transactions*, **45**, **4**, 1025 (2017). doi: ssmj.ru/en/2020/1/336.
31. Goncharova Z. A., Kolmakova T. S., Oksenyuk O. S., Morgul E. V., Gelpey M. A., Vlasova N. D., Smirnova O. B., Mutalieva H. M., Possible laboratory and instrumental markers of Parkinson's disease *Saratovskij nauchno-medicinskij zhurnal.,* **16**, **1**, 336 (2020). doi: ssmj.ru/en/2020/1/336
32. Gros-Louis F., Gaspar C., Rouleau G. A. Genetics of familial and sporadic amyotrophic lateral sclerosis*. Biochim. Biophys. Acta*, **1762**, 956 (2006).
33. Hardiman O., Al-Chalabi A., Chio A., Corr E. M., Logroscino G., Robberecht W., Shaw P. J. Simmons Z., van den Berg L. H. Amyotrophic lateral sclerosis., *Nat. Rev. Dis. Prim*., **3**, 1707 (2017). DOI: 10.1038/nrdp.2017.71
34. Taylor J. P., Brown R. H. J., Cleveland D. W., Decoding ALS: From genes to mechanism, *Nature*, **539**, 197 (2016). DOI: 10.1038/nature20413
35. Rakhit R., Crow J. P., Lepock J. R., Kondejewsk L. H., Cashman N. R., Chakrabartty A., Monomeric Cu,Zn-superoxide dismutase is a common misfolding intermediate in the oxidation models of sporadic and familial amyotrophic lateral sclerosis, *J. Biol. Chem.*, **279**, 15499 (2004)
36. Blasco H., Garcon G., Patin F., Veyrat-Durebex C., Boyer J., Devos D., Vourc'h P., Andres C. R., Corcia P. Panel of Oxidative Stress and Inflammatory Biomarkers in ALS: A Pilot Study, *Can. J. Neurol. Sci.,* **44**, 90 (2017). DOI: 10.1017/cjn.2016.284
37. Rosen D. R., Siddique T., Patterson D., Figlewicz D. A., Sapp P., Hentati A., Donaldson D., Goto J., O'Regan J. P., Deng H. X., Mutations in Cu/Zn superoxide dismutase gene are associated with familial amyotrophic lateral sclerosis, *Nature*, **362**, 59 (1993).
38. Zou Z., Zhou Z., Che C., Liu C., He R., Genetic epidemiology of amyotrophic lateral sclerosis: A systematic review and meta-analysis, *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry.*, **88**, **540**, 193 (2017). DOI: 10.1136/jnnp-2016-315018

39. Guareschi S., Cova E., Cereda C., Ceroni M., Donetti E., Bosco D. A., Trotti D., Pasinelli P., An over-oxidized form of superoxide dismutase found in sporadic amyotrophic lateral sclerosis with bulbar onset shares a toxic mechanism with mutant SOD1*, Proc. Natl. Acad. Sci. USA,* **109**, 5074 (2012). DOI: 10.1136/jnnp-2016-315018
40. Saccon R. A., Bunton-Stasyshyn R. K. A., Fisher E. M. C., Fratta P. Is SOD1 loss of function involved in amyotrophic lateral sclerosis, *Brain*, **136**, 2342 (2013). DOI: 10.1093/brain/awt097
41. Forsberg K., Andersen P. M., Marklund S. L, Brännström T. Glial nuclear aggregates of superoxide dismutase-1 are regularly present in patients with amyotrophic lateral sclerosis*, Acta Neuropathol.*, **121**, 62 (2011). DOI: 10.1007/s00401-011-0805-3
42. Petrovic S., Medic D., Cvetkovic Z., Arsic A., Vucic V., Lipid Peroxidation and Antioxidant Supplementation in Neurodegenerative Diseases: A, Review of Human Studies. *Antioxidants (Basel)*, **9**, **11**, 1128 (2020). DOI: 10.3390/antiox9111128.
43. Shchulkin A. V. A modern concept of antihypoxic and antioxidant effects of mexidol, S. S. Korsakov *Journal of Neurology and Psychiatry*, **118**, **12-2**, 87 (2018). (In Russ.) https://doi.org/10.17116/jnevro201811812287
44. Wang M., Liu Z., Sun W., Yuan Y., Jiao B., Zhang X., Shen L., Jiang H., Xia K., Tang B. Association Between Vitamins and Amyotrophic Lateral Sclerosis: A Center-Based Survey in Mainland China. *Front. Neurol.*, **11**, 488 (2020) DOI: 10.3389/fneur.2020.00488
45. Katasonov A. B., Anthocyanins for the prevention and treatment of neurodegenerative diseases, *S. S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*, **122**, **4**, 16 (2022) (In Russ.) https://doi.org/10.17116/jnevro202212204116
46. Chukanova E. I., Chukanova A. S., Mamayeva Kh. I. The results of the study of the efficacy and safety of mexidol in patients with chronic cerebral ischemia, *S. S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*, **115**, **2**, 71 (2015). https://doi.org/10.17116/jnevro20151152171-74
47. Stakhovskaya L. V., Shamalov N. A., Khasanova D. R., Mel'nikova E. V., Agafiina A. S., Golikov K. V., Bogdanov É. I., Yakupova A. A., Roshkovskaya L. V., Lukinykh L. V., Lokshtanova T. M., Poverennova I. E., Shchepankevich L. A. Results of a randomized double blind multicenter placebo-controlled, in parallel groups trial of the efficacy and safety of prolonged sequential therapy with mexidol in the acute and early recovery stages of hemispheric ischemic stroke (EPICA), *S. S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*, **117**, **3-2**, 55 (2017) (In Russ.) https://doi.org/10.17116/jnevro20171173255-65
48. Voronina T. A. Geroprotective effects of ethylmethylhydroxypyridine succinate in an experimental study. S. S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry, **120**, **4**, 81 (2020) (In Russ.) https://doi.org/10.17116/jnevro202012004181
49. Fedin A. I., Zakharov V. V., Tanashyan M. M., Chukanova E. I., Madzhidova E. N., Shchepankevich L. A., Ostroumova O. D. Results of an international multicenter, randomized, double-blind, placebo-controlled study assessing the efficacy and safety of sequential therapy with Mexidol and Mexidol FORTE 250 in patients with chronic brain isc hemia (MEMO), *S. S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry = Zhurnal nevrologii ipsikhiatrii imeni S. S. Korsakova,* **121**, **11**, 7 (2021). (In Russ.). doi.org/10.17n6/jnevro202H2Hn7
50. Levin O. S., Diagnosis and treatment of cognitive impairment and dementia in clinical practice, *MEDpress-inform*, 2021 (ICBN:978-5-907632-94-3).
51. Karpov S. M., Morozova M. Yu., Muravyov K. A., Vyshlova I. A., Kantemirova F. S. Study of the efficacy and safety of sequential use of the drugs Mexidol and Mexidol FORTE 250 in the treatment of stroke, *Zhurnal Nevrologii I Psikhiatrii imeni S. S. Korsakova*, **122**, **3-2**, 59 (2022). https://doi.org/10.17116/jnevro202212203259
52. Zakharov V. V., Tkacheva O. N., Mkhitaryan E. A., Fedin A. I. Efficacy of Mexidol in patients with chronic brain ischemia and cognitive impairment of different age groups (results of sub-analysis of the international multicenter, randomized, double-blind, placebo-controlled study of sequential therapy in patients with chronic brain ischemia MEMO*). S. S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry = Zhurnal nevrologii i psikhiatrii imeni S. S. Korsakova*, **122**, **11**, **2**, 73 (2022). (In Russ.). DOI: 10.17116/jnevro202212211273
53. Antipenko E. A., Shulyndin A. V., Belyakov K. M., Neurometabolic therapy of mild cognitive impairment in patients with chronic cerebral ischemia, *S. S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*, **124**, **3**, 42 (2024). (In Russ.) https://doi.org/10.17116/jnevro202412403142

54. Shchepankevich L. A., Nikolaev Yu. A., Taneeva E. V., Pervuninskaya M. A., Shchepankevich M. S., The efficacy and safety study of Mexidol and Mexidol FORTE 250 in patients with chronic cerebral ischemia, *S. S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. **121**, **10**, 32 (2021). (In Russ.) https://doi.org/10.17116/jnevro202112110132
55. Kirova Yu. I., Shakova F. M., Germanova E. L., Romanova G. A., Voronina T. A. The effect of Mexidol on cerebral mitochondriogenesis at a young age and aging, *Zhurnal nevrologii i psikhiatrii im S. S. Korsakova*, **120**, **1**, 62 (2020). (In Russ.). DOI: 10.17116/jnevro202012001162
56. Zhuravleva M. V., Shchukin I. A., Fidler M. S., Prokofiev A. B., Serebrova S. Yu., Vasyukova N. S., Demchenkova E. Yu., Arkhipov V. V. Efficacy and safety of ethylmethylhydroxypyridine succinate in patients with ischemic stroke, *S. S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*, **120**, **12-2**, 60 (2020). (In Russ.) https://doi.org/10.17116/jnevro202012012260
57. Steinbrenner H., and Sies H. Selenium homeostasis and antioxidant selenoproteins in brain: implications for disorders in the central nervoussystem*, Arch. Biochem. Biophys.* **536**, 152 (2013). doi: 10.1016/j.abb.2013.02.021.
58. Hanan S., El-Abhar Hanan M., Abd-El Gawad, Dalaal M., Abdallah and Hanan S., El-Abhar, Rotenone-induced Parkinson`s Like Disease: Modulating Role of Coenzyme Q10. *Journal of Biological Sciences*, **4**, **8**, 568 (2004). DOI: 10.3923/jbs.2004.568.574
59. Ghasemloo E., Mostafavi H., Hosseini M., Forouzandeh M., Eskandari M., and Mousavi S. S., Neuroprotective effects of coenzyme Q10 in Parkinson's model via a novel Q10/miR-149-5p/MMPs pathway*, Metab. Brain Dis.,* **36**, 2089 (2021)
60. Javier F., Jiménez J. Coenzyme Q10 and Parkinsonian Syndromes: A Systematic Review, *Journal of Personalized Medicine*, **12**, **6**, 975 (2022). doi: 10.3390/jpm12060975
61. Sandro Huenchuguala, Juan Segura-Aguilar, Targets to Search for New Pharmacological Treatment in Idiopathic Parkinson's Disease According to the Single-Neuron Degeneration Model, *Biomolecules,* **14**, **6**, 673 (2024). doi: 3390/biom14060673, 14, 6, (673),(2024).
62. Yubero-Serrano Elena M., Francisco M. Gutierrez-Mariscal, Antonio Garcia-Rios, Javier Delgado-Lista, Pablo Pérez-Martinez, Antonio Camargo, Francisco Perez-Jimenez, Jose Lopez-Miranda, Coenzyme Q10 as an antioxidant in the elderly, *Aging*, 165 (2020). doi:10.1016/B978-0-12-818698-5.00016-X
63. Genova M.., Pich M. M., Biondi A., Bernacchia A., Falasca A., Bovina C., Formiggini G. Parenti, Castelli G., Lenaz G., Mitochondrial Production of Oxygen Radical Species and the Role of Coenzyme Q as an Antioxidant. *Experimental Biology and Medicine,* **5**, 506 (2016). doi: 10.1177/15353702-0322805-14
64. Di Pierro D., Ciaccio C., Sbardella D., Tundo G. R., Bernardini R., Curatolo P., Cinzia G., Coletta M., Marini S. Effects of oral administration of common antioxidant supplements on the energy metabolism of red blood cells. Attenuation of oxidative stressinduced changes in Rett syndrome erythrocytes by CoQ, *Mol. Cell. Biochem*, **463**, **5**, 101 (2020). doi: 10.1007/s11010-019-03633-5

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 128–146.

УДК 57.021:57.023: 577.112.7:612.1/.8
DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-128-146

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ИММУНОИНДУЦИРОВАННОМ ПРОЦЕССЕ В МЫШЦАХ ПРИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Муженя Д. В.[1], Лысенков С. П.[2], Тугуз А. Р.[1], Шумилов Д. С.[1]

[1]ФГБОУ ВО Адыгейский государственный университет, Майкоп, Россия
[2]ФГБОУ ВО Майкопский государственный технологический университет, Майкоп, Россия
E-mail: dmuzhenya@mail.ru

Регулярная физическая нагрузка оказывает положительное влияние на организм и мышцы в целом, позволяя повысить выносливость, силу, а также предупредить развитие целого ряда заболеваний. Однако действие длительных нагрузок может спровоцировать развитие воспалительных реакций, которые способны вызвать снижение эффективности работы мышечного волокна. Согласно классическим представлениям, ключевыми маркерами воспаления как в организме, так и в мышцах являются цитокины. Однако современные данные доказывают, что цитокины не являются лимитирующим фактором развития воспаления, а входят в состав сложных функциональных систем, так как способны продуцироваться не только при физической нагрузке. В рамках данной публикации нами проведен теоретический анализ возможного механизма развития воспалительной реакции в мышцах с целью выявления ключевых элементов данного процесса.
Ключевые слова: мышцы, иммунологическая реакция, оксид азота, цитокины, воспаление, вагус, кальпаин.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что регулярные физические упражнения способствуют развитию силы, выносливости, улучшая качество жизни в целом, а также помогая предупредить развитие целого ряда заболеваний таких, как сахарный диабет 2 типа (СД-2) [1], ожирение [2], сердечно-сосудистые заболевания [3], саркопения [4].

Однако, следует отметить, что при выполнении физических нагрузок различной интенсивности происходит целый ряд изменений в организме как в функциональном плане, так и в иммунологическом аспекте, что может иметь как положительный эффект, так и негативный эффект [5, 6]. Согласно современным представлениям, интенсивные упражнения действуют как стресс-фактор, который способен вызывать развитие воспалительных реакций в мышцах [7], зависящих от типа, интенсивности, продолжительности, а также от возраста человека и его физического состояния [8–10].

Логично представить, что воспаление, вызванное физической нагрузкой, можно разделить на два типа: острое (реакция во время физической нагрузки и сразу после нее) и подострое изменение в состоянии покоя, когда острые эффекты, вызванные физической нагрузкой, исчезли [11, 12]. Более того, провоспалительные процессы,

возникающие после тренировки, могут иметь жизненно важное значение для долгосрочных адаптивных реакций, поддержания тканевого гомеостаза, элиминации вредных соединений и поврежденных мышечных тканей [8, 13].

Иммунологические сдвиги, возникающие во время и после физических упражнений, можно легко отследить по ряду классических маркеров, таких как: изменениям количественного состава клеток периферической крови, активности гранулоцитов, цитотоксической активности NK-клеток, пролиферации лимфоцитов [14–16]. Также, согласно современным литературным данным, одним из информативных показателей изменения физиологических процессов в организме в ответ на физические упражнения являются изменение цитокинового профиля [17].

Цитокины – это растворимые белки или гликопротеины, вырабатываемые во время воспалительных реакций, которые опосредуют коммуникацию между иммунными и неиммунными клетками и регулируют многочисленные биологические процессы [18]. Баланс между провоспалительными и противовоспалительными цитокинами необходим для поддержания гомеостаза. Нарушение регуляции любого из них создает потенциал для развития патологических состояний во время и после физических нагрузок [19]. Первое исследование, предполагающее, что физическая нагрузка способна вызывать продукцию цитокинов, опубликовано в 1983 году J. G. Cannon et al. [20]. Крысам внутрибрюшинно вводили плазму, полученную от людей после физических упражнений, что приводило к повышению температуры у испытуемых особей. Однако образцы, полученные до физических упражнений, не вызывали такой реакции. Важно отметить, что, хотя цитокины вырабатываются по всему организму, однако при физических упражнениях основным источником цитокинов являются сами скелетные мышцы. На основании этого скелетные мышцы можно отнести к «эндокринному органу», так как они способны вырабатывать цитокины, названные миокинами, обладающие паракринными и дистантными эффектами [21].

Впервые термин «миокин» введен B. K. Pedersen et al. в 2003 году [22]. Согласно современным представлениям, миокины – это сигнальные пептиды, синтезируемые в скелетных мышцах, которые высвобождаются в мышечный интерстиций или в кровь, обеспечивая функциональную или метаболическую адаптацию в тканях посредством аутокринных, паракринных или эндокринных эффектов. Они также секретируются в состоянии покоя, независимо от сокращения мышц [23].

Данный факт подтвержден в экспериментах, в которых применялась клеточная линия мышиных миобластов C2C12 [24]. Первоначально данная модель применялась для изучения пролиферации и дифференцировки миобластов, однако в 2000-х годах впервые использована электрическая стимуляция изолированных клеток, в результате чего экспериментально доказана их способность секретировать цитокины такие как IL-6 и IL-15, в культуральную надосадочную жидкость [25, 26].

До открытия факта о способности мышц самостоятельно продуцировать цитокины считалось, что повышение уровня системного IL-6 является клеточным иммунным ответом на повреждение мышц во время физических упражнений [22; 27]. Поскольку моноциты являются основным источником IL-6 в иммунном ответе

на инфекцию, они были изучены в лабораторных условиях для определения их роли в реакциях на физические нагрузки. В результате экспериментов был получен неоднозначный результат, который свидетельствует о том, что концентрация мРНК IL-6 в моноцитах не повышалась после физических упражнений [28], доказывая, что повышение уровня IL-6 во время физических упражнений наблюдается вследствие активации не иммунных клеток, а в самих скелетных мышцах [29–31]. Сравнительный анализ концентрации IL-6 в работающих мышцах нижних конечностей и системном кровотоке выявил, что концентрация его в 17 раз выше в мышце, чем в артериальном кровообращении [17]. Кроме того, было также опровергнуто предположение о том, что повышение уровня IL-6 было иммунной реакцией на повреждение в мышечном волокне. В частности, были получены данные о том, что после «повреждающих» (эксцентрических) так и «не повреждающих» (концентрических) мышечных сокращений концентрация IL-6 в мышцах существенно не различалась [22, 32].

На основании данных о роли цитокинов в функционировании мышц L. L. Smith в 2000 году разработал «Цитокиновую гипотезу перетренированности». В которой утверждается, что ключевую роль в развитии состояния перетренированности играют провоспалительные цитокины, главным образом IL-6, IL-1β и TNF-α [33], и они являются главными регуляторами изменения биохимического и иммунологического статуса организма в данном состоянии. Однако в 2017 году A. L. da Rocha et al. на основании собственных результатов отметили, что через 2 недели после достижения состояния перетренированности концентрация провоспалительных цитокинов нормализовалась, однако работоспособность также оставалась на низком уровне. Авторы сделали вывод о том, что в этом процессе, кроме цитокинов, задействованы и другие механизмы [34]. На основании вышесказанного можно заключить, что цитокины/миокины играют важную роль в развитии процессов утомления и восстановления, но не являются лимитирующим фактором, а являются важным элементом в сложной функциональной системе.

Однако возникает вопрос, что же является причиной развития первичных, так называемых локальных воспалительных реакций в мышцах в результате действия длительных интенсивных физических нагрузок, если повышение классических цитокинов таких как IL-6, IL-10, не является лимитирующим фактором? На сегодняшний день существуют отдельные исследования, частично отвечающие на этот вопрос, однако и они не дают полного представления об иммунологических процессах в мышцах. Мы полагаем, что изменения, происходящие в мышцах вовремя и после физической нагрузки, нельзя объяснить только увеличением или снижением цитокинов. Конечно, цитокины являются универсальными мессенджерами, играющими важную роль в развитии воспаления, однако, на наш взгляд, существуют и другие факторы, которые могут оказывать значительное влияние на течение этого процесса.

Цель работы – провести анализ современной литературы об иммуноиндуцированных реакциях при физических нагрузках.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Литературный анализ проведен на основании опубликованных работ в международных базах данных (Pubmed.com, SCOPUS.com), опубликованных по данной тематике за последние сорок три года (с 1980 по 2023 гг.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Активаторы воспалительной реакции

При действии длительной физической нагрузки в мышцах происходит накопление критической массы недоокисленных метаболических продуктов, падение концентрации АТФ, кислорода и рост активных форм кислорода (АФК), что запускает целый ряд процессов, ответственных не только за снижение работоспособности, но и разрушение мышечного волокна. В условиях снижения биодоступности АТФ нарушается процесс откачки кальция из цитозоля, и это оказывает дополнительную нагрузку на митохондрии. В свою очередь, митохондрии начинают активно поглощать кальций, что может привести к перегрузке и резкому нарушению процессов, протекающих в них [35]. С другой стороны, на фоне неконтролируемого роста кальция активно снижается концентрация NAD, как одного из факторов, регулирующих нормальную работу митохондрий [36, 37]. В результате происходит развитие и прогрессирование сбоя в работе митохондрий. Начинается процесс перенаправления кислорода к недыхательным субстратам, образованию недоокисленных продуктов метаболизма и образование АФК с потенциально опасными свойствами [35, 37]. Еще одним потенциальным генератором большого количества АФК во время физических нагрузок является NADPH-оксидаза [38]. В присутствии ADP и Fe^{3+}, NADPH-оксидаза катализирует перенос электронов от NADPH к молекулярному кислороду с образованием супероксидного радикала [39]. Все это способствует развитию и прогрессированию оксидативного стресса в мышце и возникновению воспалительных реакций в мышечном волокне.

При высоких внутриклеточных концентрациях кальция, наблюдаемых во время интенсивных физических нагрузок, подключается еще один важный элемент развития повреждения мышц – кальпаин [40, 41]. Основная функция кальпаинов – это снижение мышечной силы мышцы в ответ на физическую нагрузку, а также участие в процессах расщепление белков, воспаления и апоптоза. В отличии от других протеолитических систем (убиквитин-протеасомная, аутофагическая, каспазная) кальпаины способы активироваться без участия АТФ [42]. Кроме того, усиливать действие кальпаинов также могут продукты АФК, что вызывает конформационные изменения в структуре белков скелетных мышц, повышая тем самым их восприимчивость к кальпаинам [43].

Вследствие разрушения белков миофиламентов под действием кальпаиновой системы и продуктов АФК происходит возникновение локального воспаления и продукция эндогенных медиаторов цитокинов (миокинов), таких как интерлейкин IL-1β, фактор некроза опухоли TNF-α и toll-подобный рецептор TLR-4 и др. [44]. Эти факторы являются мощными активаторами NF-κB и p53 и таким образом

создают петлю положительной обратной связи, приводящую к чрезмерной стимуляции NF-κB и развитию сильной воспалительной реакции [45].

NF-κB представляет собой гетеродимер, состоящий из субъединиц p65 и p50 или p52. Одна из ролей NF-κB в мышце -это регуляция процесса активации белков системы убиквитин-протеасома, которые участвуют в деградации специфических мышечных белков [46]. Важно то, что NF-κB регулирует экспрессию ряда воспалительных молекул, включая цитокины, хемокины, молекулы клеточной адгезии и ферменты, разрушающие ткани, такие как матриксные металлопротеиназы (MMPs) [45]. Также следует заметить, что NF-κB является одним из активаторов индуцибельной синтазы азота (iNOS) на первых этапах воспаления в мышце без участия макрофагов [47, 48]. Усиление продукции i-NOS в условиях нарушения физиологических процессов в клетке будет способствовать усугублению окислительного стресса и дальнейшей клеточной дестабилизации [49]. Можно предположить, что iNOS взаимодействует с NF-κB по принципу обратной положительной связи, усиливая эффекты друг друга. H. Nakazawa et al. (2017) предполагают, что гиперпродукция iNOS вызывает S-нитрозилирование Sirt1, $НАД^+$-зависимой деацетилазы, которая регулирует окислительный стресс и воспаление [50]. Инактивация Sirt1 увеличивает ацетилирование и активность ядерного фактора NF-kB и p53, усиливая тем самым процесс разрушения в мышце [51, 52]. В свою очередь оверэкспрессия NF-κB вызывает нарушения в мышце, увеличивая транскрипцию мышечно-специфических убиквитинлигаз (они же атрогены), E3 ubiquitin-protein ligase TRIM63 (Murf1) и атрогина-1 (он же F-box или MAFbx) в скелетных мышцах [53]. Исследования F. Mourkioti et al. (2006) доказали, что ингибирование активности NF-kB может способствовать не только подавлению воспаления, но и регенерации скелетных мышц [54]. В свою очередь белок p53 способен к остановке клеточного цикла, апоптозу и атрофии скелетных мышц [55]. Активация p53 вызывает апоптоз путем усиления экспрессии проапоптотических генов, включая Bax, Fas и Fas лиганд (FasL) [56, 57]. Данный факт находит подтверждение в эксперименте H. Nakazawa et al. (2017), в котором показано, что системное воспаление, вызванное липополисахаридами (LPS), и истощение мышц у грызунов повышает продукцию iNOS, S-нитрозилирование Sirt1 и связанную с ним активацию p65 NF-κB и p53 [50].

Еще один путь активации iNOS без участия лейкоцитов, согласно литературным данным, может быть опосредован гиперпродукцией провоспалительных цитокинов. В результате эксперимента установлено, что комбинация TNF-α/γ-IFN или IL-1β/γ-IFN приводит к значительному росту транскрипции iNOS [50, 51, 56]. Однако, на наш взгляд, в данном случае происходит непрямая, а косвенная активация через усиление активности за счет роста NF-κB. Вызываемая гиперпродукция NO и большое количество АФК внутри клетки могут способствовать образованию токсичной молекулы пероксинитрита ($ONOO^-$).

Пероксинитрит окисляет липиды, гемоглобин, миоглобин, цитохром, ДНК в клетках-мишенях: клетках крови, митохондриях, связывает SH-группы белков [57, 58]. Однако основными мишенями пероксинитрита являются гемопротеиды и сульфгидрильные группы аминокислот. Это взаимодействие заканчивается

образованием метгемоглобина и нитротирозина [59]. Также окисленные продукты оксида азота могут влиять на кальциевый баланс в клетке. Пероксинитрит в силу своих окислительных способностей может воздействовать на мембрану как самой клетки, так и эндоплазматического ретикулума, вызывая тем самым дополнительный приток экзогенного и выход эндогенного кальция в цитозоль, усугубляя данный патологический процесс в несколько раз.

Важно отметить, что в результате работы описанных процессов в мышечных волокнах возникает локальное воспаление, которое развивается медленно и требует значительно больше времени. В результате которого происходит миграция большого количества иммунных клеток и усиление продукции провоспалительных цитокинов. Это подтверждается существующими исследованиями, в которых отмечено, что число иммунных клеток имеет максимальную концентрацию в среднем только через 24 часа после воздействия на мышцу [60, 61].

Противовоспалительная система в мышцах

Следующим аспектом, который хотелось бы рассмотреть более подробно, это регуляция активности воспалительной реакции в мышце. Классическим противовоспалительным цитокином является IL-10, способный регулировать активность TNF-α и IL-1β, что является важным фактором при воспалении во время физических нагрузок [62]. С другой стороны, IL-10 способен блокировать ядерный фактор NF-κB, используя посттрансляционные механизмы, а также ингибировать экспрессию iNOS и выработку провоспалительных цитокинов [63]. В отличие от IL-10, который влияет на широкий спектр цитокинов, IL-1Ra опосредует свое воздействие только на IL-1, ингибируя передачу сигнала путем конкурентного связывания с комплексом рецепторов IL-1 [64].

Несмотря на то, что наиболее изученным цитокином/миокином, участвующими в прогрессировании воспаления, является IL-6, который, являясь главным стимулятором синтеза белков острой фазы в печени, в мышечной ткани он может действовать как защитный противовоспалительный миокин. Данный факт объясняется тем, что увеличение продукции IL-6 приводит к активации противовоспалительных компонентов, таких как IL-10 и IL-1Ra [65, 66]. Следует отметить, что IL-6 активно ингибирует TNF-α [67]. У мышей с нокаутом IL-6 отмечается значительный рост концентрации TNF-α [68]. В исследованиях на людях было отмечено, что при введении эндотоксина Escherichia coli (E.coli) наблюдалось повышение уровня TNF-α, однако инфузия IL-6 нивелировала этот рост [69]. Данная гипотеза подтверждается исследованиями B. Baeza-Raja et al. (2004) в котором установлено, что сврехэкспрессия мРНК IL-6 в мышцах после физических нагрузок усиливала степень миогенной дифференцировки, а добавление IL-6 смогло значительно снизить негативное влияние NF-kB на этот процесс [70]. Таким образом, IL-6 выступает как промиогенный фактор, подавляя активность ядерного фактора.

Как отмечалось выше, iNOS играет важную роль в развитии воспалительной реакции, однако, согласно литературным данным, она также может способствовать подавлению гипериммунного ответа. D.M. McCafferty et al. (1997) [71] и E. Rigamonti et al. (2013) [72] отметили, что продукция i-NOS уменьшает степень

инфильтрации иммунными клетками, а также способствует установлению эффективной гомеостатической реакции при повреждении мышцы. P. Rovere-Querini et al. (2014) установили, что дефицит продукции i-NOS у мышей с нокаутом по данному гену вызывал более высокие уровни хемокинов в мышцах в сравнении с диким типом, а также большее количество инфильтрирующих нейтрофилов после длительной интенсивной физической нагрузки в более поздние временные периоды [73]. В исследовании M. Kawashima et al. (2020) выявлено, что снижение активности iNOS в процессе регенерации мышцы задерживает появление активированных клеток-сателлитов в регенерирующей области, уменьшает содержание клеток-сателлитов в неповрежденной области [74]. Таким образом, согласно представленным данным, можно предположить, что ключевым моментом в развитии воспалительной реакции может являться концентрация оксида азота, а также активация других защитных механизмов. Поэтому роль i-NOS в развитии воспалительных реакциях в мышцах требует дальнейшего изучения.

Интересным аспектом является роль nervus vagus (блуждающего нерва) в развитии воспаления в мышце. Известно, что n. Vagus – это один из ключевых регуляторов воспалительного процесса в организме. Однако его роль в регуляции мышечного воспаления изучена слабо. В результате экспериментов установлено, что стимуляция блуждающего нерва (VNS) уменьшает высвобождение провоспалительных цитокинов при остром воспалении [76]. У грызунов, подвергнутых минутному воздействию VNS, наблюдается снижение высвобождения провоспалительных цитокинов в течение 24 ч [77, 78]. Данный эффект получил название «холинергический противовоспалительный путь» и может быть использован в качестве терапевтической платформы для коррекции нарушений после воздействия длительных физических нагрузок [79]. Контроль осуществляется через взаимодействие ацетилхолина с альфа-7-никотиновым ацетилхолиновым рецептором (a7nAChR) на иммунных клетках и различных типах тканей. Например, в макрофагах и моноцитах противовоспалительные эффекты блуждающего нерва опосредуются присоединением тирозинкиназы JAK2 к a7nAChR и последующим фосфорилированием STAT3, которое блокирует NF-κB, а также TNF-α и продукцию других провоспалительных цитокинов [80]. Следует также отметить, что животные с дефицитом активности блуждающего нерва более чувствительны к экспериментальному сепсису и панкреатиту. На фоне этого развивается неконтролируемое гипервоспаление вследствие повышенной продукции провоспалительных цитокинов [77, 79].

Y. Lai (2019), T. Inoue et al. (2016) и Y. Zhang (2019) [80–82] показали, что активация блуждающего нерва также снижает повреждения от ишемически-реперфузионного повреждения (I/R) во многих органах, уменьшая воспалительную реакцию и снижая вероятность апоптоза. В своем исследовании Y. Xin et al. (2022) [83] отметили, что при I/R уровни Bax, расщепленной каспазы-3 и расщепленного PARP снизились, в то время как уровни Bcl-2 были повышены в группе, в которой проводилась стимуляция парасимпатической нервной системы, в сравнении с группой без такой стимуляции. В свою очередь, C. M. Knight et al. (2011) [84] обнаружили, что ингибирование активности n. Vagus приводило к снижению

экспрессии SIRT1, который участвует в протекции скелетных мышц, а также защищает эндотелиальные клетки от апоптоза в условиях ишемии [33].

Также интересно отметить, что спустя две недели после наступления состояния перетренированности уровень провоспалительных цитокинов возвращается к нормальным показателям, однако работоспособность может оставаться на низком уровне [33]. Возникает вопрос, что может вызывать такое состояние? Одной из возможных причин данного эффекта, на наш взгляд, может быть активность кальпаиновой системы. Так, согласно литературным данным, кальпаины могут напрямую участвовать в снижении мышечной силы при длительных нагрузках. В мышцах существуют так называемые «триады» - места соединения Т-системы и эндоплазматического ретикулума (ER), способствующие высвобождению Ca^{2+} в ответ на потенциал действия [85, 86]. В состав этого комплекса входят дигидропиридиновые рецепторы (DHPR), которые являются медленными потенциалчувствительными Са-каналами L-типа, передающими электрический сигнал на мембрану саркоплазматического ретикулума. В исследовании K. Kanzaki et al. (2017) доказано, что фармакологическое ингибирование кальпаинов предотвращает уменьшение мышечной активности, вызванное длительной нагрузкой. Это обусловлено тем, что не происходит снижение содержания белка junctophilin 1 (JP1) и junctophilin 2 (JP2), который расположен в DHPR [87]. Junctophilins проходят через мембрану Т-образных канальцев и связывают ER и необходимы для формирования тройничного соединения. Следует отметить, что мыши с нокаутом по данному гену практически не выживают [88].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно представленным данным, важно подчеркнуть, что воспалительная реакция в мышцах в ответ на физические нагрузки – это сложная динамическая система, в которой сдвиг в одну из сторон может привести к развитию гипериммунного ответа или, напротив, погасить его. Следует отметить, что представленный материал в статье является теоретическим анализом опубликованных работ, на основании которого нами описан один из возможных этапов развития воспалительной реакции в мышце в ответ на физическую нагрузку. Исходя из этого, можно обозначить важную роль двух элементов, участвующих в этом процессе, таких как NF-κB, i-NOS. Интересным моментом является то, что они могут усиливать активность друг друга по принципу обратной связи, что представляет потенциальный интерес для изучения данного эффекта. На основании изложенного материала можно сделать вывод о том, что цитокины являются важными участниками данного процесса, однако они не являются триггерами воспаления, а скорее выполняют роль координаторов в организме, так как их концентрация способна колебаться в широком диапазоне не только при патологии, но и в норме. Важно продолжить дальнейшее изучение этого вопроса с целью более полного понимания их роли при физических нагрузках в мышцах не на системном, а на тканевом и молекулярном уровне.

Перспективным направлением в физиологии спорта может быть изучение роли кальпаина при физических нагрузках. Так как кальпаин не только участвует в

развитии воспалительных реакций на начальных этапах, но может оказывать влияние на уровень работоспособности организма через взаимодействие с белками junctophilin, влияя на высвобождение кальция из эндоплазматического ретикулума. Еще одним интересным направлением исследований является понимание значения функции n.Vagus во время воспалительных процессов в мышцах. На основании вышеизложенного можно предположить, что блуждающий нерв может оказывать большое влияние на физиологические и биохимические процессы в мышце при выполнении интенсивных физических нагрузок путем регулирования иммунного ответа. В связи с этим n. Vagus представляет собой хорошую терапевтическую мишень для регуляции работоспособности, защиты мышц от развития патологических процессов и гибели миоцитов. Интересным остается вопрос-способен ли блуждающий нерв оказывать прямое воздействие на мышечное волокно при воспалении или только косвенное, посредством регуляции активности иммунных клеток. К сожалению, количество работ в области понимания роли парасимпатической нервной системы в регуляции физиологических процессов в мышцах на данный момент ограничено. Проведение дальнейших исследований в этом направлении, несомненно, принесет много интересных фактов.

Список литературы

1. Karstoft K. Exercise and type 2 diabetes: focus on metabolism and inflammation / Karstoft K., Pedersen B. K. // Immunol Cell Biol. – 2016. – 94(2). – P. 146–50. doi: 10.1038/icb.2015.101.
2. Balducci S. Physical exercise as therapy for type 2 diabetes mellitus. / Balducci S., Sacchetti M., Haxhi J., Orlando G., D'Errico V., Fallucca S., Menini S., Pugliese G. // Diabetes Metab Res Rev. – 2014. – Suppl 1. – P. 13–23. doi: 10.1002/dmrr.2514. PMID: 24353273.
3. Lavie C. J. Exercise and the cardiovascular system: clinical science and cardiovascular outcomes. / Lavie C. J., Arena R., Swift D. L., Johannsen N. M., Sui X., Lee D. C., Earnest C. P., Church T. S., O'Keefe J. H., Milani R. V., Blair S. N. // Circ Res. – 2015. – 117(2). – P. 207–19. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.117.305205.
4. Naseeb M. A. Protein and exercise in the prevention of sarcopenia and aging. / Naseeb M. A., Volpe S. L. // Nutr Res. – 2017. – Vol. 40. – P. 1–20. doi: 10.1016/j.nutres.2017.01.001.
5. Rhind S. G. Indomethacin modulates circulating cytokine responses to strenuous exercise in humans. / Rhind S. G., Gannon G. A., Shephard R. J., Shek P. N. // Cytokine. – 2002. – 19(3). – P.153–8. doi: 10.1006/cyto.2002.1954.
6. Nara H. Anti-Inflammatory Effect of Muscle-Derived Interleukin-6 and Its Involvement in Lipid Metabolism. / Nara H., Watanabe R. // Int J Mol Sci. – 2021. – 22(18). – P. 9889. doi: 10.3390/ijms22189889.
7. Silveira L. S. Macrophage Polarization: Implications on Metabolic Diseases and the Role of Exercise. / Silveira L. S., Antunes Bde M., Minari A. L., Dos Santos R. V., Neto J. C., Lira F. S. // Crit Rev Eukaryot Gene Expr. – 2016. – 26(2). – P.115–132. doi: 10.1615/CritRevEukaryotGeneExpr.2016015920. PMID: 27480774.
8. Allen J. Exercise and the Regulation of Inflammatory Responses. / Allen J., Sun Y., Woods J. A. // Prog Mol Biol Transl Sci. – 2015. – 135. – P. 337–54. doi: 10.1016/bs.pmbts.2015.07.003.
9. Hennigar S. R. Nutritional interventions and the IL-6 response to exercise. / Hennigar S. R., McClung J. P., Pasiakos S. M. // FASEB J. – 2017. – 31(9). – P. 3719–3728. doi: 10.1096/fj.201700080R.
10. Peake J. M. Recovery of the immune system after exercise. / Peake J. M. // J Appl Physiol (1985). – 2017. – 122(5). – P.1077–1087. doi: 10.1152/japplphysiol.00622.2016.
11. Roca-Rodríguez Mdel M. Effects of exercise on inflammation in cardiac rehabilitation. / Roca-Rodríguez M. M., Garrido-Sánchez L., García-Almeida J. M., Ruiz-Nava J., Alcaide-Torres J., Gómez-González A., Montiel-Trujillo A., Tinahones-Madueño F. // Nutr Hosp. – 2015. – 31(6). – P. 2633–40. doi: 10.3305/nh.2015.31.6.8868.

12. Pedersen B. K. Anti-inflammatory effects of exercise: role in diabetes and cardiovascular disease. / Pedersen B. K. // Eur J Clin Invest. – 2017. – 47(8). – P. 600–611. doi: 10.1111/eci.12781.
13. Oishi Y. Macrophages in inflammation, repair and regeneration. / Oishi Y., Manabe I. // Int Immunol. – 2018. – 30(11). – P. 511–528. doi: 10.1093/intimm/dxy054.
14. Gleeson M. The anti-inflammatory effects of exercise: mechanisms and implications for the prevention and treatment of disease. / Gleeson M., Bishop N. C., Stensel D. J., Lindley M. R., Mastana S. S., Nimmo M. A. // Nat Rev Immunol. – 2011. – 11(9). – P. 607–15. doi: 10.1038/nri3041.
15. Lightfoot A. P. The role of myokines in muscle health and disease./ Lightfoot A. P., Cooper R. G. // Curr Opin Rheumatol. – 2016. – 28(6). – P. 661–666. doi: 10.1097/BOR.0000000000000337.
16. Shaw D. M. T-cells and their cytokine production: The anti-inflammatory and immunosuppressive effects of strenuous exercise. / Shaw D. M., Merien F., Braakhuis A., Dulson D. // Cytokine. – 2018. – 104. – P. 136–142. doi: 10.1016/j.cyto.2017.10.001.
17. Steensberg A. Production of interleukin-6 in contracting human skeletal muscles can account for the exercise-induced increase in plasma interleukin-6. / Steensberg A., van Hall G., Osada T., Sacchetti M., Saltin B., Klarlund Pedersen B. // J Physiol. – 2000. – 529(Pt 1). – P. 237–42. doi: 10.1111/j.1469-7793.2000.00237.x.
18. Chen L. The roles of interleukins in perfusion recovery after peripheral arterial disease. / Chen L., Liu H., Yuan M., Lu W., Wang J., Wang T. // Biosci Rep. – 2018. – 38(1). – P. BSR20171455. doi: 10.1042/BSR20171455.
19. Zhang J. M. Cytokines, inflammation, and pain. / Zhang J. M., An J. // Int Anesthesiol Clin. – 2007. – 45(2). – P. 27–37. doi: 10.1097/AIA.0b013e318034194e.
20. Cannon J. G. Endogenous pyrogen activity in human plasma after exercise. / Cannon J. G., Kluger M. J. // Science. – 1983. – 220(4597). – P. 617–619. doi: 10.1126/science.6836306.
21. Lightfoot A. P. The role of myokines in muscle health and disease. / Lightfoot A. P., Cooper R. G. // Curr Opin Rheumatol. – 2016. – 28(6). – P. 661–6. doi: 10.1097/BOR.0000000000000337.
22. Pedersen B. K. Muscle as an endocrine organ: focus on muscle-derived interleukin-6. / Pedersen B. K., Febbraio M. A. // Physiol Rev. – 2008. – 88(4). – P. 1379–406. doi: 10.1152/physrev.90100.2007.
23. Aguer C. Editorial: The Role of the Muscle Secretome in Health and Disease. / Aguer C., Loro E., Di Raimondo D. // Front Physiol. – 2020. – 8(11). – P.1101. doi: 10.3389/fphys.2020.01101.
24. Furuichi Y. Evidence for acute contraction-induced myokine secretion by C2C12 myotubes. / Furuichi Y., Manabe Y., Takagi M., Aoki M., Fujii N. L. // PLoS One. – 2018. – 13(10). – P. 1–10. doi: 10.1371/journal.pone.0206146.
25. Nedachi T. Contractile C2C12 myotube model for studying exercise-inducible responses in skeletal muscle. / Nedachi T., Fujita H., Kanzaki M. // Am J Physiol Endocrinol Metab. – 2008. – 295(5). – P. E1191–204. doi: 10.1152/ajpendo.90280.2008.
26. Manabe Y. Evaluation of an in vitro muscle contraction model in mouse primary cultured myotubes./ Manabe Y., Ogino S., Ito M., Furuichi Y., Takagi M., Yamada M., Goto-Inoue N., Ono Y., Fujii N. L. // Anal Biochem. – 2016. – 497. – P. 36–38. doi: 10.1016/j.ab.2015.10.010.
27. Peake J. M. Cytokine expression and secretion by skeletal muscle cells: regulatory mechanisms and exercise effects. / Peake J. M., Della Gatta P., Suzuki K., Nieman D. C. // Exerc Immunol Rev. – 2015. – 21. – P. 8–25. PMID: 25826432.
28. Scott L. J. Tocilizumab: A Review in Rheumatoid Arthritis. / Scott L. J. // Drugs. – 2017. – 77(17). – P.1865–1879. doi: 10.1007/s40265-017-0829-7.
29. Keller C. Transcriptional activation of the IL-6 gene in human contracting skeletal muscle: influence of muscle glycogen content. / Keller C., Steensberg A., Pilegaard H., Osada T., Saltin B., Pedersen B. K., Neufer P. D. // FASEB J. – 2001. – 15(14). – P. 2748–50. doi: 10.1096/fj.01-0507fje.
30. Pedersen B. K. Muscle-derived interleukin-6: possible biological effects. / Pedersen B. K., Steensberg A., Schjerling P. // J Physiol. – 2001. – 536(Pt 2). – P. 329–37. doi: 10.1111/j.1469-7793.2001.0329c.xd.
31. Hiscock N. Skeletal myocytes are a source of interleukin-6 mRNA expression and protein release during contraction: evidence of fiber type specificity. / Hiscock N., Chan M. H., Bisucci T., Darby I. A., Febbraio M. A. // FASEB J. – 2004. – 18(9). – P. 992–4. doi: 10.1096/fj.03-1259fje.
32. Bruunsgaard H. Exercise-induced increase in serum interleukin-6 in humans is related to muscle damage. / Bruunsgaard H., Galbo H., Halkjaer-Kristensen J., Johansen T. L., MacLean D. A., Pedersen B. K. // J Physiol. – 1997. – 499(Pt 3). – P. 833–41. doi: 10.1113/jphysiol.1997.sp021972.

33. Smith L. L. Cytokine hypothesis of overtraining: a physiological adaptation to excessive stress? / Smith L. L. // Med Sci Sports Exerc. – 2000. – 32(2). – P. 317–31. doi: 10.1097/00005768-200002000-00011.
34. da Rocha A. L.Treadmill Slope Modulates Inflammation, Fiber Type Composition, Androgen, and Glucocorticoid Receptors in the Skeletal Muscle of Overtrained Mice. / da Rocha A. L., Pereira B. C., Teixeira G. R., Pinto A. P., Frantz F. G., Elias L. L. K. // Front Immunol. – 2017. – 8. – P.1378. doi: 10.3389/fimmu.2017.01378.
35. Pinton P. Calcium and apoptosis: ER-mitochondria Ca^{2+} transfer in the control of apoptosis. / Pinton P., Giorgi C., Siviero R., Zecchini E., Rizzuto R. // Oncogene. – 2008. – 27(50). – P. 6407–18. doi: 10.1038/onc.2008.308.
36. Kuo I. Y. Signaling in muscle contraction. / Kuo I. Y., Ehrlich B. E. // Cold Spring Harb Perspect Biol. – 2015. – 7(2). – P. 1–10. doi: 10.1101/cshperspect.a006023.
37. Tengan C. H. Nitric oxide in skeletal muscle: role on mitochondrial biogenesis and function. / Tengan C. H., Rodrigues G. S., Godinho R. O. // Int J Mol Sci. – 2012. – 13(12). – P.17160–84. doi: 10.3390/ijms131217160.
38. Bejma J. Aging and acute exercise enhance free radical generation in rat skeletal muscle. / Bejma J., Ji L. L. // J Appl Physiol (1985). – 1999. – 87(1). – P. 465–70. doi: 10.1152/jappl.1999.87.1.465.
39. Tidball J. G. Inflammatory processes in muscle injury and repair. / Tidball J. G. // Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol. – 2005. – 288(2). – P. 345–53. doi: 10.1152/ajpregu.00454.2004.
40. Ono Y. Calpain research for drug discovery: Challenges and potential. / Ono Y, Saido T. C., Sorimachi H. // Nat Rev Drug Discov. – 2016. – 15. – P. 854–876. doi:10.1038/nrd.2016.212.
41. Murphy R. M. Calpains, skeletal muscle function and exercise. / Murphy R. M. // Clin Exp Pharmacol Physiol. – 2010. – 37. – P. 385–391. doi:10.1111/j.1440-1681.2009.05310.x.
42. Lek A. Calpains, cleaved mini-dysferlinC72, and L-type channels underpin calcium-dependent muscle membrane repair. / Lek A., Evesson F. J., Lemckert F. A., Redpath G. M., Lueders A. K., Turnbull L. // J Neurosci. – 2013. – 33(12). – P. 5085–94. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3560-12.2013.
43. Smuder A. J. Oxidation enhances myofibrillar protein degradation via calpain and caspase-3. / Smuder A. J., Kavazis A. N., Hudson M. B., Nelson W. B., Powers S. K. // Free Radic Biol Med. – 2010. – 49(7). – P. 1152–60. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2010.06.025.
44. Cerqueira É. Inflammatory Effects of High and Moderate Intensity Exercise-A Systematic Review. / Cerqueira É., Marinho D. A., Neiva H. P., Lourenço O. // Front Physiol. – 2020. – 10. – P. 1550. doi: 10.3389/fphys.2019.01550.
45. Kumar A. Nuclear factor-kappaB: its role in health and disease. / Kumar A., Takada Y., Boriek A. M., Aggarwal B. B. // J Mol Med (Berl). – 2004. – 82(7). – P. 434–48. doi: 10.1007/s00109-004-0555-y.
46. Li H. Nuclear factor-kappa B signaling in skeletal muscle atrophy. / Li H., Malhotra S., Kumar A. // J Mol Med (Berl). – 2008. – 86(10). – P. 1113–26. doi: 10.1007/s00109-008-0373-8.
47. Di Marco S. The translation inhibitor pateamine A prevents cachexia-induced muscle wasting in mice. / Di Marco S., Cammas A., Lian X. J., Kovacs E. N., Ma J. F., Hall D. T. // Nat Commun. – 2012. – 3. – P. 896. doi: 10.1038/ncomms1899.
48. Ma J. F. STAT3 promotes IFNγ/TNFα-induced muscle wasting in an NF-κB-dependent and IL-6-independent manner. / Ma J. F., Sanchez B. J., Hall D. T., Tremblay A. K., Di Marco S., Gallouzi I. E. // EMBO Mol Med. – 2017. – 9(5). – P. 622–637. doi: 10.15252/emmm.201607052.
49. Buck M. Muscle wasting and dedifferentiation induced by oxidative stress in a murine model of cachexia is prevented by inhibitors of nitric oxide synthesis and antioxidants. / Buck M., Chojkier M. // EMBO J. – 1996. – 15(8). – P. 1753–65. PMID: 8617220
50. Nakazawa H. iNOS as a Driver of Inflammation and Apoptosis in Mouse Skeletal Muscle after Burn Injury: Possible Involvement of Sirt1 S-Nitrosylation-Mediated Acetylation of p65 NF-κB and p53. / Nakazawa H., Chang K., Shinozaki S., Yasukawa T., Ishimaru K., Yasuhara S. // PLoS One. – 2017. – 12(1). – P. e0170391. doi: 10.1371/journal.pone.0170391.
51. Zhang W. Sirt1 Inhibits Oxidative Stress in Vascular Endothelial Cells. / Zhang W., Huang Q., Zeng Z., Wu J., Zhang Y., Chen Z. // Oxid Med Cell Longev. – 2017. – 2017. – P. 7543973. doi: 10.1155/2017/7543973.
52. Hall D. T. Inducible nitric oxide synthase (iNOS) in muscle wasting syndrome, sarcopenia, and cachexia. / Hall D. T., Ma J. F., Marco S. D., Gallouzi I. E. // Aging (Albany NY). – 2011. – 3(8). – P. 702–15. doi: 10.18632/aging.100358.

53. Judge A. R. Role for IkappaBalpha, but not c-Rel, in skeletal muscle atrophy. / Judge A. R., Koncarevic A., Hunter R. B., Liou H. C., Jackman R. W., Kandarian S. C. // Am J Physiol Cell Physiol. – 2007. – 292(1). – P. C372–82. doi: 10.1152/ajpcell.00293.2006.
54. Mourkioti F. Targeted ablation of IKK2 improves skeletal muscle strength, maintains mass, and promotes regeneration. / Mourkioti F., Kratsios P., Luedde T., Song Y. H., Delafontaine P., Adami R., Parente V., Bottinelli R., Pasparakis M., Rosenthal N. // J Clin Invest. – 2006. – 116(11). – P. 2945–54. doi: 10.1172/JCI28721.
55. Fox D. K. p53 and ATF4 mediate distinct and additive pathways to skeletal muscle atrophy during limb immobilization. / Fox D. K., Ebert S. M., Bongers K. S., Dyle M. C., Bullard S. A., Dierdorff J. M., Kunkel S. D., Adams C. M. // Am J Physiol Endocrinol Metab. – 2014. – 307(3). – P. 245–61. doi: 10.1152/ajpendo.00010.2014.
56. Chen J. SIRT1 protects against microglia-dependent amyloid-beta toxicity through inhibiting NF-kappaB signaling. / Chen J., Zhou Y., Mueller-Steiner S., Chen L. F., Kwon H., Yi S. // The Journal of biological chemistry. – 2005. – 280(48). – P. 40364–74. doi: 10.1074/jbc.M509329200
57. Lysenkov S. P. Cholinergic deficiency in the cholinergic system as a pathogenetic link in the formation of various syndromes in COVID-19. / Lysenkov S. P., Muzhenya D. V., Tuguz A. R., Urakova T. U., Shumilov D. S., Thakushinov I. A., Thakushinov R. A., Tatarkova E. A., Urakova D. M. // Chin J Physiol. – 2023. – 66(1). – P. 1–13. doi: 10.4103/cjop.CJOP-D-22-00072.
58. Boccini F. Mechanistic studies of the oxidation of oxyhemoglobin by peroxynitrite. / Boccini F., Herold S. // Biochemistry. – 2004. – 43. – P. 16393–404. https://doi.org/10.1021/bi0482250.
59. Kojouharov H. V. A simple model of immune and muscle cell crosstalk during muscle regeneration. / Kojouharov H. V., Chen-Charpentier B. M., Solis F. J., Biguetti C., Brotto M. // Math Biosci. – 2021. – 333. – P.108543. doi: 10.1016/j.mbs.2021.108543.
60. de Oliveira A. K. Mapping the Immune Cell Microenvironment with Spatial Profiling in Muscle Tissue Injected with the Venom of Daboia russelii. / de Oliveira A. K., Pramoonjago P., Rucavado A., Moskaluk C., Silva D. T., Escalante T., Gutiérrez J. M., Fox J. W. // Toxins (Basel). – 2023. – 15(3). – P. 208. doi: 10.3390/toxins1503020.
61. Ostrowski K. Pro- and anti-inflammatory cytokine balance in strenuous exercise in humans. / Ostrowski K., Rohde T., Asp S., Schjerling P., Pedersen B. K. // J Physiol. – 1999. – 515 (Pt 1). – P. 287–91. doi: 10.1111/j.1469-7793.1999.287ad.x.
62. Dobbs R. J. Association of circulating TNF-alpha and IL-6 with ageing and parkinsonism. / Dobbs R. J., Charlett A., Purkiss A. G., Dobbs S. M., Weller C., Peterson D. W. // Acta Neurol Scand. – 1999. – 100(1). – P. 34–41. doi: 10.1111/j.1600-0404.1999.tb00721.x.
63. Kluth D. C. Inhibiting inflammatory cytokines. / Kluth D. C., Rees A. J. // Semin Nephrol. – 1996. – 16(6). – P. 576–82. PMID: 9125802.
64. Muñoz-Cánoves P. Interleukin-6 myokine signaling in skeletal muscle: a double-edged sword? / Muñoz-Cánoves P., Scheele C., Pedersen B. K., Serrano A. L. // FEBS J. – 2013. – 280(17). – P. 4131–48. doi: 10.1111/febs.12338
65. Daou H. N. Exercise as an anti-inflammatory therapy for cancer cachexia: a focus on interleukin-6 regulation. / Daou H. N. // Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol. – 2020. – 318(2). – P. 296–310. doi: 10.1152/ajpregu.00147.2019.
66. Nara H. Anti-Inflammatory Effect of Muscle-Derived Interleukin-6 and Its Involvement in Lipid Metabolism. / Nara H., Watanabe R. // Int J Mol Sci. – 2021. – 22(18). – P. 9889. doi: 10.3390/ijms22189889.
67. Schindler R. Correlations and interactions in the production of interleukin-6 (IL-6), IL-1, and tumor necrosis factor (TNF) in human blood mononuclear cells: IL-6 suppresses IL-1 and TNF. / Schindler R., Mancilla J., Endres S., Ghorbani R., Clark S. C., Dinarello C. A. // Blood. – 1990. – 75(1). – P. 40–7. PMID: 2294996
68. Matthys P. Anti-gamma interferon and anti-interleukin-6 antibodies affect staphylococcal enterotoxin B-induced weight loss, hypoglycemia, and cytokine release in D-galactosamine-sensitized and unsensitized mice. / Matthys P., Mitera T., Heremans H., Van Damme J., Billiau A. // Infect Immun. – 1995. – 63(4). – P. 1158–64. doi: 10.1128/iai.63.4.1158-1164.1995.

69. Starkie R. Exercise and IL-6 infusion inhibit endotoxin-induced TNF-alpha production in humans. / Starkie R., Ostrowski S.R., Jauffred S., Febbraio M., Pedersen B.K. // FASEB J. – 2003. – 17(8). – P. 884–6. doi: 10.1096/fj.02-0670fje.
70. Baeza-Raja B. p38 MAPK-induced nuclear factor-kappaB activity is required for skeletal muscle differentiation: role of interleukin-6. / Baeza-Raja B., Muñoz-Cánoves P. // Mol Biol Cell. – 2004. – 15(4). – P. 2013–26. doi: 10.1091/mbc.e03-08-0585.
71. McCafferty D. M. Inducible nitric oxide synthase plays a critical role in resolving intestinal inflammation. / McCafferty D. M., Mudgett J. S., Swain M. G., Kubes P. // Gastroenterology. – 1997. – 112(3). – P. 1022–7. doi: 10.1053/gast.1997.v112.pm9041266.
72. Rigamonti E. Requirement of inducible nitric oxide synthase for skeletal muscle regeneration after acute damage. / Rigamonti E., Touvier T., Clementi E., Manfredi A. A., Brunelli S., Rovere-Querini P. // J Immunol. – 2013. – 190(4). – P. 1767–77. doi: 10.4049/jimmunol.1202903.
73. Rovere-Querini P. Nitric oxide and muscle repair: multiple actions converging on therapeutic efficacy. / Rovere-Querini P., Clementi E., Brunelli S. // Eur J Pharmacol. – 2014. – 730. – P. 181–5. doi: 10.1016/j.ejphar.2013.11.006
74. Kawashima M. Unloading during skeletal muscle regeneration retards iNOS-expressing macrophage recruitment and perturbs satellite cell accumulation. / Kawashima M., Miyakawa M., Sugiyama M., Miyoshi M., Arakawa T. // Histochem Cell Biol. – 2020. – 154(4). – P. 355–367. doi: 10.1007/s00418-020-01897-3.
75. Olofsson P. S. Single-Pulse and Unidirectional Electrical Activation of the Cervical Vagus Nerve Reduces Tumor Necrosis Factor in Endotoxemia. / Olofsson P. S., Levine Y. A., Caravaca A. // Bioelectron Med. – 2015. – 2. – P. 37–42. https://doi.org/10.15424/bioelectronmed.2015.00006.
76. Pavlov V. A. Molecular and Functional Neuroscience in Immunity. / Pavlov V. A., Chavan S. S., Tracey K. J. // Annu Rev Immunol. – 2018. – 36. – P. 783–812. doi: 10.1146/annurev-immunol-042617-053158
77. Caravaca A. S. An Effective Method for Acute Vagus Nerve Stimulation in Experimental Inflammation. / Caravaca A. S., Gallina A. L., Tarnawski L., Tracey K. J., Pavlov V. A., Levine Y. A. // Front Neurosci. – 2019. – 3. – P. 877. doi: 10.3389/fnins.2019.00877.
78. Tracey K. J. Hacking the inflammatory refelex. / Tracey K. J. // Lancet Neurol. – 2021. – 3. – P. 237–239. doi:10.1016/s2665-9913(20)30448-3.
79. Pavlov V. A. The vagus nerve and the inflammatory reflex--linking immunity and metabolism. / Pavlov V. A., Tracey K. J. // Nat Rev Endocrinol. – 2012. – 8(12). – P. 743–54. doi: 10.1038/nrendo.2012.189.
80. Lai Y. Vagus nerve stimulation protects against acute liver injury induced by renal ischemia reperfusion via antioxidant stress and anti-inflammation. / Lai Y., Deng J., Wang M., Zhou L., Meng G. // Biomed Pharmacother. – 2019. – 117. – P. 109062. doi: 10.1016/j.biopha.2019.109062.
81. Inoue T. Vagus nerve stimulation mediates protection from kidney ischemia-reperfusion injury through α7nAChR+ splenocytes. / Inoue T., Abe C., Sung S. S., Moscalu S., Jankowski J., Huang L., Ye H., Rosin D. L., Guyenet P. G., Okusa M. D. // J Clin Invest. – 2016. – 126(5). – P.1939–52. doi: 10.1172/JCI83658.
82. Zhang Y. Vagus Nerve Stimulation Attenuates Acute Skeletal Muscle Injury Induced by Ischemia-Reperfusion in Rats. / Zhang Y., Li H., Wang M., Meng G., Wang Z., Deng J. // Oxid Med Cell Longev. – 2019. – 2019. – P. 9208949. doi: 10.1155/2019/9208949.
83. Xin Y. Vagus Nerve Stimulation Attenuates Acute Skeletal Muscle Injury Induced by Hepatic Ischemia/Reperfusion Injury in Rats. / Xin Y., Zhang Y., Deng S., Hu X. // Front Pharmacol. – 2022. – 12. – P.756997. doi: 10.3389/fphar.2021.756997.
84. Knight C. M. Mediobasal Hypothalamic SIRT1 Is Essential for Resveratrol's Effects on Insulin Action in Rats./ Knight C. M., Gutierrez-Juarez R., Lam T. K., Arrieta-Cruz I., Huang L, Schwartz G., Barzilai N., Rossetti L. // Diabetes. – 2011. – 60. – P. 2691–2700. doi: 10.2337/db10-0987.
85. Corona B. T. Junctophilin damage contributes to early strength deficits and EC coupling failure after eccentric contractions. / Corona B. T., Balog E. M., Doyle J. A., Rupp J. C., Luke R. C., Ingalls C. P. // Am J Physiol Cell Physiol. – 2010. – 298. – P. 365–376. doi: 10.1152/ajpcell.00365.2009.
86. Franzini-Armstrong C. Structure and development of E-C coupling units in skeletal muscle. / Franzini-Armstrong C., Jorgensen A. O. // Ann Rev Physiol. – 1994. – 56. – P. 509–534. doi:10.1146/annurev.ph.56.030194.002453

87. Kanzaki K. Role of calpain in eccentric contraction-induced proteolysis of Ca2+-regulatory proteins and force depression in rat fast-twitch skeletal muscle. / Kanzaki K., Watanabe D., Kuratani M., Yamada T., Matsunaga S., Wada M. // J Appl Physiol (1985). – 2017. – 122(2). – P. 396–405. doi: 10.1152/japplphysiol.00270.2016.
88. Ito K. Deficiency of triad junction and contraction in mutant skeletal muscle lacking junctophilin type 1. / Ito K., Komazaki S., Sasamoto K., Yoshida M., Nishi M., Kitamura K., Takeshima H. // J Cell Biol. – 2001. – 154(5). – P. 1059–67. doi: 10.1083/jcb.200105040.

MODERN VIEWS ABOUT THE IMMUNO-INDUCED PROCESS IN MUSCLES DURING PHYSICAL ACTIVITY

Muzhenya D. V.[1], Lysenkov S. P.[2], Tuguz A. R.[1], Shumilov D. S.[1]

[1]FSBEI HE «Adyghe State University», Maikop, Russia
[2]FSBEI HE «Maikop State Technological University», Maikop, Russia
E-mail: dmuzhenya@mail.ru

According to classical concepts, the key markers of inflammation both in the body and in the muscles are cytokines such as IL-6 and IL-10. They are able to have both pro-inflammatory and anti-inflammatory effects in muscle fiber. For example, it note that after intense physical exercise, an increase in the concentration of IL-6 mRNA in monocytes was observed and did not increase after exercise, indicating that the increase in IL-6 levels during exercise is due to activation not of immune cells, but in the skeletal muscles themselves. However, later a series of experimental studies proved that even after the restoration of the normal cytokine profile in the muscles because of severe overtraining, performance also remained at a low level. As a result, it suggested that cytokines are not a limiting factor in the development of inflammation, but are part of complex functional systems, since they can produced not only during physical activity. Therefore, a current direction in sports physiology is the study of the mechanisms of development of inflammatory reactions, as well as the search for new informative markers. In accordance with this, we conducted a literature analysis, the purpose of which is to identify and substantiate new informative markers involved in the inflammatory response in muscles. This literature review examines both the classical mechanisms of the development of the inflammatory response, based on the cytokine theory, and examines new possible elements that can play a significant role in the development of this process. For example, due to an uncontrolled increase in calcium concentration during intense physical activity, calpains activated, which can cause the destruction of protein structures in muscles. Therefore, a local inflammatory reaction may occur. This effect may significantly enhanced by NF-κB, which causes muscle disturbances by increasing the transcription of muscle-specific ubiquitin ligases, as well as regulating the expression of a number of inflammatory molecules. It should also note that NF-κB is one of the activators of inducible nitrogen synthase (iNOS) in the first stages of inflammation in muscle without the participation of macrophages. Increased production of i-NOS under conditions of disruption of physiological processes in the cell will contribute to the aggravation of

oxidative stress and further cellular destabilization. The resulting overproduction of NO and large amounts of ROS within the cell may contribute to the formation of the toxic molecule peroxynitrite (ONOO-). Peroxynitrite, due to its oxidative abilities, can affect the membrane of both the cell itself and the plasma reticulum, thereby causing an additional influx of exogenous calcium and release of endogenous calcium into the cytosol, aggravating this pathological process several times.An interesting aspect to study is the role of the nervus vagus (vagus nerve) in the development of inflammation in the muscle, which is one of the key regulators of the inflammatory process in the body. Thus, according to separate studies, it found that vagus nerve stimulation (VNS) reduces the release of pro-inflammatory cytokines during acute inflammation. This effect called the "cholinergic anti-inflammatory pathway." However, its role in the regulation of muscle inflammation has poorly studied, so further study of its role in inflammation processes is an urgent scientific direction with the aim of possible use as a therapeutic platform for the correction of disorders after exposure to prolonged physical activity. It is important to emphasize that the inflammatory response in muscles in response to physical activity is a complex dynamic system in which a shift in one direction can lead to the development of a hyperimmune response or, on the contrary, reduce it. Therefore, understanding this process, as well as identifying trigger mechanisms, will in the future make it possible to increase not only the effectiveness of the training process, but also to prevent the development of pathological conditions.

***Keywords*:** muscles, immunological reaction, nitric oxide, cytokines, inflammation, vagus, calpain.

References

1. Karstoft K., Pedersen B. K. Exercise and type 2 diabetes: focus on metabolism and inflammation. *Immunol Cell Biol*., **94(2)**, 146 (2016). doi: 10.1038/icb.2015.101.
2. Balducci S., Sacchetti M., Haxhi J., Orlando G., D'Errico V., Fallucca S., Menini S., Pugliese G. Physical exercise as therapy for type 2 diabetes mellitus. *Diabetes Metab Res Rev*., **1**, 13 (2014). doi: 10.1002/dmrr.2514. PMID: 24353273.
3. Lavie C. J., Arena R., Swift D. L., Johannsen N. M., Sui X., Lee D. C., Earnest C. P., Church T. S., O'Keefe J. H., Milani R. V., Blair S. N. Exercise and the cardiovascular system: clinical science and cardiovascular outcomes. *Circ Res*., **117(2)**, 207 (2015). doi: 10.1161/CIRCRESAHA.117.305205.
4. Naseeb M. A, Volpe S. L. Protein and exercise in the prevention of sarcopenia and aging. *Nutr Res*., **40**, 1 (2017). doi: 10.1016/j.nutres.2017.01.001.
5. Rhind S. G., Gannon G. A., Shephard R. J., Shek P. N. Indomethacin modulates circulating cytokine responses to strenuous exercise in humans. *Cytokine*., **19(3)**, 153 (2002). doi: 10.1006/cyto.2002.1954.
6. Nara H., Watanabe R. Anti-Inflammatory Effect of Muscle-Derived Interleukin-6 and Its Involvement in Lipid Metabolism. *Int J Mol Sci*., **22(18)**, 9889 (2021). doi: 10.3390/ijms22189889.
7. Silveira L. S., Antunes Bde M., Minari A. L., Dos Santos R. V., Neto J. C., Lira F. S. Macrophage Polarization: Implications on Metabolic Diseases and the Role of Exercise. *Crit Rev Eukaryot Gene Expr*., **26(2)**, 115 (2016). doi: 10.1615/CritRevEukaryotGeneExpr.2016015920.
8. Allen J., Sun Y., Woods J. A. Exercise and the Regulation of Inflammatory Responses. *Prog Mol Biol Transl Sci*., **135**, 337 (2015). doi: 10.1016/bs.pmbts.2015.07.003.
9. Hennigar S. R., McClung J. P., Pasiakos S. M. Nutritional interventions and the IL-6 response to exercise. *FASEB J*., **31(9)**, 3719 (2017). doi: 10.1096/fj.201700080R.
10. Peake J. M. Recovery of the immune system after exercise. *J Appl Physiol* (1985)., **122(5)**, 1077 (2017). doi: 10.1152/japplphysiol.00622.2016.

11. Roca-Rodríguez M. M., Garrido-Sánchez L., García-Almeida J.M., Ruiz-Nava J., Alcaide-Torres J., Gómez-González A., Montiel-Trujillo A., Tinahones-Madueño F. Effects of exercise on inflammation in cardiac rehabilitation. *Nutr Hosp*., **31(6)**, 2633 (2015). doi: 10.3305/nh.2015.31.6.8868.
12. Pedersen B. K. Anti-inflammatory effects of exercise: role in diabetes and cardiovascular disease. *Eur J Clin Invest*., **47(8)**, 600 (2017). doi: 10.1111/eci.12781.
13. Oishi Y., Manabe I. Macrophages in inflammation, repair and regeneration. *Int Immunol*., **30(11)**, 511 (2018). doi: 10.1093/intimm/dxy054.
14. Gleeson M., Bishop N. C., Stensel D. J., Lindley M. R., Mastana S. S., Nimmo M. A. The anti-inflammatory effects of exercise: mechanisms and implications for the prevention and treatment of disease. *Nat Rev Immunol*., **11(9)**, 607 (2011). doi: 10.1038/nri3041.
15. Lightfoot A.P., Cooper R.G. The role of myokines in muscle health and disease. Curr Opin Rheumatol., 28(6), 661 (2016). doi: 10.1097/BOR.0000000000000337.
16. Shaw D. M., Merien F., Braakhuis A., Dulson D. T-cells and their cytokine production: The anti-inflammatory and immunosuppressive effects of strenuous exercise. *Cytokine*, **104**, 136 (2018). doi: 10.1016/j.cyto.2017.10.001.
17. Steensberg A., van Hall G., Osada T., Sacchetti M., Saltin B., Klarlund Pedersen B. Production of interleukin-6 in contracting human skeletal muscles can account for the exercise-induced increase in plasma interleukin-6. *J Physiol*., **529(Pt 1),** 237 (2000). doi: 10.1111/j.1469-7793.2000.00237.x.
18. Chen L., Liu H., Yuan M., Lu W., Wang J., Wang T. The roles of interleukins in perfusion recovery after peripheral arterial disease. *Biosci Rep*., **38(1)**, BSR20171455 (2018). doi: 10.1042/BSR20171455.
19. Zhang J. M., An J. Cytokines, inflammation, and pain. *Int Anesthesiol Clin*., **45(2)**, 27 (2007). doi: 10.1097/AIA.0b013e318034194e.
20. Cannon J. G., Kluger M. J. Endogenous pyrogen activity in human plasma after exercise. *Science*., **220(4597)**, 617 (1983). doi: 10.1126/science.6836306.
21. Lightfoot A. P., Cooper R. G. The role of myokines in muscle health and disease. *Curr Opin Rheumatol*., **28(6)**, 661 (2016). doi: 10.1097/BOR.0000000000000337.
22. Pedersen B. K., Febbraio M. A. Muscle as an endocrine organ: focus on muscle-derived interleukin-6. *Physiol Rev*., **88(4)**, 1379 (2008). doi: 10.1152/physrev.90100.2007.
23. Aguer C., Loro E., Di Raimondo D. Editorial: The Role of the Muscle Secretome in Health and Disease. *Front Physiol*., **811**, 1101 (2020). doi: 10.3389/fphys.2020.01101.
24. Furuichi Y., Manabe Y., Takagi M., Aoki M., Fujii N. L. Evidence for acute contraction-induced myokine secretion by C2C12 myotubes. *PLoS One*., **13(10)**, 1 (2018). doi: 10.1371/journal.pone.0206146.
25. Nedachi T., Fujita H., Kanzaki M. Contractile C2C12 myotube model for studying exercise-inducible responses in skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab*., **295(5)**, E1191 (2008). doi: 10.1152/ajpendo.90280.2008.
26. Manabe Y., Ogino S., Ito M., Furuichi Y., Takagi M., Yamada M., Goto-Inoue N., Ono Y., Fujii N. L. Evaluation of an in vitro muscle contraction model in mouse primary cultured myotubes. *Anal Biochem*., **497**, 36 (2016). doi: 10.1016/j.ab.2015.10.010.
27. Peake J. M., Della Gatta P., Suzuki K., Nieman D. C. Cytokine expression and secretion by skeletal muscle cells: regulatory mechanisms and exercise effects. *Exerc Immunol Rev*., **21**, 8 (2015). PMID: 25826432.
28. Scott L. J. Tocilizumab: A Review in Rheumatoid Arthritis. *Drugs*., **77(17)**, 1865 (2017). doi: 10.1007/s40265-017-0829-7.
29. Keller C., Steensberg A., Pilegaard H., Osada T., Saltin B., Pedersen B. K., Neufer P. D. Transcriptional activation of the IL-6 gene in human contracting skeletal muscle: influence of muscle glycogen content. *FASEB J*., **15(14)**, 2748 (2001). doi: 10.1096/fj.01-0507fje.
30. Pedersen B. K., Steensberg A., Schjerling P. Muscle-derived interleukin-6: possible biological effects. *J Physiol*., **536(Pt 2)**, 329 (2001). doi: 10.1111/j.1469-7793.2001.0329c.xd.
31. Hiscock N., Chan M. H., Bisucci T., Darby I. A., Febbraio M. A. Skeletal myocytes are a source of interleukin-6 mRNA expression and protein release during contraction: evidence of fiber type specificity. *FASEB J*., **18(9)**, 992 (2004). doi: 10.1096/fj.03-1259fje.
32. Bruunsgaard H., Galbo H., Halkjaer-Kristensen J., Johansen T. L., MacLean D. A., Pedersen B. K. Exercise-induced increase in serum interleukin-6 in humans is related to muscle damage. *J Physiol*., **499(Pt3)**, 833 (1997). doi: 10.1113/jphysiol.1997.sp021972.

33. Smith L. L. Cytokine hypothesis of overtraining: a physiological adaptation to excessive stress? *Med Sci Sports Exerc*., **32(2)**, 317 (2000). doi: 10.1097/00005768-200002000-00011.
34. da Rocha A. L., Pereira B. C., Teixeira G. R., Pinto A. P., Frantz F. G., Elias L. L. K. Treadmill Slope Modulates Inflammation, Fiber Type Composition, Androgen, and Glucocorticoid Receptors in the Skeletal Muscle of Overtrained Mice. *Front Immunol*., **8**, 1378 (2017). doi: 10.3389/fimmu.2017.01378.
35. Pinton P., Giorgi C., Siviero R., Zecchini E., Rizzuto R. Calcium and apoptosis: ER-mitochondria Ca2+ transfer in the control of apoptosis. *Oncogene*., **27(50)**, 6407 (2008). doi: 10.1038/onc.2008.308.
36. Kuo I. Y., Ehrlich B. E. Signaling in muscle contraction. *Cold Spring Harb Perspect Biol*., **7(2)**, 1 (2015). doi: 10.1101/cshperspect.a006023.
37. Tengan C. H., Rodrigues G. S., Godinho R. O. Nitric oxide in skeletal muscle: role on mitochondrial biogenesis and function. *Int J Mol Sci*., **13(12)**, 17160 (2012). doi: 10.3390/ijms131217160.
38. Bejma J., Ji L. L. Aging and acute exercise enhance free radical generation in rat skeletal muscle. *J Appl Physiol (1985)*., **87(1)**, 465 (1999). doi: 10.1152/jappl.1999.87.1.465.
39. Tidball J. G. Inflammatory processes in muscle injury and repair. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.*, **288(2)**, 345 (2005). doi: 10.1152/ajpregu.00454.2004.
40. Ono Y., Saido T. C., Sorimachi H. Calpain research for drug discovery: Challenges and potential. *Nat Rev Drug Discov*., **15**, 854 (2016) doi:10.1038/nrd.2016.212.
41. Murphy R. M. Calpains, skeletal muscle function and exercise. *Clin Exp Pharmacol Physiol*., **37**, 385 (2010). doi:10.1111/j.1440-1681.2009.05310.x.
42. Lek A., Evesson F. J., Lemckert F. A., Redpath G. M., Lueders A. K., Turnbull L. Calpains, cleaved mini-dysferlinC72, and L-type channels underpin calcium-dependent muscle membrane repair. *J Neurosci*., **33(12)**, 5085 (2013). doi: 10.1523/JNEUROSCI.3560-12.2013.
43. Smuder A. J., Kavazis A. N., Hudson M. B., Nelson W. B., Powers S. K. Oxidation enhances myofibrillar protein degradation via calpain and caspase-3. *Free Radic Biol Med*., **49(7)**, 1152 (2010). doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2010.06.025.
44. Cerqueira É., Marinho D. A., Neiva H. P., Lourenço O. Inflammatory Effects of High and Moderate Intensity Exercise-A Systematic Review. *Front Physiol*., **10**, 1550 (2020). doi: 10.3389/fphys.2019.01550.
45. Kumar A., Takada Y., Boriek A. M., Aggarwal B. B. Nuclear factor-kappaB: its role in health and disease. *J Mol Med (Berl).*, **82(7)**, 434 (2004). doi: 10.1007/s00109-004-0555-y.
46. Li H., Malhotra S., Kumar A. Nuclear factor-kappa B signaling in skeletal muscle atrophy. *J Mol Med (Berl).*, **86(10)**, 1113 (2008). doi: 10.1007/s00109-008-0373-8.
47. Di Marco S., Cammas A., Lian X. J., Kovacs E. N., Ma J. F., Hall D. T. The translation inhibitor pateamine A prevents cachexia-induced muscle wasting in mice. *Nat Commun*., **3**, 896 (2012). doi: 10.1038/ncomms1899.
48. Ma J. F., Sanchez B. J., Hall D. T., Tremblay A. K., Di Marco S., Gallouzi I. E. STAT3 promotes IFNγ/TNFα-induced muscle wasting in an NF-κB-dependent and IL-6-independent manner. *EMBO Mol Med*., **9(5)**, 622 (2017). doi: 10.15252/emmm.201607052.
49. Buck M., Chojkier M. Muscle wasting and dedifferentiation induced by oxidative stress in a murine model of cachexia is prevented by inhibitors of nitric oxide synthesis and antioxidants. *EMBO J*., **15(8)**, 1753 (1996). PMID: 8617220
50. Nakazawa H., Chang K., Shinozaki S., Yasukawa T., Ishimaru K., Yasuhara S. iNOS as a Driver of Inflammation and Apoptosis in Mouse Skeletal Muscle after Burn Injury: Possible Involvement of Sirt1 S-Nitrosylation-Mediated Acetylation of p65 NF-κB and p53. *PLoS One*., **12(1)**, e0170391 (2017). doi: 10.1371/journal.pone.0170391.
51. Zhang W., Huang Q., Zeng Z., Wu J., Zhang Y., Chen Z. Sirt1 Inhibits Oxidative Stress in Vascular Endothelial Cells. *Oxid Med Cell Longev*., **2017**, 7543973 (2017). doi: 10.1155/2017/7543973.
52. Hall D. T., Ma J. F., Marco S. D., Gallouzi I. E. Inducible nitric oxide synthase (iNOS) in muscle wasting syndrome, sarcopenia, and cachexia. *Aging (Albany NY)*., **3(8)**, 702 (2011). doi: 10.18632/aging.100358.
53. Judge A. R., Koncarevic A., Hunter R. B., Liou H. C., Jackman R. W., Kandarian S. C. Role for IkappaBalpha, but not c-Rel, in skeletal muscle atrophy. *Am J Physiol Cell Physiol*., **292(1)**, C372 (2007). doi: 10.1152/ajpcell.00293.2006.
54. Mourkioti F., Kratsios P., Luedde T., Song Y. H., Delafontaine P., Adami R., Parente V., Bottinelli R., Pasparakis M., Rosenthal N. Targeted ablation of IKK2 improves skeletal muscle strength, maintains mass, and promotes regeneration. *J Clin Invest*., **116(11)**, 2945 (2006). doi: 10.1172/JCI28721.

55. Fox D. K., Ebert S. M., Bongers K. S., Dyle M. C., Bullard S. A., Dierdorff J. M., Kunkel S. D., Adams C.M.p53 and ATF4 mediate distinct and additive pathways to skeletal muscle atrophy during limb immobilization. *Am J Physiol Endocrinol Metab*., **307(3)**, 245 (2014). doi: 10.1152/ajpendo.00010.2014.
56. Chen J., Zhou Y., Mueller-Steiner S., Chen L. F., Kwon H., Yi S. SIRT1 protects against microglia-dependent amyloid-beta toxicity through inhibiting NF-kappaB signaling. *The Journal of biological chemistry*, **280(48)**, 40364 (205). doi: 10.1074/jbc.M509329200
57. Lysenkov S. P., Muzhenya D. V., Tuguz A. R., Urakova T. U., Shumilov D. S., Thakushinov I. A., Thakushinov R. A., Tatarkova E. A., Urakova D. M. Cholinergic deficiency in the cholinergic system as a pathogenetic link in the formation of various syndromes in COVID-19. *Chin J Physiol*., **66(1)**, 1 (2023). doi: 10.4103/cjop.CJOP-D-22-00072.
58. Boccini F., Herold S. Mechanistic studies of the oxidation of oxyhemoglobin by peroxynitrite. *Biochemistry*, **43**, 16393 (2004). https://doi.org/10.1021/bi0482250.
59. Kojouharov H. V., Chen-Charpentier B. M., Solis F. J., Biguetti C., Brotto M. A simple model of immune and muscle cell crosstalk during muscle regeneration. *Math Biosci*., **333**, 108543 (2021). doi: 10.1016/j.mbs.2021.108543.
60. de Oliveira A. K., Pramoonjago P., Rucavado A., Moskaluk C., Silva D. T., Escalante T., Gutiérrez J. M., Fox J. W. Mapping the Immune Cell Microenvironment with Spatial Profiling in Muscle Tissue Injected with the Venom of Daboia russelii. *Toxins (Basel).*, **15(3)**, 208 (2023). doi: 10.3390/toxins1503020.
61. Ostrowski K., Rohde T., Asp S., Schjerling P., Pedersen B. K. Pro- and anti-inflammatory cytokine balance in strenuous exercise in humans. *J Physiol*., **515(Pt 1)**, 287 (1999). doi: 10.1111/j.1469-7793.1999.287ad.x.
62. Dobbs R. J., Charlett A., Purkiss A. G., Dobbs S. M., Weller C., Peterson D. W. Association of circulating TNF-alpha and IL-6 with ageing and parkinsonism. *Acta Neurol Scand*., **100(1)**, 34 (1999). doi: 10.1111/j.1600-0404.1999.tb00721.x.
63. Kluth D. C., Rees A. J. Inhibiting inflammatory cytokines. *Semin Nephrol*., **16(6)**, 576 (1996). PMID: 9125802.
64. Muñoz-Cánoves P., Scheele C., Pedersen B. K., Serrano A. L. Interleukin-6 myokine signaling in skeletal muscle: a double-edged sword? *FEBS J*., **280(17)**, 4131 (2013). doi: 10.1111/febs.12338
65. Daou H. N. Exercise as an anti-inflammatory therapy for cancer cachexia: a focus on interleukin-6 regulation. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*., **318(2)**, 296 (2020). doi: 10.1152/ajpregu.00147.2019.
66. Nara H., Watanabe R. Anti-Inflammatory Effect of Muscle-Derived Interleukin-6 and Its Involvement in Lipid Metabolism. *Int J Mol Sci*., **22(18)**, 9889 (2021). doi: 10.3390/ijms22189889.
67. Schindler R., Mancilla J., Endres S., Ghorbani R., Clark S. C., Dinarello C. A. Correlations and interactions in the production of interleukin-6 (IL-6), IL-1, and tumor necrosis factor (TNF) in human blood mononuclear cells: IL-6 suppresses IL-1 and TNF. *Blood*., **75(1)**, 40 (1990). PMID: 2294996
68. Matthys P., Mitera T., Heremans H., Van Damme J., Billiau A. Anti-gamma interferon and anti-interleukin-6 antibodies affect staphylococcal enterotoxin B-induced weight loss, hypoglycemia, and cytokine release in D-galactosamine-sensitized and unsensitized mice. *Infect Immun*., **63(4)**, 1158 (1995). doi: 10.1128/iai.63.4.1158-1164.1995.
69. Starkie R., Ostrowski S. R., Jauffred S., Febbraio M., Pedersen B. K. Exercise and IL-6 infusion inhibit endotoxin-induced TNF-alpha production in humans. *FASEB J*., **17(8)**, 884 (2003). doi: 10.1096/fj.02-0670fje.
70. Baeza-Raja B., Muñoz-Cánoves P. p38 MAPK-induced nuclear factor-kappaB activity is required for skeletal muscle differentiation: role of interleukin-6. *Mol Biol Cell*., **15(4)**, 2013 (2004). doi: 10.1091/mbc.e03-08-0585.
71. McCafferty D. M, Mudgett J. S., Swain M. G., Kubes P. Inducible nitric oxide synthase plays a critical role in resolving intestinal inflammation. *Gastroenterology*., **112(3)**, 1022 (1997). doi: 10.1053/gast.1997.v112.pm9041266.
72. Rigamonti E., Touvier T., Clementi E., Manfredi A. A., Brunelli S., Rovere-Querini P. Requirement of inducible nitric oxide synthase for skeletal muscle regeneration after acute damage. *J Immunol*., **190(4)**, 1767 (2013). doi: 10.4049/jimmunol.1202903.
73. Rovere-Querini P., Clementi E., Brunelli S. Nitric oxide and muscle repair: multiple actions converging on therapeutic efficacy. *Eur J Pharmacol*., **730**, 181 (2014). doi: 10.1016/j.ejphar.2013.11.006
74. Kawashima M., Miyakawa M., Sugiyama M., Miyoshi M., Arakawa T. Unloading during skeletal muscle regeneration retards iNOS-expressing macrophage recruitment and perturbs satellite cell accumulation. *Histochem Cell Biol*., **154(4)**, 355 (2020). doi: 10.1007/s00418-020-01897-3.

75. Olofsson P. S., Levine Y. A., Caravaca A. Single-Pulse and Unidirectional Electrical Activation of the Cervical Vagus Nerve Reduces Tumor Necrosis Factor in Endotoxemia. *Bioelectron Med*., **2**, 37 (2015). https://doi.org/10.15424/bioelectronmed.2015.00006.
76. Pavlov V. A., Chavan S. S., Tracey K. J. Molecular and Functional Neuroscience in Immunity. *Annu Rev Immunol*., **36**, 783 (2018). doi: 10.1146/annurev-immunol-042617-053158
77. Caravaca A. S., Gallina A. L., Tarnawski L., Tracey K. J., Pavlov V. A., Levine Y. A. An Effective Method for Acute Vagus Nerve Stimulation in Experimental Inflammation. *Front Neurosci*., **3**, 877 (2019). doi: 10.3389/fnins.2019.00877.
78. Tracey K. J. Hacking the inflammatory refelex. *Lancet Neurol*., **3**, 237 (2021). doi:10.1016/s2665-9913(20)30448-3.
79. Pavlov V. A., Tracey K. J. The vagus nerve and the inflammatory reflex--linking immunity and metabolism. *Nat Rev Endocrinol*., **8(12)**, 743 (2012). doi: 10.1038/nrendo.2012.189.
80. Lai Y., Deng J., Wang M., Zhou L., Meng G. Vagus nerve stimulation protects against acute liver injury induced by renal ischemia reperfusion via antioxidant stress and anti-inflammation. *Biomed Pharmacother*., **117**, 109062 (2017). doi: 10.1016/j.biopha.2019.109062.
81. Inoue T., Abe C., Sung S. S., Moscalu S., Jankowski J., Huang L., Ye H., Rosin D. L., Guyenet P. G., Okusa M. D. Vagus nerve stimulation mediates protection from kidney ischemia-reperfusion injury through α7nAChR+ splenocytes. *J Clin Invest*., **126(5)**, 1939 (2016). doi: 10.1172/JCI83658.
82. Zhang Y., Li H., Wang M., Meng G., Wang Z., Deng J. Vagus Nerve Stimulation Attenuates Acute Skeletal Muscle Injury Induced by Ischemia-Reperfusion in Rats. *Oxid Med Cell Longev,* **2019**, 9208949 (2019). doi: 10.1155/2019/9208949.
83. Xin Y., Zhang Y., Deng S., Hu X. Vagus Nerve Stimulation Attenuates Acute Skeletal Muscle Injury Induced by Hepatic Ischemia/Reperfusion Injury in Rats. *Front Pharmacol*., **12**, 756997 (2022). doi: 10.3389/fphar.2021.756997.
84. Knight C. M., Gutierrez-Juarez R., Lam T. K., Arrieta-Cruz I., Huang L, Schwartz G., Barzilai N., Rossetti L. Mediobasal Hypothalamic SIRT1 Is Essential for Resveratrol's Effects on Insulin Action in Rats. *Diabetes*., **60**, 2691 (2011). doi: 10.2337/db10-0987.
85. Corona B. T., Balog E. M., Doyle J. A., Rupp J. C., Luke R. C., Ingalls C. P. Junctophilin damage contributes to early strength deficits and EC coupling failure after eccentric contractions. *Am J Physiol Cell Physiol*., **298**, 365 (2010). doi: 10.1152/ajpcell.00365.2009.
86. Franzini-Armstrong C., Jorgensen A. O. Structure and development of E-C coupling units in skeletal muscle. *Ann Rev Physiol*., **56**, 509 (1994). doi:10.1146/annurev.ph.56.030194.002453
87. Kanzaki K., Watanabe D., Kuratani M., Yamada T., Matsunaga S., Wada M. Role of calpain in eccentric contraction-induced proteolysis of Ca2+-regulatory proteins and force depression in rat fast-twitch skeletal muscle. *J Appl Physiol (1985)*., **122(2)**, 396 (2017). doi: 10.1152/japplphysiol.00270.2016.
88. Ito K., Komazaki S., Sasamoto K., Yoshida M., Nishi M., Kitamura K., Takeshima H. Deficiency of triad junction and contraction in mutant skeletal muscle lacking junctophilin type 1. *J Cell Biol*., **154(5)**, 1059 (2001). doi: 10.1083/jcb.200105040.

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 147–154.

УДК 615.322
DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-147-154

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОКСИКОРИЧНЫХ КИСЛОТ И ОЦЕНКА АНТИОКСИДАНТНЫХ СВОЙСТВ *AMORPHA FRUTICOSA* L.

Мурталиева В. Х., Цибизова А. А., Сергалиева М. У.

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Минздрава России, Астрахань, Россия
E-mail: murtalieva90@mail.ru

Работа посвящена количественному определению гидроксикоричных кислот и оценке антиоксидантных свойств экстракта плодов *Amorpha fruticosa* L., произрастающей в Астраханской области. Содержание гидроксикоричных кислот в экстракте *A. fruticosa* определяли спектрофотометрическим методом. Антиоксидантную активность экстракта изучали методом восстановления стабильного радикала 2-2-дифенил-1-пикрилгидразила. Содержание общих гидроксикоричных производных составило 12,26 ± 2,07 мг/г сухого вещества. При исследовании антиоксидантной активности экстракта плодов *A. fruticosa* в отношении катион-радикалов DPPH выявлена максимальная степень ингибирования 63,79 % и 79,18 % при концентрации экстрагента 60 %. Установлено, что наличие гидроксикоричных кислот определяет выраженный антиоксидантный эффект экстракта плодов *Amorpha fruticosa* L.
Ключевые слова: *Amorpha fruticosa*, экстракт, гидроксикоричные кислоты, антиоксидантная активность.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия отмечается рост интереса к поиску и изучению новых антиоксидантов, в том числе и природного происхождения, играющих важную роль в профилактике и лечении заболеваний, основным патогенетическим фактором развития которых считается окислительное повреждение клеток активными формами кислорода (АФК), включая атеросклероз, нейродегенеративные заболевания, рак, сахарный диабет, воспалительные заболевания и др. [1]. Установлено, что основными мишенями воздействия АФК являются липидная целостность мембраны и активность АФК-чувствительных белков. АФК могут индуцировать перекисное окисление липидов и нарушать расположение мембранных липидных бислоев, что приводит к инактивации мембраносвязанных ферментов и к увеличению проницаемости тканей [2]. Под воздействием АФК наблюдается фрагментация пептидной цепи, изменение электрического заряда белков, что приводит к конформационным изменениям, развертыванию и деградации белков [3]. В связи с чем коррекция нарушений окислительно-восстановительного характера имеет решающее значение для нормального функционирования организма в целом. С этой целью используются антиоксиданты – соединения, нормализующие антиоксидантный потенциал организма посредством простых или сложных механизмов, включая предотвращение

инициирования цепи, связывание катализаторов трансляционных ионов металлов, разложение пероксидов, предотвращение продолжающегося отщепления водорода и удаление радикалов [4]. Интерес представляют природные антиоксиданты и это, прежде всего, фенольные соединения: простые фенолы, флавоноиды, ксантоны, лигнаны, фенольные кислоты, которые содержатся, как правило, во всех частях растений [5]. Известно, что гидроксикоричные кислоты являются мощными антиоксидантами, основной механизм действия которых заключается в поглощении радикалов, связанный с их водородо- или электрон-донорной способностью и стабильностью образующихся феноксильных продуктов [6, 7]. Наряду с выраженной активностью они также оказывают разностороннее фармакологическое действие: антимикробное, противоопухолевое, противовоспалительное, нейро-, кардио- и гепатопротекторное и др. [8].

В качестве растительного сырья, содержащего гидроксикоричные кислоты и оказывающего антиоксидантную активностью, может быть рассмотрена Аморфа кустарниковая (*Amorpha fruticosa* L.) семейства Бобовые (*Fabaceae*). В различных частях данного растения идентифицированы: гиперозид, кумаровая кислота, кверцетин, рутозид, лютеолин, кемпферол, гидроксикоричные кислоты, которые и определяют биологическое действие данного растения [9, 10].

В связи с чем, целью настоящей работы явилось количественное определение гидроксикоричных кислот и оценка антиоксидантных свойств плодов *Amorpha fruticosa* L., произрастающей на территории Астраханской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании использовали плоды *A. fruticosa*, собранные в Володарском районе Астраханской области в 2023 году. Растительный материал сушили воздушно-теневым способом. Экстракт аморфы получали в соотношении 1:5 путём экстрагирования измельченных плоды 60 %-ным этанолом на водяной бане при температуре 60°C в течение 2,5 ч с последующим удалением спирта на ротационном испарителе «HeiVAP Value G3» (Германия).

Количественное содержание гидроксикоричных кислот (ГК) в экстракте *A. fruticosa* определяли спектрофотометрическим методом [7]. 2,0 г (точная навеска) измельченного сырья помещали в колбу и добавляли 70 мл воды, которую затем присоединяли к обратному холодильнику и нагревали на водяной бане в течение 15 минут. Экстракцию повторяли дважды. Извлечения охлаждали, фильтровали через бумажный фильтр и переносили в мерную колбу на 200 мл и доводили объем раствора водой до метки (раствор А). В мерную колбу вместимостью 50 мл вносили 1 мл раствора А и доводили объем раствора 20 % спиртом этиловым до метки. Оптическую плотность полученного раствора измеряли при длине волны 330 нм, которая является аналитической для хлорогеновой кислоты. В качестве раствора сравнения использовали спирт этиловый 20 %. Содержание суммы ГК в пересчете на хлорогеновую кислоту (стандартный образец CAS № 327-97-9, чистота более 95 %) рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{Ax \times 200 \times 50 \times 100}{E1\ 1\% \times m \times Va \times (100 - W)}$$

где A_x – оптическая плотность исследуемого раствора; $E_{1см}^{1\%}$ – удельный показатель поглощения хлорогеновой кислоты при 330 нм = 507; m – масса навески исследуемого сырья, г; V_a – объем аликвоты, мл; W – влажность, %.

Антиоксидантную активность исследуемого экстракта измеряли с помощью метода восстановления стабильного радикала 2-2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH) [11]. Метод основан на взаимодействии антиоксидантов со стабильным хромоген-радикалом DPPH. Стандартный раствор DPPH (5×10^{-4} М) в этаноле, подкисленном уксусной кислотой, разводили этанолом в соотношении 1:10 для получения рабочего раствора. К 5 мл рабочего раствора DPPH добавляли 50 мкл исследуемых экстрактов с концентрацией этанола 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 % и 96 %, перемешивали и регистрировали кинетику убыли оптической плотности раствора в течение 30 минут при длине волны 517 нм. В качестве контрольного образца использовали рабочий раствор DPPH. Все измерения регистрировали на спектрофотометре ПЭ-5400В (Россия).

Антиоксидантную активность (АОА) определяли по формуле:

$$АОА = (A_{контр} – A_x/A_{контр})•100\%,$$

где A_x – оптическая плотность исследуемого раствора, $A_{контр}$ – оптическая плотность исследуемого образца. АОА выражали в процентах ингибирования активности DPPH.

Все исследования проводили в пятикратной повторности с последующей статистической обработкой результатов исследования с помощью «StatTech» (Россия), используя для оценки различий параметрический t-критерий Стьюдента с поправкой Бонферрони. Уровень статистической значимости различий в группах сравнения оценивали при $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты количественного анализа спиртового извлечения плодов *A. fruticosa* на наличие ГК представлены в таблице 1.

По результатам фитохимического исследования установлено, что суммарное содержание ГК в плодах *A. fruticosa* составляет 12,26 ± 2,07 мг/г сухого вещества, что дает возможность использования данного представителя рода Аморфа в медицине и фармации с целью возможной разработки новых фитопрепаратов.

Таблица 1

Метрологические показатели содержания гидроксикоричных кислот в плодах *A. Fruticosa*

№	Масса навески, г	Сумма ГК, мг/г	Метрологические данные	RSD, %
1	2,01	12,25	$X_{ср} = 12,26$	
2	2,02	12,27	$S^2 = 0,058$	
3	2,01	12,25	$S = 0,041$	3,21
4	2,00	12,29	$S_x = 0,009$	
5	2,01	12,26	$\varepsilon = 4,15\%$	
			$\varepsilon_{ср} = 1,57\%$	

Спектр поглощения комплекса ГК экстракта плодов *A. fruticosa* с представлен на рисунке 1.

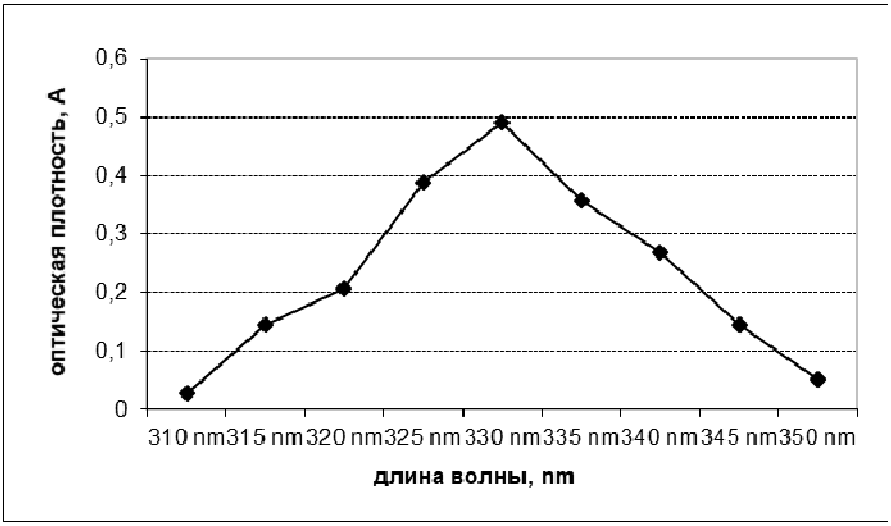


Рис. 1. Дифференциальный спектр поглощения ГК из плодов *A. Fruticosa.*

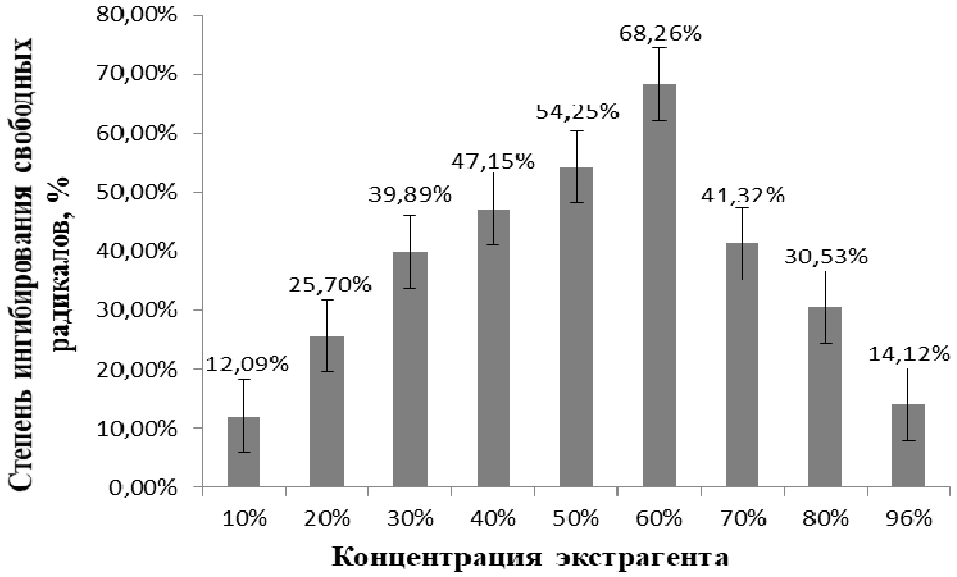


Рис. 2. Антиоксидантная активность исследуемых извлечений из плодов *A. fruticosa**

Примечание: *На графике представлены средние значения шести измерений

При исследовании антиоксидантной активности ГК из плодов *A. fruticosa* в отношении катион-радикалов DPPH выявлена максимальная степень ингибирования 63,79 % и 79,18 %. На основании полученных данных можно сделать вывод, что высокая степень ингибирования свободных радикалов отмечается у всех извлечений, что свидетельствует о наличии у указанных экстрактов легкорастворимых и активных антиоксидантов, максимальное ингибирование которых было зафиксировано у 60 %-ного этанольного экстракта с АОА = 68,26 %.

Представленная методика оценки антиоксидантной активности широко используется для оценки способности различных растительных экстрактов к удалению свободных радикалов и подтверждает наличие в химическом составе экстракта плодов *A. fruticosa*, произрастающей на территории Астраханской области, гидроксикоричных кислот, которые определяют выраженный антиоксидантный эффект.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования установлено, что количественное содержание суммы гидроксикоричных кислот определяют антиоксидантную активность экстракта плодов *Amorpha fruticosa* L., произрастающей на территории Астраханской области и могут быть использованы в качестве перспективной основы для фитопрепаратов для применения в профилактике окислительного повреждения клеток.

Список литературы

1. Checa J. Reactive oxygen species: drivers of physiological and pathological processes / J. Cheka, J. M. Aran // Journal of Inflammation research. – 2020. – No 13. – P. 1057–1073. doi: 10.2147/JIR.S275595.
2. Sies H. Defining roles of specific reactive oxygen species (ROS) in cell biology and physiology / H. Sies, V. V. Belousov, N. S. Chandel [et al.] // Nature Reviews Molecular Cell Biology. – 2022. – Vol. 23, No 7. – P. 499–515. doi: 10.1038/s41580-022-00456-z.
3. Incalza M. A. Oxidative stress and reactive oxygen species in endothelial dysfunction associated with cardiovascular and metabolic diseases / M. A Incalza, R. D'Oria, A. Natalicchio [et al.] // Vascular Pharmacology. – 2018. – No 100. – P. 1–19. doi: 10.1016/j.vph.2017.05.005.
4. He L. Antioxidants maintain cellular redox homeostasis by elimination of reactive oxygen species / L. He, T. He, S. Farrar [et al.] // Cellular Physiology and Biochemistry. 2017. – Vol. 44, No 2. – P. 532–553. doi: 10.1159/000485089.
5. Lourenço S. C. Antioxidants of natural plant origins: From sources to food industry applications / S. C. Lourenço, M. Moldão-Martins, V. D. Alves // Molecules. – 2019. – Vol. 24, No 22. – P. 4132. doi: 10.3390/molecules24224132.
6. Teixeira J. Hydroxycinnamic acid antioxidants: an electrochemical overview / J. Teixeira, A. Gaspar, E. M. Garrido [et al.] // BioMed research international. – 2013. – Vol. 2013. doi: 10.1155/2013/251754.
7. Razzaghi-Asl N. Antioxidant properties of hydroxycinnamic acids: a review of structure-activity relationships / N. Razzaghi-Asl, J. Garrido, H. Khazraei [et al.] // Current medicinal chemistry. – 2013. – Vol. 20, No 36. – P. 4436–4450.
8. Coman V. Hydroxycinnamic acids and human health: recent advances / V. Coman, D. C. Vodnar // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2020. – Vol. 100, No 2. – P. 483–499. doi: 10.1002/jsfa.10010.
9. Cui X. Analysis of bioactive constituents from the leaves of Amorpha fruticosa L. / X. Cui, J. Guo, C. S. Lai [et al.] // Journal of food and Drug Analysis. – 2017. – Vol. 25, No 4. – P. 992–999. doi: 10.1016/j.jfda.2016.10.006.
10. Marinas I. C. Chemical composition, antipathogenic and cytotoxic activity of the essential oil extracted from Amorpha fruticosa fruits / I. C. Marinas, E. Oprea, M. Buleandra [et al.] // Molecules. – 2021. – Vol. 26, No 11. – P. 3146. doi: 10.3390/molecules26113146.
11. Антиоксидантная и антирадикальная активность *in vitro* экстрактов травы *Sanguisorba officinalis* L., собранной в различные фазы развития / Е. М. Мальцева, Н. О. Егорова, И. Н. Егорова, Р. А. Мухамадияров // Медицина в Кузбассе. – 2017. – Т. 16, № 2. – С. 32–38.

QUANTITATIVE DETERMINATION OF HYDROXYCINMONARY ACIDS AND ASSESSMENT OF THE ANTIOXIDANT PROPERTIES OF *AMORPHA FRUTICOSA* L.

Murtalieva V. Kh., Tsibizova A. A., Sergalieva M. U.

Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russian Federation
E-mail: murtalieva90@mail.ru

In recent decades, there has been a growing interest in the search and study of new antioxidants, including those of natural origin, which play an important role in the prevention and treatment of diseases, the main pathogenetic factor in the development of which is considered to be oxidative damage to cells by reactive oxygen species (ROS),

including atherosclerosis, neurodegenerative diseases, cancer, diabetes mellitus, inflammatory diseases etc. In this connection, the correction of redox disorders is crucial for the normal functioning of the body as a whole. It is known that hydroxycinnamic acids are powerful antioxidants, the main mechanism of action of which is the absorption of radicals, which is associated with their hydrogen or electron-donating ability and the stability of the resulting phenoxyl radicals. *Amorpha fruticosa* L. can be considered as a plant raw material containing hydroxycinnamic acids and providing antioxidant activity. In various parts of this plant, hyperoside, coumaric acid, quercetin, rutoside, luteolin, kaempferol, and hydroxycinnamic acids have been identified, which determine the biological effect of this plant.

In this connection, the purpose of this work was to quantitatively determine hydroxycinnamic acids and evaluate the antioxidant properties of the fruits of *Amorpha fruticosa* L., growing in the Astrakhan region.

The study used *A. fruticosa* fruits collected in the Volodarsky district of the Astrakhan region in 2023, on the basis of which an extract was obtained in a ratio of 1:5 by extracting crushed fruits with 60 % ethanol in a water bath at a temperature of 60° C for 2.5 hours followed by removal of alcohol. The quantitative content of hydroxycinnamic acids (HA) in the *A. fruticosa* extract was determined by spectrophotometric method. The antioxidant activity of the studied extract was measured using the method of reduction of the stable radical 2-2-diphenyl-1-picrylhydrazyl. The content of total hydroxycinnamic derivatives in terms of chlorogenic acid was 12,26 ± 2.07 mg/g dry matter. A study of the antioxidant activity of hydroxycinnamic acids from A. fruticosa fruits against DPPH radical cations revealed a maximum degree of inhibition of 63,79 % and 79,18 % at an extractant concentration of 60 %.

As a result of the study, it was established that the quantitative content of the amount of hydroxycinnamic acids determines the antioxidant activity of the *Amorpha fruticosa* L. fruit extract and can be used as a promising basis for herbal medicines for use in the prevention of oxidative damage to cells.

***Keywords*:** *Amorpha fruticosa*, extract, hydroxycinnamic acids, antioxidant activity.

References

1. Checa J., Aran J. M. Reactive oxygen species: drivers of physiological and pathological processes. *Journal of Inflammation research*, **13**, 1057 (2020). doi: 10.2147/JIR.S275595.
2. Sies H., Belousov V. V., Chandel N. S. [et al.], Defining roles of specific reactive oxygen species (ROS) in cell biology and physiology. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, **23(7)**, 499 (2022). doi: 10.1038/s41580-022-00456-z.
3. Incalza M. A., D'Oria R., Natalicchio A. [et al.], Oxidative stress and reactive oxygen species in endothelial dysfunction associated with cardiovascular and metabolic diseases. *Vascular Pharmacology*, **100**, 1 (2018). doi: 10.1016/j.vph.2017.05.005.
4. He L., He T., Farrar S. [et al.], Antioxidants maintain cellular redox homeostasis by elimination of reactive oxygen species. *Cellular Physiology and Biochemistry*, **44(2)**, 532 (2017). doi: 10.1159/000485089.
5. Lourenço S., Moldão-Martins C. M., Alves V. D. Antioxidants of natural plant origins: From sources to food industry applications. *Molecules*, **24(22)**, 4132 (2019). doi: 10.3390/molecules24224132.
6. Teixeira J., Gaspar A., Garrido E. M. [et al.], Hydroxycinnamic acid antioxidants: an electrochemical overview. *BioMed research international*, **2013** (2013). doi: 10.1155/2013/251754.

7. Razzaghi-Asl N., Garrido J., Khazraei H. [et al.], Antioxidant properties of hydroxycinnamic acids: a review of structure-activity relationships. *Current medicinal chemistry*, **20(36)**, 4436 (2013).
8. Coman V., Vodnar D. C. Hydroxycinnamic acids and human health: recent advances. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **100(2)**, 483 (2020). doi: 10.1002/jsfa.10010.
9. Cui X., Guo J., Lai C. S. [et al.], Analysis of bioactive constituents from the leaves of Amorpha fruticosa L. *Journal of food and Drug Analysis*, **25(4)**, 992 (2017). doi: 10.1016/j.jfda.2016.10.006.
10. Marinas I. C., Oprea E., Buleandra M. [et al.], Chemical composition, antipathogenic and cytotoxic activity of the essential oil extracted from Amorpha fruticosa fruits. *Molecules*, **26(11)**, 3146 (2021). doi: 10.3390/molecules26113146.
11. Mal'tseva E. M., Egorova N. O., Egorova I. N., Mukhamadiyarov R. A. Antioxidant and antiradical activity in vitro of extracts of the herb Sanguisorba officinalis L., collected in various phases of development. *Medicine in Kuzbass*, **16(2)**, 32 (2017).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 155–161.

УДК 796.01:612

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-155-161

ВЕГЕТАТИВНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ И РЕАКТИВНОСТЬ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ХОККЕИСТОВ-ПОДРОСТКОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИГРОВОГО АМПЛУА

Прима О. С.[1], Головин М. С.[1], Суботялов М. А.[1,2]

[1]ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет», Новосибирск, Россия
[2]ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», Новосибирск, Россия
E-mail: subotyalov@yandex.ru

В статье представлено исследование по изучению функционального состояния сердечно-сосудистой системы подростков-хоккеистов 13–14 лет в зависимости от игрового амплуа с проведением ортостатической пробы. Изучали показатели спектрального и временного анализа с использованием вегетотестера ВНС-Микро (Нейрософт, Иваново, Россия). Показано, у защитников преобладает активность парасимпатического отдела вегетативной нервной системы. Сердечно-сосудистая система защитников работает в более экономичном режиме по сравнению с нападающими. В условиях ортостатической пробы выявлен практически одинаковый уровень реактивности сердечно-сосудистой системы у хоккеистов с разным игровым амплуа.
Ключевые слова: хоккей, ортостатическая проба, показатели спектрального анализа, здоровье спортсменов.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из определяющих звеньев планирования тренировочной нагрузки на разных этапах тренировочного процесса является функциональное состояние спортсмена.

При исследовании функционального состояния организма спортсмена наиболее важны изменения систем кровообращения и дыхания [1]. Именно они имеют основное значение для решения вопроса о допуске к занятиям спортом и о «дозе» физической нагрузки.

Интенсификация тренировочных и соревновательных нагрузок приводит к ухудшению функционального состояния, перетренированности и перенапряжению организма юных хоккеистов, может способствовать развитию патологических изменений [2, 3].

Правильная и объективная оценка возможностей сердечно-сосудистой системы спортсменов, разработка количественных критериев этой оценки необходима для сохранения их здоровья, является непременным условием научно обоснованного

тренировочного процесса, одна из целей которого – правильный выбор игрового амплуа хоккеиста.

На сегодняшний день есть большой ряд публикаций по изучению функционального состояния сердечно-сосудистой системы хоккеистов разного возраста [2, 4–6 и др.]. Но работ по изучению состояния сердечно-сосудистой системы у хоккеистов на подростковом этапе онтогенеза и в зависимости от игрового амплуа нами не найдено, что явилось обоснованием для выбора собственного исследования.

Цель исследования – изучить вегетативную регуляцию и реактивность сердечно-сосудистой системы хоккеистов 13–14 лет в зависимости от игрового амплуа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие хоккеисты 13–14 лет, разделённые по игровому амплуа. Численность испытуемых составила 50 человек (30 нападающих и 20 защитников). Стаж занятий хоккеем у подростков на момент исследования составлял 5 лет, квалификация соответствовала уровню от первого взрослого разряда до кандидата в мастера спорта. Обследованные спортсмены находились на подготовительном этапе учебно-тренировочного цикла. Сроки исследования: апрель-май 2022 г.

Регистрация ВРС производилась с учетом международных и отечественных рекомендаций с использованием аппаратно-программного комплекса ВНС-Микро (Нейрософт, Иваново, Россия) в два этапа:

– в положении сидя (5 мин),

– при переходе в положение стоя (6 мин).

Математическая обработка и оформление результатов исследования осуществлялись с помощью использования полного пакета функций программ Word, Excel и Statistica for Windows. Метод математической статистики: t-критерий Стьюдента для независимых выборок. Нормальное распределение подтверждали правилом трёх сигм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблицах 1 и 2 представлены результаты исследования ВРС у хоккеистов-подростков в зависимости от игрового амплуа. Полученные данные характеризуются высокой степенью различий, что указывает на принципиальные отличия исходного вегетативного тонуса приведенных групп.

Анализ ритмокардиографии в фоновом состоянии у обеих групп обследованных показал различные стратегии приспособления сердечно-сосудистой системы к учебно-тренировочной деятельности (таблица 1). Так, например, по ряду показателей временной области (R-R min, R-R max, RRNN) можно судить о более эффективном кровообращении у защитников, по отношению к нападающим, что показано наличием достоверных отличий. Относительно большие значения R-R min, R-R max, RRNN у защитников свидетельствуют об относительно меньшей частоте сердечных сокращений. Данный факт говорит об увеличении

систолического объема крови, а также об увеличении кислородной емкости крови у защитников, что указывает на повышение экономичности гемодинамических механизмов [7, 8].

Показатели SDNN и CV также оказались статистически значимо выше у защитников по сравнению с нападающими, что в свою очередь объясняется повышением вклада парасимпатического отдела вегетативной нервной системы в регуляцию работы сердечно-сосудистой системы защитников [9, 10].

Таблица 1

Временные показатели вариабельности ритма сердца хоккеистов в зависимости от игрового амплуа

Показатель	Игровое амплуа	
	Защитники (З)	Нападающие (Н)
ВРС (фоновая)		
ЧСС, уд/мин	73,3±1,1**	79,0±1,2
R-R min, мс	639,0±14,9*	583,6±20,8
R-R max, мс	1008,6±27,3*	868,3±39,8
RRNN, мс	801,1±13,4**	703,1±27,3
SDNN, мс	68,0±4,6**	48,1±4,6
RMSSD, мс	60,2±5,5**	35,3±4,2
CV, %	8,5±0,5*	6,3±0,5
ВРС (АОП)		
R-R min, мс	509,6±9,3	509,8±10,6
R-R max, мс	840,1±24,3*	752,4±20,4
RRNN, мс	638,8±10,4*	606,6±12,7
SDNN, мс	61,1±4,7**	42,6±2,2
RMSSD, мс	26,6±3,1*	16,5±1,8
CV, %	9,5±0,6**	6,9±0,2

Примечание: * – результаты достоверны при $p \leq 0,05$, ** – результаты достоверны при $p \leq 0,01$; при выявлении достоверных отличий использовался t-критерий Стьюдента для независимых выборок. З – защитники, Н – нападающие, ЧСС – частота сердечных сокращений, ВРС – вариабельность ритма сердца, АОП – активная ортостатическая проба.

Анализ спектральных показателей вариабельности ритма сердца в фоновом состоянии также выявил ряд закономерных отличий между представителями разных игровых амплуа (таблица 2).

Общая мощность спектра (TP) была достоверно больше у защитников по отношению к нападающим. Считается, что с ростом спортивного мастерства и уровня физической и функциональной подготовленности растет и значение TP [9,

11]. Большие значения общей мощности спектра у представителей группы защитников говорят о большем функциональном резерве сердечно-сосудистой системы, формируемом за счет активации структурно-компенсаторных процессов на клеточном и субклеточном уровнях.

При изучении отдельных периодических составляющих колебаний ритма сердца выявлено, что у нападающих достоверно меньшие значения LF (низкочастотные колебания) и HF (высокочастотные колебания) по отношению к защитникам, что может свидетельствовать о дефицитарном состоянии вазомоторной регуляции у нападающих.

Таблица 2

Спектральные показатели вариабельности ритма сердца хоккеистов в зависимости от игрового амплуа

Показатель	Игровое амплуа	
	Защитники (З)	Нападающие (Н)
ВРС (фоновая)		
TP, мс^2	5626,2±725,3*	3740,1±509,6
VLF, мс^2	1412,6±188,9	1382,2±192,7
LF, мс^2	2128,4±481,6*	1114,8±127,8
HF, мс^2	2085,1±293,4*	1242,9±258,1
ВРС (АОП)		
TP, мс^2	5249,1±826,2*	2767,8±287,6
VLF, мс^2	2491,3±335,9**	1315,8±107,1
LF, мс^2	2119,1±407,5*	1058,8±120,9
HF, мс^2	638,7±96,3*	393,1±82,8

Примечание: *– результаты достоверны при $p \leq 0,05$, ** – результаты достоверны при $p \leq 0,01$; при выявлении достоверных отличий использовался t-критерий Стьюдента для независимых выборок. З – защитники, Н – нападающие, ВРС – вариабельность ритма сердца, АОП – активная ортостатическая проба.

В обеих обследованных группах при проведенной ортостатической пробы наблюдались схожие различия изучаемых показателей, что и в состоянии покоя. Данная закономерность сохранилась как при изучении временного, так и спектрального анализа (таблицы 1 и 2).

При проведении ортостатической пробы у представителей разного игрового амплуа обнаружен практически одинаковый диапазон изменений в показателях временного анализа: у защитников SDNN с 68,0±4,6 до 61,1±4,7, мс (11 %), RMSSD с 60,2±5,5 до 26,6±3,1, мс (127 %), CV, % с 8,5±0,5 до 9,5±0,6 (89 %); у нападающих SDNN с 48,1±4,6 до 42,6±2,2 (12 %), RMSSD с 35,3±4,2 до 16,5±1,8, мс (113 %), CV, % с 6,3±0,5 до 6,9±0,2 (91 %). Это может свидетельствовать о схожем уровне

реактивности сердечно-сосудистой системы у хоккеистов с разным игровым амплуа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенное исследование вегетативной регуляции и реактивности сердечно-сосудистой системы подростков-хоккеистов в зависимости от игрового амплуа выявило, что в режиме покоя у защитников преобладает активность парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, сердечно-сосудистая система работает в более экономичном режиме по сравнению с нападающими.

В условиях ортостатической пробы выявлен практически одинаковый уровень реактивности сердечно-сосудистой системы у хоккеистов с разным игровым амплуа.

Результаты, полученные по итогам исследования, могут быть использованы с целью сохранения здоровья спортсменов, а также в процессе спортивной ориентации и отбора на ранних этапах подготовки.

Список литературы

1. Pedersen B. K. Exercise as medicine – evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases / B. K. Pedersen, B. Saltin // Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports. – 2015. – No 25 (Suppl. 3). – P. 1–72. – doi: 10.1111/sms.12581
2. Иорданская Ф. А. Особенности адаптации сердечно-сосудистой системы юных спортсменов к нагрузкам в современном хоккее с шайбой / Ф. А. Иорданская // Вестник спортивной науки. – 2010. – № 3. – С. 33–38.
3. Мониторинг функционального состояния и здоровья юных хоккеистов / И. В. Левшин, Л. В. Михно, А. В. Каган, И. В. Панов // Лечебная физическая культура и спортивная медицина. – 2013. – № 12. – С. 9–15.
4. Мавлиев Ф. А. Реакция кардиореспираторной системы на физическую нагрузку у хоккеистов / Ф. А. Мавлиев, А. С. Назаренко // Наука и спорт: современные тенденции. – 2018. – Т. 19, № 2. – С. 27–31.
5. Максимихина Е. В. Оценка функционального состояния хоккеистов 9–10 лет в подготовительном периоде подготовки / Е. В. Максимихина, Н. А. Игнашин // Аспирант. – 2018. – №2(39). – С.44–47.
6. Щепитин Д. В. Сравнительная оценка функциональных показателей сердечно-сосудистой системы у юных хоккеистов 10–12 лет, имеющих разный спортивный стаж / Д. В. Щепитин, Д. С. Учасов // Наука-2020. – 2017. – №3(14). – С. 62–67.
7. Мельников А. А. Особенности гемодинамики и реологических свойств крови у спортсменов с разной направленностью тренировочного процесса / А. А. Мельников, А. Д. Викулов // Теория и практика физической культуры. – 2003. – № 1. – С. 23–26.
8. Шарыкин А. С. Варианты ремоделирования сердца у детей и подростков в игровых видах спорта (на примере футбола и хоккея) / А. С. Шарыкин, Ю. М. Иванова, В. И. Павлов, В. А. Бадтиева, П. А. Субботин // Педиатрия. Журнал имени Г. Н. Сперанского. – 2016. – Т. 95, № 3. – С. 65–72.
9. Гаврилова Е. А. Спорт, стресс, вариабельность / Е. А. Гаврилова. – М.: Спорт, 2015. – 168 с.
10. Иванова Э. Н. Нейрофизиологические показатели организма у занимающихся на оздоровительно-восстановительном тренажере «Правило» / Э. Н. Иванова, Н. И. Пьянзина, А. Х. Ермолаев // Человек. Спорт. Медицина. – 2020. – № 4. – С. 40–47. – doi: 10.14529/hsm200404
11. Вариабельность сердечного ритма у лиц с повышенным режимом двигательной активности и спортсменов / А. Д. Викулов, А. Д. Немиров, Е. Л. Ларионова, А. Ю. Шевченко // Физиология человека. – 2005. – Т. 31, № 6. – С. 54–59.

AUTONOMIC REGULATION AND REACTIVITY OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM OF ADOLESCENT HOCKEY PLAYERS DEPENDING ON THE GAME ROLE

Prima O. S.[1], Golovin M. S.[1], Subotyalov M. A.[1,2]

[1]Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia
[2]Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia
E-mail: subotyalov@yandex.ru

Correct and objective assessment of the capabilities of the cardiovascular system athletes, the development of quantitative criteria for this assessment is necessary for maintaining their health is an indispensable condition for a scientifically based training process, one of the goals of which is the correct choice of game role of a hockey player.

The article presents a study on the functional state of the cardiovascular system of adolescent hockey players aged 13–14 years, depending on their playing role (defenders and forwards) with an orthostatic test. 50 people took part in the study. Heart rate variability registration was carried out in accordance with international and domestic recommendations using VNS-Micro (Neurosoft, Ivanovo, Russia) in two stages: 1) in a sitting position (5 min); 2) when moving to a standing position (6 min). Mathematical processing and presentation of the research results were carried out using the full package of functions of Word, Excel and Statistica for Windows. Method of mathematical statistics: Student's t-test for independent samples. Normal distribution was confirmed by the three-sigma rule. A study of a few temporal and spectral indicators of heart rate variability in adolescent hockey players depending on their playing role showed the following. Thus, the conducted study of the autonomic regulation and reactivity of the cardiovascular system of adolescent hockey players, depending on the playing role, revealed that in the resting mode, defenders have a predominant activity of the parasympathetic department of the autonomic nervous system, the cardiovascular system operates in a more economical mode compared to the attackers. Under the conditions of an orthostatic test, almost the same level of reactivity of the cardiovascular system was revealed in hockey players with different playing roles. The results obtained from the study can be used to preserve the health of athletes, as well as in the process of sports orientation and selection at the early stages of training.

Keywords: hockey, orthostatic test, spectral analysis indicators, athletes' health.

References

1. Pedersen B. K., Saltin B. Exercise as medicine – evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases, *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, **25(Suppl. 3)**, 1 (2015). doi: 10.1111/sms.12581
2. Iordanskaya F. A. Pecularities of cardiovascular adaptation to training loads in young ice hockey players, *Sports science bulletin*, **3**, 33 (2010).
3. Levshin I. V., Mihno L. V., Kagan A. V., Panov I. V. Monitoring of functional status and health condition in young hockey athletes, *Therapeutic exercise and sports medicine*, **12**, 9 (2013).
4. Mavliev F. A., Nazarenko A. S. The reaction of cardiorespiratory system to physical activity of hockey players, *Science and sport: modern tendencies*, **19(2)**, 27 (2018).

5. Maksimikhina E. V., Ignashin N. A. Assessment of the functional state of hockey players aged 9–10 years in the preparatory period of training, *Aspirant*, **2(39)**, 44 (2018).
6. Schepetin D. V., Uchasov D. S. Comparative evaluation of functional parameters of cardiovascular system in young hockeyists 10-12 years with different sports experience, *Nauka-2020*, **3(14)**, 62 (2017).
7. Mel'nikov A. A., Vikulov A. D. Features of hemodynamics and rheological properties of blood in athletes with different directions of the training process, *Teoriya i pracktika fizicheskoy kultury,* **1**, 23 (2003).
8. Sharykin A. S., Ivanova Y. M., Pavlov V. I., Badtieva V. A., Subbotin P. A. Cardiac remodeling variants in children and adolescents in team sports (on the example of football and hockey), *Pediatriya. Zhurnal im G. N. Speranskogo*, **95(3)**, 65 (2016).
9. Gavrilova E. A. *Sports, stress, variability* (M.: Sport, 2015).
10. Ivanova E. N., Pianzina N. N., Ermolaev A. Kh. Neurophysiological indicators of the body after the use of the Pravilo health-improving machine, *Human. Sport. Medicine*, **4**, 40 (2020). doi: 10.14529/hsm200404
11. Vikulov A. D., Nemirov A. D., Larionov E. L., Shevchenko A. Yu. Heart rate variability in subjects with increased motor activity and athletes, *Human Physiology*, **31(6)**, 54 (2005).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 162–190.

УДК 595.782

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-162-190

ХОЗЯЙСТВЕННО ЗНАЧИМЫЕ ТАКСОНЫ ЛИСТОВЁРТОК (LEPIDOPTERA: TORTRICIDAE) РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ: ФАУНИСТИЧЕСКИЙ СОСТАВ, ДАННЫЕ О ВЫЯВЛЕНИИ И РАСПРОСТРАНЕНИИ В РЕГИОНЕ (ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ)

Романчук Р. В.[1], Слюнькова В. Г.[1], Мищенко Д. П.[1], Гузь А. А.[1], Елфимова Н. С.[2], Мижерицкая А. Р.[1]

[1]Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского ЮФУ, Ростов-на-Дону, Россия
[2]Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО», Ростов-на-Дону, Россия
E-mail: roma.romanchuk.95@bk.ru

Дополнены и обобщены сведения о составе и распространении хозяйственно значимых видов Tortricidae Ростовской области. Из 118 выявленных видов 51 (43 %) имеет хозяйственное значение. *Hedya pruniana*, *Ancylis unculana*, *Eucosma conterminana*, *Epinotia festivana* – новые для региона. По широте трофических связей доминируют полифаги (31 вид, 61 %). В список приоритетных хозяйственно значимых видов вошли: вредители леса – *Tortrix viridana*, *Aleimma loeflingiana*, *Hedya salicella*, *Rhyacionia buoliana*, *Cydia amplana*; вредители плодовых культур – *Archips podana*, *A. crataegana*, *A. xylosteana*, *Hedya nubiferana*, *Cydia pomonella*; многоядные вредители – *Choristoneura hebenstreitella*, *Ptycholoma lecheana*, *Clepsis spectrana*, *Ancylis mitterbacheriana*, *Celypha striana* и прочие – *A. rosana*, *Grapholita funebrana*, а также 1 карантинный организм – *G. molesta*. Прослежена годовая динамика количественного учёта экземпляров и предложены карты предполагаемых зон вредоносности/распространения приоритетных видов.
Ключевые слова: чешуекрылые, листовёртки, Tortricidae, сельское хозяйство, Ростовская область.

ВВЕДЕНИЕ

История изучения чешуекрылых в Ростовской области (РО) имеет богатую историю. Одни из наиболее ранних лепидоптерологических работ датируются концом IX – началом XX века [1–5]. Фрагментарные сведения о региональной лепидоптерофауне также были представлены в отчётах Донского бюро по борьбе с сельхоз вредителями [6, 7]. Значение чешуекрылых для сельского и лесного хозяйства региона рассмотрено в работах, например, Померанцева Д. В. [8], Добровольского Б. В. [9–11] и Архангельского Н. Н. [12, 13].

Среди хозяйственно значимых групп бабочек особый интерес представляют листовёртки (Tortricidae) – широко распространённое семейство чешуекрылых, мировая фауна которых насчитывает более 10 000 видов [14]. В России тортрициды представлены 156 родами и 1170 видами [15], что делает их одним из наиболее объемных семейств бабочек в нашей стране. Среди представителей данной группы

известно большое число вредителей садоводства, полеводства, паркового и лесного хозяйства, из которых более сотни видов обитают в Европе [16].

Оценка изученности семейства Tortricidae в Ростовской области складывается из анализа доступных литературных источников, баз данных, коллекционных материалов и текущих сборов. В ранних работах [2, 5, 17, 18] было зафиксировано всего 24 вида. Несколько дополнительных видов были собраны несистематически в период с 1980 по 2004 гг. В 2005 году под началом Полтавского А. Н. был инициирован десятилетний проект, посвященный изучению фауны листоверток региона. По его результатам была опубликована работа, включающая сведения о 91 виде Tortricidae [19]. При этом отмечалось, что представленные данные не исчерпывают всего накопленного материала, поскольку немалая часть материала по-прежнему нуждалась в обработке.

На общем фоне известного видового состава тортрицид выделяются инвазивные карантинные виды и другие опасные фитофаги, способные наносить серьезный экономический ущерб региону [20–23]. Например, восточная плодожорка *Grapholita molesta* (Busck, 1916), завезенная в Россию из Восточной Азии вместе с зараженными плодами, тарой и посадочными материалами, получила активное распространение в Северо-Кавказском и Южном федеральных округах [24, 25]. Её гусеницы повреждают плоды и побеги растений из разных родов семейства Rosaceae, что характеризует данный вид как опасного широкого олигофага [24]. Еще один пример серьезного вредителя – листовёртка злаковая *Cnephasia pasiuana* (Hübner, 1799), периодические вспышки численности которой приносят вред посевам. В настоящий момент её не рассматривают как обязательный объект для мониторинга агрослужб [22]. Однако, в исследованиях 80-х годов прошлого столетия были представлены данные, согласно которым потери урожая пшеницы в России составляли 15 ц/га, а ячменя – 6 ц/га [26]. При этом недавние исследования показали, что максимальные потери злаковых культур от данного вида достигали 70 % [20], что лишь подтверждает вредоносность *C. pasiuana*.

В последние годы научный интерес к более-менее комплексному изучению семейства Tortricidae в Ростовской области возрос: были опубликованы исследования, посвященные видам-вредителям [20, 22, 27]; дающие эколого-фаунистическую характеристику тортрицидофаун отдельных объектов региональной природоохранной сети [28–30]; а также описывающие и анализирующие коллекционный материал, хранящийся в «Зоологическом музее ЮФУ» [31]. Отдельная группа научных работ имеет обобщающий характер и представлена в виде баз данных [32, 33]. Отметим при этом, что массив сведений обо всех аспектах изучения листовёрток остро нуждается в постоянном обновлении, дополнении, анализе и обобщении.

В целом, оценивая объём доступных источников и коллекционных материалов можно констатировать, что фауна тортрицид Ростовской области изучена недостаточно. Это можно объяснить такими факторами, как: необходимость концентрации усилий на ликвидации пробелов в познании доминирующих групп чешуекрылых; трудоёмкость и специфичность методов сбора представителей отдельных экологических групп листовёрток; особенности биологии и скрытный

образ жизни многих видов; недостаток (а скорее долговременное отсутствие) региональных специалистов и т.п. Поэтому на сегодняшний день мы ограничены узким объёмом сведений о тортрицидах Ростовской области и не имеем полного (или в достаточной степени близкого к нему) представления ни о их максимальном фаунистическом составе, ни о фенологии и экологических особенностях немалого числа видов, ни о полном спектре хозяйственно-значимых таксонов, что наиболее важно для нас в контексте настоящей работы. Именно этими эмпирическими пробелами и обусловлена актуальность данного исследования.

Цель работы – установить таксономический состав хозяйственно значимых листовёрток Ростовской области, проанализировать и обобщить доступные данные о их выявлении и распространении в регионе.

Задачи:

1) Установить состав и проанализировать обилие видов-вредителей в регионе;

2) Проанализировать трофическую приуроченность, широту трофических связей, распределение по экологическим группам и основным биологическим группам вредителей;

3) Составить аннотированный перечень приоритетных хозяйственно значимых видов листовёрток, проследить динамику их выявления и установить предполагаемые зоны вредоносности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалами для данной работы послужили: коллекция Tortricidae «Зоологического музея ЮФУ» (включая сборы Романовой В. П.); доступные литературные источники с указаниями находок листовёрток (см. «Введение» и библиографический список); обобщающая статья Полтавского А. Н. [19], отражающая результаты обработки его инициативных исследований; коллекция первого автора; собрание Tortricidae Южного филиала ФГБУ «ВНИИКР»; оригинальные данные (материалы полевых сборов и фитосанитарного мониторинга), полученные в ходе текущего исследования.

При определении материала использовались стандартные методы диагностики: изучение морфологии генитальных структур и особенностей строения габитусов. Применялись специализированные интернет-базы данных [34–36] и литература, включающая справочники и определители [30, 37–39].

Препаровка экземпляров проводилась по общепринятой методике с использованием стандартного инструментария. При подготовке гениталий тортрицид к анализу использовались холодный и горячий метод. Препараты гениталий изготовлены стандартным методом мацерации фрагмента брюшка в 10 % растворе щелочи (KOH) и/или 10 % растворе аммиаке (NH_3) – т.н. холодный метод. При необходимости ускорить процесс проводилась мацерация в кипящем щелочном растворе – т.н. горячий метод. Выделенные органы были помещены в микропробирки с глицерином и размещены в коллекции вместе с экземплярами имаго. Обработанный материал хранится в «Зоологическом музее ЮФУ» и коллекции первого автора (г. Ростов-на-Дону).

Результаты камеральной обработки энтомологического материала внесены в сформированную базу данных (на основе Microsoft Excel) по схеме: подсемейство; триба; род; вид; автор; год описания; область; район, административный центр; населенный пункт, локалитет; биотоп; местообитание; метод сбора; целевой организм (для феромонных ловушек); дата сбора; кол-во экз.; год первого выявления; год последнего выявления; выявленный максимум (экз.); время лёта; обилие; экологическая группа; трофическая приуроченность (по ботаническим семействам); трофическая приуроченность (по ботаническим родам); широта трофической связи; хозяйственное значение; инвазивный вид (да/нет); карантинный вид (да/нет); источники (ссылки на материал).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Таксономический анализ. За период 1937–2023 гг. было выявлено 118 видов листовёрток из 2 подсемейств и 11 триб (Табл. 1). Ведущим подсемейством выступает Olethreutinae, включающее 68 видов, что составляет 57 % от всех найденных. Доминирующими трибами в подсемействе Tortricinae стали Cochylini (38 %) и Archipini (28 %) (Рис. 1). В Olethreutinae можно выделить также две трибы с наибольшим количеством видов – Eucosmini (49 %) и Grapholitini (25 %) (Рис. 2).

Таблица 1

Соотношение числа видов в подсемействах листовёрток

Таксономическая группа	Число видов	% от общего числа видов в семействе
Подсемейство Tortricinae	**50**	**43 %**
Триба Tortricini	7	14 %
Триба Cochylini	19	38 %
Триба Cnephasiini	8	16 %
Триба Archipini	14	28 %
Триба Ramapesiini	2	4 %
Подсемейство Olethreutinae	**68**	**57 %**
Триба Endotheniini	3	5 %
Триба Olethreutini	9	13 %
Триба Lobesiini	1	1 %
Триба Enarmoniini	5	7 %
Триба Eucosmini	33	49 %
Триба Grapholitini	17	25 %
Всего	**118**	

Среди 118 выявленных видов 51 имеет хозяйственное значение (43 %) (Табл. 2), в той или иной мере нанося урон сельскому хозяйству, озеленительным посадкам, садам и др. Среди вредителей представители Olethreutinae также являются доминантой – 29 видов и 57 % от общего числа выявленных хозяйственно

значимых листовёрток. Наиболее многочисленной в данном подсемействе является триба Grapholitini – 10 видов, 34 %. В подсемействе Tortricinae лидирующую позицию занимает триба Archipini – 11 видов, 50 %.

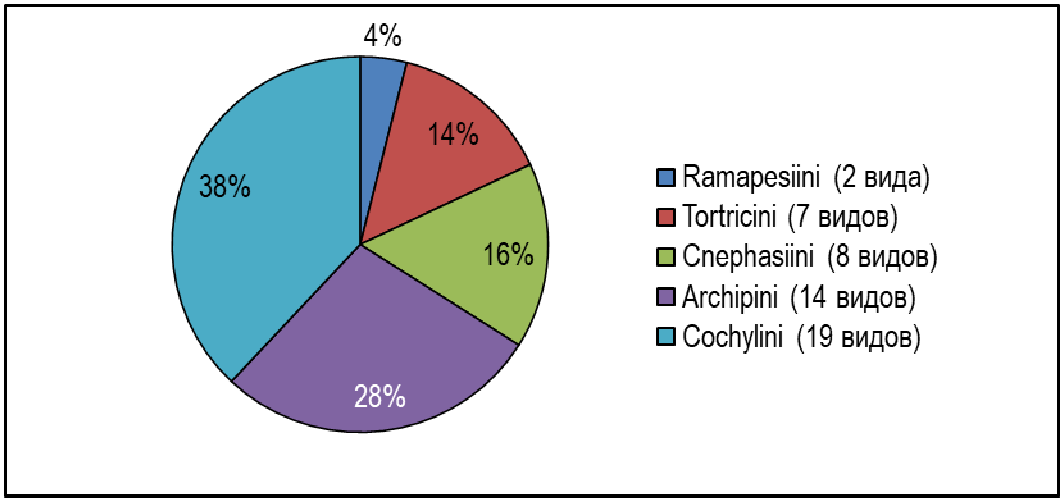


Рис. 1. Соотношение числа видов в трибах подсемейства Tortricinae

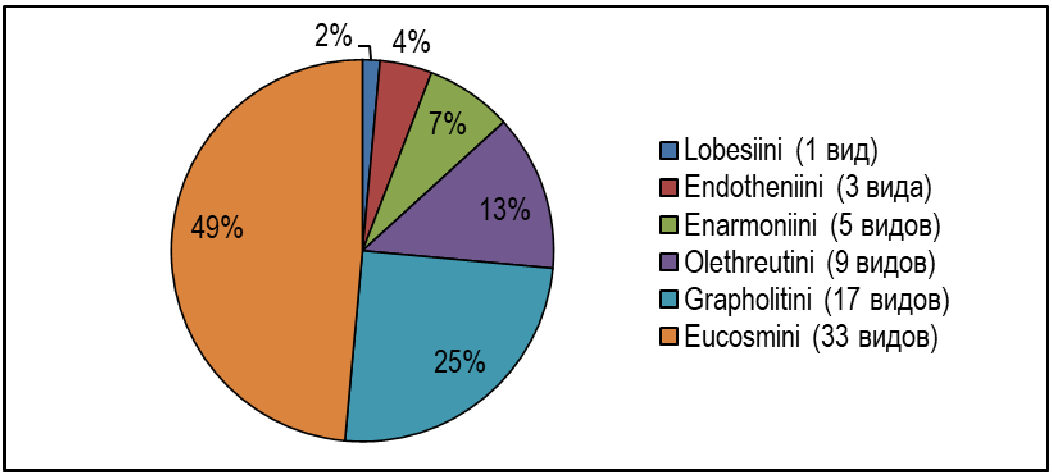


Рис. 2. Соотношение числа видов в трибах подсемейства Olethreutinae

Анализ таксономического состава необходим для выявления распределения видов по таксономическим группам и для дальнейшего анализа по другим критериям, таким как экологическое распределение.

Таблица 2

Соотношение числа хозяйственно значимых видов в подсемействах

Таксономическая группа	Число видов	% от общего числа видов в семействе
Подсемейство Tortricinae	**22**	**43 %**
Триба Tortricini	7	32 %
Триба Cnephasiini	4	18 %
Триба Archipini	11	50 %
Подсемейство Olethreutinae	**29**	**57 %**
Триба Olethreutini	6	21 %
Триба Enarmoniini	5	17 %
Триба Eucosmini	8	28 %
Триба Grapholitini	10	34 %
Всего	**51**	

Анализ относительного обилия. Особый интерес представляют виды из групп «локальные», «новые, очень редкие», «редкие» и «очень редкие», а также виды, для которых на данный момент нет достоверных данных (см. примечание под рис. 3). Оценка и распределение таксонов по указанным группам основана на таких факторах, как: а) недостаточная изученность и неполнота собранного материала, затрудняющие адекватную оценку обилия и встречаемости; б) скрытый образ жизни при достаточно высокой плотности локальных популяций; в) расселительные миграции, иммиграции и инвазии на территорию региона; г) низкая адаптивная способность вида к условиям окружающей среды, узкая экологическая валентность и низкая энергия размножения [30].

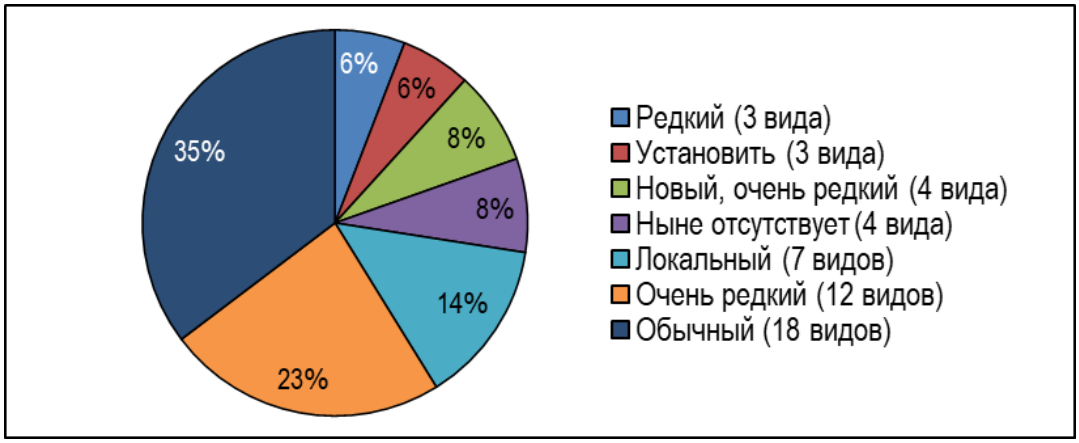


Рис. 3. Относительное обилие хозяйственно значимых видов листовёрток. *Примечание:* категория «установить» означает, что видовая принадлежность экземпляров этой группы требует верификации узкого специалиста, на основе чего будет установлен действительный уровень их обилия в регионе

Подробный анализ осуществлён по видам листовёрток, имеющих хозяйственное значение, то есть среди «вредителей» в широком смысле. Доминирующая группа представлена «обычными» в регионе – 18 видов (35 %): *Tortrix viridana*, *Aleimma loeflingiana*, *Cnephasia stephensiana*, *C. pasiuana*, *Archips crataegana*, *A. podana*, *A. rosana*, *A. xylosteana*, *Clepsis spectrana*, *Hedya nubiferana*, *H. salicella*, *Celypha striana*, *Rhyacionia buoliana*, *Notocelia uddmanniana*, *Grapholita funebrana*, *Cydia nigricana*, *C. pyrivora*, *C. pomonella*. На втором и третьем месте – «очень редкие» (12 видов, 23 %) и «локальные» (7 видов, 14 %), соответственно (Рис. 3). Группа «очень редкие» представлена 12 видами, выявленными на территории РО в период 1938–2023 гг.: *Acleris aspersana*, *A. variegana*, *Choristoneura diversana*, *Lozotaeniodes formosana*, *Orthotaenia undulana*, *Hedya ochroleucana*, *Ancylis achatana*, *Zeiraphera isertana*, *Spilonota ocellana*, *Rhyacionia pinivorana*, *Pammene fasciana*, *P. rhediella*. Группа «локальные» представлена 7 видами, выявленными на территории РО в период 1983–2022 гг.: *Exapate congelatella*, *Choristoneura hebenstreitella*, *Ptycholoma lecheana*, *Grapholita molesta*, *G. tenebrosana*, *Cydia splendana*, *C. amplana*. Группа «новые, очень редкие» представлена 4 видами, достоверно выявленными на территории РО впервые с 2015 г.: *Hedya pruniana*, *Ancylis unculana*, *Eucosma conterminana*, *Epinotia festivana*. Кроме видов, имеющих хозяйственное значение, к новым для регионы отнесены *Cnephasia genitalana*, *Aphelia viburnana*, *Grapholita caecana*, *Pammene suspectana*, *Dichrorampha simpliciana*. Итого в ходе исследования было выявлено 9 новых для Ростовской области видов листовёрток. Группа «ныне отсутствуют» представлена 4 видами, отмечавшимися в регионе в период 1939–1941 гг.: *Acleris rhombana*, *Pandemis chondrillana*, *P. heparana*, *Gypsonoma minutana*. После 1941 года ни один из этих видов не был выявлен повторно. Группа «редкие» представлена 3 видами, выявленными на территории РО в период 1938–2014 гг.: *Acleris forsskaleana*, *A. holmiana*, *Ancylis mitterbacheriana*.

Распределение по экологическим группам. При формировании базы данных и в представленном анализе использовались некоторые эколого-фаунистические работы прошлых лет, подробный обзор которых приведен в монографии Романчука Р. В. и Колесникова С. И. [30]. Так, все выявленные виды вредителей можно разделить на 6 экологических групп (Рис. 4). Доминирующей является группа «лесные мезофилы», представленная 42 видами (82 %): *Tortrix viridana*, *Aleimma loeflingiana, Acleris forsskaleana, A. holmiana, A. variegana, A. rhombana*, *Archips crataegana*, *A. podana*, *A. rosana*, *Choristoneura diversana, C. hebenstreitella, Ptycholoma lecheana, Pandemis heparana, P. chondrillana, Clepsis spectrana, Lozotaeniodes formosana, Orthotaenia undulana, Hedya nubiferana*, *H. salicella, H. ochroleucana, H. pruniana, Ancylis mitterbacheriana, A. achatana, A. unculana, A.* cf. *upupana, A.* cf. *apicela, Zeiraphera isertana, Spilonota ocellana, Rhyacionia buoliana, R. pinivorana, Notocelia uddmanniana, Epinotia festivana, Gypsonoma minutana, Grapholita funebrana, G. tenebrosana, G. molesta, Pammene fasciana*, *P. rhediella, Cydia pyrivora*, *C. pomonella, C. splendana*, *C. amplana*. Группа «лугово-лесные мезофилы» представлена 3 видами: *Cnephasia stephensiana, Archips xylosteana, Celypha striana.* Группа «луговые мезофилы» – 2 видами: *Acleris aspersana*, *Eucosma*

conterminana. «Полизональные эврибионты» также представлены 2 видами: *Exapate congelatella* и *Cnephasia* cf. *asseclana.* Группы «мезофилы» и «лугово-степные гемиксерофилы» включают по 1 виду – *Cydia nigricana* и *Cnephasia pasiuana*, соответственно.

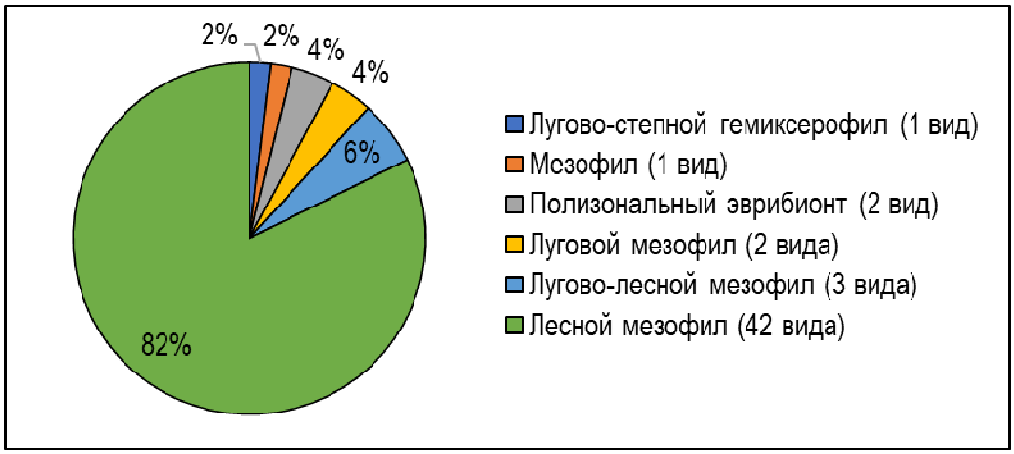


Рис. 4. Распределение листовёрток по экологическим группам.

Трофическая приуроченность и широта трофических связей. По результатам анализа широты трофических связей 31 вид отнесён к полифагам (61 %). В меньшем количестве представлены группы: «широкие олигофаги» – 11 видов (21 %), «узкие олигофаги» – 7 видов (14 %) и «монофаги» – 2 вида (4 %) (Рис. 5).

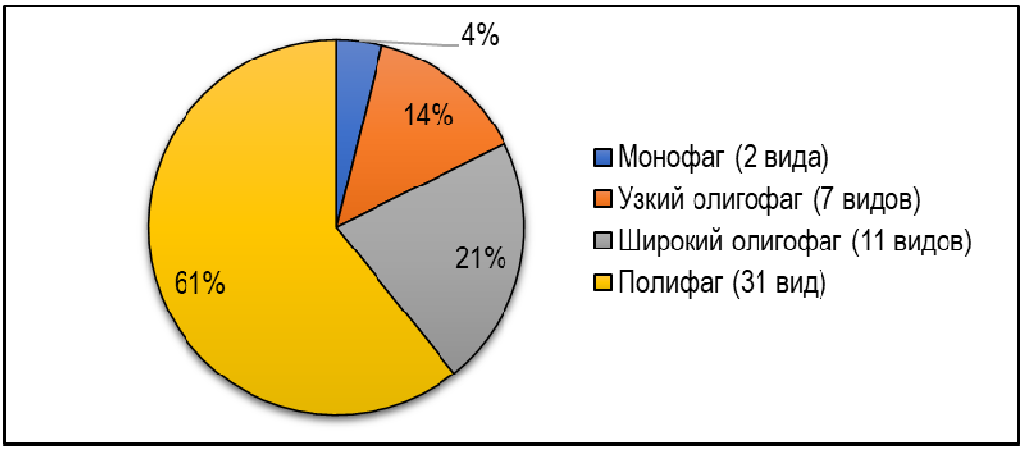


Рис. 5. Распределение листовёрток по широте трофических связей.

Доминантная группа «полифаги» включает в себя следующие виды: *Tortrix viridana*, *Aleimma loeflingiana, Acleris aspersana, A. variegana, Exapate congelatella, Cnephasia stephensiana, C.* cf. *asseclana, C. pasiuana, Archips crataegana, A. podana,*

A. xylosteana, Choristoneura diversana, C. hebenstreitella, Ptycholoma lecheana, Pandemis heparana, P. chondrillana, Clepsis spectrana, Orthotaenia undulana, Hedya pruniana, Celypha striana, Ancylis mitterbacheriana, A. unculana, A. cf. *upupana, A. apicela, Zeiraphera isertana, Spilonota ocellana, Epinotia festivana, Cydia nigricana*, *C. pomonella, C. splendana*. Группа «широкие олигофаги» включает 11 видов: *Acleris holmiana, A. rhombana, Archips rosana, Hedya nubiferana*, *H. salicella, H. ochroleucana, Ancylis achatana, Grapholita molesta, G. tenebrosana, Pammene fasciana*, *P. rhediella.* «Узкие олигофаги» – 7 видов: *Acleris forsskaleana, Rhyacionia buoliana, R. pinivorana, Eucosma conterminana, Gypsonoma minutana, Grapholita funebrana, Cydia pyrivora.* «Монофаги» – всего 2 вида: *Notocelia uddmanniana, Lozotaeniodes formosana.* Отметим, что наличие в кормовом спектре одного или двух видов растений может указывать не столько на «монофагию» как явление, сколько на недостаточную изученность биологии конкретного вида.

Результаты анализа демонстрируют широкую кормовую базу в рамках семейства Tortricidae: большое количество хозяйственно значимых видов, являясь полифагами, питаются представителями нескольких растительных семейств, принося еще больший вред выращиваемым/произрастающим культурам. Основу трофического спектра составляют растения семейств **Rosaceae**, **Fagaceae** и **Betulaceae**, среди которых много культурных видов растений. Перечень видов листовёрток, питающихся представителями семейства **Rosaceae**: *Acleris aspersana, A. holmiana, A. variegana, A. rhombana, Exapate congelatella, Cnephasia stephensiana, Archips crataegana*, *A. podana*, *A. rosana*, *A. xylosteana, Choristoneura diversana, C. hebenstreitella, Ptycholoma lecheana, Pandemis heparana, P. chondrillana, Clepsis spectrana, Orthotaenia undulana, Hedya nubiferana*, *H. ochroleucana, H. pruniana, Ancylis mitterbacheriana, A. achatana, A. unculana, A.* ? *apicela, Zeiraphera isertana, Spilonota ocellana, Notocelia uddmanniana, Grapholita funebrana, G. tenebrosana, G. molesta, Pammene rhediella, Cydia pyrivora*, *C. pomonella.* **Fagaceae**: *Tortrix viridana*, *Aleimma loeflingiana, Acleris variegana, Exapate congelatella, Archips crataegana*, *A. xylosteana, Choristoneura diversana, C. hebenstreitella, Ptycholoma lecheana, Pandemis heparana, Clepsis spectrana, Orthotaenia undulana, Celypha striana, Ancylis mitterbacheriana, A.* ? *upupana, Zeiraphera isertana, Spilonota ocellana, Epinotia festivana, Pammene fasciana*, *Cydia pomonella*, *C. splendana*, *C. amplana.* **Betulaceae**: *Tortrix viridana*, *Acleris variegana, Archips crataegana*, *A. xylosteana, Choristoneura diversana, C. hebenstreitella, Ptycholoma lecheana, Pandemis heparana, P. chondrillana, Clepsis spectrana, Orthotaenia undulana, Hedya pruniana, Celypha striana, Ancylis* ? *upupana, A. unculana, Spilonota ocellana, Epinotia festivana, Cydia pomonella*, *C. amplana.*

Распределение по основным биологическим группам вредителей. Изучаемые чешуекрылые являются вредителями разных культур и в нашем анализе распределены по 11 группам [40] (Рис. 6). Самые многочисленные из них: вредители леса – 15 видов (29 %), вредители плодовых культур с аналогичными показателями, а также многоядные вредители – 11 видов (22 %). Вредители леса: *Tortrix viridana*, *Aleimma loeflingiana, Acleris forsskaleana, Lozotaeniodes formosana, Hedya salicella, Ancylis* ? *upupana, A. unculana, A.* ? *apicela, Spilonota ocellana,*

Rhyacionia buoliana, R. pinivorana, Epinotia festivana, Gypsonoma minutana, Cydia splendana, *C. amplana.* Вредители плодовых культур: *Acleris aspersana, A. holmiana, A. rhombana*, *Exapate congelatella, Archips crataegana*, *A. podana, A. xylosteana, Choristoneura diversana, Pandemis chondrillana, Hedya nubiferana*, *H. ochroleucana, Ancylis achatana, Grapholita molesta, Pammene rhediella, Cydia pomonella.* Многоядные вредители: *Acleris variegana, Choristoneura hebenstreitella, Ptycholoma lecheana, Pandemis heparana, Clepsis spectrana, Orthotaenia undulana, Hedya pruniana, Celypha striana, Ancylis mitterbacheriana, Zeiraphera isertana, Pammene fasciana.*

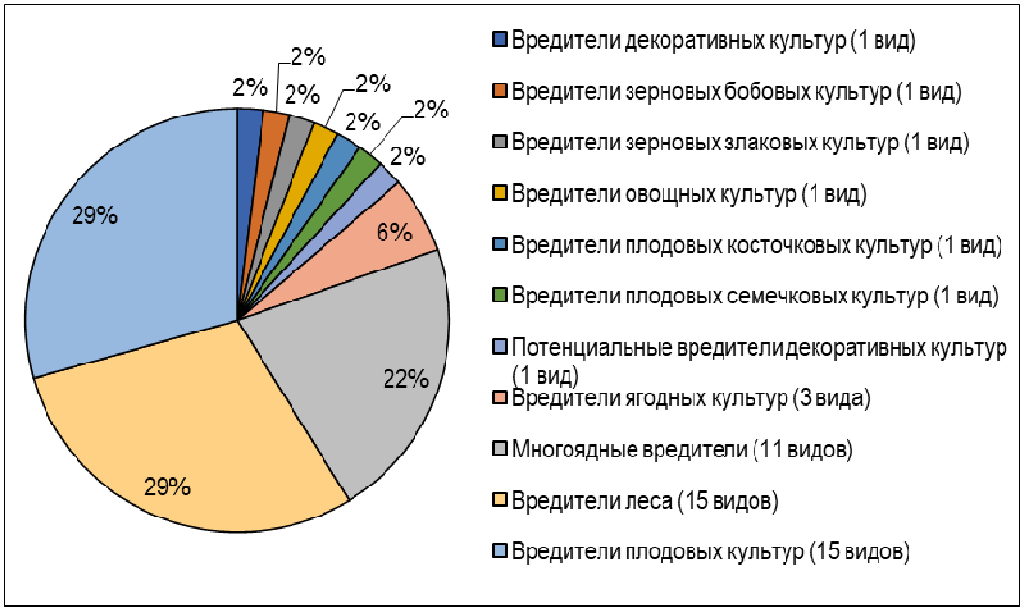


Рис. 6. Распределение по основным биологическим группам вредителей.

Группа вредителей ягодных культур включает 3 вида: *Archips rosana, Notocelia uddmanniana, Grapholita tenebrosana.* Потенциальный вредитель декоративных культур – *Cnephasia* ? *asseclana.* Вредитель плодовых семечковых культур – *Cydia pyrivora*. Вредитель плодовых косточковых культур – *Grapholita funebrana.* Вредитель овощных культур – *Eucosma conterminana.* Вредитель зерновых злаковых культур – *Cnephasia pasiuana.* Вредитель зерновых бобовых культур – *Cydia nigricana*. Вредитель декоративных культур – *Cnephasia stephensiana.*

Приоритетные хозяйственно значимые виды листовёрток и их предполагаемые зоны вредоносности. Вредители леса. 1) *Tortrix viridana* (Linnaeus, 1758) (**NB!** Здесь и далее см. рис. 7–13) – лесной мезофильный вид, обычен в РО. Распространение в регионе: Верхнедонской р-н (Казанская), Миллеровский р-н (Фоминская дача, Новоспасовка), Тарасовский р-н (Степные колки), Милютинский р-н (Милютинская), Белокалитвинский р-н (Спортивный лагерь «Олимпия»), Тацинский р-н (Тацинская), Усть-Донецкий р-н (Коныгин),

Родионово-Несветайский р-н (Большекрепинская, Юдино), Аксайский р-н (Рассвет), Сальский р-н (Гигант), Ростов-на-Дону (Ботанический сад ЮФУ) [19, 31] (Рис. 11). Биотопы: урбоценозы, долины рек, пески, агроценозы, лесные массивы. Местообитания: дубовые рощи, древесно-кустарниковые заросли, городская застройка, кустарниковые склоны, низинные леса, сады в населённых пунктах, лиственные леса, иногда хвойные древесные насаждения, разнотравные степи и остепнённые опушки. Время лёта: с конца апреля до конца мая–начала июня. Трофическая приуроченность: Fagaceae (*Quercus, Fagus*), Betulaceae (*Betula, Carpinus*), Sapindaceae (*Acer*), Salicaceae (*Populus*), Ericaceae (*Vaccinium*), Urticaceae (*Urtica*) – полифаг. Основная биологическая группа вредителя: вредители леса. Хозяйственное значение в текущих условиях: вредитель леса и древесных насаждений (в первую очередь дубрав).

2) *Aleimma loeflingiana* (Linnaeus, 1758) – лесной мезофильный вид, обычный для РО. Распространение в регионе: Верхнедонской р-н (Урочище Калинов куст), Чертковский р-н (Чертково), Миллеровский р-н (Фоминская дача, Новоспасовка), Тарасовский р-н (Степные колки), Белокалитвинский р-н (Спортивный лагерь «Олимпия»), Тацинский р-н (Тацинская), Красносулинский р-н (заказник «Горненский»), Усть-Донецкий р-н (Коныгин), Мясниковский р-н (Калинин, учхоз ЮФУ «Недвиговка»), Аксайский р-н (Рассвет), Сальский р-н (Гигант), Ростов-на-Дону (Ботанический сад ЮФУ, Ростов-Западный) [19, 31] (Рис. 11). Биотопы: урбоценозы, долины рек, пески, агроценозы, лесные массивы. Местообитания: дубовые рощи, древесно-кустарниковые заросли, городская застройка, разнотравные опушки, низинные леса, сады в населённых пунктах, сосновые леса, остепенённые опушки. Время лёта: июнь-июль. Трофическая приуроченность: Fagaceae (*Quercus, Fagus*), Sapindaceae (*Acer*) – полифаг. Основная биологическая группа вредителя: вредители леса. Хозяйственное значение в текущих условиях: вредитель леса и древесных насаждений.

3) *Hedya salicella* (Linnaeus, 1758) – лесной мезофильный вид, обычен в РО. Распространение в регионе: Миллеровский р-н (Новоспасовка), Усть-Донецкий р-н (Коныгин, Нижнекундрюченская), Октябрьский р-н (Бессергеневская), Родионово-Несветайский р-н (Большекрепинская), Мясниковский р-н (Калинин, учхоз ЮФУ «Недвиговка»), Азовский р-н (Гирловский), Ростов-на-Дону (Ботанический сад ЮФУ) [19, 31] (Рис. 11). Биотопы: урбоценоз, долина реки, дельта реки, пески, агроценоз. Местообитания: древесно-кустарниковые заросли, городская застройка, кустарниковые склоны, низинный лес, сады в населённом пункте, лиственный лес на песках, водно-болотные угодья. Время лёта: с июня по октябрь. Трофическая приуроченность: Salicaceae (*Populus, Salix*) – широкий олигофаг. Основная биологическая группа вредителя: вредители леса. Хозяйственное значение в текущих условиях: вредитель некоторых лиственных пород деревьев.

4) *Rhyacionia buoliana* ([Denis & Schiffermüller], 1775) (Рис. 4) – лесной мезофильный вид, обычный для РО. Распространение в регионе: Миллеровский р-н (Терновой), Ростов-на-Дону (Щепкинский лес) [19] (Рис. 11). Биотопы: урбоценозы, долины рек, искусственные лесные массивы. Местообитания: городская застройка, древесно-кустарниковые заросли, сосновые леса на песках. Время лёта: июнь-

август. Трофическая приуроченность: Pinaceae (*Pinus*) – узкий олигофаг. Основная биологическая группа вредителя: вредители леса. Хозяйственное значение в текущих условиях: вредит хвойным древесным насаждениям.

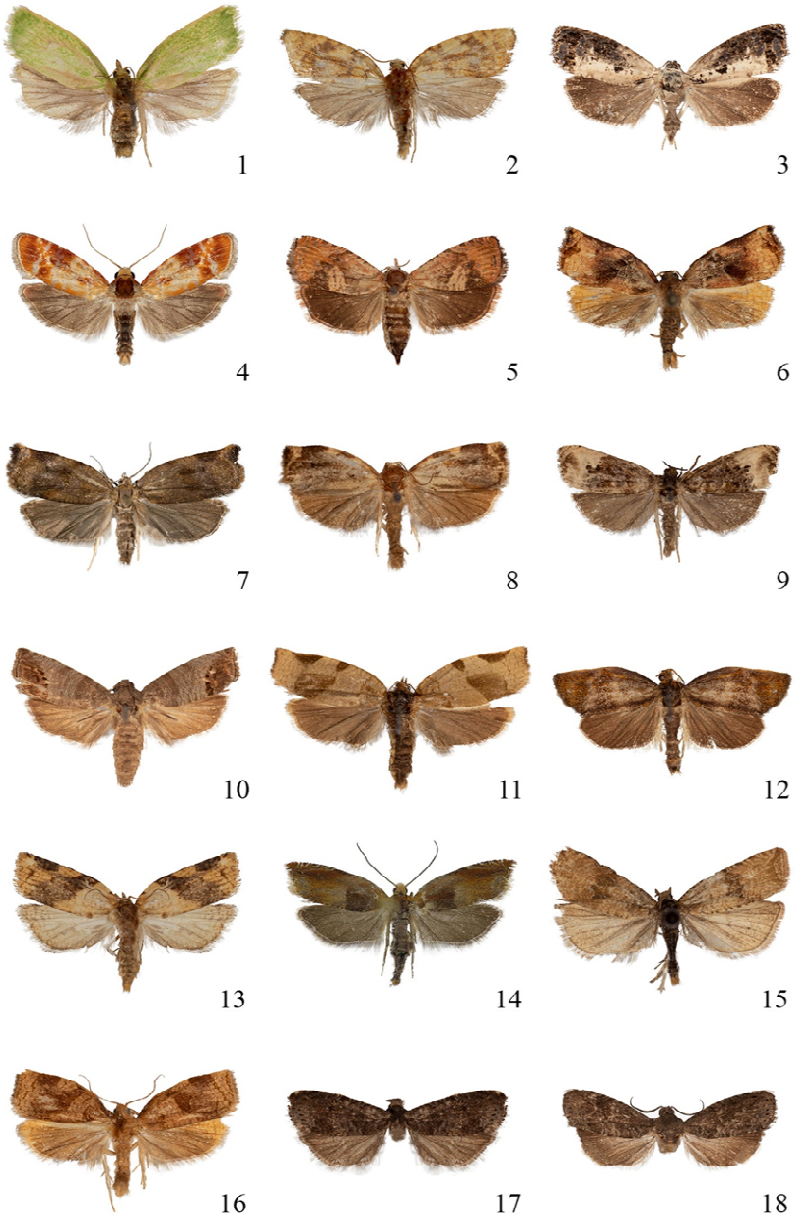


Рис. 7. Приоритетные хозяйственно значимые виды листовёрток (нумерация соответствует тематическому разделу статьи). Фото: 7, 14 по Lepiforum e.V. [35], остальные – Елфимовой Н. С.

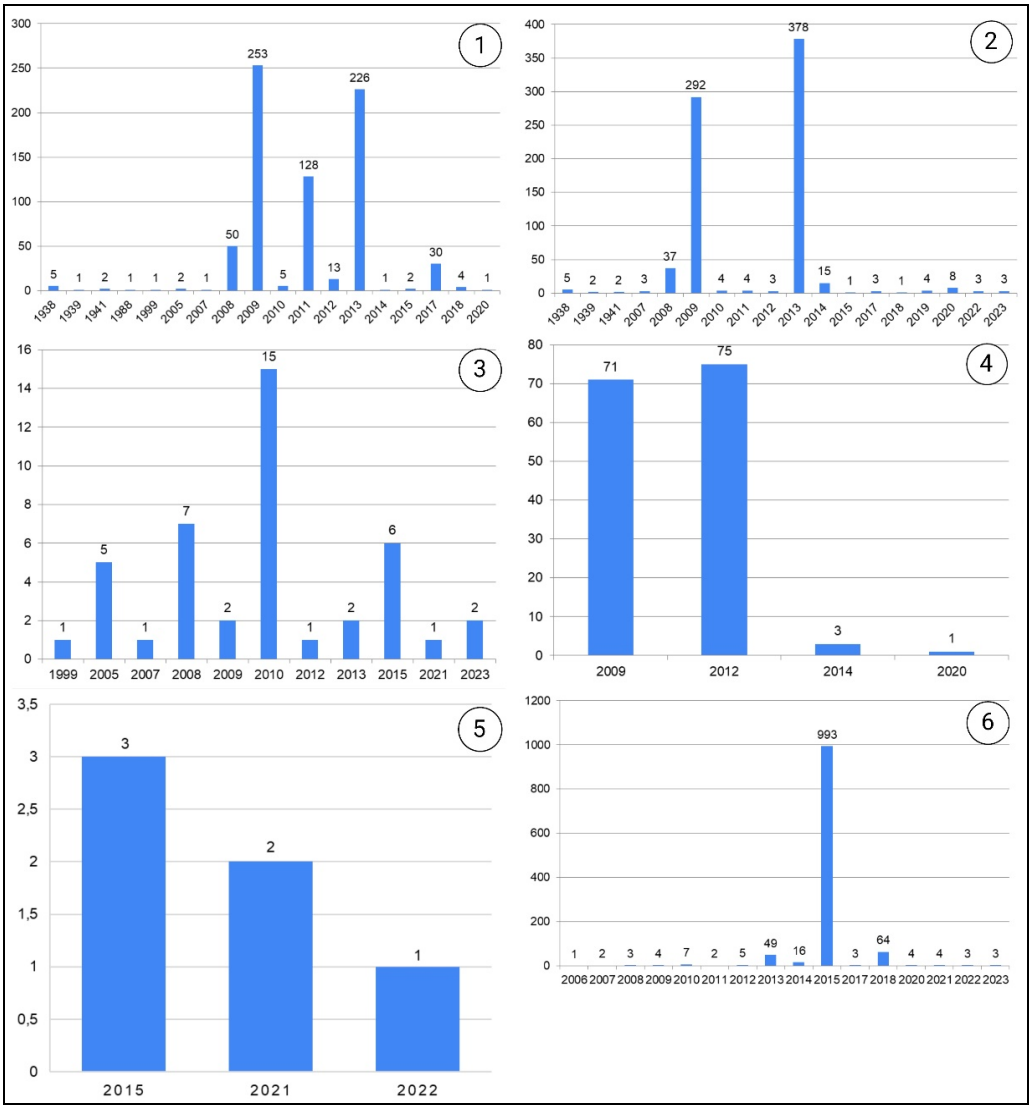


Рис. 8. Годовая динамика количественного учёта экземпляров приоритетных видов листовёрток, часть 1: 1 – *Tortrix viridana*; 2 – *Aleimma loeflingiana*; 3 – *Hedya salicella*; 4 – *Rhyacionia buoliana*; 5 – *Cydia amplana*; 6 – *Archips podana*

5) *Cydia amplana* (Hübner, 1800) – локальный лесной мезофил. Распространение в регионе: Миллеровский р-н (Фоминская дача, Новоспасовка), Мясниковский р-н (Калинин, учхоз ЮФУ «Недвиговка») [19] (Рис. 11). Биотопы: агроценозы, лесные массивы, долины рек. Местообитания: древесно-кустарниковые заросли, лиственные леса, сады в населённых пунктах. Время лёта: июнь–начало августа. Трофическая приуроченность: Fagaceae (*Quercus, Fagus*), Betulaceae (*Corylus*), Juglandaceae (*Juglans*) – полифаг. Основная биологическая группа вредителя:

вредители леса. Хозяйственное значение в текущих условиях: вредит древесным и кустарниковым насаждениям, а также орехоплодным культурам.

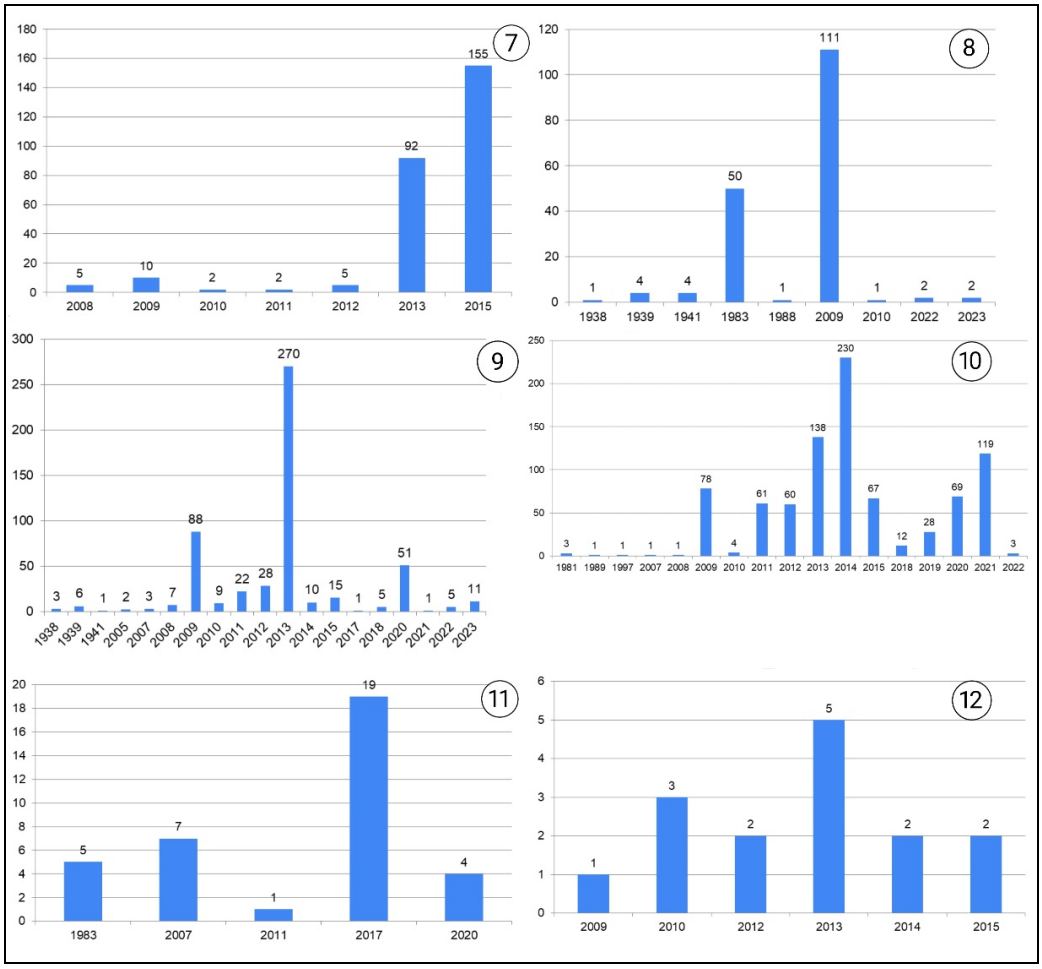


Рис. 9. Годовая динамика количественного учёта экземпляров приоритетных видов листовёрток, часть 2: 7 – *Archips crataegana*; 8 – *Archips xylosteana*; 9 – *Hedya nubiferana*; 10 – *Cydia pomonella*; 11 – *Choristoneura hebenstreitella*; 12 – *Ptycholoma lecheana.*

Вредители плодовых культур. 6) *Archips podana* (Scopoli, 1763) – лесной мезофильный вид, обычен в РО. Распространение в регионе: Неклиновский р-н (долина реки Донской Чулек, Русский Колодец), Усть-Донецкий р-н (Коныгин), Азовский р-н (Рогожкино, Гирловский), Мясниковский р-н (Калинин, учхоз ЮФУ «Недвиговка»), Миллеровский р-н (Терновой, Новоспасовка, Фоминская дача), Аксайский р-н (Рассвет, Реконструктор), Цимлянский р-н (Саркел), Тарасовский р-н (Степные колки), Ростов-на-Дону (Ботанический сад ЮФУ) [19] (Рис. 11). Биотопы: лесные массивы, урбоценозы, агроценозы, долины и дельты рек, степи. Местообитания: сады в населённых пунктах (в т.ч. фруктовые), древесно-

кустарниковые заросли, лиственные леса, низинные леса, сосновые леса на песках, закустаренные остепненные склоны, водно-болотные угодья, разнотравные опушки, остепенённые опушки, сухие степи. Время лёта: с мая по сентябрь. Трофическая приуроченность: Rosaceae (*Malus*, *Prunus*, *Cerasus*, *Ríbes*, *Rubus*, *Rosa*), Cannabaceae (*Humulus*) – полифаг. Основная биологическая группа вредителя: вредители плодовых культур. Хозяйственное значение в текущих условиях: гусеницы повреждают яблоню, сливу, абрикос, вишню, смородину, малину, шиповник, хмель.

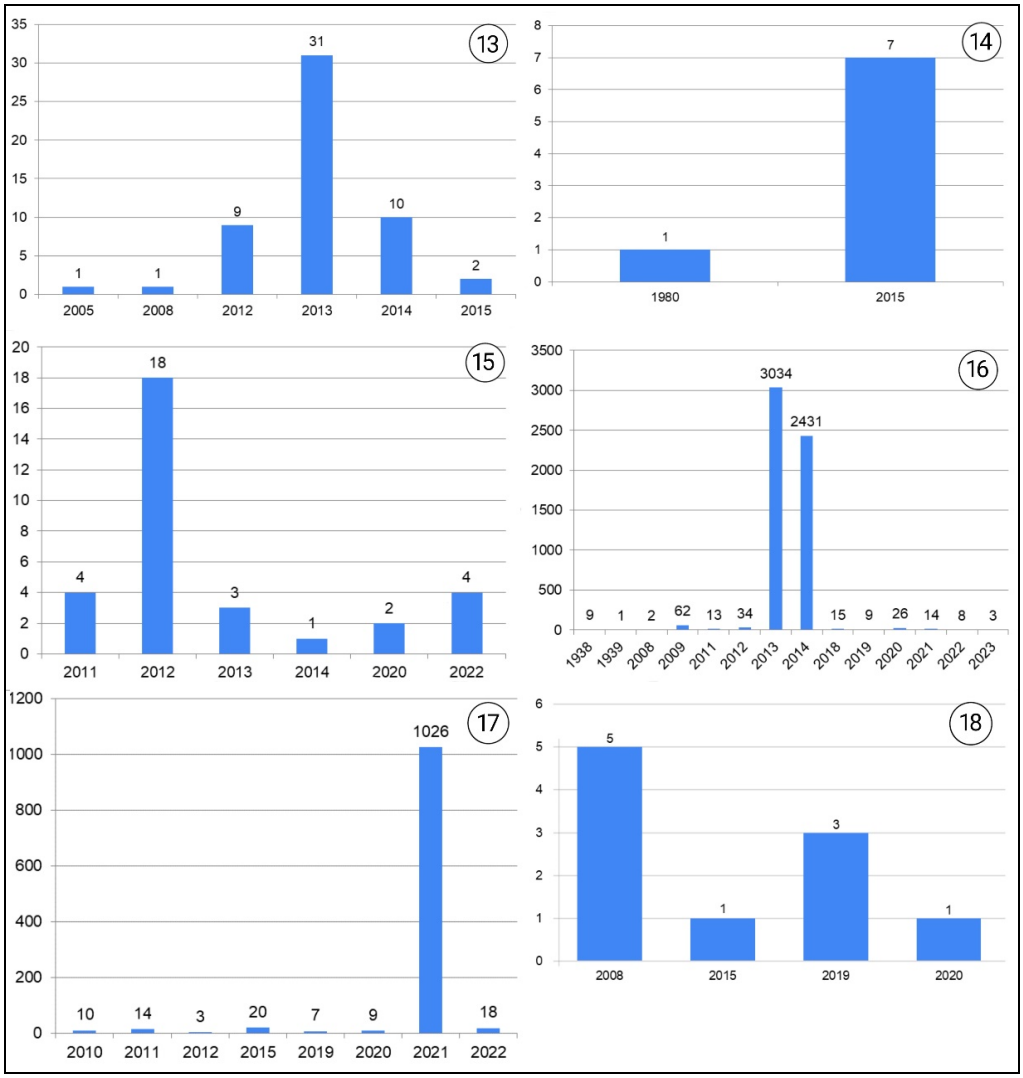


Рис. 10. Годовая динамика количественного учёта экземпляров приоритетных видов листовёрток, часть 3: 13 – *Clepsis spectrana*; 14 – *Ancylis mitterbacheriana*; 15 – *Celypha striana*; 16 – *Archips rosana*; 17 – *Grapholita funebrana*; 18 – *Grapholita molesta.*

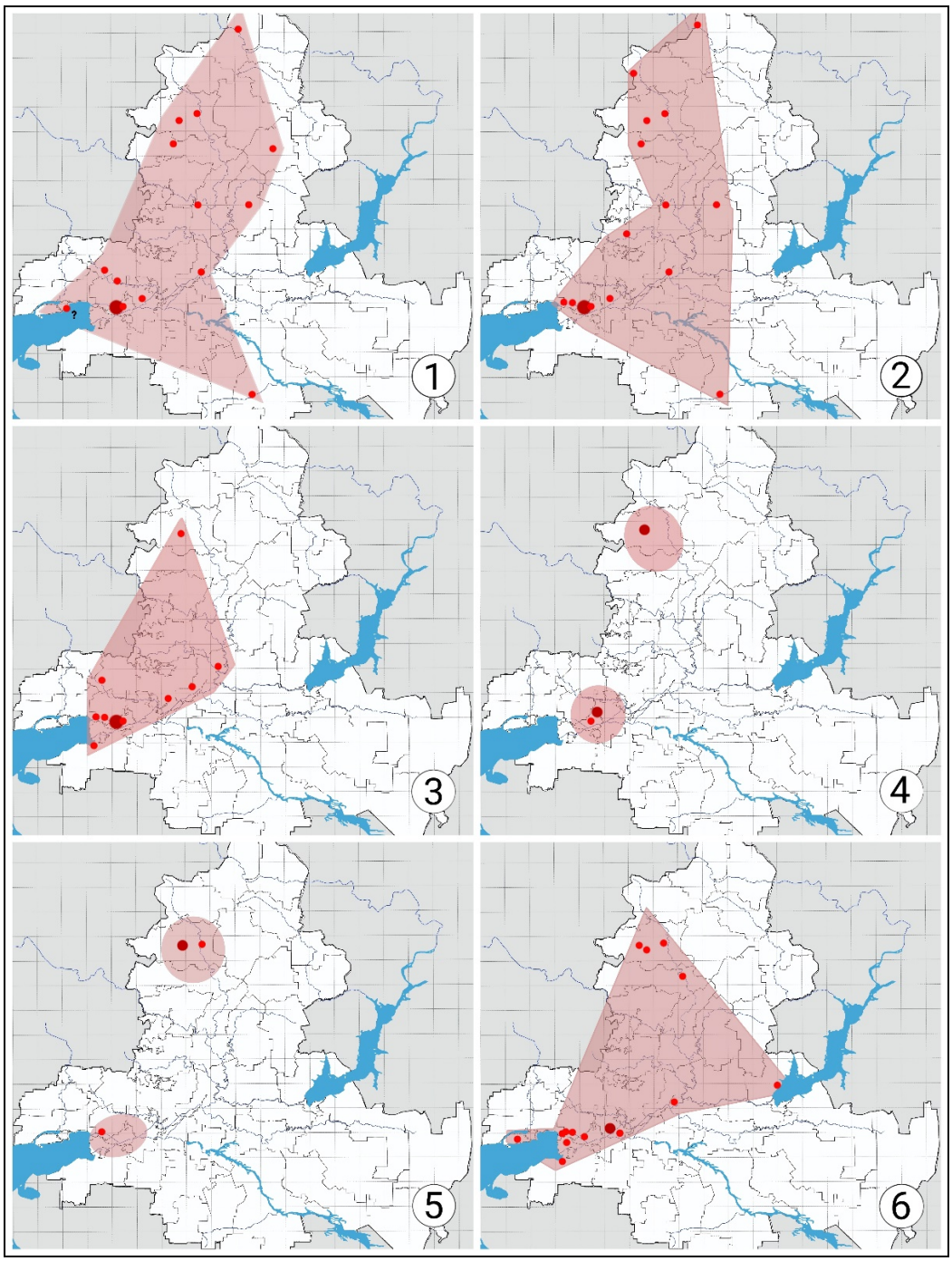


Рис. 11. Предполагаемые зоны вредоносности/распространения приоритетных видов листовёрток, часть 1 (нумерация соответствует тематическому разделу статьи).

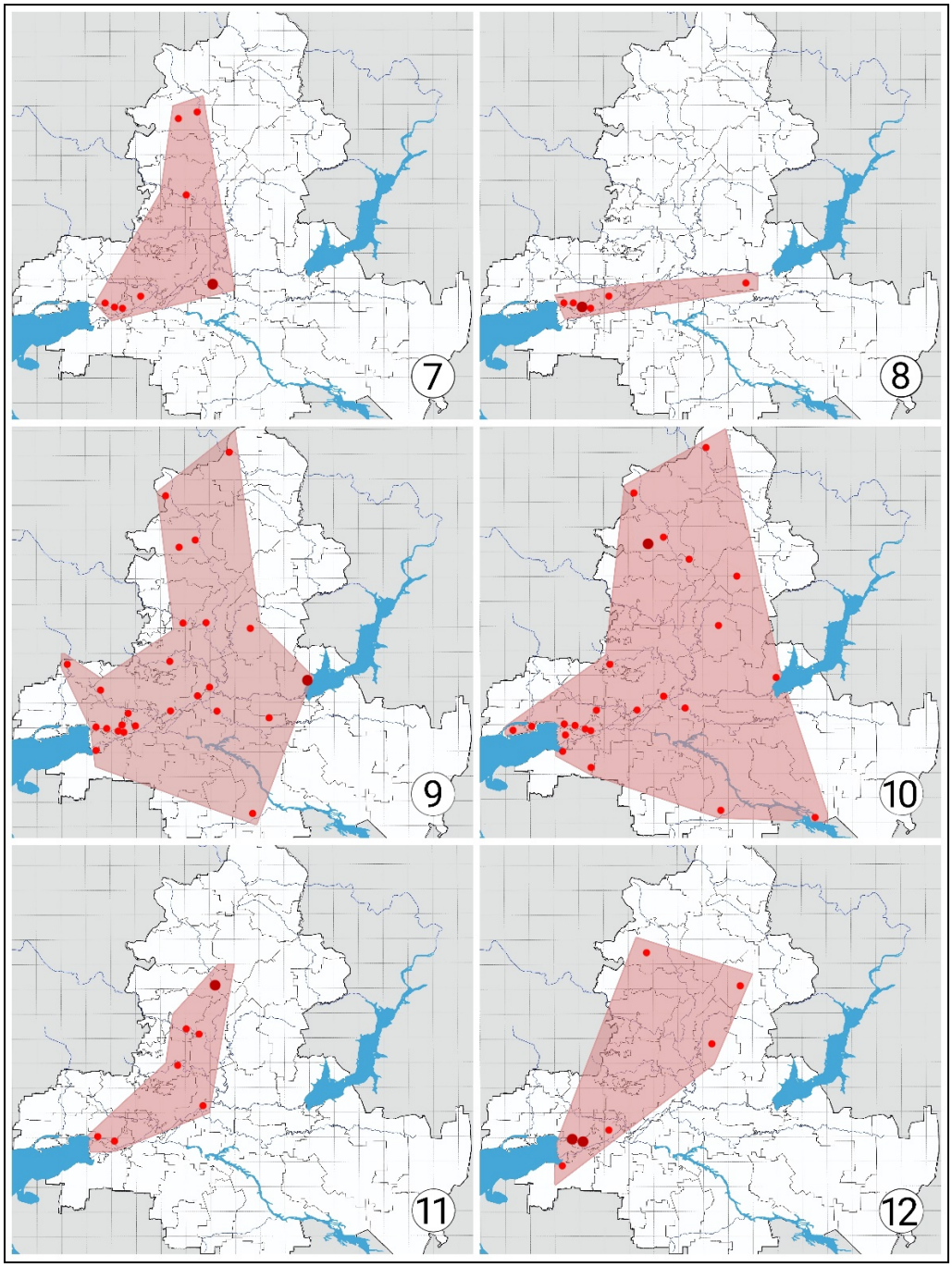


Рис. 12. Предполагаемые зоны вредоносности/распространения приоритетных видов листовёрток, часть 2 (нумерация соответствует тематическому разделу статьи).

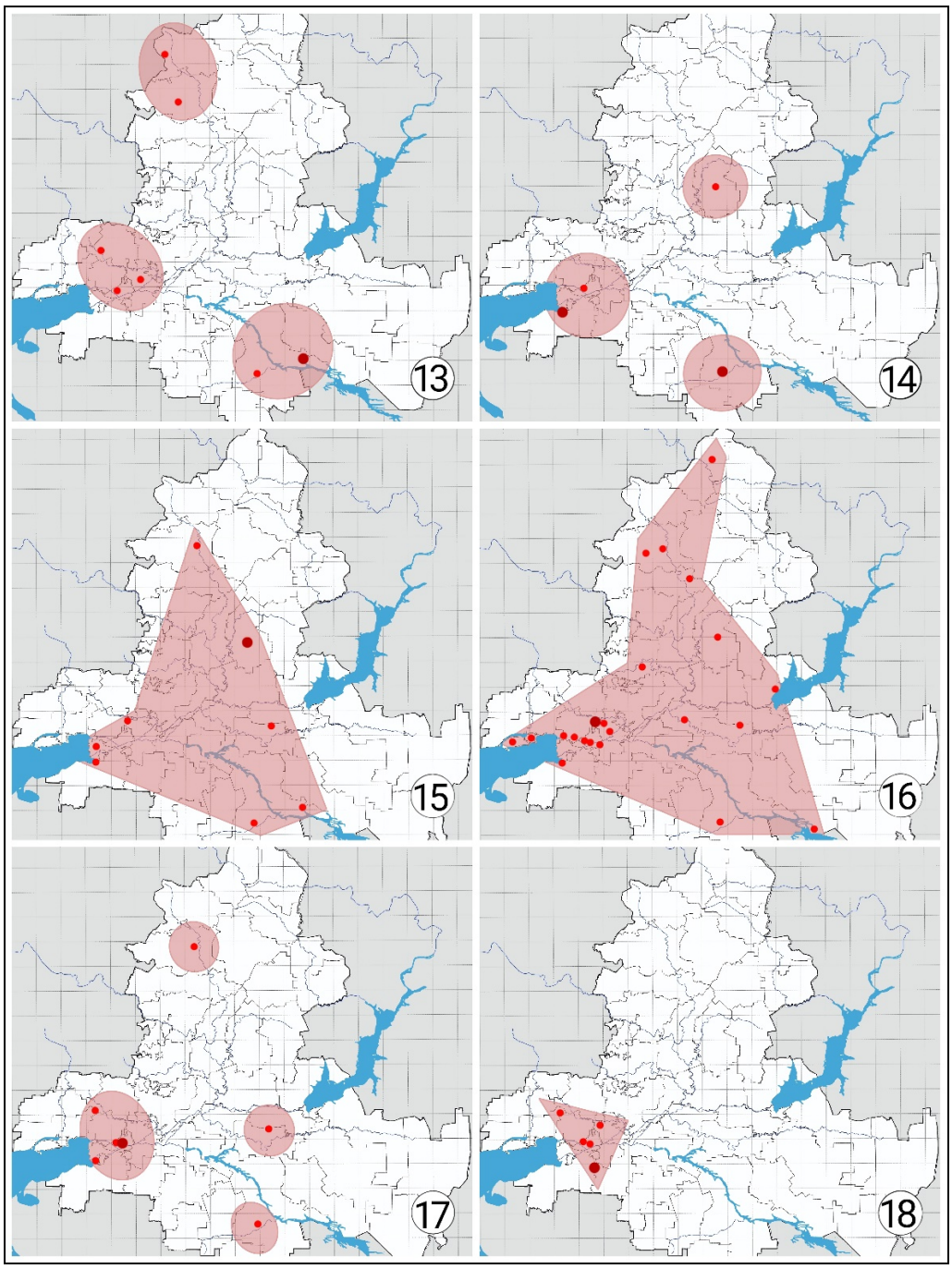


Рис. 13. Предполагаемые зоны вредоносности/распространения приоритетных видов листовёрток, часть 3 (нумерация соответствует тематическому разделу статьи).

7) *Archips crataegana* (Hübner, [1799]) – лесной мезофильный вид, обычен в РО. Распространение в регионе: Мясниковский р-н (Калинин), Каменск-Шахтинский р-н (Нижнесазонов), Аксайский р-н (Рассвет), Семикаракорский р-н (Кирсановка), Миллеровский р-н (Новоспасовка, Фоминская дача), Ростов-на-Дону (Ботанический сад ЮФУ, Ростов-Западный) [19] (Рис. 12). Биотопы: сады в населённых пунктах, агроценозы, урбоценозы, долины рек, лесные массивы. Местообитания: древесно-кустарниковые заросли, лиственные леса, низинные леса, каменистые степи. Время лёта: с середины июня до середины августа. Трофическая приуроченность: Rosaceae (*Malus*, *Prunus*, *Crataegus*, *Cotoneaster*, *Sorbus*) Betulaceae (*Corylus*), Malvaceae (*Tilia*), Fagaceae (*Quercus*), Oleaceae (*Fraxinus*), Sapindaceae (*Acer*), Ulmaceae (*Ulmus*) – полифаг. Основная биологическая группа вредителя: вредители плодовых культур. Хозяйственное значение в текущих условиях: гусеницы повреждают плодовые деревья семейства розоцветные – яблоня, груша, вишня, слива, боярышник, поедая распускающиеся почки, бутоны и цветки, а также некоторые древесно-кустарниковые культуры.

8) *Archips xylosteana* (Linnaeus, 1758) – лугово-лесной мезофильный вид, обычен в РО. Распространение в регионе: Аксайский р-н (Рассвет), Мясниковский р-н (Калинин, учхоз ЮФУ «Недвиговка»), Азовский р-н (Победа), Ростов-на-Дону (Ботанический сад ЮФУ) [19, 31] (Рис. 12). Биотопы: урбоценозы и агроценозы, берега и долины рек. Местообитания: дубовые рощи, древесно-кустарниковые заросли, сады в населённых пунктах, низинные леса. Время лёта: с июня по август. Трофическая приуроченность: Fagaceae (*Quercus*), Ulmaceae (*Ulmus*), Malvaceae (*Tilia*), Betulaceae (*Corylus*), Sapindaceae (*Acer*), Oleaceae (*Fraxinus*), Pinaceae (*Abies*), Rosaceae (*Rubus*, *Malus*, *Pyrus*), Caprifoliaceae (*Lonicera*), Hypericaceae (*Hypericum*) – полифаг. Основная биологическая группа вредителя: вредители плодовых культур. Хозяйственное значение в текущих условиях: гусеницы способны повреждать различные кустарники, лиственные породы деревьев (иногда хвойные), плодовые культуры.

9) *Hedya nubiferana* (Haworth, 1811) – лесной мезофильный вид, обычен в РО. Распространение в регионе: Сальский р-н (Гигант), Тацинский р-н (Тацинская), Цимлянский р-н (Саркел), Мясниковский р-н (Калинин, учхоз ЮФУ «Недвиговка»), Аксайский р-н (Рассвет, Водопадный), Чертковский р-н (Чертково), Семикаракорский р-н (Кирсановка), Миллеровский р-н (Новоспасовка, Фоминская дача), Верхнедонской р-н (Демидовский), Азовский р-н (Кагальник, Победа), Красносулинский р-н (Горненский), Ростов-на-Дону (Ростов-Западный, Щепкинский лес, Ботанический сад ЮФУ) [19, 31] (Рис. 12). Биотопы: лесные массивы, урбоценозы и агроценозы, долины и дельты рек, иногда степи. Местообитания: сады в населённых пунктах, древесно-кустарниковые заросли, низинные леса, лиственные леса, водно-болотные угодья, разнотравные опушки, сухие степи. Время лёта: с мая по август. Трофическая приуроченность: Rosaceae (*Malus*, *Nok*, *Prunus*, *Crataegus*, *Cotoneaster*, *Sorbus*) – широкий олигофаг. Основная биологическая группа вредителя: вредители плодовых культур. Хозяйственное значение в текущих условиях: повреждает плодовые культуры.

10) *Cydia pomonella* (Linnaeus, 1758) – лесной мезофильный вид, обычен в РО. Распространение в регионе: Усть-Донецкий р-н (Раздорская), Сальский р-н

(Гигант), Тацинский р-н (Тацинская), Азовский р-н (Рогожкино, Гирловский, Самарское), Цимлянский р-н (Саркел), Мясниковский р-н (Калинин, учхоз ЮФУ «Недвиговка»), Чертковский р-н (Чертково), Милютинский р-н (Милютинская), Верхнедонской р-н (Казанская), Аксайский р-н (Рассвет), Семикаракорский р-н (Кирсановка), Миллеровский р-н (Новоспасовка, Фоминская дача), Тарасовский р-н (Степные колки), Октябрьский р-н (Кривянская), Неклиновский р-н (Русский Колодец), Новошахтинск, Таганрог, Ростов-на-Дону (Ботанический сад ЮФУ) [19, 31] (Рис. 12). Биотопы: урбоценозы и агроценозы, лесные массивы, дельты и долины рек, иногда степи. Местообитания: сады в населённых пунктах, лиственные леса, древесно-кустарниковые заросли, водно-болотные угодья, остепенённые опушки. Время лёта: с начала и/или середины мая по конец августа и/или начало сентября. Трофическая приуроченность: Rosaceae (*Malus*, *Pyrus*, *Sorbus*, *Cydonia*, *Prunus*), Betulaceae (*Corylus*), Fagaceae (*Castanea*) – полифаг. Основная биологическая группа вредителя: вредители плодовых культур. Хозяйственное значение в текущих условиях: вредит плодовым культурам.

Многоядные вредители. 11) *Choristoneura hebenstreitella* (Müller, 1764) – лесной мезофильный вид, локален в РО. Распространение в регионе: Тарасовский р-н (Степные колки), Каменск-Шахтинский (Нижнесазонов), Белокалитвинский р-н (Поцелуев), Красносулинский р-н (заказник «Горненский») Усть-Донецкий р-н (Коныгин), Мясниковский р-н (учхоз ЮФУ «Недвиговка»), Ростов-на-Дону (Ботанический сад ЮФУ) [19] (Рис. 12). Биотопы: урбоценозы, долины и дельты рек, агроценозы, лесные массивы. Местообитания: низинные леса, древесно-кустарниковые заросли, разнотравные опушки, речные террасы, водно-болотные угодья, а также остепнённые опушки. Время лёта: с мая по июль. Трофическая приуроченность: Fagaceae (*Quercus*), Betulaceae (*Betula*), Rosaceae (*Malus, Prunus, Pyrus*) – полифаг. Основная биологическая группа вредителя: многоядные вредители. Хозяйственное значение в текущих условиях: гусеницы способны повреждать лиственные породы деревьев, в основном, плодовые культуры.

12) *Ptycholoma lecheana* (Linnaeus, 1758) – лесной мезофильный вид, локален в РО. Распространение в регионе: Миллеровский р-н (Новоспасовка), Милютинский (Милютинская), Тацинский р-н (Тацинская), Мясниковский р-н (Калинин), Аксайский р-н (Рассвет), Азовский р-н (Гирловский), Ростов-на-Дону (Ботанический сад ЮФУ) [19] (Рис. 12). Биотопы: урбоценозы, долины и дельты рек, агроценозы. Местообитания: древесно-кустарниковые заросли, сады в населённых пунктах, низинные леса и водно-болотные угодья. Время лёта: с мая по июль. Трофическая приуроченность: Fagaceae (*Quercus, Fagus*), Betulaceae (*Betula*), Sapindaceae (*Acer*), Salicaceae (*Populus, Salix*), Rosaceae (*Prunus, Pyrus, Crataegus, Sorbus*), Pinaceae (*Larix*), Malvaceae (*Tilia*), Ulmaceae (*Ulmus*) – полифаг. Основная биологическая группа вредителя: многоядные вредители. Хозяйственное значение в текущих условиях: гусеницы повреждают все розоцветные плодовые культуры, особенно яблоню и сливу, а также дуб, березу, липу, ясень, вяз, клен, тополь, иву и другие деревья и кустарники.

13) *Clepsis spectrana* (Treitschke, 1830) – лесной мезофильный вид, обычен в РО. Распространение в регионе: Чертковский р-н (Чертково), Миллеровский р-н

(Новоспасовка), Родионово-Несветайский р-н (Большекрепинская), Аксайский р-н (Рассвет), Сальский р-н (Гигант), Орловский (Волочаевский), Ростов-на-Дону (Ботанический сад ЮФУ) [19] (Рис. 13). Биотопы: долины рек, урбоценозы и агроценозы. Местообитания: древесно-кустарниковые заросли и кустарниковые склоны, сады в населённых пунктах, сухие степи. Время лёта: с апреля по сентябрь. Трофическая приуроченность: Apiaceae, Aquifoliaceae, Asteraceae, Begoniaceae, Betulaceae, Boraginaceae, Brassicaceae, Cannabaceae, Caryophyllaceae, Chenopodiaceae, Crassulaceae, Cupressaceae, Cyperaceae, Ericaceae, Euphorbiaceae, Fagaceae, Geraniacea, Grossulariaceae, Iridaceae, Liliaceae, Myrsinaceae, Oleaceae, Onagraceae, Pinaceae, Plumbaginaceae, Poaceae, Polygonaceae, Primulaceae, Rosaceae, Salicaceae, Sapindaceae, Solanaceae, Urticaceae, Violaceae, Vitaceae – полифаг. Основная биологическая группа вредителя: многоядные вредители. Хозяйственное значение в текущих условиях: повреждает широкий спектр кустарниковых, древесных, плодовых и овощных культур.

14) *Ancylis mitterbacheriana* ([Denis & Schiffermüller], 1775) – лесной мезофильный вид, редок в РО. Распространение в регионе: Тацинский р-н (Тацинская), Азовский р-н (Гирловский), Сальский р-н (Гигант), Ростов-на-Дону (Ботанический сад ЮФУ) [19] (Рис. 13). Биотопы: дельты рек, урбоценозы и агроценозы. Местообитания: древесно-кустарниковые заросли, водно-болотные угодья, сады в населённых пунктах. Время лёта: с мая по июнь. Трофическая приуроченность: Fagaceae (*Quercus, Fagus*), Rosaceae (*Malus*) – полифаг. Основная биологическая группа вредителя: многоядные вредители. Хозяйственное значение в текущих условиях: гусеницы способны повреждать различные кустарники, лиственные породы деревьев, плодовые культуры.

15) *Celypha striana* ([Denis & Schiffermüller], 1775) – лугово-лесной мезофильный вид, обычен для РО (Рис. 48). Распространение в регионе (Рис. 49): Миллеровский р-н (Фоминская дача), Тацинский р-н (Тацинская), Аксайский р-н (Рассвет), Азовский р-н (Гирловский, Победа, Рогожкино), Сальский р-н (Гигант), Орловский (Волочаевский) [19] (Рис. 13). Биотопы: дельты рек, лесные массивы и агроценозы. Местообитания: водно-болотные угодья, сады в населённых пунктах, лиственные леса и иногда сухие степи. Время лёта: с мая до конца сентября. Трофическая приуроченность: Fagaceae (*Quercus, Fagus, Castanea*), Betulaceae (*Corylus*), Juglandaceae (*Juglas*) – полифаг. Основная биологическая группа вредителя – многоядные вредители. Хозяйственное значение в текущих условиях: вредит древесным и кустарниковым насаждениям, а также орехоплодным культурам.

По всем биологическим группам вредителей. По совокупности полученных данных в перечень вошли как виды из приведённых выше приоритетных групп (*Tortrix viridana*, *Aleimma loeflingiana*, *Archips podana*), так и представители биологических групп «Вредители ягодных культур» и «Вредители плодовых косточковых культур» – *Archips rosana* и *Grapholita funebrana*, соответственно.

16) *Archips rosana* (Linnaeus, 1758) – обычный в РО лесной мезофильный вид. Распространение в регионе: Тацинский р-н (Тацинская), Мясниковский р-н (Калинин, учхоз ЮФУ «Недвиговка»), Неклиновский р-н (Русский Колодец), Сальский р-н (Гигант), Аксайский р-н (Рассвет, Мускатный, Реконструктор), Орловский р-н

(Волочаевский), Цимлянский р-н (Саркел), Семикаракорский р-н (Кирсановка), Азовский р-н (Гирловский, Победа, заказник «Левобережный»), Тарасовский р-н (Степные колки), Верхнедонской р-н (Солонцовский), Миллеровский р-н (Новоспасовка, Фоминская дача), Красносулинский р-н (заказник «Горненский»), Таганрог, Ростов-на-Дону (Ростов-Западный, Ботанический сад ЮФУ) [19, 31] (Рис. 13). Биотопы: лесные массивы, урбоценозы, агроценозы, долины и дельты рек, иногда степи (остепнённые опушки). Местообитания: сады в населённых пунктах (в т.ч. фруктовые), низинные и байрачные лиственные леса, древесно-кустарниковые насаждения и заросли, разнотравные и остепненные опушки, иногда водно-болотные угодья и заливные луга, степи. Время лёта: май-август. Трофическая приуроченность: Rosaceae (*Rubus*, *Rosa*) – широкий олигофаг. Основная биологическая группа вредителя: вредители ягодных культур. Хозяйственное значение в текущих условиях: гусеницы повреждают плодово-ягодные культуры, такие как малина, а также культурные розы.

17) *Grapholita funebrana* (Treitschke, 1835) – обычный в РО лесной мезофил. Распространение в регионе: Сальский р-н (Гигант), Неклиновский р-н (Советка), Миллеровский р-н (Фоминская дача), Азовский р-н (Кагальник, Победа), Ростов-на-Дону (парк им. Островского, Ботанический сад ЮФУ) [19] (Рис. 13). Биотопы: лесные массивы, урбоценозы (в т.ч. городские парки), агроценозы и дельты рек. Местообитания: древесно-кустарниковые заросли, сады в населённых пунктах, лиственные леса, водно-болотные угодья. Время лёта: апрель-сентябрь. Трофическая приуроченность: Rosaceae (*Prunus* spp.) – узкий олигофаг. Основная биологическая группа вредителя: вредители плодовых косточковых культур. Хозяйственное значение в текущих условиях: вредитель слив.

Карантинные вредные организмы. 18) *Grapholita molesta* (Busck, 1916) – локальный в РО (Рис. 54) инвазивный карантинный вредитель. Лесной мезофил. Распространение в регионе: отмечался в Азовском (Каяльский) и Неклиновскком (Советка) р-нах [19], а также на территории Ростова-на-Дону (Парк им. Островского, Ботанический сад ЮФУ) (Рис. 13). Согласно материалам мониторинговых работ Южного филиала ФГБУ «ВНИИКР», в 2019 году выявлен в Аксайской р-не (Романчук и др., 2020). Данные о датах, конкретных населённых пунктах и количестве экземпляров отсутствуют в общем доступе, поэтому не включены в анализ (на карте обозначена лишь условная точка, в которой расположены крупные фруктовые сады). Биотопы: урбоценозы (включая городские парки), агроценозы, долины рек. Местообитания: сады в населённых пунктах, питомники плодовых культур, древесно-кустарниковые насаждения и заросли. Время лёта: с мая по август (иногда по сентябрь). Трофическая приуроченность: Rosaceae (*Malus*, *Prunus*, *Cydonia*, *Eriobotrya*, *Crataegus*, *Cotoneaster*) – широкий олигофаг. Основная биологическая группа вредителя: вредители плодовых культур. Хозяйственное значение в текущих условиях: серьёзный вредитель плодовых культур, внесён Россельхознадзором в список карантинных вредных организмов, ограниченно распространённых на территории Евразийского экономического союза [41].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По итогам анализа сформированной базы данный было выявлено 118 видов бабочек из 2 подсемейств и 11 триб. Среди этого числа 51 вид (43 %) имеет хозяйственное значение. В их составе доминирующей по обилию группой выступили «обычные» в регионе таксоны – 18 видов (35 %). «Очень редкие» – 12 видов (23 %), «локальные» – 7 видов (14 %), «новые для РО, очень редкие» – 4 вида (8 %), «ныне отсутствующие» – 4 вида (8 %), «редкие» – 3 вида (6 %).
2. В общей сложности было выявлено 9 новых для Ростовской области видов листовёрток, из которых хозяйственное значение имеют 4 вида: *Hedya pruniana*, *Ancylis unculana*, *Eucosma conterminana*, *Epinotia festivana*.
3. Анализ распределения по экологическим группам выявил явную доминанту – «лесных мезофилов», представленных 42 видами (82 %). Это связано с преобладанием в выборке в равной степени вредителей плодовых (15 видов, 29 %) и лесных культур (15 видов, 29 %), ассоциированных с древесно-кустарниковой растительностью.
4. По широте трофических связей доминируют полифаги (31 вид, 61 %). Основу трофического спектра листовёрток-вредителей составляют растения из семейств Rosaceae, Fagaceae и Betulaceae, среди которых много культурных видов растений.
5. В перечень приоритетных хозяйственно значимых видов листовёрток вошли: вредители леса – *Tortrix viridana*, *Aleimma loeflingiana*, *Hedya salicella*, *Rhyacionia buoliana*, *Cydia amplana*; вредители плодовых культур – *Archips podana*, *A. crataegana*, *A. xylosteana*, *Hedya nubiferana*, *Cydia pomonella*; многоядные вредители – *Choristoneura hebenstreitella*, *Ptycholoma lecheana*, *Clepsis spectrana*, *Ancylis mitterbacheriana*, *Celypha striana*, вредители из других биологических групп – *Archips rosana*, *Grapholita funebrana* и 1 инвазивный карантинный вредный организм – *G. molesta*. Наибольше число выявлений и самая высокая плотность популяций указанных видов отмечается в населенных пунктах, на территории и в окрестностях которых имеются сады или фруктовые питомники.

Список литературы

1. Ершов В. Каталог чешуекрылых Российской Империи / В. Ершов, А. Фильд // Труды Русского энтомологического общества. – 1870. – Т. 4. – С. 130–204.
2. Алфераки С. Н. Чешуекрылые окрестностей Таганрога / С. Н. Алфераки // Труды Русского энтомологического общества. – 1876. – Т. 8, № 2–3. – С. 150–226.
3. Алфераки С. Н. Чешуекрылые окрестностей Таганрога / С. Н. Алфераки // Труды русского энтомологического общества. – 1877. – Т. 10, № 1. – С. 35–53.
4. Алфераки С. Н. Чешуекрылые окрестностей Таганрога / С. Н. Алфераки // Труды Русского энтомологического общества. – 1880. – Т. 11. – С. 45–50.
5. Алфераки С. Н. Чешуекрылые окрестностей Таганрога / С. Н. Алфераки // Труды русского энтомологического общества. – 1908. – Т. 38. – С. 558–618.
6. Зверезомб-Зумбовский Е. В. Краткий отчёт о деятельности Донского бюро по борьбе с вредителями с-х растений в 1917 году / Е. В. Зверезомб-Зумбовский. – Ростов н/Д, 1918. – 36 с.
7. Зверезомб-Зумбовский Е. В. Отчет о деятельности Донского бюро по борьбе с вредителями с-х растений за 1918 год / Е. В. Зверезомб-Зумбовский. – Ростов н/Д, 1919. – 12 с.

8. Померанцев Д. В. Вредные насекомые и борьба с ними в лесах и лесных полосах юго-востока Европейской части СССР / Д. В. Померанцев. – Москва; Ленинград: Гослесбумиздат, 1949. – 212 с.
9. Добровольский Б. В. Луговой мотылек (в условиях Нижнего Дона и Предкавказья) / Б. В. Добровольский. – Ростов-на-Дону: Ростиздат, 1939. – 124 с.
10. Добровольский Б. В. Вредители полевых культур (на Дону) / Б. В. Добровольский. – Ростов-на-Дону: Ростиздат, 1950. – 132 с.
11. Добровольский Б. В. Распространение вредных насекомых: Очаги и зоны наибольшей вредности / Б. В. Добровольский. – Москва: Сов. наука, 1959. – 215 с.
12. Архангельский Н. Н. Луговой мотылёк и меры борьбы с ним / Н. Н. Архангельский // Краевая станция защиты растений. Серия Биологическая. – 1929. – № 19. – С. 1–8.
13. Архангельский Н. Н. Огородные вредители / Н. Н. Архангельский. – Ростов-на-Дону: Сев. Кавказ, 1931. – 47 с.
14. Van Nieukerken E. J. Order Lepidoptera Linnaeus, 1758 / E. J. Van Nieukerken, L. Kaila, I. J. Kitching, N. P. Kristensen, D. C. Lees, J. Minet, Ch. Mitter, M. Mutanen, J. C. Regier, T. J. Simonsen, N. Wahlberg, Sh. Yen, R. Zahiri, D. Adamski, J. Baixeras, D. Bartsch, B. Å. Bengtsson, J. W. Brown, S. R. Bucheli, D. R. Davis, J. De Prins, W. De Prins, M. E. Epstein, P. Gentili-Poole, C. Gielis, P. Hättenschwiler, A. Hausmann, J. D. Holloway, A. Kallies, O. Karsholt, A. Y. Kawahara, S. (J. C.) Koster, M. V. Kozlov, J. D. Lafontaine, G. Lamas, J.-F. Landry, S. Lee, M. Nuss, K.-T. Park, C. Penz, J. Rota, A. Schintlmeister, B. Ch. Schmidt, J.-Ch. Sohn, M. A. Solis, G. M. Tarmann, A. D. Warren, S. Weller, R. V. Yakovlev, V. V. Zolotuhin, A. Zwick // Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. – Zootaxa. Auckland, New Zealand: Magnolia Press, 2011. – Vol. 3148. – P. 212–221.
15. Аникин В. В. Каталог чешуекрылых (Lepidoptera) России. Издание 2-е / В. В. Аникин, С. В. Барышникова, Е. А. Беляев, Ю.И. Будашкин, Э. Й. ван Ньюкеркен, О. Г. Горбунов, В. В. Дубатолов, К. А. Ефетов, В. В. Золотухин, С. А. Князев, В. Н. Ковтунович, М. В. Козлов, В. С. Кононенко, Ю. А. Ловцова, В. А. Лухтанов, А. Л. Львовский, А. Ю. Матов, В. Г. Миронов, С. В. Недошивина, М. Г. Пономаренко, А. В. Свиридов, С. Ю. Синёв, А. В. Соловьев, А. Н. Стрельцов, Т. А. Трофимова, П. Я. Устюжанин, Д. Ф. Шовкун, Р. В. Яковлев. – Санкт-Петербург: Зоологический институт РАН, 2019. – 448 с.
16. Загуляев А. К. Определитель насекомых европейской части СССР. Том IV. Чешуекрылые. Первая часть / В. И. Кузнецов, А. А. Стекольников, И. Л. Сухарева, М. И. Фалькович. – Л.: Наука, 1978. – 712 с.
17. Романова В. П. Листовёртки и их паразиты на древесных породах в окрестностях г. Ростова-на-Дону / В. П. Романова // Учёные записки Ростовского государственного университета. – 1949. – Т. 15, Вып. 6. – С. 47–61.
18. Романова В. П. Вредные насекомые ботанического сада / В. П. Романова // Сборник трудов Ботанического сада РГУ. – 1956. – Т. 35, Вып. 2. – С. 77–87.
19. Poltavsky A. N. An Inventory of Tortricidae (Lepidoptera) from the Rostov-on-Don province of Russia / A. N. Poltavsky // Zootaxa. – 2015. – Vol. 4048, Iss. 4. – P. 538-552. DOI: 10.11646/zootaxa.4048.4.5
20. Артохин К. С. Злаковая листовертка в Ростовской области / К. С. Артохин, А. Н. Полтавский // Защита и карантин растений. – 2018. – № 8. – С. 28–30.
21. Романчук Р. В. Инвазивные виды чешуекрылых (Insecta: Lepidoptera) на юге России / Р. В. Романчук // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов («Опасные явления – II»): материалы II Международной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д. Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, 6–10 июля 2020 г.). – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2020. – С. 68–72.
22. Артохин К. С. Злаковая листовертка на юге России / К. С. Артохин, А. Н. Полтавский // Защита и карантин растений. – 2021. – № 1. С. – 25–28.
23. EPPO Global Database [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gd.eppo.int (дата обращения: 01.08.2024).
24. Савотиков Ю. Ф. Справочник по вредителям, болезням растений и сорнякам, имеющим карантинное значение для территории Российской Федерации / Ю. Ф. Савотиков, А. И. Сметник. – Н. Новгород: Арника, 1995. – 231 с.

25. Данкверт С. А. Вредные организмы, имеющие карантинное фитосанитарное значение для Российской Федерации: справочник / С. А. Данкверт, М. И. Маслов, У. Ш. Магомедова, Я. Б. Мордкович. – Воронеж: Научная книга, 2009. – 449 с.
26. Вигера С. М. Злаковая листовертка на зерновых колосовых / С. М. Вигера, Т. Н. Жаворонкова // Защита растений. – 1986. – № 4. – С. 30–31.
27. Полтавский А. Н. Листовёртки (Lepidoptera: Tortricidae), вредящие древесным растениям ботанического сада ЮФУ / А. Н. Полтавский, О. А. Колесник // Роль ботанических садов в сохранении и мониторинге биоразнообразия: Международная научная конференция, посвященная 100-летию Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, 27–30 мая 2015 года. – Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2015. – С. 80–83.
28. Романчук Р. В. Экофаунистический обзор листовёрток (Lepidoptera: Tortricidae) охраняемого ландшафта «Фоминская дача» Ростовской области. Часть 1: таксономический состав, обилие, распределение по экологическим группам и местообитаниям / Р. В. Романчук, О. А. Кладковая // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник материалов. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2021. – С. 111–116.
29. Романчук Р. В. Экофаунистический обзор листовёрток (Lepidoptera: Tortricidae) охраняемого ландшафта «Фоминская дача» Ростовской области. Часть 2: трофическая приуроченность, широта трофических связей, хозяйственное значение / Р. В. Романчук, О. А. Кладковая // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник материалов. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2021. – С. 117–121.
30. Романчук Р. В. Эколого-фаунистическая характеристика чешуекрылых (Insecta: Lepidoptera) особо охраняемых природных территорий Ростовской области: монография / Р. В. Романчук, С. И. Колесников. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2022. – 368 с. DOI: 10.18522/801299932
31. Романчук Р. В. Каталог коллекции животных кафедры зоологии Академии биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского Южного федерального университета. Сообщение 2. Отряд Чешуекрылые – Lepidoptera, семейство листовёртки – Tortricidae / Р. В. Романчук, О. А. Кладковая // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия. – 2022. – Том 8 (74), № 1. – С. 140–155.
32. Романчук Р. В. Чешуекрылые насекомые (Insecta: Lepidoptera) ООПТ ГПЗ «Горненский» (Ростовская область): эколого-фаунистический обзор / Р. В. Романчук, Н. С. Елфимова, Д. Д. Пивоварова, О. А. Кладковая, Т. В. Минникова. – 2023. – Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023623278 от 28.09.2023 г.
33. Романчук Р. В. Листовёртки (Lepidoptera, Tortricidae) ООПТ «Фоминская дача» (Ростовская область): эколого-фаунистический обзор / Р. В. Романчук, О. А. Кладковая, А. А. Дмитриева. – 2023. – Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023620071 от 23.12.2022.
34. Пестициды.ru. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.pesticidy.ru (дата обращения: 20.01.2024).
35. Lepiforum e.V. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lepiforum.org (дата обращения: 25.01.2024).
36. Tortricid.net. Tortricidae Resources on the Web. Version 2.0. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tortricidae.com (дата обращения: 20.01.2024).
37. Корнелио М. П. Школьный атлас-определитель бабочек / М. П. Корнелио. – Москва: Просвещение, 1986. – 255 с.
38. Определитель насекомых Дальнего Востока России. Т. V. Ручейники и чешуекрылые. Ч. 3. – Владивосток: Дальнаука, 2001. – 621 с.
39. Определитель насекомых юга России. – Ростов-на-Дону: Foundation, 2016. – 1050 с.
40. Группы вредителей по повреждаемым объектам // Пестициды.ru. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.pesticidy.ru/host (дата обращения: 14.03.2024).
41. Перечень карантинных объектов // Россельхознадзор. Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://fsvps.gov.ru/files/perechen-karantinnyhobektov/?ysclid=ltfibukpal70671405 (дата обращения: 05.03.2024).

AGRICULTURALLY SIGNIFICANT LEAFROLLER MOTHS (LEPIDOPTERA: TORTRICIDAE) OF ROSTOV REGION: FAUNISTIC, RECORDS AND DISTRIBUTION IN THE REGION (PRELIMINARY ANALYSIS)

Romanchuk R. V.[1], Slyunkova V. G.[1], Mischenko D. P.[1], Guz A. A.[1], Elfimova N. S.[2], Mizheritskaya A. N.[1]

[1]Academy of Biology and Biotechnology of Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia
[2]Azov-Black Sea Branch of FGBU "VNIRO", Rostov-on-Don, Russia
E-mail: roma.romanchuk.95@bk.ru

The fauna of leaf roller moths (Tortricidae) in the Rostov Region has not been studied enough. There is no complete picture of their maximum faunistic composition, the phenology and ecological characteristics of a considerable number of species, and the full spectrum of agricultural significant taxa. It is the most important in the context of this work.

The aim of the study is to identify the taxonomic composition of agricultural significant leaf roller moths in the Rostov Region, and to analyze and summarize available data on their detection and distribution in the region.

Tasks:

1) To identify the composition and analyze the abundance of pest species in the region.

2) To analyze trophic confinement, the breadth of trophic links, distribution by ecological groups and the main biological pest groups.

3) To compile an annotated list of priority agricultural significant leaf roller species, to observe the dynamics of their detection, and impose the expected zones of harmfulness.

The materials were used: the Tortricidae collection of the Zoological Museum of Southern Federal University, available literary sources contain the results of initiative studies of different years; the first author collection; the leaf roller collection of the South branch of FGBU "VNIIKR"; original data obtained during the research. For specimen preparation, standard lepidopterological methods were used.

In the course, 118 species of Tortricidae from 2 subfamilies and 11 tribes were identified. Of this number, 51 species (43 %) are of agricultural importance. The dominant group in terms of abundance among them were "Common" taxa in the region – 18 species (35 %). "Very rare" – 12 species (23 %), "Local" – 7 species (14 %), "New for the Rostov region, very rare" – 4 species (8 %), "Currently absent" – 4 species (8 %), "Rare" – 3 species (6 %).

In total, 9 new species of leaf rollers for the Rostov region were identified, of which 4 species are of agricultural importance. It's *Hedya pruniana*, *Ancylis unculana*, *Eucosma conterminana*, *Epinotia festivana*.

Analysis of the distribution by ecological groups revealed a clear dominant is "Forest mesophiles" (42 species, 82 %). This is due to the equal prevalence of fruit pests (15 species, 29 %) and forest pests (15 species, 29 %) associated with woody and shrubby vegetation in the sample considered in the paper.

Polyphages dominate in terms of the breadth of trophic links (31 species, 61 %). The basis of the trophic spectrum of leaf roller pests is made up of plants from the Rosaceae, Fagaceae and Betulaceae families, among which there are many cultivated plant species.

The list of priority agricultural significant leaf roller species includes:

a) Forest pests – *Tortrix viridana*, *Aleimma loeflingiana*, *Hedya salicella*, *Rhyacionia buoliana*, *Cydia amplana*;

b) Fruit pests – *Archips podana*, *A. crataegana*, *A. xylosteana*, *Hedya nubiferana*, *Cydia pomonella*;

c) Polyphagous pests – *Choristoneura hebenstreitella*, *Ptycholoma lecheana*, *Clepsis spectrana*, *Ancylis mitterbacheriana*, *Celypha s*triana;

d) Pests from other biological groups – *Archips rosana*, *Grapholita funebrana*.

e) Invasive quarantine pest – *Grapholita molesta*.

The greatest number of detections and the highest population density of the above species are observed in settlements, on the territory and in the vicinity of which there are orchards or fruit nurseries.

Keywords: Lepidoptera, leafroller moths, Tortricidae, agriculture, Rostov region.

References

1. Ershov V., Field A. Catalogue of Lepidoptera of the Russian Empire, *Proceedings of the Russian Entomological Society*, **4**, 130 (1870).
2. Alferaki S. N. Lepidoptera of the environs of Taganrog, *Proceedings of the Russian Entomological Society*, **8**, 150 (1876).
3. Alferaki S. N. Lepidoptera of the environs of Taganrog, *Proceedings of the Russian Entomological Society*, **10**, 35 (1877).
4. Alferaki S. N. Lepidoptera of the environs of Taganrog, *Proceedings of the Russian Entomological Society*, **11**, 45 (1880).
5. Alferaki S. N. Lepidoptera of the environs of Taganrog, *Proceedings of the Russian Entomological Society*, **38**, 558 (1908).
6. Zverezomb-Zumbovsky E. V. *Brief report on the activities of the Don Combating Pests of Agricultural Plants Bureau in 1917*, 36 p. (Rostov n/D, 1918).
7. Zverezomb-Zumbovsky E. V. Report on the activities of the *Don Combating Pests of Agricultural Plants Bureau in 1918*, 12 p. (Rostov n/D, 1919).
8. Pomerantsev D. V. *Harmful insects and their control in forests and forest belts of the south-east of the European part of the USSR*, 212 p. (Moscow; Leningrad: Goslesbumizdat, 1949).
9. Dobrovolsky B. V. *Meadow moth (in the conditions of the Lower Don and Ciscaucasia)*, 124 p. (Rostov-on-Don: Rostizdat, 1939).
10. Dobrovolsky B. V. *Pests of field crops (on the Don province)*, 132 p. (Rostov-on-Don: Rostizdat, 1950).
11. Dobrovolsky B. V. *Distribution of harmful insects: outbreaks and zones of greatest harm*, 215 p. (Moscow: Sov. science, 1959).
12. Arkhangelsky N. N. Meadow moth and measures to combat it, *Regional Plant Protection Station. Biological Series*, **19**, 1 (1929).
13. Arkhangelsky N. N. *Garden pests*, 47 p. (Rostov-on-Don: Sev. Kavkaz, 1931).
14. Van Nieukerken E. J., Kaila L., Kitching I. J., Kristensen N. P., Lees D. C., Minet J., Mitter Ch., Mutanen M., Regier J. C., Simonsen T. J., Wahlberg N., Yen Sh., Zahiri R., Adamski D., Baixeras J., Bartsch D., Bengtsson B. Å., Brown J. W., Bucheli S. R., Davis D. R., De Prins J., De Prins W., Epstein M. E., Gentili-Poole P., Gielis C., Hättenschwiler P., Hausmann A., Holloway J. D., Kallies A., Karsholt O., Kawahara A. Y., Koster S. (J. C.), Kozlov M. V., Lafontaine J. D., Lamas G., Landry J.-F., Lee S., Nuss M., Park K.-T., Penz C., Rota J., Schintlmeister A., Schmidt B. Ch., Sohn J.-Ch., Solis M. A., Tarmann G. M., Warren A. D., Weller S., Yakovlev R. V., Zolotuhin V. V., Zwick A. Order Lepidoptera

Linnaeus, 1758, *Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness*, 212–221 (Zootaxa. Auckland, New Zealand: Magnolia Press, 2011).
15. Anikin V. V., Baryshnikova S. V., Beljaev E. A., Budashkin Yu. I., Van Nieukerken E. J., Gorbunov O. G., Dubatolov V. V., Efetov K. A., Zolotuhin V. V., Knyazev S. A., Kovtunovich V. N., Kozlov M. V., Kononenko V. S., Lovtsova Ju. A., Lukhtanov V. A., Lvovsky A. L., Matov A. Yu., Mironov V. G., Nedoshivina S. V., Ponomarenko M. G., Sviridov A. V., Sinev S. Yu., Solovjev A. V., Streltzov A. N., Trofimova T. A., Ustjuzhanin P. Ya., Shovkoon D. F., Yakovlev R. V. *Catalogue of the Lepidoptera of Russia. Edition 2*, 448 (St. Petersburg: Zoological Institute of RAS, 2019).
16. Zagulyaev A. K., Kuznetsov V. I., Stekolnikov A. A., Sukhareva I. L., Falkovich M. I. *Key to insects of the European part of the USSR. Volume IV. Lepidoptera. Part one*, 712 p. (Leningrad: Nauka, 1978).
17. Romanova V. P. Leaf roller moths and their parasites on tree species in the vicinity of Rostov-on-Don, *Scientific notes of Rostov State University*, **15 (6)**, 47 (1949).
18. Romanova V. P. Harmful insects of the Botanical Garden, *Proceedings of the Botanical Garden of RSU*, **35**, 77 (1956).
19. Poltavsky A. N. An Inventory of Tortricidae (Lepidoptera) from the Rostov-on-Don province of Russia, *Zootaxa*, **4048 (4)**, 538 (2015). DOI: 10.11646/zootaxa.4048.4.5
20. Artokhin K. S., Poltavsky A. N. Cereal leaf roller in the Rostov region, *Plant protection and quarantine*, **8**, 28 (2018).
21. Romanchuk R. V. Invasive species of Lepidoptera in the south of Russia, *Patterns of formation and impact of marine, atmospheric hazardous phenomena, and disasters on the coastal zone of the Russian Federation in the context of global climatic and industrial challenges ("Hazardous Phenomena - II"): Proceedings of the II International Scientific Conference in memory of Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences D. G. Matishov (Rostov-on-Don, July 6-10, 2020)*. (Rostov-on-Don: Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2020). 68.
22. Artokhin K. S., Poltavsky A. N. Cereal leaf roller in the south of Russia, *Plant protection and quarantine*, **1**, 25 (2021).
23. EPPO Global Database. URL: https://gd.eppo.int (accessed: 01.08.2024).
24. Savotikov Yu. F., Smetnik A. I. *Handbook of pests, plant diseases and weeds of quarantine significance for the Russian Federation territory*, 231 p. (N. Novgorod: Arnika, 1995).
25. Dankvert S. A., Maslov M. I., Magomedova U. Sh., Mordkovich Ya. B. *Harmful organisms of quarantine phytosanitary importance for the Russian Federation: reference book*, 449 p. (Voronezh: Nauchnaya kniga, 2009).
26. Viguera S. M., Zhavoronkova T. N. Cereal leaf roller on cereal crops, *Plant protection*, **4**, 30 (1986).
27. Poltavsky A. N., Kolesnik O. A. Leaf roller moths (Lepidoptera: Tortricidae) harming woody plants of the SFU Botanical Garden, *the role of botanical gardens in preserving and monitoring biodiversity: International scientific conference dedicated to the 100th anniversary of the Southern Federal University, Rostov-on-Don, May 27–30, 2015*. (Rostov-on-Don: Southern Federal University, 2015). 80.
28. Romanchuk R. V., Kladkovaya O. A. Ecofaunal review of leafroller moths (Lepidoptera: Tortricidae) of the "Fominskaya Dacha" Protected Landscape of the Rostov Region. Part 1: taxonomic composition, abundance, distribution by ecological groups and habitats, *Actual problems of ecology and nature management: proceedings*. (Rostov-on-Don; Taganrog: Southern Federal University, 2021), 111.
29. Romanchuk R. V., Kladkovaya O. A. Ecofaunal review of leafroller moths (Lepidoptera: Tortricidae) of the "Fominskaya Dacha" Protected Landscape of the Rostov Region. Part 2: trophic confinement, breadth of trophic relationships, economic importance, *Actual problems of ecology and nature management: proceedings*. (Rostov-on-Don; Taganrog: Southern Federal University, 2021), 117.
30. Romanchuk R. V., Kolesnikov S. I. *Ecological and faunistic characteristics of Lepidoptera of Specially Protected Natural Areas of the Rostov region: monograph*, 368 p. (Rostov-on-Don; Taganrog: Southern Federal University, 2022). DOI: 10.18522/801299932
31. Romanchuk R. V., Kladkovaya O. A. Catalogue of the animal collection of the Department of Zoology of the Academy of Biology and Biotechnology Named After D. I. Ivanovsky of Southern Federal University. Communication 2. Order Lepidoptera, family Leafroller Moths – Tortricidae, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **8 (1)**, 140 (2022).
32. Romanchuk R. V., Elfimova N. S., Pivovarova D. D., Kladkovaya O. A., Minnikova T. V. *Lepidoptera (Insecta: Lepidoptera) of the Protected Area of the Gornensky State Nature Reserve (Rostov Region):*

ecological and faunistic review, Certificate of state registration of the database No. 2023623278 dated 28.09.2023. (2023).
33. Romanchuk R. V., Kladkovaya O. A., Dmitrieva A. A. *Leaf rollers (Lepidoptera, Tortricidae) of the Fominskaya Dacha Protected Area (Rostov Region): ecological and faunistic review*, Certificate of state registration of the database No. 2023620071 dated 12.23.2022 (2023).
34. Pesticides.ru. URL: https://www.pesticidy.ru (accessed: 20.01.2024).
35. Lepiforum e.V. URL: https://lepiforum.org (accessed: 25.01.2024).
36. Tortricid.net. Tortricidae Resources on the Web. Version 2.0. URL: http://www.tortricidae.com (accessed: 20.01.2024).
37. Cornelio M. P. *School identification atlas of butterflies*, 255 p. (Moscow: Prosveshchenie, 1986).
38. *Key to insects of the Russian Far East. T. V. Caddisflies and Lepidoptera. Part 3*, 621 p. (Vladivostok: Dalnauka, 2001).
39. *Key to insects of the south of Russia*, 1050 p. (Rostov-on-Don: Foundation, 2016).
40. Groups of pests by damaged objects // Pesticides.ru. URL: https://www.pesticidy.ru/host (accessed: 14.03.2024).
41. List of quarantine objects // Rosselkhoznadzor. Federal Veterinary and Phytosanitary Surveillance. URL: https://fsvps.gov.ru/files/perechen-karantinnyhobektov/?ysclid=ltfibukpal70671405 (accessed: 05.03.2024).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 191–206.

УДК 615.1:582.738
DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-191-206

ФИТОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЭФИРНОГО МАСЛА ПЕЛАРГОНИИ ДУШИСТОЙ (*PELARGONIUM GRAVEOLENS* L'HÉR.) В УСЛОВИЯХ КУЛЬТУРЫ НА ЮЖНОМ БЕРЕГУ КРЫМА

Сахно Т. М.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», Ялта, Никита, Республика Крым, Россия
E-mail: sahno_tanya@mail.ru

В статье представлены результаты изучения массовой доли и компонентного состава эфирного масла (ЭМ) *Pelargonium graveolens* L'Hér. в условиях открытого грунта Южного берега Крыма. Эфирное масло получали методом гидродистилляции на аппаратах Гинзберга. Компонентный состав эфирного масла определяли с помощью аппаратно-программного комплекса на базе хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000.2». Массовая доля ЭМ в свежесобранном сырье составила 0,22 %. Эфирное масло представлено 41 компонентом, 87,8 % из которых идентифицированы. Установлено, что количественно преобладающими компонентами ЭМ изучаемого образца *P. graveolens* являются: терпеновые спирты: цитронеллол – 39,67 %, гераниол – 13,61 % и терпеновый эфир – цитронеллил формиат 10,58 %. Полученные результаты позволяют рассматривать *P. graveolens* для условий ЮБК как ценный сырьевой источник с целью получения натурального ЭМ отечественного производства для нужд фармацевтической, парфюмерно-косметической и пищевой отраслей промышленности.
Ключевые слова: *Pelargonium graveolens* L'Hér., эфирное масло, массовая доля, компонентный состав, Южный берег Крыма.

ВВЕДЕНИЕ

Пеларгония душистая, ароматная (*Pelargonium graveolens* L'Hér.) – вид рода *Pelargonium*, семейства Geraniaceae. Данный вид, как и множество представителей рода, естественно произрастает в Капской флористической области [1]. *P. graveolens* широко культивируется во всем мире как ценное декоративное, эфиромасличное и лекарственное растение. Для получения ЭМ используют несколько видов данного рода, среди которых: пеларгония душистая – *P. graveolens*, п. розовая – *P. radens* H. E. Moore, п. головчатая – *P. capitatum* (L.f.) L'Hér. ex Aiton., п. ароматнейшая – *P. odoratissimum* (L.) L'Hér. и др. Однако, как правило, для получения ЭМ в промышленных масштабах используют перспективные сорта и гибриды рода *Pelargonium*, которые характеризуются значительным содержанием эфирного масла и его улучшенными биохимическими характеристиками [2]. Зачастую, при описании коммерческих образцов ЭМ, в качестве сырьевого источника указывают *P. graveolens* вне зависимости от ботанического названия вида или гибридного

экземпляра, а ЭМ тривиально называется «эфирное масло герани», что вносит некоторую путаницу.

Эфирное масло *P. graveolens* входит в перечень двадцати лучших масел мира и находит широкое применение в пищевой, парфюмерно-косметической и фармацевтической отраслях промышленности [3]. Согласно литературным данным, ЭМ *P. graveolens* включает около 120 моно- и сесквитерпенов и низкомолекулярных ароматических соединений, основным среди которых являются цитронеллол, гераниол, линалоол, формиаты гераниола и цитронеллола, в совокупности составляющие около 60–70 % от общего количества масла [3]. Вещества, входящие в состав *P. graveolens*, обладают широким спектром биологического действия, поэтому сырье этого растения и продукты его переработки имеют множество направлений использования. Например, в народной медицине листья *P. graveolens* используются в виде травяного чая для лечения тонзиллита, улучшения кровообращения, снятия напряжения, борьбы с тревогой и снятия стресса [4]. Богатый химический состав ЭМ *P. graveolens* позволяет использовать его в качестве фармацевтических субстанций растительного происхождения в составе средств профилактического и терапевтического назначения, а также готовых лекарственных препаратов [5]. ЭМ используется в традиционной медицине как противоастматическое, противоаллергическое, антиоксидантное, противодиарейное, антигепатотоксическое, мочегонное, тонизирующее, кровоостанавливающее, желудочное и диабетическое средство [6–9].

Достаточно подробно описано антибактериальное действие ЭМ масла *P. graveolens* на грамположительные штаммы *Bacillus cereus* Frankland & Frankland и *B. subtilis* (Ehrenber) [10]. Обнаружено, что эфирное масло пеларгонии способно ингибировать рост грамотрицательных бактерий кишечной палочки (*Escherichia coli* (Migula), синегонойной палочки (*Pseudomonas aeruginosa* (Schroeter) Migula) и возбудителей протейной инфекции (*Proteus mirabilis* Hauser), а также грамположительных бактерий золотистого стафилококка (*Staphylococcus aureus* Rosenbach), в том числе и метициллин-резистентный и метициллин-чувствительный *S. aureus* [11, 12]. Выявлено ингибирующее действие ЭМ против микобактерий (*Mycobacterium* sp.), а именно: *M. abscessus*, *M. massiliense*, *M. smegmatis* и *M. avium*. Наряду с *Mycobacterium* sp., масло пеларгонии обладает мощной антимикробной активностью в отношении других патогенных бактерий, таких как: стрептококки (*Streptococcus* Rosenbach), *Listeria monocytogenes* и *Salmonella enteritidis* [13, 14].

В то же время, ЭМ *P. graveolens* обладает мощными противогрибковыми свойствами. Доказана эффективность ЭМ *P. graveolens* против дрожжеподобных грибов *Cryptococcus neoformans* (San Felice) Vuill. и нескольких видов грибов рода *Candida*: *C. albicans*, *C. glabrata*, *C. parapsilosis*, *C. krusei*, *C. geochares*, *C. magnoliae*, *C. kefyr*, *C. guilliermondii*, *C. catenulata*, *C. membranefaciens*, *C. lusitaniae* и *C. dubliniensis*, вызывающих тяжелые заболевания у людей [13, 15, 16]. Также установлено, что ЭМ проявляет значительные противогрибковые свойства в отношении растительного патогена *Rhizoctonia solani* J. G. Kühn, вызывающего различные заболевания растений, таких как: корневая гниль, выпревание и др., а также грибка *Malassezia furfur* (C. P. Robin) Baill., провоцирующего кожные

заболевания у животных [17, 18]. Имеются сведения о синергетическом действии эфирного масла пеларгонии душистой и кетоконазола, которые совместно показывают мощную ингибирующую активность против трихофитов (*Trichophyton* spp.), вызывающих вирусную инфекцию стригущего лишая [19].

ЭМ рекомендуется использовать при ожогах и обморожениях, как регенерирующее средство. Также оно эффективно при вирусе простого герпеса [19]. Экстракты *P. graveolens* обладают высокими антиоксидантными и антибактериальными свойствами, что представляют интерес для пищевой и косметической промышленности [20]. ЭМ используется для ароматизации продуктов питания (кондитерские изделия, безалкогольные и алкогольные напитки и др.). Кроме того, подтверждена эффективность ЭМ и его отдельных компонентов в борьбе с патогенами пищевого происхождения, вызывающих порчу пищевых продуктов [6, 21]. ЭМ *P. graveolens* также проявляет инсектицидную активность [22].

На сегодняшний день эфирное масло *P. graveolens* входит в состав различных продуктов для поддержания здоровья человека, например, коммерческой смеси ЭМ для детоксикации «Zendocrine» («Зендокрин») фирмы doTERRA (США), способствующей естественным процессам детоксикации в организме, поддержанию фильтрационных функций печени, почек, толстой кишки, легких и кожи. Разработана биологически активная добавки к пище «Биогерань», производства Vitapharm-Com (Республика Молдова), рекомендуемая для использования при гриппе, ларингите, фарингите, головной боли, тахикардии, экземе, дерматите, цистите, мочекаменной болезни, для профилактики гастрита и язвенной болезни желудка и др. Доказана эффективность эфирного масла *P. graveolens* при лечении протезного стоматита [23]. ЭМ *P. graveolens* является компонентом средств по уходу за полостью рта, например, широко известных торговых марок «Splat», «Ajona», «DR. LIEBE» и др.

В парфюмерной промышленности ЭМ *P. graveolens* используется в качестве более дешевого аналога дорогостоящего масла розы при создании цветочных композиций. ЭМ пеларгонии душистой способствует снятию воспаления и раздражения, тонизирует и увлажняет кожу, эффективно в борьбе с чрезмерной работой сальных желез и акне. Является компонентом лосьонов, кремов, шампуней и др. изделий парфюмерно-косметической промышленности.

В настоящее время мировыми лидерами по производству эфирного масла *P. graveolens* являются о. Реюньон, Марокко, Франция, Испания, Тунис и о. Сицилия, Китай, Мадагаскар, Алжир, Таджикистан [24]. Качество ЭМ, как и его рыночная стоимость, определяется терпеноидным составом. В частности, помимо гераниола, цитронеллола, линалоола и их эфиров, важную роль играют такие соединения как кетон изоментон, сесквитерпеноидный углеводород гвая-6,9-диен и спирт 10-эпи-γ-эдисмол, поскольку они позволяют различать масла разного происхождения, сортов и качества [20].

Поскольку ЭМ *P. graveolens* обладает большим хемотипическим разнообразием, цель настоящей работы – определить количественные и качественные характеристики ЭМ, полученного из свежесобранного сырья

надземной массы *P. graveolens*, выращенного в условиях открытого грунта Южного берега Крыма (ЮБК).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве сырья использовалась надземная масса растений *P. graveolens,* культивируемых в открытом грунте на опытно-производственных участках лаборатории ароматических и лекарственных растений ФГБУН «НБС-ННЦ». Сбор сырья проводили в фазу массового цветения в первой декаде июня. Эфирное масло получали методом гидродистилляции на аппаратах Гинзберга [25]. Компонентный состав эфирных масел определяли с помощью аппаратно-программного комплекса на базе хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000.2», оснащённого масс-спектрометрическим детектором. Колонка капиллярная CR – 5ms, длина 30 м, внутренний диаметр 0,25 мм. Фаза 5 % фенил 95 % полисилфениленсилоксан, толщина плёнки 0,25 мкм. Температура термостата программировалась от 75 °С до 240 °С со скоростью 4 °С/мин. Температура испарителя 250 °С. Газ носитель – гелий, скорость потока 1 мл /мин. Температура переходной линии 250 °С. Температура источника ионов 200 °С. Электронная ионизация 70 eV. Диапазон сканирования 20–450Da. Длительность скана 0,2 с. Идентификация выполнялась на основе сравнения полученных масс-спектров с данными библиотеки NIST 14 (Национальный Институт Стандартов и Технологий, США). Программа поиска и идентификации спектров MS Search (США). Индексы удерживания получены путём логарифмической интерполяции приведённых времён удерживания с использованием аналитического стандарта смеси реперных *н*-алканов Sigma-Aldrich (Швейцария) и аналитических стандартов Supelco (США). Массовая доля компонентов в пробе определена методом процентной нормализации [26, 27]. Биохимические исследования эфирного масла выполнены на оборудовании ЦКП «Физиолого-биохимические исследования растительных объектов» ФГБУН «НБС-ННЦ» (Ялта, Россия).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Pelargonium graveolens в коллекцию ароматических и лекарственных растений была привлечена в 2015 г. из ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт цветоводства и субтропических культур, отдел Сад-музей «Дерево дружбы» г. Сочи [28]. В условиях интродукции на ЮБК *P. graveolens* представляет собой раскидистое травянисто-кустарниковое многолетнее растение высотой 30–80 см. Стебли прямые или стелющиеся, опушенные. Листья черешковые, крупные, пальчато-рассеченные, многочисленные. В открытом грунте растение способно переносить с легким укрытием кратковременное понижение температуры воздуха до -7,9 ºС и минимальной температуры на поверхности почвы -15 ºС (2016 и 2017 гг., соответственно). В зимний период надземная масса практически полностью отмирает, а возобновление в весенний период происходит путем активизации роста нижних почек стебля, или корневыми отпрысками за счет роста придаточных почек. Начало цветения в условиях ЮБК наблюдается в июне-июле в зависимости от метеорологических условий конкретного года. Цветки розового оттенка (рис.).

Рис. Пеларгония душистая (*Pelargonium graveolens* L'Hér.) на опытно-производственном участке лаборатории ароматических и лекарственных растений ФГБУН «Никитский ботанический сад – Национальный научный центр».

Эфирное масло *P. graveolens*, полученное в условиях ЮБК, представляет собой легкоподвижную, прозрачную жидкость, иногда со слегка зеленоватым оттенком. Аромат эфирного масла сходный с запахом цветов розы с несколько травянистым акцентом. Массовая доля эфирного масла из свежесобранного сырья составила 0,22 % и 1,33 % – в пересчете на абсолютно сухую массу. Компонентный состав эфирного масла представлен 41 компонентом, 87,8 % из которых идентифицированы. Мажорным компонентом ЭМ *P. graveolens* (таблица) в условиях ЮБК был цитронеллол, массовая доля которого составила 39,67 %. Также, в составе эфирного масла в значительном количестве содержатся такие компоненты как: гераниол – 13,61 %, цитронеллил формиат – 10,58 %. Среди других, количественно значимых компонентов, с массовой долей от 1 до 5 % присутствуют: изоментон – 5 %, гуая-6,9-диен – 4,5 %, линалоол – 2,52 %, нерил формиат – 2,03 %, геранил тиглат– 2,01 %, *β*-фенилэтилтиглат + фуропеларгон А – 2 %, гермакрен Д – 1,81 %, цитронеллил тиглат – 1,44 %, цитронеллил бутират – 1,42 %, *(E)*-цитраль – 1,17 %, геранил пропионат – 1,17 %, *β*-кариофиллен – 1,11 %, цитронеллил пропионат – 1 %. Более половины (56,06 %) компонентного состава ЭМ *P. graveolens* представлено спиртами, эфиры составили – 23,82 % и сесквитерпены – 9,92 % идентифицированных компонентов.

Таблица

Идентифицированные компоненты эфирного масла *Pelargonium graveolens* L'Hér. в условиях Южного берега Крыма

№	Название компонента	Индекс удерживания компонента	Массовая доля эфирного масла, %
1	2	3	4
1	α-пинен / α-Pinene	944	0,13
2	Линалоол / Linalool	1098	**2,52**
3	*Цис*-розовый оксид / cis-Rose oxide	1111	0,75
4	*Транс*-розовый оксид / trans-Rose oxide	1129	0,34
5	Цитронеллаль / Citronellal	1151	0,31
6	Изоментон / Isomenthone	1168	5,00
7	α-терпинеол / α-Terpineol	1195	0,26
8	Цитронеллол /Citronellol	1233	39,67
9	*(Z)*-Цитраль / *(Z)*-Citral	1240	0,52
10	Гераниол / Geraniol	1255	13,61
11	*(E)*-Цитраль /*(E)*-Citral	1268	1,17
12	Цитронеллил формиат / Citronellyl formate	1274	10,58
13	Тимол / Thymol	1291	0,22
14	Нерил формиат / Neryl formate	1296	2,03
15	Цитронеллил ацетат / Citronellyl acetate	1348	0,40
16	Геранил ацетат / Geranyl acetate	1376	0,16
17	*α*-копаен / *α*-Copaene	1383	0,17
18	*β*-бурбонен / *β*-Bourbonene	1391	0,58
19	*β*-элемен / *β*-Elemen	1394	0,25
20	*β*-кариофиллен / β-Caryophyllene	1427	1,11
21	Цитронеллил пропионат / Citronellyl	1439	1,00
22	*α*-гвайен / α-guaiene	1443	0,33
23	Гуая-6,9-диен / Guaia-6,9-diene	1449	4,50
24	Гумулен / Humulene	1463	0,35
25	Геранил пропионат / Geranyl propionate	1467	1,17
26	Гермакрен Д / Germacrene D	1487	1,81
27	Леден / Leden	1499	0,82
28	Геранил изобутират / Geranyl isobutyrate	1505	0,37
29	Цитронеллил бутират / Citronellyl butyrate	1524	1,42
30	Геранил бутират / Geranyl butyrate	1554	0,70
31	*β*-фенилэтилтиглат + фуропеларгон А / *β*-Phenylethyl tiglate + Furopelargone A	1581	2,00

Продолжение таблицы

1	2	3	4
32	Кариофиллен оксид / Caryophyllene oxide	1588	0,36
33	Цитронеллил тиглат / Citronellyl tiglate	1661	1,44
34	Цитронеллил изогексаноат /Citronellyl	1680	0,28
35	Геранил тиглат / Geranyl tiglate	1693	2,01
36	Нерил гексаноат / Neryl hexanoate	1710	0,26
Всего / идентифицировано, шт.		**41**	**36**

Как уже известно, компонентный состав эфирного масла *P. graveolens* сильно отличается в зависимости от региона культивирования растений [29]. Так, например, эфирное масло из Северной Африки содержит до 6,2 % 10-эпи-γ-эудесмола, тогда, когда у других географических образцах, это соединение не фиксируется даже в следовых количествах [30]. ЭМ *P. graveolens* из Китая отличается повышенным содержанием цитронеллола и цитрониллил формиата и имеет низкую концентрацию гераниола. Африканский тип содержит цитронеллол и гераниол в соотношении 1:0,5, а также 10-эпи-γ-эдисмол, в малом количестве или совсем не содержит гуайа-6,9-диен. Масла пеларгонии типа Реюньон (Бурбон) характеризуется соотношением цитронеллола и гераниола (1:1), также содержит в своем составе гуа-6,9-диен и изоментон. Ранее эфирное масло *P. graveolens* получали в Грузии, которое характеризуются повышенным содержанием эфиров, а масла из Армении и Таджикистана отличались высоким содержанием свободных спиртов, особенно, цитронеллола. Установлено, что в ЭМ *P. graveolens*, полученном в условиях ЮБК, количество цитронеллола почти в 3 раза больше, чем гераниола, также оно отличается высоким содержанием цитронеллил формиата – 10,58 %, что свидетельствует о сходствах с эфирными маслами, получаемыми в Китае, Армении и Таджикистане. Именно на основе ЭМ *P. graveolens* с таким соотношением основных компонентов сотрудниками Государственного научно-исследовательского института питания Министерства промышленности новых технологий Республики Таджикистан совместно с коллегами из Пермской академией фармации РФ был разработан препарат «Липовитол», исследование которого показало, что данное средство обладает желчегонными, гепатопротекторными, антиоксидантными, спазмолитическими и противовоспалительными свойствами [31].

Таким образом, на основании результатов хроматографического анализа установлено, что количественно преобладающими компонентами ЭМ изучаемого образца *P. graveolens* в условиях ЮБК являются терпеновые спирты: цитронеллол и гераниол и терпеновый эфир – цитронеллил формиат.

Согласно данным литературы, цитронеллол имеет широкий спектр биологического действия [32]. Доказана эффективность его применения в медицинских целях, поскольку он обладает антиоксидантными, противовоспалительными, противосудорожными, антиапоптотическими и

модулирующими аутофагию свойствами, способствует защите дофаминергических нейронов [33, 34].

Цитронеллол оказывает подавляющее действие на ряд микроорганизмов, среди которых: *Streptococcus pyogenes*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, *Cryptococcus neoformans*, *Candida albicans*, а также *Aspergillus* и *Trichophyton*. Кроме того, цитронеллол продемонстрировал активность против вшей [35], а также мощный репеллентный эффект против обыкновенных комаров (*Culex pipiens* Linnaeus), являющимися в отдельных регионах опасными переносчиками вируса Западного Нила [36]. Немаловажным аспектом, является то, что цитронеллол не проявляет высокой токсикологической активности при испытаниях *in vitro*, что делает его перспективным соединением для разработки новых лекарственных препаратов [37].

При оценке биологического действия отдельных компонентов масла пеларгонии, было установлено, что именно цитронеллол обладает наиболее эффективным фунгицидным свойством, за которым следуют другие компоненты ЭМ: гераниол, изоментон, геранил формиат и цитронеллил формиат [15].

Следующее количественно значимое соединение ЭМ *P. graveolens* – гераниол, представляет собой монотерпеновый спирт с приятным ароматом розы, известный как важный ингредиент многих эфирных масел и используемый в качестве ароматизирующего соединения в косметических и бытовых продуктах. Установлено, что гераниол обладает также спектром биологического действия, имеет антиоксидантные и противовоспалительные свойства [38]. В настоящее время это соединение используется в качестве противомикробного средства [39], как репеллент от некоторых растительных насекомых [40], противовоспалительное средство [41], антигельминтного средство [42]. Также стоит отметить, что гераниол является исходным веществом при синтезе других соединений, имеющих оздоровительное значение, таких как витамины А и Е [43]. Кроме того, многочисленные исследования *in vitro* и *in vivo* показали активность гераниола против рака простаты, кишечника, печени, почек и кожи. Он может индуцировать апоптоз и увеличивать экспрессию проапоптотических белков [38].

Именно благодаря синергетическому действию высокоактивных и стабильных первичных спиртов цитронеллола и гераниола в соединении с кетоконазолом проявляется высокая ингибирующая активность против трихофитов (*Trichophyton spp.*), вызывающих вирусную инфекцию стригущего лишая [19].

Еще одним количественно значимым компонентом ЭМ *P. graveolens* является цитронеллил формиат, принадлежащий к классу органических соединений, известных как сложные эфиры жирных спиртов. На основе обзора литературы было опубликовано незначительное количество статей о направлениях применения формиата цитронеллила. Его зачастую используют в качестве парфюмерного компонента, поскольку он имеет свежий цветочный аромат с фруктовыми нотами. Формиат цитронеллила показал хорошую стабильность с шампунями, мылом, лосьонами для тела, концентрированными моющими порошками, очистителями на основе лимонной кислоты, универсальным очистителем (АРС) и плохую стабильность с отбеливателями.

Ценность ЭМ *P. graveolens* для парфюмерной промышленности определяется наличием высокого содержания цис- и транс-розоксидов, свободного родинола (совокупность линалоола, цитронеллола и гераниола) и общего родинола (линалоол, цитронеллол, гераниол, цитронеллил формиат, геранил формиат), которые играют важную роль при создании парфюмерных композиций цветочного направления, в частности с ароматом розы. Следует отметить, что из оксидов розы только цис-изомер имеет порог запаха 0,5 частей на миллиард и отвечает за типичный цветочно-травяной аромат розы. В ЭМ, полученном в условиях ЮБК, содержание *цис*-розового оксида составляет 0,75 %, что в целом находится в пределах, представленных в Межгосударственном стандарте описанных хроматографических профилей ЭМ из других регионов: Северная Африка – 0,7–1,5 %, о. Реюньон – 0,3–1,1 %, Мадагаскар 0,4–1,4 % и несколько ниже, чем в ЭМ из Китая – 1,5–3,5 % [44]. Согласно литературным данным [45], такие компоненты как: цитронеллол, гераниол, цитронеллил формиат, геранил пропионат, геранил изобутират, цитронеллил бутират, геранил бутират, присутствующие в анализируемом ЭМ, также имеют приятный запах розы и вносят вклад в формирование сбалансированного аромата ЭМ *P. graveolens*. Кроме того, входящий в состав эфирного масла компонент цитронеллол, служит фиксатором аромата, благодаря чему увеличивается стойкость ароматической композиции до 72 часов. Содержание свободного родинола в эфирном масле в условиях ЮБК составляет – 55,8 %, в то время как для импортируемого ЭМ [44] из различных географический районов приводятся следующие данные: Северная Африка – 39–62,5 %, о. Реюньон – 38–57 %, Мадагаскар – 32–56%, Китай – 139–59,5 %. Содержание общего родинола: ЮБК – 66,38 %, Северная Африка – 45–77,5 %, о. Реюньон – 48,5–76 %, Мадагаскар – 42,3–74 %, Китай – 48,5–76 %. Качество эфирного масла *P. graveolens* также обусловливается и количеством нежелательных компонентов, среди которых ментон, изоментон и 10-эпи-γ-эвдесмол. Установлено, что в составе изучаемого ЭМ ментон и 10-эпи-γ-эвдесмол отсутствовали. Массовая доля изоментона составила всего лишь 5 %, в то время как в ЭМ из Северной Африки допускается 4–8 %, из о. Реюньон – 5–10 %, Мадагаскар – 5–10%, Китая – 4–7 % [44]. Таким образом, ЭМ, полученное в условиях ЮБК, характеризуется достаточно высокими показателями качества для парфюмерной промышленности и может быть предложено в качестве альтернативы импортируемым маслам.

Использование ЭМ *P. graveolens* в пищевой промышленности представляет интерес для ароматизации продуктов. Большинство соединений ЭМ, таких как линалоол, оксиды розы, цитронеллаль, изоментон, цитронеллол, цитраль, цитронеллил формиат, цитронеллил ацетат, геранил ацетат, кариофиллен, цитронеллил пропионат, геранил пропионат, геранил изобутират, цитронеллил бутират, геранил бутират, фенилэтилтиглат, кариофиллен оксид, геранил тиглат (https://lekostyle.com/catalog/1/7.html) разрешены для использования в пищевых целях и имеют коммерческое значение. Они используются как изолированные соединения для производства пищевых ароматизаторов.

Таким образом, эфирное масло *P. graveolens*, полученное в условиях ЮБК, благодаря содержанию высокоактивных основных компонентов, и их широкому

спектру действия, подробно описанному в литературных источниках, представляет большой интерес для дальнейших исследований биологической активности и направлений практического использования в качестве аналога импортируемым ЭМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате текущего исследования установлено, что массовая доля ЭМ в свежесобранном сырье *P. graveolens*, выращенном в условиях открытого грунта ЮБК составила 0,22 % и 1,33 % – в пересчете на абсолютно сухую массу. Эфирное масло представлено 41 компонентом, 87,8 % из которых идентифицированы. На основании результатов хроматографического анализа установлено, что количественно преобладающими компонентами ЭМ изучаемого образца *P. graveolens* условиях ЮБК являются: терпеновые спирты: цитронеллол с массовой долей 39,67 %, гераниол – 13,61 % и терпеновый эфир – цитронеллил формиат – 10,58 %. Образец ЭМ характеризовался незначительным количеством нежелательных компонентов, таких как изоментон (5 %) и полным отсутствием 10-эпи-удесмола и ментона. По своему составу ЭМ, полученное в условиях ЮБК, близко к образцам, производимым из сырья, выращенном в Китае, Армении и Таджикистане. Полученные результаты позволяют рассматривать изучаемый образец *P. graveolens* для условий ЮБК как ценный сырьевой источник с целью получения натурального ЭМ отечественного производства для нужд фармацевтической, парфюмерно-косметической и пищевой отраслей промышленности.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено с использованием оборудования ЦКП «Физиолого-биохимические исследования растительных объектов» (ФБИ РО) ФГБУН "НБС-ННЦ" (г. Ялта, Россия).

Список литературы

1. Гутиева Н. М. Атлас сортов крупноцветковых пеларгоний, перспективных для субтропиков Российской Федерации. / Гутиева Н. М. – Сочи: ФИЦ СНЦ РАН, 2020. – 100 с.
2. Работягов В. Д. Эфирные масла ароматических растений. / Работягов В. Д., Палий А. Е., Курдюкова О. Н. – Симферополь: ИТ «Ариал», 2018. – 208 с.
3. Singh P. Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). / Singh P., Khan S., Kumar S., Rahman L. – 2017. – Vol. 129, No 1. – P. 35. DOI: 10.1007/s11240-016-1153-8
4. Peterson A. Extraction of essential oil from geranium (*Pelargonium graveolens*) with supercritical carbon dioxide / Peterson A., Machmudah S., Roy B. C., Goto M., Sasaki M., Hirose T. // Journal of Chemical Technology & Biotechnology. – 2006. – Vol. 81. – P. 167–172.
5. Филиппова А. А. Стандартизация эфирного масла герани / Филиппова А. А., Сженова Т. М., Головина Н. В., Гарнова Н. Ю., Боков Д. О. // Вестник московского университета. Сер. 2. Химия. – 2020. – Т. 61, № 3. – С. 249–257.
6. Lis-Balchin M. Geranium and pelargonium. The genera *Geranium* and *Pelargonium.* / Lis-Balchin M. – Taylor & Francis London: CRC Press, 2002. – P. 116–131; 147–165, 184–217.
7. Abe S. Suppression of neutrophil recruitment in mice by geranium essential oil / Abe S., Maruyama N., Hayama K., Inouye S., Oshima H., Yamaguchi H. // Mediators of Inflammation. – 2004. – Vol. 13. – P. 21–24. DOI: 10.1080/09629350410001664798

8. Ananthan R. Modulatory effects of *Gymnema montanum* leaf extract on alloxan-induced oxidative stress in Wistar rats. / Ananthan R., Latha M., Ramkumar K. M., Pari L., Baskar C., Narmatha BMV. // Nutrition. – 2004. – Vol. 20. – P. 280–285. DOI: 10.1016/j.nut.2003.11.016.
9. Maruyama N. Suppression of neutrophil accumulation in mice by cutaneous application of geranium essential oil / Maruyama N., Sekimoto Y., Ishibashi H., Inouye S., Oshima H., Yamaguchi H., Abe S. // Journal of Inflammation. – 2005. – Vol. 2. – P. 1–11. DOI: 10.1186/1476-9255-2-1.
10. Silva N. C. Biological properties of medicinal plants: a review of their antimicrobial activity / Silva N. C., Fernandes A. J. // Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases. – 2010. – Vol. 16. – P. 402–413.
11. Edwards-Jones V. The effect of essential oils on methicillin-resistant Staphylococcus aureus using a dressing model / Edwards-Jones V., Buck R., Shawcross S. G., Dawson M. M., Dunn K. // Burns. – 2004. – Vol. 30 (8). – P. 772–777
12. Carmen G. Antimicrobial and antifungal activity of Pelargonium roseum essential oils / Carmen G., Hancu G. // Advanced Pharmaceutical Bulletin. – 2014. – Vol. 4(2). – P. 511.
13. Giongo J. L. Antimycobacterial, antimicrobial and antifungal activities of geranium oil loaded nanocapsules / Giongo J. L., Vaucher R., Borin D. I., Correa M. S., Dos Santos V. B., Santos R. C., Boligon A. A., Athayde M. L., Bonez P. C., Rossi G. G., De Campus M. M. // International Journal of Pharmaceutical Sciences. – 2015. – Vol. 7. – P. 414–419.
14. Narnoliya L. K. The Phytochemical Composition, Biological Effects and Biotechnological Approaches to the Production of High-Value Essential Oil from Geranium / Narnoliya L. K., Jadaun J. S., Singh S. P. // In: Malik, S. (eds) Essential Oil Research. Springer, Cham. – 2019. Https://doi.org/10.1007/978-3-030-16546-8_12
15. Rath C. C. Antifungal activity of rose-scented geranium (Pelargonium species) essential oil and its six constituents / Rath C. C., Dash S. K., Rao B. R. // Journal of Essential Oil Bearing Plants. – 2005. – Vol. 8(2). – P. 218–222. DOI: 10.1080/0972060X.2005.10643449.
16. Rosato A. The inhibition of Candida species by selected essential oils and their synergism with amphotericin B. / Rosato A., Vitali C., Gallo D., Balenzano L., Mallamaci R. // Phytomedicine. – 2008. – Vol. 15. – P. 635–638.
17. Bouzenna H. *Pelargonium graveolens* L'Her. and *Artemisia arborescens* L.essential oils: chemical composition, antifungal activity against Rhizoctonia solani and insecticidal activity against Rhyzopertha dominica / Bouzenna H., Krichen L. // Natural Product Research. – 2013. – Vol. 27(9). – P. 841–846.
18. Naeini A. R. Antifungal activity of *Zataria multiflora*, *Pelargonium graveolens* and *Cuminum cyminum* essential oils towards three species of Malassezia isolated from patients with pityriasis versicolor / Naeini A. R., Nazeri M., Shokri H. // Journal of Medical Mycology. – 2011. – Vol. 21(2). – P. 87–91.
19. Shin S. Antifungal effects of herbal essential oils alone and in combination with ketoconazole against Trichophyton spp. / Shin S., Lim S. // Journal of Applied Microbiology. – 2004. – Vol. 97. – P. 1289–1296.
20. Lis-Balchin M. Aromatherapy science: A guide for healthcare professionals. / Lis-Balchin M. – London: Pharmaceutical Press, 2006. – P. 112–125.
21. Mohamed N. B. Essential oil of Algerian rose-scented geranium (*Pelargonium graveolens*): Chemical composition and antimicrobial activity against food spoilage pathogens / Mohamed N. B., Abdelkrim K., Fairouz S. // Food Control. – 2013. – Vol. 34 (1). – P. 208–213. Https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.03.045.
22. Seo S. M. Fumigant antitermitic activity of plant essential oils and components from Ajowan (Trachyspermumammi), Allspice (Pimentadioica), caraway (Carumcarvi), dill (Anethumgraveolens), Geranium (Pelargonium graveolens), and Litsea (Litseacubeba) oils against Japanese termite (Reticulitermessperatus Kolbe) / Seo S. M., Kim J., Lee S. G., Shin C. H., Shin S. C., Park I. K. // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2009. – Vol. 57. – P. 6596–602.
23. Sabzghabaee A. M. Clinical evaluation of the essential oil of Pelargonium graveolens for the treatment of denture stomatitis / Sabzghabaee A. M., Shirdare Z., Ebadian B., Aslani A., Ghannadi A. // Dental Research Journal. – 2011. – Suppl. 1. – P. 105–108.
24. Пономарева Е. И. Идентификация компонентов эфирного масла герани душистой (*Pelargonium graveolens* L'Hér.) методом тонкослойной хроматографии / Пономарева Е. И., Молохова Е. И., Холов А. К. // Химия в интересах устойчивого развития. – 2015. – Вып. 23. – С. 527–532.

25. Шевчук О. И. Методологические и методические аспекты интродукции и селекции ароматических и лекарственных растений / Под общ. ред., чл.-корр. РАН Плугатаря Ю.В. / Шевчук О. И., Исиков В. П., Логвиненко Л. А. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2022. – 140 с.
26. Adams R. P. Identification of essential oil compounds by gas chromatography/quadrupole mass spectroscopy. / Adams R. P. – Allured Pub. Corp., USA, 2007. – 804 p.
27. Ткачев А. В. Исследование летучих веществ растений / Ткачев А. В. – Новосибирск: «Офсет», 2008. – 969 с.
28. Марко Н. В. Аннотированный каталог ароматических и лекарственных растений коллекции Никитского ботанического сада / Под общ. ред., чл.-корр. РАН Плугатаря Ю. В. / Марко Н. В., Логвиненко Л. А., Шевчук О. М., Феськов С. А. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. – 176 с.
29. Азонов Д. А. Лечебные свойства Гераноретинола и эфирных масел. / Азонов Д. А., Холов А. К., Разыкова Г. В. – Ташкент: Изд.-во «Матбуот», 2011. – 156 с.
30. Babu K. G. Variation in essential oil composition of rose-scented geranium (Pelargonium sp.) distilled by different distillation techniques / Babu K. G., Kaul V. K. // Flavour and Fragrance Journal. – 2005. – Vol. 20, Iss. 2. – P. 222–231.
31. Холов А. К. Эфиромасличные растения и эфирные масла – источники биологически активных веществ (обзор литературы) / Холов А. К., Азонов Д. А. // Вестник Таджикского национального университета (научный журнал) серия естественных наук. – 2014. – Т. 1/3 (134). – С. 153–160.
32. Priscila L. Santos. Citronellol, a monoterpene alcohol with promising pharmacological activities – A systematic review / Priscila L. Santos, João Pedro S. C. F. Matos, Laurent Picot, Jackson R. G. S. Almeida, Jullyana S. S. Quintans, Lucindo J. Quintans-Júnior. // Food and Chemical Toxicology. – 2019. – Vol. 123. – P. 459–469. Https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.11.030.
33. Qneibi M. Effect of Geraniol and Citronellol Essential Oils on the Biophysical Gating Properties of AMPA Receptors / Qneibi M., Jaradat N., Emwas N. // Applied Sciences. – 2019. – Vol. 9 (21). – P. 4693. Https://doi.org/10.3390/app9214693
34. Jayaraj R. L. Effect of citronellol on oxidative stress, neuroinflammation and autophagy pathways in an in vivo model of Parkinson's disease / Jayaraj R. L., Azimullah S., Parekh K. A., Ojha S. K., Beiram R. // Heliyon. – 2022. – Vol. 3, 8(11). – E11434. DOI: 10.1016/j. heliyon. 022.e11434.
35. Gonzalez-Audino P. Comparative toxicity of oxygenated monoterpenoids in experimental hydroalcoholic lotions to permethrin-resistant adult head lice / Gonzalez-Audino P., Picollo M. I., Gallardo A., Toloza A., Vassena, C., MougabureCueto G. // Archives of Dermatological Research. – 2011. – Vol. 303. – P. 361–366. Https://doi.org/10.1007/s00403-010-1110-z.
36. Michaelakis A. Bioefficacy of acyclic monoterpenes and their saturated derivatives against the West Nile vector Culex pipiens / Michaelakis A., Vidali V. P., Papachristos D. P., Pitsinos E. N., Koliopoulos G., Couladouros E. A., Polissiou M. G., Kimbaris A. C. // Chemosphere. – 2014. – Vol. 96. – P. 74–80. Https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.07. 032.
37. Zore G. B. Evaluation of anti-Candida potential of geranium oil constituents against clinical isolates of Candida albicans differentially sensitive to fluconazole: inhibition of growth, dimorphism and sensitization / Zore G. B., Thakre A. D., Rathod V., Karuppayil S. M. // Mycoses. – 2011. – Vol. 54. – E99–e109. Https://doi.org/10.1111/j.1439-0507.2009. 01852.x.
38. Mączka W. One Hundred Faces of Geraniol / Mączka W., Wińska K., Grabarczyk M. // Molecules. – 2020. – Vol. 21, 25(14). – P. 3303. DOI: 10.3390/molecules25143303.
39. Sato K. Antimicrobial effect of vapours of geraniol, (R)-(−)-linalool, terpineol, γ-terpinene and 1,8-cineole on airborne microbes using an airwasher / Sato K., Krist S., Buchbauer G. // Flavour and Fragrance Journal. – 2007. – Vol. 22. – P. 435–437.
40. Papachristos D. P. The relationship between the chemical composition of three essential oils and their insecticidal activity against Acanthoscelides obtectus (Say) / Papachristos D. P., Karamanoli K. I., Stamopoulos D. C., Menkissoglu-Spiroudi U. // Pest Management Science. – 2004. – Vol. 60. – P. 514–520.
41. De Cássia da Silveira. A review on antiinflammatoryactivity of monoterpenes / De Cássia da Silveira, e.S.R. Andrade L. N., de Sousa D. P. // Molecules. – 2013. – Vol. 18. – P. 1227–1254.
42. Navarro M. C. Anisakis simplex s.l.: Larvicidal activity of various monoterpenic derivatives of natural origin against L3 larvae in vitro and in vivo / Navarro M. C., Noguera M. A., Romero M. C., Montilla M. P., González de Selgas J. M., Valero A. // Experimental Parasitology. – 2008. – Vol. 120. – P. 295–299.

43. Eisenacher M. Novel route to a fruitful mixture of terpene fragrances in particular phellandrene starting from natural feedstock geraniol using weak acidic boron based catalyst / Eisenacher M., Beschnitt S., Hölderich W. // Catalysis Communications. – 2012. – Vol. 26. – P. 214–217.
44. Межгосударственный стандарт ГОСТ ISO 4731-2014 "Масло эфирное гераниевое (Pelargonium x ssp.). Технические условия". – 12 с.
45. Исагулянц В. И. Синтетические душистые вещества (химия и технология). 2-е изд. / Исагулянц В. И. – Ереван.: Изд. АН Армянской ССР, 1946. – 831 с.

PHYTOCHEMICAL COMPOSITION OF ESSENTIAL OIL OF *PELARGONIUM GRAVEOLENS* L'HÉR. IN CULTURAL CONDITIONS ON THE SOUTHERN COAST OF THE CRIMEA

Sakhno T. M.

Federal State Funded Institution of Science "The Labour Red Banner Order Nikitsky Botanical Gardens – National Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Yalta, Republic of the Crimea, Russian Federation
E-mail: sahno_tanya@mail.ru

The article presents the results of a study of the mass fraction and component composition of essential oil obtained from the above-ground mass of rose-scent geranium (*Pelargonium graveolens* L'Hér.), grown in open ground conditions on the Southern Coast of the Crimea (SCC). *P. graveolens* is a species of the genus Pelargonium, a combined Geraniaceae, naturally produced in the Cape Floristic Region and widely cultivated throughout the world as a valuable ornamental, essential oil and medicinal plant.

The essential oil was obtained by hydrodistillation using Ginsberg apparatus. The component composition of essential oils was determined using a hardware and software complex based on a chromatograph “Chromatek-Crystal 5000.2” equipped with a mass spectrometric detector. Identification was performed based on a comparison of the obtained mass spectra with data from the NIST 14 library (National Institute of Standards and Technology, USA). “MS Search” spectrum search and identification program (USA). Retention indices were obtained by logarithmic interpolation of the presented retention times using the analytical standard of a mixture of reference n-alkanes “Sigma-Aldrich” (Switzerland) and analytical standards “Supelco” (USA). The mass fraction of components in the sample was determined by the percentage normalization method.

The mass fraction of EOs in freshly collected raw materials is 0.22 % and 1.33 % in terms of absolutely dry weight. The essential oil is represented by 41 components, 87.8 % of which have been identified. Based on the results of chromatographic analysis, it was established that the quantitatively predominant components of the EO of the studied sample of *P. graveolens* under the conditions of the SCC are: terpene alcohols: citronellol – 39.67 %, geraniol – 13.61 % and terpene ether – citronellyl formate 10.58 %. The EO sample was characterized by a small amount of undesirable components, such as isomenthone (5 %) and a complete absence of 10-epi-udesmol and menthone.

By this composition, the EO obtained under the conditions of the SCC is close to samples, produced from raw materials grown in China, Armenia and Tajikistan. The results obtained allow us to consider *P. graeolens* for the conditions of the SCC as a promising source of natural essential oils of domestic production for the needs of pharmaceutical, perfumery, cosmetics and food industries.

***Keywords*:** *Pelargonium graveolens* L'Hér., essential oil, mass fraction, component composition, Southern Coast of the Crimea.

References

1. Gutieva N. M. *Atlas of large-flowered pelargonium varieties that are promising for the subtropics of the Russian Federation*, 100 p. (Sochi: Federal Scientific Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2020). *(in Russ.)*.
2. Rabotyagov V. D., Paliy A. E., Kurdyukova O. N. *Essential oils of aromatic plants*. 208 p. (Simferopol: IT "Arial", 2018). *(in Russ.)*.
3. Singh P., Khan S., Kumar S., Rahman L. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, **129 (1)**, 35 (2017). DOI: 10.1007/s11240-016-1153-8
4. Peterson A., Machmudah S., Roy B. C., Goto M., Sasaki M., Hirose T. Extraction of essential oil from geranium (*Pelargonium graveolens*) with supercritical carbon dioxide. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, **81**, 167. (2006)
5. Filippova A. A., Szhenova T. M., Golovina N. V., Garnova N. Yu., Bokov D. O. Standardization of geranium essential oil. *Bulletin of Moscow University. Ser. 2. Chemistry*, **61(3)**, 249 (2020). *(in Russ.)*.
6. Lis-Balchin M., *Geranium and pelargonium. The genera Geranium and Pelargonium,* 116 (Taylor & Francis London: CRC Press, 2002.
7. Abe S., Maruyama N., Hayama K., Inouye S., Oshima H., Yamaguchi H. Suppression of neutrophil recruitment in mice by geranium essential oil. *Mediators of Inflammation,* **13**, 21 (2004). DOI: 10.1080/09629350410001664798
8. Ananthan R., Latha M., Ramkumar K. M., Pari L., Baskar C., Narmatha BMV. Modulatory effects of *Gymnema montanum* leaf extract on alloxan-induced oxidative stress in Wistar rats. *Nutrition*, **20**, 280 (2004). DOI: 10.1016/j.nut.2003.11.016.
9. Maruyama N., Sekimoto Y., Ishibashi H., Inouye S., Oshima H., Yamaguchi H., Abe S. Suppression of neutrophil accumulation in mice by cutaneous application of geranium essential oil. *Journal of Inflammation*, **2**, 1 (2005). DOI: 10.1186/1476-9255-2-1.
10. Silva N. C., Fernandes A. J. Biological properties of medicinal plants: a review of their antimicrobial activity. *Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases*, **16**, 402 (2010).
11. Edwards-Jones V., Buck R., Shawcross S. G., Dawson M. M., Dunn K. The effect of essential oils on methicillin-resistant Staphylococcus aureus using a dressing model. *Burns*, **30(8)**, 772 (2004).
12. Carmen G., Hancu G. Antimicrobial and antifungal activity of Pelargonium roseum essential oils. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, **4(2)**, 511. (2014).
13. Giongo J. L., Vaucher R., Borin D. I., Correa M. S., Dos Santos V. B., Santos R. C., Boligon A. A., Athayde M. L., Bonez P. C., Rossi G. G., De Campus M. M. Antimycobacterial, antimicrobial and antifungal activities of geranium oil loaded nanocapsules. *International Journal of Pharmaceutical Sciences*, **7**, 414 (2015).
14. Narnoliya L. K., Jadaun J. S., Singh, S. P. The Phytochemical Composition, Biological Effects and Biotechnological Approaches to the Production of High-Value Essential Oil from Geranium*. In: Malik, S. (eds) Essential Oil Research. Springer, Cham.,* 2019. Https://doi.org/10.1007/978-3-030-16546-8_12
15. Rath C. C., Dash S. K., Rao B. R. Antifungal activity of rose-scented geranium (Pelargonium species) essential oil and its six constituents. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, **8(2)**, 218 (2005). DOI: 10.1080/0972060X.2005.10643449.
16. Rosato A., Vitali C., Gallo D., Balenzano L., Mallamaci R. The inhibition of Candida species by selected essential oils and their synergism with amphotericin B. Phytomedicine, **15**, 635 (2008).

17. Bouzenna H., Krichen L. *Pelargonium graveolens* L'Her. and *Artemisia arborescens* L.essential oils: chemical composition, antifungal activity against Rhizoctonia solani and insecticidal activity against Rhyzopertha dominica. *Natural Product Research*, **27(9)**, 841 (2013).
18. Naeini A. R., Nazeri M., Shokri H. Antifungal activity of *Zataria multiflora*, *Pelargonium graveolens* and *Cuminum cyminum* essential oils towards three species of Malassezia isolated from patients with pityriasis versicolor. *Journal of Medical Mycology*, **21(2)**, 87 (2011).
19. Shin S., Lim S. Antifungal effects of herbal essential oils alone and in combination with ketoconazole against Trichophyton spp. *Journal of Applied Microbiology*, **97**, 1289 (2004).
20. Lis-Balchin M. *Aromatherapy science: A guide for healthcare professionals*, 112 (London: Pharmaceutical Press, 2006).
21. Mohamed N. B., Abdelkrim K., Fairouz S. Essential oil of Algerian rose-scented geranium (*Pelargonium graveolens*): Chemical composition and antimicrobial activity against food spoilage pathogens. *Food Control*, **34 (1)**, 208 (201). Https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.03.045.
22. Seo S. M., Kim J., Lee S. G., Shin C. H., Shin S. C., Park I. K. Fumigant antitermitic activity of plant essential oils and components from Ajowan (Trachyspermumammi), Allspice (Pimentadioica), caraway (Carumcarvi), dill (Anethumgraveolens), Geranium (Pelargonium graveolens), and Litsea (Litseacubeba) oils against Japanese termite (Reticulitermessperatus Kolbe). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **57**, 659 (2009).
23. Sabzghabaee A. M., Shirdare Z., Ebadian B., Aslani A., Ghannadi A. Clinical evaluation of the essential oil of Pelargonium graveolens for the treatment of denture stomatitis. *Dental Research Journal*, **1**, 105 (2011).
24. Ponomareva E. I., Molokhova E. I., Kholov A. K. Identification of components of essential oil of fragrant geranium (Pelargonium graveolens L'Hér.) by thin layer chromatography. *Chemistry for sustainable development*, **23**, 527 (2015). *(in Russ.)*.
25. Shevchuk O. I., Isikov V. P., Logvinenko L. A. *Methodological and methodological aspects of the introduction and selection of aromatic and medicinal plants* / Ed. editor, corresponding member RAS Plugatary Yu. V., 140 (Simferopol: IT "ARIAL", 2022). *(in Russ.)*.
26. Adams R. P. Identification of essential oil compounds by gas chromatography/quadrupole mass spectroscopy. – Allured Pub. Corp., USA, 2007. – 804 p.
27. Tkachev A.V. *Study of plant volatile substances*, 969 (Novosibirsk: "Ofset", 2008). *(in Russ.)*.
28. Marko N.V., Logvinenko L.A., Shevchuk O.M., Feskov S.A. *Annotated catalog of aromatic and medicinal plants from*, 176 (Simferopol: IT "ARIAL", 2018). *(in Russ.)*.
29. Azonov D. A., Kholov A. K., Razykova G. V. *The healing properties of Geranoretinol and essential oils*, 156 (Tashkent: Matbuot Publishing House, 2011). *(in Russ.)*.
30. Babu K. G., Kaul V. K. Variation in essential oil composition of rose-scented geranium (Pelargonium sp.) distilled by different distillation techniques. Flavour and Fragrance Journal, **20(2)**, 222 (2005).
31. Kholov A. K., Azonov D. A. Essential oil plants and essential oils – sources of biologically active substances (literature review). *Bulletin of the Tajik National University (scientific journal) series of natural sciences*, **1/3(134)**, 153 (2014). *(in Russ.)*.
32. Priscila L. Santos, João Pedro S. C. F. Matos, Laurent Picot, Jackson R. G. S. Almeida, Jullyana S. S. Quintans, Lucindo J. Quintans-Júnior. Citronellol, a monoterpene alcohol with promising pharmacological activities – A systematic review. *Food and Chemical Toxicolog*, **123**, 459 (2019). Https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.11.030.
33. Qneibi M., Jaradat N., Emwas N. Effect of Geraniol and Citronellol Essential Oils on the Biophysical Gating Properties of AMPA Receptors. Applied Sciences, **9(21)**, 4693. (2019). Https://doi.org/10.3390/app9214693
34. Jayaraj R. L., Azimullah S., Parekh K. A., Ojha S. K., Beiram R. Effect of citronellol on oxidative stress, neuroinflammation and autophagy pathways in an in vivo model of Parkinson's disease. *Heliyon*, **3;8(11)**, –E11434 (2022). DOI: 10.1016/j. heliyon. 022.e11434.
35. Gonzalez-Audino P., Picollo M.I., Gallardo A., Toloza A., Vassena, C., MougabureCueto G. Comparative toxicity of oxygenated monoterpenoids in experimental hydroalcoholic lotions to permethrin-resistant adult head lice. *Archives of Dermatological Research*, **303**, 361 (2011). Https://doi.org/10.1007/s00403-010-1110-z.

36. Michaelakis A., Vidali V. P., Papachristos D. P., Pitsinos E. N., Koliopoulos G., Couladouros E. A., Polissiou M. G., Kimbaris A. C. Bioefficacy of acyclic monoterpenes and their saturated derivatives against the West Nile vector Culex pipiens. *Chemosphere,* **96**, 74. (2014). Https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.07. 032.
37. Zore G. B., Thakre A. D., Rathod V., Karuppayil S. M. Evaluation of anti-Candida potential of geranium oil constituents against clinical isolates of Candida albicans differentially sensitive to fluconazole: inhibition of growth, dimorphism and sensitization. *Mycoses*, **4**, E99–e109 (2011). Https://doi.org/10.1111/j.1439-0507.2009. 01852.x.
38. Mączka W., Wińska K., Grabarczyk M. One Hundred Faces of Geraniol. *Molecules*, **21;25(14)**, 3303 (2020). DOI: 10.3390/molecules25143303.
39. Sato K., Krist S., Buchbauer G. Antimicrobial effect of vapours of geraniol, (R)-(−)-linalool, terpineol, γ-terpinene and 1,8-cineole on airborne microbes using an airwasher. *Flavour and Fragrance Journal*, **22**, 435 (2007).
40. Papachristos D. P., Karamanoli K. I., Stamopoulos D. C., Menkissoglu-Spiroudi U. The relationship between the chemical composition of three essential oils and their insecticidal activity against Acanthoscelides obtectus (Say). *Pest Management Science*, **60**, 514 (2004).
41. De Cássia da Silveira, e.S.R., Andrade, L. N.; de Sousa, D. P. A review on antiinflammatoryactivity of monoterpenes. *Molecules*, **18**, 1227 (2013).
42. Navarro M. C., Noguera M. A., Romero M. C., Montilla M. P., González de Selgas J. M., Valero A. Anisakis simplex s.l.: Larvicidal activity of various monoterpenic derivatives of natural origin against L3 larvae in vitro and in vivo. *Experimental Parasitology*, **120**, 295 (2008).
43. Eisenacher M., Beschnitt S., Hölderich W. Novel route to a fruitful mixture of terpene fragrances in particular phellandrene starting from natural feedstock geraniol using weak acidic boron based catalyst. *Catalysis Communications*, **26**, 214 (2012).
44. Interstate standard GOST ISO 4731-2014 *"Essential oil of geranium (Pelargonium x ssp.).* Technical conditions.", 12. *(in Russ.)*.
45. Isagulyants V. I. *Synthetic fragrances (chemistry and technology).* 2nd ed., 831 (Yerevan: Publishing house. Academy of Sciences of the Armenian SSR, 1946). *(in Russ.)*.

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 207–218.

УДК 612.08

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-207-218

АКТИВНОСТЬ ЗЕРКАЛЬНЫХ НЕЙРОНОВ У МОНОЛИНГВОВ И БИЛИНГВОВ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ И ПРОИЗНЕСЕНИИ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО И НЕЭМОЦИОНАЛЬНОГО СЛОВ НА РОДНОМ И НЕРОДНОМ ЯЗЫКАХ

Скрябина А. А., Светлик М. В., Бушов Ю. В.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Томск, Россия
E-mail: skryabina.anastasiya1994@yandex.ru

У мужчин и женщин (монолингвов и билингвов) исследовали активность зеркальных нейронов при наблюдении и произнесении эмоционального и неэмоционального слов на родном (русском) и неродном (английском) языках. При подготовке и выполнении речевых действий на родном и неродном языках обнаружены разнонаправленные изменения спектральной мощности мю-ритма на разных частотах. Предполагается, что «коммуникативные» зеркальные нейроны представляют собой неоднородную группу нейронов. Показано, что у монолингвов и билингвов при наблюдении и произнесении слов депрессия мю-ритма отмечается не только при выполнении речевого действия, но также на этапе его подготовки. Установлено, что билингвы (мужчины и женщины) отличаются от монолингвов (мужчин и женщин) более выраженной активацией «коммуникативных» зеркальных нейронов при наблюдении и произнесении эмоционального и неэмоционального слов на родном (русском) и неродном (английском) языках. Предполагается, что освоение второго языка сопровождается у билингвов ростом числа «коммуникативных» зеркальных нейронов за счет нейрогенеза.
Ключевые слова: зеркальные нейроны, спектральные характеристики ЭЭГ, мю-ритм, билингвизм, наблюдение и произнесение слов.

ВВЕДЕНИЕ

Знание иностранного языка (языков) зачастую является необходимым условием успешной карьеры современного человека в бизнесе, науке, образовании и других сферах деятельности. В то же время влияние многоязычия на психику человека изучено недостаточно. Считается, что важную роль в возникновении речи и языка в эволюции человека сыграли «коммуникативные» зеркальные нейроны [1]. Однако до сих пор неясно, какие изменения происходят в речевых структурах мозга и, в частности, в системе зеркальных нейронов при освоении второго языка.

Целью настоящего исследования явилось изучение активности зеркальных нейронов у монолингвов и билингвов при наблюдении и произнесении эмоционального и неэмоционального слов на родном (русском) и неродном (английском) языках.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для достижения поставленной цели исследовали спектральные характеристики мю-ритма ЭЭГ при наблюдении и произнесении эмоционального и неэмоционального слов на родном и неродном языках. В качестве маркера активации зеркальных нейронов использовалась депрессия мю-ритма в центральных отведениях ЭЭГ. В исследованиях приняли участие добровольцы – практически здоровые юноши и девушки (55 человек: среди них 10 монолингвов-юношей; 17 монолингвов-девушек; 9 билингвов-юношей; 19 билингвов-девушек) в возрасте от 18 до 29 лет – учащиеся Томского государственного университета.

Для отнесения добровольцев к одной из групп – монолингвы или билингвы – участники исследования проходили предварительное тестирование на определение уровня владения английским языком, разработанное британской языковой школой (https://www.europa-school.co.uk/language-level-test/).

Для подтверждения высокого уровня владения английским языком участники, отнесённые по результатам предварительного тестирования к группе билингвов, проходили тест «English Placement Test C1/C2», разработанный Экономическим университетом в Катовице (Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach) и направленный на установление владения английским языком на профессиональном уровне (https://www.ue.katowice.pl/fileadmin/_migrated/content_uploads/Placement_test_C1-C2_01.pdf).

К монолингвам относили участников, у которых уровень владения английским языком являлся элементарным A1 (elementary) или ниже среднего A2 (pre-intermediate), а к билингвам – тех, у кого уровень владения английским языком был выше среднего B2 (upper intermediate) или продвинутый C1 (advanced) по шкале CEFR (Common European Framework of Reference).

Для всех участников тип билингвизма являлся одинаковым: последовательный и искусственный. Все испытуемые дали информированное согласие на участие в данном исследовании, которое было одобрено Комиссией по биоэтике Биологического института Томского государственного университета.

В ходе предварительного обследования осуществлялся сбор анамнеза с целью исключения лиц, страдающих неврологическими (эпилепсия), сердечно-сосудистыми и другими заболеваниями. С помощью анкеты Аннет выявляли ведущую руку. По результатам анкетирования подсчитывали в баллах показатель мануального предпочтения (ПМП).

В сериях с наблюдением за произнесением слов испытуемый наблюдал за оператором, который беззвучно одними губами произносил слово, когда стрелка секундомера на экране монитора пересекала деления 0, 5, 10 и т. д. секунд. Всего стрелка секундомера совершала 5 оборотов. В сериях с произнесением слов испытуемый сам выполнял указанную деятельность. Серии чередовались следующим образом: наблюдение за произнесением слова «Раз» («Наблюдение Раз»), произнесение слова «Раз» («Произнесение Раз»), наблюдение за произнесением слова «Боль» («Наблюдение Боль»), произнесение слова «Боль» («Произнесение Боль»), наблюдение за произнесением слова «One»(«Наблюдение One»), произнесение слова «One» («Произнесение One»), наблюдение за

произнесением слова «Pain» («Наблюдение Pain»), произнесение слова «Pain» («Произнесение Pain»).

В ходе эксперимента оператор располагался за столом, на котором на расстоянии 40–50 см от него находился монитор компьютера. Испытуемый при этом находился спереди и справа на расстоянии 70–80 см от него и следил только за его губами. При произнесении слов испытуемый занимал место оператора и следил за движением стрелки секундомера на экране монитора. Перед выполнением деятельности и в процессе ее выполнения регистрировали ЭЭГ монополярно с помощью 24-канального энцефалографа-анализатора «Энцефалан-131-03» (фирма «Медиком», г. Таганрог, Россия) в лобных (F3, F4, Fz, F7, F8), центральных (C3, C4, Cz), височных (T3, T4, T5, T6), теменных (P3, P4, Pz) и затылочных (O1, O2) отведениях по системе «10–20 %». В качестве референтов использовали отведения A1 и A2. С целью исключения артефактов, связанных с движением глаз и мышечной активностью, регистрировали ЭОГ и ЭМГ мышц шеи и лба. При вводе аналоговых сигналов в ЭВМ частота дискретизации составляла 250 Гц. При обработке полученных данных подсчитывали оценки спектральной мощности мю-ритма на коротких отрезках записи ЭЭГ (1,5 с), лишенных артефактов: за 1,5 с (этап подготовки) до пересечения стрелкой секундомера соответствующего деления, сразу после указанного события (этап выполнения действия) и через 1,5 с после пересечения стрелкой деления (этап фон). Полученные значения спектральной мощности усредняли отдельно для каждого этапа деятельности, для каждой серии и по всем испытуемым. Для описания спектра мощности ЭЭГ применяли преобразование Фурье. Расчет спектра выполнен с аппроксимацией на целые гармоники (8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 Гц), что позволило существенно упростить последующую статистическую обработку и сравнительный анализ результатов. При статистической обработке данных использовали пакет «MatLab v6.5» и критерий Вилкоксона для связанных выборок.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты изучения мануального предпочтения показали, что в группах монолингвов и билингвов преобладают праворукие участники. Так, в группе монолингвов-юношей (n = 10) 9 человек оказались праворукими и 1 человек – амбидекстром, тогда как в группе монолингвов-девушек (n = 17) 14 оказались праворукими, 1 человек отличался выраженной леворукостью, 1 – слабой леворукостью и 1 человек оказался амбидекстром. Аналогичные результаты (преобладание праворуких участников) наблюдались и в группе билингвов. Так, в группе билингвов-юношей (n = 9) 8 человек оказались праворукими и 1 человек – амбидекстром, а в группе билингвов-девушек (n = 19) 16 человек оказались праворукими, 1 человек отличался выраженной леворукостью и 2 человека слабой леворукостью.

Изучение спектральных характеристик мю-ритма у мужчин (билингвов и монолингвов) при наблюдении и произнесении неэмоционального слова на родном и неродном языках позволило обнаружить у мужчин-билингвов более выраженную,

чем у мужчин-монолингвов, депрессию мю-ритма (табл. 1). Наиболее ярко это проявилось на этапе выполнения речевого действия.

Так, если у мужчин-билингвов при наблюдении за произнесением слова «РАЗ» отмечается статистически значимое по сравнению с фоном снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении С3 на частоте 8 Гц на 2,1 %, а на частоте 10 Гц повышение на 5,4 %, то у мужчин-монолингвов отмечается только повышение спектральной мощности мю-ритма в том же отведении на частоте 10 Гц на 5,6 %. Кроме этого, если при наблюдении за произнесением слова «РАЗ» у мужчин-билингвов отмечается снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении Cz на частоте 8 Гц на 22,7 %, на частоте 9 Гц на 45,5 %, на частоте 10 Гц на 15,5 %, то у мужчин-монолингвов в данном отведении статистически значимое изменение спектральной мощности отсутствует.

Если при произнесении слова «РАЗ» у мужчин-билингвов отмечается снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении Cz на частоте 13 Гц на 10,5 %, то у мужчин-монолингвов отмечается только повышение спектральной мощности мю-ритма в отведении С4 на частоте 11 Гц на 32,7 %.

Если у мужчин-билингвов при наблюдении за произнесением слова «ONE» статистически значимые изменения по сравнению с фоном спектральной мощности мю-ритма отсутствуют, то у мужчин-монолингвов отмечается повышение спектральной мощности мю-ритма в отведении С3 на частоте 10 Гц на 5 %.

Если у мужчин-билингвов при произнесении слова «ONE» отмечается статистически значимое по сравнению с фоном снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении Cz на частоте 13 Гц на 13,2 %, то у мужчин-монолингвов отмечается повышение спектральной мощности мю-ритма в том же отведении на той же частоте на 11,2 %.

Изменение спектральной мощности мю-ритма у мужчин (монолингвов и билингвов) при наблюдении и произнесении неэмоционального слова на родном (русском) и неродном (английском) языках на этапе выполнения речевого действия по сравнению с фоном представлены в таблице 1.

Изучение спектральных характеристик мю-ритма у женщин (монолингвов и билингвов) при наблюдении и произнесении неэмоционального слова на родном и неродном языках на этапе выполнения речевого действия по сравнению с фоном позволило обнаружить ту же закономерность: более выраженную депрессию мю-ритма у женщин-билингвов по сравнению с монолингвами (табл. 2).

Так, если у женщин-билингвов при наблюдении за произнесением слова «РАЗ» отмечается статистически значимое по сравнению с фоном снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении С3 на частоте 8 Гц на 17,1 %, на частоте 9 Гц на 23,7 %, на частоте 14 Гц на 11,2 %, а в отведении С4 на частоте 9 Гц на 10,2 %, то у женщин-монолингвов отмечается снижение спектральной мощности мю-ритма только в отведении С3 и только на частоте 13 Гц на 12 %.

Если у женщин-билингвов при произнесении слова «РАЗ» отмечается снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении С3 на частоте 8 Гц на 23,2 % и повышение спектральной мощности этого ритма в том же отведении на частоте 12 Гц на 18,7 %, а на частоте 13 Гц – на 29,3 %, то у женщин-монолингвов

отмечается только повышение спектральной мощности мю-ритма в отведении C3 на частоте 8 Гц на 8,9 %, в отведении Cz на частоте 9 Гц на 13,7 %, а в отведении C4 на частоте 8 Гц на 13,6 %, на частоте 9 Гц на 20,4% (табл. 2).

Таблица 1

Изменение спектральной мощности мю-ритма у мужчин (монолингвов и билингвов) при наблюдении и произнесении неэмоционального слова на родном (русском) и неродном (английском) языках на этапе выполнения речевого действия по сравнению с фоном

Серия	Отведение	Частота, Гц	Монолингвы-мужчины		Билингвы-мужчины	
			Изменение спектральной мощности, %			
			↑	↓	↑	↓
Наблюдение за произнесением слова «РАЗ»	C3	8	–	–	–	2,1
		10	5,6	–	5,4	–
	Cz	8	–	–	–	22,7
		9	–	–	–	45,5
		10	–	–	–	15,5
Произнесение слова «РАЗ»	Cz	13	–	–	–	10,5
	C4	11	32,7	–	–	–
Наблюдение за произнесением слова «ONE»	C3	10	5	–	–	–
Произнесение слова «ONE»	Cz	10	–	–	–	–
		13	11,2	–	–	13,2

Примечания:

В таблице приведены только статистически значимые изменения спектральной мощности мю-ритма при $p < 0,05$.

↑ – увеличение спектральной мощности; ↓ – снижение спектральной мощности.

Если у женщин-билингвов при наблюдении за произнесением слова «ONE» отмечается статистически значимое по сравнению с фоном снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении C3 на частоте 9 Гц на 17,9 % , а на частоте 12 Гц повышение на 11,4 %, в отведении Cz на частоте 9 Гц снижение на 14,6 %, а в отведении C4 – снижение на 24,5 %, то у женщин-монолингвов отмечается снижение спектральной мощности мю-ритма только в отведении Cz на частотах 9 и 10 Гц на 0,4 и 22,4 %, соответственно.

Однако при произнесении слова «ONE» у женщин-билингвов отмечается статистически значимое по сравнению с фоном повышение спектральной мощности мю-ритма в отведении C4 на частоте 12 Гц на 6,4 %, в то время как у женщин-монолингвов изменения спектральной мощности мю-ритма в центральных отведениях ЭЭГ отсутствуют (табл. 2).

Изменение спектральной мощности мю-ритма у женщин (монолингвов и билингвов) при наблюдении и произнесении неэмоционального слова на родном (русском) и неродном (английском) языках на этапе выполнения речевого действия по сравнению с фоном представлены в таблице 2.

Таблица 2

Изменение спектральной мощности мю-ритма у женщин (монолингвов и билингвов) при наблюдении и произнесении неэмоционального слова на родном (русском) и неродном (английском) языках на этапе выполнения речевого действия по сравнению с фоном

Серия	Отведение	Частота, Гц	Монолингвы-женщины		Билингвы-женщины	
			Изменение спектральной мощности, %			
			↑	↓	↑	↓
Наблюдение за произнесением слова «РАЗ»	C3	8	–	–	–	17,1
		9	–	–	–	23,7
		13	–	12	–	
		14	–	–	–	11,2
	C4	9	–	–	–	10,2
Произнесение слова «РАЗ»	C3	8	8,9	–	–	23,2
		12	–	–	18,7	–
		13	–	–	29,3	–
	Cz	9	13,7	–	–	–
	C4	8	13,6	–	–	–
		9	20,4	–	–	–
Наблюдение за произнесением слова «ONE»	C3	9	–	–	–	17,9
		12	–	–	11,4	–
	Cz	9	–	0,4	–	14,6
		10	–	22,4	–	–
	C4	9	–	–	–	24,5
Произнесение слова «ONE»	C4	12	–	–	6,4	–

Примечания:

В таблице приведены только статистически значимые изменения спектральной мощности мю-ритма при $p < 0,05$.

↑ – увеличение спектральной мощности; ↓ – снижение спектральной мощности.

Более выраженное снижение спектральной мощности мю-ритма у билингвов (мужчин и женщин) по сравнению с монолингвами (мужчинами и женщинами) обнаружено также при наблюдении и произнесении эмоционального слова на родном и неродном языках. Наиболее ярко эти различия проявились на этапе подготовки к речевому действию.

Так, если у мужчин-билингвов при наблюдении за произнесением слова «PAIN» отмечается статистически значимое по сравнению с фоном снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении Cz на частоте 11 Гц на 6,2 %, при произнесении того же слова – в отведении C3 на частотах 8 и 11 Гц на 13,1 и 32,6 %, соответственно, а в отведении C4 на частоте 14 Гц – на 27,8 %, то у мужчин-монолингвов снижение спектральной мощности мю-ритма наблюдается только при произнесении слова «PAIN» и только в отведении Cz на частоте 13 Гц на 27 % (табл. 3).

Изменение спектральной мощности мю-ритма у мужчин (монолингвов и билингвов) при наблюдении и произнесении эмоционального слова на родном (русском) и неродном (английском) языках на этапе подготовки к речевому действию по сравнению с фоном представлены в таблице 3.

Таблица 3

Изменение спектральной мощности мю-ритма у мужчин (монолингвов и билингвов) при наблюдении и произнесении эмоционального слова на родном (русском) и неродном (английском) языках на этапе подготовки к речевому действию по сравнению с фоном

Серия	Отведение	Частота, Гц	Монолингвы-мужчины		Билингвы-мужчины	
			Изменение спектральной мощности, %			
			↑	↓	↑	↓
Наблюдение за произнесением слова «БОЛЬ»	Cz	9	–	5,0	–	–
	C4	10	–	–	36,1	–
Произнесение слова «БОЛЬ»	C4	13	–	5,1	–	–
Наблюдение за произнесением слова «PAIN»	Cz	11	–	–	–	6,2
Произнесение слова «PAIN»	C3	8	–	–	–	13,1
		11	–	–	–	32,6
	Cz	13	–	27	–	–
	C4	14	–	–	–	27,8

Примечания:

В таблице приведены только статистически значимые изменения спектральной мощности мю-ритма при $p < 0,05$.

↑ – увеличение спектральной мощности; ↓ – снижение спектральной мощности.

Если у женщин-билингвов при наблюдении за произнесением слова «БОЛЬ» отмечается статистически значимое по сравнению с фоном снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении Cz на частоте 13 Гц на 9,9 %, в отведении C4 на частоте 8 Гц на 19,1 %, а при произнесении слова «БОЛЬ» отмечается снижение

спектральной мощности мю-ритма в отведении C3 на частотах 9, 10 и 14 Гц, соответственно на 5,3 %, 19,7 % и 26,3 %, и в отведении Cz на частоте 9 Гц – на 9,6 %, а также повышение в отведении C3 на частоте 12 Гц на 38,2 % и в отведении C4 на частоте 12 Гц – на 0,003 %, то у женщин-монолингвов статистически значимые по сравнению с фоном изменения спектральной мощности мю-ритма при наблюдении и произнесении слова «БОЛЬ» отсутствуют.

При наблюдении за произнесением слова «PAIN» статистически значимые по сравнению с фоном изменения спектральной мощности мю-ритма у женщин (билингвов и монолингвов) не выявлены.

Если при произнесении слова «PAIN» у женщин-билингвов отмечается статистически значимое по сравнению с фоном снижение спектральной мощности мю-ритма в отведении C3 на частотах 9 и 14 Гц на 33,4 % и 15,3 %, соответственно и повышение на частоте 12 Гц на 6,8 %, то у женщин-монолингвов отмечается статистически значимое по сравнению с фоном повышение спектральной мощности мю-ритма в отведении Cz на частоте 13 Гц на 13,5 % , а в отведении C4 – на частоте 11 Гц на 12,9 %. Снижение спектральной мощности на 3,3 % отмечается у них только в отведении Cz на частоте 8 Гц (табл. 4).

Изменение спектральной мощности мю-ритма у женщин (монолингвов и билингвов) при наблюдении и произнесении эмоционального слова на родном (русском) и неродном (английском) языках на этапе подготовки к речевому действию по сравнению с фоном представлены в таблице 4.

Таким образом, проведённые исследования показали, что наблюдение и произнесение эмоционального и неэмоционального слов у мужчин (монолингвов и билингвов) и женщин (монолингвов и билингвов) сопровождается разнонаправленными изменениями спектральной мощности мю-ритма на разных частотах.

Вероятно, это свидетельствует о том, что зеркальные нейроны и, в частности, «коммуникативные», представляют собой неоднородную группу нейронов. На это указывают и некоторые литературные данные. В частности, некоторые исследователи [2] выделяют в мю-ритме два поддиапазона (8–10 и 10–12 Гц), которые, по их мнению, функционально различаются. По данным этих авторов низкочастотная составляющая мю-ритма (8–10 Гц) проявляет «неспецифическую» десинхронизацию, регистрируемую при разных движениях, в то время как высокочастотная составляющая (10–12 Гц) проявляет «специфическую» десинхронизацию, которая отчетливо различается при движениях пальцев руки и ступни.

Согласно имеющимся данным, снижение спектральной мощности мю-ритма является характерным индикатором активации зеркальных нейронов [3–6]. Поэтому обнаруженное у билингвов (мужчин и женщин) более выраженное по сравнению с монолингвами (мужчинами и женщинами) снижение спектральной мощности мю-ритма при наблюдении и произнесении эмоционального и неэмоционального слов на родном и неродном языках указывает на более значительную активацию «коммуникативных» зеркальных нейронов у билингвов по сравнению с монолингвами. Это проявляется в том, что снижение спектральной мощности этого

ритма наблюдается у билингвов (мужчин и женщин) на разных частотах и в разных отведениях ЭЭГ, тогда как у монолингвов (мужчин и женщин) снижение спектральной мощности мю-ритма либо незначительное, либо оно отсутствует.

Таблица 4

Изменение спектральной мощности мю-ритма у женщин (монолингвов и билингвов) при наблюдении и произнесении эмоционального слова на родном (русском) и неродном (английском) языках на этапе подготовки к речевому действию по сравнению с фоном

Серия	Отведение	Частота, Гц	Монолингвы-женщины		Билингвы-женщины	
			Изменение спектральной мощности, %			
			↑	↓	↑	↓
Наблюдение за произнесением слова «БОЛЬ»	Cz	13	–	–	–	9,9
	C4	8	–	–	–	19,1
Произнесение слова «БОЛЬ»	C3	9	–	–	–	5,3
		10	–	–	–	19,7
		12	–	–	38,2	–
		14	–	–	–	26,3
	Cz	9	–	–	–	9,6
	C4	12	–	–	0,003	–
Произнесение слова «PAIN»	C3	9	–	–	–	33,4
		12	–	–	6,8	–
		14	–	–	–	15,3
	Cz	8	–	3,3	–	–
		13	13,5	–	–	–
	C4	11	12,9	–	–	–

Примечания:

В таблице приведены только статистически значимые изменения спектральной мощности мю-ритма при $p < 0,05$.

↑ – увеличение спектральной мощности; ↓ – снижение спектральной мощности.

Вероятно, это связано с тем, что освоение второго языка сопровождается ростом числа «коммуникативных» зеркальных нейронов в соответствующих зонах коры за счет нейрогенеза. В пользу этого предположения свидетельствуют и некоторые литературные данные. В частности, установлено [7], что через три месяца интенсивных занятий у курсантов (будущих военных переводчиков) достоверно увеличилась толщина коры в нижней лобной извилине, верхней лобной извилине, верхней височной извилине и средней лобной извилине левого полушария. К тому же, увеличился объем гиппокампа, причем, сильнее всего у тех

курсантов, которые достигли наибольших результатов в освоении иностранного языка.

Проведённые исследования также показали, что наблюдение за произнесением слов и произнесение слов сопровождается у монолингвов и билингвов (мужчин и женщин) депрессией мю-ритма не только при выполнении речевого действия, но и на этапе его подготовки.

Эти данные свидетельствуют о том, что у монолингвов и билингвов «коммуникативные» зеркальные нейроны активируются не только при выполнении речевого действия, но также на этапе его подготовки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведённые исследования показали, что наблюдение за произнесением и произнесение эмоционального и неэмоционального слов у мужчин (монолингвов и билингвов) и женщин (монолингвов и билингвов) сопровождается разнонаправленными изменениями спектральной мощности мю-ритма на разных частотах.

Вероятно, это свидетельствует о том, что «коммуникативные» зеркальные нейроны представляют собой неоднородную группу нейронов.

Установлено, что у монолингвов и билингвов (мужчин и женщин) депрессия мю-ритма, свидетельствующая об активации «коммуникативных» зеркальных нейронов, отмечается не только при выполнении речевого действия, но также на этапе его подготовки. Оказалось, что наблюдение за произнесением и произнесение эмоционального и неэмоционального слов на родном (русском) и неродном (английском) языках сопровождается у билингвов (мужчин и женщин) более выраженной по сравнению с монолингвами (мужчинами и женщинами) активацией «коммуникативных» зеркальных нейронов.

Последнее проявляется в том, что снижение спектральной мощности мю-ритма наблюдается у билингвов на разных частотах и в разных отведениях ЭЭГ, тогда как у монолингвов снижение спектральной мощности мю-ритма либо незначительное, либо оно отсутствует.

Предполагается, что обнаруженные межгрупповые различия активации зеркальных нейронов обусловлены тем, что освоение второго языка сопровождается у билингвов ростом числа «коммуникативных» зеркальных нейронов в соответствующих зонах коры за счет нейрогенеза.

Список литературы

1. Rizzolatti J. Mirrors in the brain: On the mechanisms of joint action and empathy / J. Rizzolatti, K. Sinigaglia. – M. : Languages of Slavic cultures, 2012. – 208 p.
2. Pfurtscheller G. Functional dissociation of lower and upper frequency mu rhythms in relation to voluntary limb movement / G. Pfurtscheller, C. Neuper, G. Krausz // Clin. Neurophysiol. – 2000. – Vol. 111 – P. 1873–1876.
3. Rizzolatti G. The mirror-neuron system / G. Rizzolatti, L. Craighero // Annual Review of Neuroscience Volume. – 2004. – № 27. – P. 169–192.
4. Аликина М. А. Амплитудно-частотные, топографические, возрастные особенности и функциональное значение сенсомоторного ритма ЭЭГ / М. А. Аликина, С. А. Махин,

В. Б. Павленко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология и химия. – 2016. – Т. 2, № 2. – С. 3–24.
5. Farina E. Mirror neurons and their relationship with neurodegenerative disorders / E. Farina, F. Borgnis, T. Pozzo // J. of Neurosci. Research. – 2020. – Vol. 98, № 6. – P. 1070–1094.
6. Emre H. Ayna nöron sistemi ve fonksiyonlarina klinik yaklaşim / H. Emre, C. Canberk, K. Ferhat, Y. Ertan // Journal of Istanbul Faculty of Medicine. – 2021. – Т. 84, № 3. – P. 430–438.
7. Mårtensson J. Growth of language-related brain areas after foreign language learning / J. Mårtensson, J. Eriksson, N. C. Bodammer, M. Lindgren, M. Johansson, L. Nyberg, M. Lövdén // Neuroimage. – 2012. – Vol. 63, № 1. – P. 240–244. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.06.043

ACTIVITY OF MIRROR NEURONS IN MONOOLINGUAL AND BILINGUAL PEOPLE WHEN OBSERVING AND PRONUNCIZING EMOTIONAL AND NONEMOTIONAL WORDS IN THE NATIVE AND NATIVE LANGUAGES

Skryabina A. A., Svetlik M. V., Bushov Yu. V.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Tomsk State University", Tomsk, Russia
E-mail: skryabina.anastasiya1994@yandex.ru

Introduction. Studying the influence of multilingualism on the human psyche is an urgent problem in physiology. It is believed that “communicative” mirror neurons played an important role in the emergence of speech and language in humans. However, it is still unclear what changes occur in the speech structures of the brain and, in particular, in the mirror neuron system during the acquisition of a second language. The purpose of this study was to study the activity of mirror neurons in monolinguals and bilinguals when observing and pronouncing emotional and non-emotional words in their native (Russian) and non-native (English) languages.

Methods. The study involved boys and girls: monolinguals with English proficiency level A1 (elementary) or A2 (pre-intermediate) on the CEFR (Common European Framework of Reference) scale and bilinguals with English proficiency level B2 (upper intermediate) or C1 (advanced)). Type of bilingualism: sequential and artificial. Participants in the experiment either silently uttered emotional (“БОЛЬ” or “PAIN”) and non-emotional words (“РАЗ” or “ONE”) in their native (Russian) and non-native (English) languages with their lips alone, or watched an operator who pronounced those the same words. The words were pronounced by the operator or the subject at the moments when the stopwatch hand on the monitor screen passed through the divisions of 0, 5, 10, etc. seconds. At the same time, the stopwatch hand made 5 revolutions. Before performing the activity and during its implementation, the participants’ EEG was recorded monopolarly using a 24-channel encephalograph-analyzer “Encephalan-131-03” in the frontal (F3, F4, Fz, F7, F8), central (C3, C4, Cz), temporal (T3, T4, T5, T6), parietal (P3, P4, Pz) and occipital (O1, O2) leads according to the “10–20 %” system. Leads A1 and A2 were used as referents. When processing the data obtained, estimates of spectral power were calculated in short segments of the EEG recording (1.5 s), devoid of artifacts: 1.5 s (preparation stage) before the stopwatch hand crosses the corresponding division,

immediately after the specified event (action execution stage) and after 1.5 s after the arrow crosses the division (background stage). The obtained spectral power values were averaged separately for each stage of activity, for each series and for all subjects. For statistical data processing, the MatLab v6.5 package and the Wilcoxon test for related samples were used.

Results. When preparing and performing speech actions in their native and non-native languages, monolinguals and bilinguals showed multidirectional changes in the spectral power of the mu rhythm at different frequencies. It has been shown that in monolinguals and bilinguals, when observing and pronouncing words, depression of the mu rhythm is observed not only during the performance of a speech act, but also at the stage of its preparation. In bilinguals (men and women), a more pronounced decrease in the spectral power of the mu rhythm was found compared to monolinguals (men and women) when observing and pronouncing emotional and unemotional words in their native and non-native languages, which indicates a more significant activation of "communicative" mirror neurons in bilinguals. This is manifested in the fact that a decrease in the spectral power of this rhythm is observed in bilinguals at different frequencies and in different EEG leads, while in monolinguals the decrease in the spectral power of the mu rhythm is either insignificant or absent.

Conclusion. It is assumed that the more pronounced activation of "communicative" mirror neurons in bilinguals when observing and pronouncing words in their native (Russian) and non-native (English) languages is due to the fact that the acquisition of a non-native language is accompanied by an increase in the number of "communicative" mirror neurons in bilinguals in the corresponding zones of the cortex due to neurogenesis.

***Keywords*:** mirror neurons, spectral characteristics of EEG, mu rhythm, bilingualism, observation and pronunciation of words.

References

1. Rizzolatti J. and Sinigaglia K., *Mirrors in the brain: On the mechanisms of joint action and empathy*, 208 p. (Languages of Slavic cultures, Moscow, 2012).
2. Pfurtscheller G., Neuper C. and Krausz G., Functional dissociation of lower and upper frequency mu rhythms in relation to voluntary limb movement, *Clin. Neurophysiol.,* **111 (10)**, 1873 (2000).
3. Rizzolatti G. and Craighero L. The mirror-neuron system, *Annual Review of Neuroscience,* **27**, 169 (2004).
4. Alikina M. A., Makhin S. A. and Pavlenko V. B., EEG sensorimotor rhythm: amplitude, frequency, topography, age-dependency and functional meaning, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology and chemistry*, **2 (2)**, 3 (2016).
5. Farina E., Borgnis F. and Pozzo T. Mirror neurons and their relationship with neurodegenerative disorders, *J. of Neurosci. Research,* **98 (6),** 1070 (2020).
6. Emre H., Canberk C., Ferhat K. and Ertan Y. Ayna nöron sistemi ve fonksiyonlarina klinik yaklaşim, *Journal of Istanbul Faculty of Medicine*, **84 (3)**, 430 (2021).
7. Mårtensson J., Eriksson J., Bodammer N. C., Lindgren M., Johansson M., Nyberg L. and Lövdén M. Growth of language-related brain areas after foreign language learning, *Neuroimage,* **63 (1),** 240 (2012). doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.06.043

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 219–229.

УДК (57.017.64+57.084.5):582.29
DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-219-229

ОПТИМИЗАЦИЯ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД И УСЛОВИЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ *IN VITRO* ЭВЕРНИИ СЛИВОВОЙ *EVERNIA PRUNASTRI* (L.) ACH.

***Теплицкая Л. М.*[1], *Гончаров М. А.*[1], *Семенова Е. Ф.*[1,2], *Черняков Д. И.*[1], *Шатунова С. В.*[1], *Калаева Е. А.*[3]**

[1]Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Россия
[2]Институт фундаментальной медицины и здоровьесбережения ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия
[3]Медико-биологический факультет ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» Минобрнауки России, Воронеж, Россия
E-mail: sef1957@mail.ru

Исследование роста и развития культуры *E. prunastri* в контролируемых условиях выявило ряд закономерностей на морфометрическом и биохимическом уровне. Для подбора оптимальных условий выращивания *in vitro* природных изолятов было принято использование различных вариантов питательной среды Мурасиге-Скуга с добавлением спиртовых экстрактов или водных отваров коры из растений, на которых лишайник произрастает в естественных условиях (дуб, яблоня, терн, груша). Установлены ростовые показатели изолятов *E. prunastri*; изучено влияние условий культивирования на развитие лишайника *in vitro* и продукцию биологически активных фармакологически ценных веществ. Показано, что лучшей средой для накопления биомассы и биологически активных соединений (лишайниковых кислот, хлорофилла) является вариант Мурасиге-Скуга с добавлением отвара коры яблони при выращивании на рассеянном свету (1000–1500 люкс) с 16-тичасовым фотопериодом, температуре 18±1 °С и влажности 90±5 %.
Ключевые слова: интродукция, культура в контролируемых условиях, подбор питательных сред, *Evernia prunastri*, биологически активные соединения.

ВВЕДЕНИЕ

Лишайники с древних времен применяются в качестве лекарственных средств и включены в фармакопеи различных стран (Государственная Фармакопея Российской Федерации, Британская Фармакопея и др.). По современной классификации лишайники относятся к лекарственным растениям, содержащим простые фенолы С6-С1-ряда, оказывающие антисептическое, противоожоговое, регенерирующее действие [1]. В качестве лекарственного сырья для получения натриевой соли кислоты усниновой, имеющей флороглюциновую природу, используют собранные в течение года на почве или стволах различных деревьев и высушенные слоевища следующих видов лишайников: эверния мезоморфная (э. кустовидная) *Evernia mesomorpha*

Nyl. = *E. thamnoides* (Flot.) Arn., э. несоредиозная *E. esorediosa* (Muell. Arg.) Du Rietz., э. сливовая (лентец крупинчатый) *E. prunastri* Ach. – сем. Уснеевые *Usneaceae*.

Качество сырья официнальных видов лишайников в Российской Федерации регламентирует ФС 42-766-73, ГОСТ 13727-68, ГОСТ 21565-76 [2]. Сырье и извлечения из него применяют как возбуждающее аппетит, обволакивающее, противовоспалительное и гомеопатическое средство. Слоевища входят в состав грудных и желудочных сборов (чаев), биологически активных добавок к пище [3].

В настоящее время наиболее востребованным сырьем являются высушенные слоевища кустистых лишайников Лентеца крупинчатого или Эвернии сливовой *E. prunastri* Ach. (сем. Уснеевые Usneaceae). При этом популяции данного вида в Крыму ограничены и сборы этого растения существенно сокращают природные ресурсы [4]. Проведенный нами контент-анализ источников научной литературы и собственные исследования свидетельствуют о том, что из 15 фармакопейных видов на Крымском полуострове встречаются некоторые, относящиеся к 3 семействам: *Parmeliaceae, Cladoniaceae, Usneaceae*. Наиболее часто встречающимся видом является *Evernia prunastri* (на стволах дуба пушистого и клена Стевена, на коре сосны крымской и терна (син. терновник, слива колючая) [5].

Целью настоящего исследования явились сравнительная оценка природных изолятов *E. prunastri* и определение возможностей их выращивания в культуре in vitro в связи с разработкой инновационной лихенотехнологии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования служили образцы «дубового мха» - Лентеца крупинчатого или Эвернии сливовой *E. prunastri* Ach. (сем. Уснеевые *Usneaceae*), собранные в естественных местообитаниях Крымского полуострова (рис. 1): Пионерское Симферопольского района (яблоня), окрестности Бахчисарая (терн), Сатера Алуштинского района (груша), окрестности Балаклавы (сосна), окрестности Белогорска (дуб).

Рис. 1. Лентец крупинчатый или Эверния сливовая *Evernia prunastri* Ach. (сем. Уснеевые *Usneaceae*), собранные в окрестностях Пионерского Симферопольского района Республики Крым.

После поверхностной обработки в парах этилового спирта фрагменты лишайника размером 1 $см^2$ для первичного скрининга (индикации наличия или отсутствия посторонней микрофлоры, жизнеспособности и накопления биомассы) помещали в 10-кратной повторности на фильтровальную бумагу в чашках Петри в жидкую модифицированную среду Хогланда, содержащую только минеральные компоненты [6]. Влажность в процессе культивирования поддерживалась на уровне 90±5 % («влажная камера») при различных условиях освещенности: полной темноте, рассеянном свете (1000–1500 люкс) и естественном освещении (2500–3000 люкс); 16-часовом фотопериоде и температуре 18±1 °С. На следующем этапе высокоактивный изолят выращивали в 9 модификациях среды Мурасиге-Скуга (МС) [7]: МС (контроль); МС + отвар терна; МС+ спиртовый экстракт терна; МС + отвар дуба; МС + спиртовый экстракт дуба; МС + отвар яблони; МС + спиртовый экстракт яблони; МС + отвар груши; МС + спиртовый экстракт груши. Отвары и экстракты коры дуба, яблони, терна, груши готовили согласно Государственной Фармакопее РФ [8] и добавляли к основной среде в количестве 1 % (по объему).

Выделение ароматообразующих соединений осуществляли методами экстракции и дистилляции [9]. Для количественного определения эфирного масла и воска использовали методику, предложенную в European Pharmacopoeia [10].

Определение химического состава и пробоподготовку [11, 12] осуществляли общепринятыми методиками: обезжиренного остатка в аппаратах Сокслета – содержание жира [13]; титрования в аппарате Кьельдаля – содержание протеина [14]; содержание клетчатки – по Геннебергу и Штоману в модификации ЦИНАО [15]. Содержание воды, золы определяли по ГФ XV (2023), лишайниковых кислот с использованием в качестве экстрагента ацетона – по Касьяновой и Корчикову [16]. Все измерения проведены в пятикратных аналитических повторностях.

Для количественного определения хлорофилла и каротиноидов в сырье использовали спектрофотометрический метод. Для этого 5 г (точная навеска, степень измельчения – 0.5 мм) помещали в колбу вместимостью 100 мл и экстрагировали с 25 мл экстрагента: гексан х.ч. и этиловый спирт 95 % при перемешивании 1.5 ч. Затем фильтровали через бумажный фильтр. Отбирали 1 мл извлечения в мерную колбу на 25 мл и доводили раствором до метки. Определяли оптическую плотность на спектрофотометре СФ-104 (спектральный диапазон длин волн, нм 190–1100; видимый диапазон – вольфрамовая галогеновая лампа, УФ-диапазон – дейтериевая лампа) при длине волны 450 нм (для каротина) и 664 нм (для хлорофилла), в кювете с толщиной слоя 10 мм относительно экстрагента: гексана – для каротина, этилового спирта – для хлорофилла. В качестве раствора сравнения использовали воду очищенную [17–19].

Математическую обработку данных проводили с помощью статистической программы STATISTICA 10.0 при уровне значимости $\alpha<0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показал первичный скрининг эксплантов на среде Хогланда, в большинстве случаев не отмечено присутствие посторонней микрофлоры, что свидетельствует об эффективности применяемой нами поверхностной обработки при введении в

культуру лишайника. Испытание первичных культур при различных условиях освещенности: полной темноте, рассеянном свете (1000–1500 люкс) и естественном освещении (2500–3000 люкс) свидетельствует, что при темновом режиме преимущественное развитие имел микобионт молочно-белого цвета, при естественном – фотобионт (фикобионт) темно-зеленого цвета. Оптимальным для сохранения соотношения бионтов *in vitro* явился режим при 1000–1500 люкс (рассеянный свет), о чем судили по сохранению культурой цвета, присущего природному слоевищу. Визуальная оценка помещенных в условия «влажной камеры» фрагментов слоевища показала, что их жизнеспособность варьировала как по повторностям, так и по образцам сбора исходного материала. При этом около половины эксплантов в течение недели увеличили свои размеры до 1,5–2,0 см^2. Уровень накопления биомассы изолятами *E. prunastri* из различных природных местообитаний (рис. 2) существенно различался (в 3–13 раз), что согласуется с результатами наших предыдущих исследований [20].

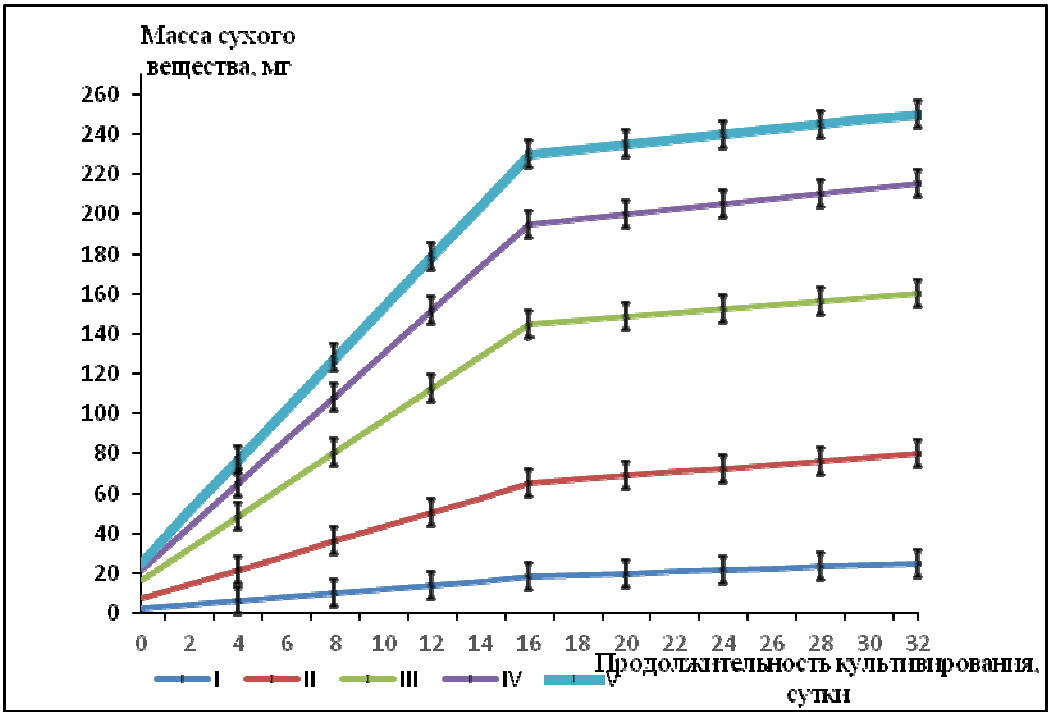


Рис. 2. Динамика накопления биомассы на среде Хогланда при рассеянном свете изолятами *E. prunastri* из различных природных местообитаний: I – окрестности Балаклавы (сосна); II – окрестности Белогорска (дуб); III – Сатера Алуштинского района (груша); IV – окрестности Бахчисарая (терн); V – Пионерское Симферопольского района (яблоня).

Ростовые показатели различных образцов в процессе выращивания (табл. 1) также изменялись: как правило, в первые 16 суток скорость роста была выше, а ростовой индекс ниже, чем за весь период культивирования (32 суток). Однако, степень выраженности указанных показателей в динамике развития культур была наибольшей у образцов №1 и №2 с минимальным уровнем накопления биомассы (20–60 мг). Поэтому для дальнейшего изучения был отобран образец № 5 – изолят с яблони (Пионерское Симферопольского района).

Морфометрический анализ слоевища на вариантах среды Мурасиге-Скуга в сравнении с *E. prunastri*, выросшей в природных условиях, и на среде Хогланда (рис. 3) показал, что размеры клеток при выращивании в жидкой питательной среде выше, чем в природных условиях (на 20,0–38,5 %%). Максимальными размерами они характеризовались на модифицированной среде Мурасиге-Скуга с добавлением отвара коры яблони, чему, по-видимому, способствовали биологически активные соединения этого производящего растения.

Таблица 1

Ростовые показатели изолятов *E. prunastri* на среде Хогланда

Номер образца	Место сбора	Продолжительность культивирования, сут	Ростовой индекс (РИ)	Скорость роста, мг/сут
1	окрестности Балаклавы (сосна)	16	14,00	0,88
1	окрестности Балаклавы (сосна)	32	19,00	0,59
2	окрестности Белогорска (дуб)	16	11,00	3,44
2	окрестности Белогорска (дуб)	32	13,00	2,03
3	Сатера Алуштинского района (груша)	16	8,33	7,81
3	Сатера Алуштинского района (груша)	32	9,00	4,22
4	окрестности Бахчисарая (терн)	16	8,50	10,63
4	окрестности Бахчисарая (терн)	32	9,00	5,63
5	Пионерское Симферопольского района (яблоня)	16	10,50	13,13
5	Пионерское Симферопольского района (яблоня)	32	11,50	7,19

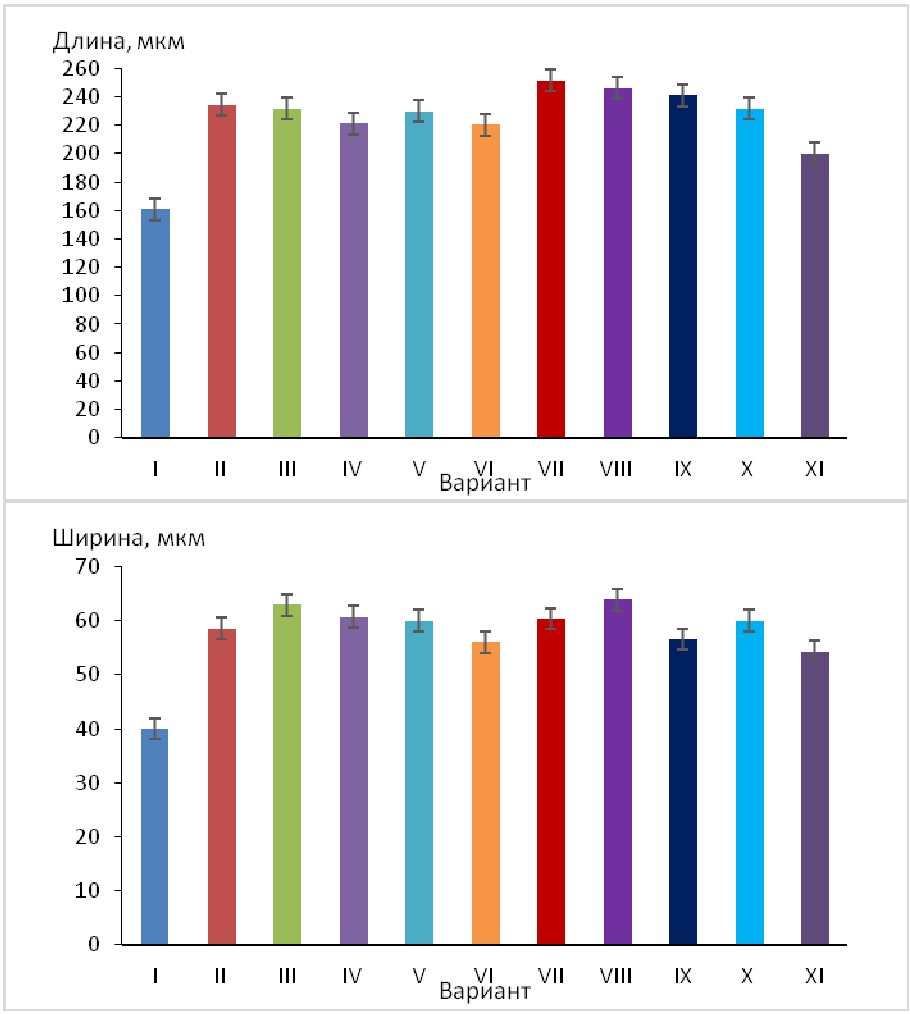


Рис. 3. Размеры клеток образца № 5 (изолята с яблони, Пионерское Симферопольского района) на вариантах среды Мурасиге-Скуга в сравнении с *E. prunastri*, выросшей в природных условиях, и на среде Хогланда:

I - Материнское слоевище в естественных условиях произрастания
II - Среда Мурасиге-Скуга
III - Среда Мурасиге-Скуга + отвар терна
IV - Среда Мурасиге-Скуга+ спиртовый экстракт терна
V - Среда Мурасиге-Скуга + отвар дуба
VI - Среда Мурасиге-Скуга + спиртовый экстракт дуба
VII - Среда Мурасиге-Скуга + отвар яблони
VIII - Среда Мурасиге-Скуга + спиртовый экстракт яблони
IX – Среда Мурасиге-Скуга + отвар груши
X - Среда Мурасиге-Скуга + спиртовый экстракт груши
XI – Среда Хогланда.

Проведенный сравнительный анализ воздушно-сухой биомассы *E. prunastri,* полученной в культуре in vitro, и выросшей в природных условиях, указывает на ее сходный качественный и количественный состав (табл. 2). При этом основные показатели резиноида (густого экстракта) *E. prunastri* («дубового мха») на основе этих видов растительного сырья также были близки (рис. 4). Полученные данные дополняют результаты наших исследований, приведенные ранее [4, 5, 20].

Таблица 2

Качественный и количественный состав *E. prunastri*, % от воздушно-сухой биомассы

Показатель	Биомасса лишайника, полученная в культуре *in vitro*	Биомасса лишайника, выросшего в природных условиях
Лишайниковые кислоты	5,37±0,32	5,60±0,34
Воск	1,06±0,04	1,00±0,03
Эфирное масло	0,05±0,01	0,05±0,01
Клетчатка	11,93±3,02	9,51±2,08
Жир	6,70±0,37	5,57±0,69
Протеин	21,89±1,82	23,49±1,80
Хлорофилл, мг%	7,89±1,69	4,31±1,06
Каротиноиды	0,60±0,05	0,95±0,10
Зола	12,46±1,20	9,28±1,03
Другие вещества	30,43±2,07	32,22±2,15
Влажность	10,51±1,00	12,34±1,89

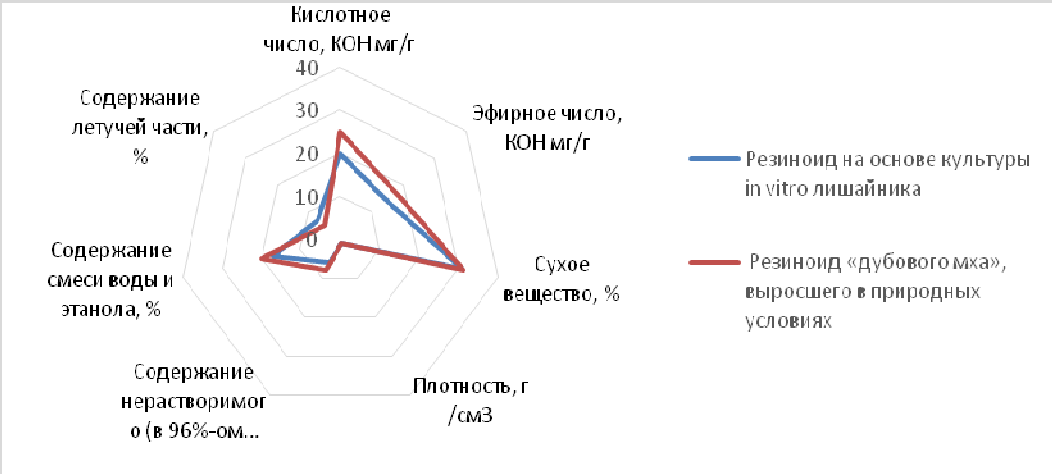


Рис. 4. Основные показатели резиноида (густого экстракта) *E. prunastri,* полученного на основе культуры *in vitro* в сравнении с резиноидом «дубового мха», выросшего в природных условиях.

Таким образом, сравнительная оценка природных изолятов *E. prunastri* и определение возможностей их выращивания в культуре in vitro в связи с разработкой инновационной лихенотехнологии значительно расширяют представление о биотехнологических аспектах получения резиноида «дубового мха» (густого экстракта эвернии) для использования в парфюмерно-косметической, пищевой и фармацевтической промышленности в качестве фиксатора запаха, ароматического и пигментного корригента, источника биологически активных фармакологически эффективных соединений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Жизнеспособность и уровень накопления биомассы изолятами *E. prunastri* из различных природных местообитаний на среде Хогланда существенно различались (в 3–13 раз), что указывает на необходимость отбора высокоактивного продуцента.
2. Размеры клеток лишайника при выращивании *in vitro* в жидкой питательной среде выше, чем в природных условиях (на 20,0–38,5 %%).
3. Проведенный сравнительный анализ сырья культивированного и дикорастущего лишайника, а также резиноида (густого экстракта) на его основе указывает на сходный качественный и количественный состав, что свидетельствует о перспективности биотехнологии их получения.

Список литературы

1. Куркин В. А. Фармакогнозия / В. А. Куркин. – Самара: ООО «Офорт»; ГОУ ВПО «СамГМУ Росздрава», 2007. – 1239 с.
2. Лекарственное растительное сырье. – М.: Издательство стандартов, 1980. – 296 с.
3. Лекарственное сырье растительного и животного происхождения. Фармакогнозия /под ред. Г. П. Яковлева. – СПб.: СпецЛит, 2006. – 845 с.
4. Teplitskaya L. M. State of research in lichen biotechnology / Teplitskaya L. M., Kiriakidi E. P., Semyonova E. F., Goncharov M. A. // International Research Journal. – 2021. – № 06 (108). – Part. 2. – P. 53-56. DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.108.6.043
5. Семенова Е. Ф. Состояние и перспективы современных исследований в биотехнологии лишайников как лекарственного сырья / Семенова Е. Ф., Теплицкая Л. М., Гончаров М. А., Гончаров Д. А. // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2021. – № 140. – С. 120–129
6. Андреев М. П. Флора лишайников России: Биология, экология, разнообразие, распространение и методы изучения лишайников. / Андреев М. П., Гимельбрант Д. Е. – М.; СПб.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. – 392 с.
7. Бутенко Р. Г. Биология клеток высших растений и биотехнологии на их основе / Р. Г. Бутенко. – М.: ФБК-Пресс, 1999. – 159 с.
8. Государственная фармакопея Российской Федерации / МЗ РФ. XV изд. – Москва, 2023. http://femb.ru/femb/pharmacopea.php
9. Эфирные масла и их качество / В. С. Паштецкий, Л. А. Тимашева, О. А. Пехова, И. Л. Данилова, О. А. Серебрякова. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2021. – 212 с.
10. European Pharmacopoeia. 10-е издание, 2019-2022. Vol. I-III, Additions 10.1-10.8.
11. ISO 6497:2002. Animal feeding stuffs
12. Starr C. Atoms and Elements / Starr C., McMillan B. // Human Biology. 11 ed. Cengage Learning, 2014. – P. 16.

13. ISO 734-1:2006. Oilseed meals – Determination of oil content – Part 1: Extraction method 1 with hexane (or light petroleum)
14. ISO 5983-1:2005. Animal feeding stuffs – Determination of nitrogen content and calculation of crude protein content – Part 1: Kjeldahl method
15. Машанов А. И. Биоконверсия растительного сырья / А. И. Машанов, Н. А. Величко, Е. Е. Ташлыкова; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2014. – 223 с.
16. Касьянова А. П. Использование метода микрокристаллизации для оценки содержания вторичных метаболитов лишайников / Касьянова А. П., Корчиков Е. С. // Самарский научный вестник. – 2022. – Т. 11, №4. – С. 47–51. DOI: 10.55355/snv2022114106
17. Ульяновский Н. В. Разработка экспрессных методов аналитической экстракции каротиноидов из растительного сырья / Ульяновский Н. В., Косяков Д. С., Боголицын К. Г. // Химия растительного сырья. – 2012. – № 4. – С. 147–152.
18. Karnjanawipagul P. Analysis of carotene in carrot by spectrophotometry / Karnjanawipagul P., Nittayanuntawech W., Rojsanga P., Suntornsuk L. // Mahidol University Journal of pharmaceutical science. – 2010. – Vol. 37, No 1–2. – P. 8–16.
19. Rahiman R. Carotenoids concentration detection investigation: a review of current status and future trend / Rahiman R., Mohd Ali M. A., Ab-Rahman M. S. // International Journal of bioscience, biochemistry and bioinformatics. – 2013. – Vol. 3, No 5. – P. 446–472.
20. Теплицкая Л. М. Цито- и гистохимические исследования лишайника *Evernia prunastri* (L.) Ach. семейства *Usneaceae* в культуре *in vitro* / Теплицкая Л. М., Семенова Е. Ф., Кириакиди Э. П. // Биология растений и садоводство: теория, инновации, 2021. – № 159. – С. 37–47. DOI: 10.36305/2712-7788-2021-2-159-37-47

OPTIMIZATION OF NUTRITION MEDIA AND CONDITIONS FOR *IN VITRO* CULTIVATION OF *EVERNIA PRUNASTRI* (L.) ACH.

***Teplitskaya L. M.*[1], *Goncharov M. A.*[1], *Semenova E. F.*[1,2], *Chernyakov D. I.*[1], *Shatunova S. V.*[1], *Kalaeva E. A.*[3]**

[1]V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia
[2]Sevastopol State University, Sevastopol, Russia
[3]Voronezh State University, Voronez, Russia
E-mail: sef1957@mail.ru

The work investigated the optimization of nutrient media and in vitro cultivation conditions of the lichen *E. prunastri*. A study of the growth and development of the culture under controlled conditions revealed a number of patterns at the morphometric and biochemical level. To select optimal conditions for in vitro cultivation of natural isolates, it was adopted to use various variants of the Murashige-Skoog nutrient medium with the addition of alcohol extracts or aqueous decoctions of bark from plants on which the lichen grows naturally (oak, apple, sloe, pear). The growth parameters of *E. prunastri* isolates have been established. The influence of cultivation conditions on the development of lichen in vitro and the production of biologically active pharmacologically valuable substances was studied. The viability and level of biomass accumulation of *E. prunastri* isolates from various natural habitats on Hoagland's medium varied significantly (3–13

times), which indicates the need to select a highly active producer. The size of lichen cells when grown in vitro in a liquid nutrient medium is higher than in natural conditions (by 20.0–38.5 %%). It has been shown that the best medium for the accumulation of biomass and biologically active compounds (lichen acids, chlorophyll) is the Murashige-Skoog variant with the addition of apple bark decoction when grown in diffused light (1000–1500 lux) with a 16-hour photoperiod, temperature 18±1°C and humidity 90±5 %. The chemical analysis of the raw materials of cultivated and wild-growing lichen, as well as the resinoid (thick extract) based on it, indicates a similar qualitative and quantitative composition, which indicates the prospects of the biotechnology for their production. A comparative assessment of natural isolates of *E. prunastri* and determination of the possibilities of their cultivation in vitro in connection with the development of innovative lichen technology significantly expands the understanding of the biotechnological aspects of obtaining the "oak moss" resinoid (thick *Evernia* extract) for use in the perfumery, cosmetics, food and pharmaceutical industries as an odor fixer, aromatic and pigment flavoring agent, a source of biologically active pharmacologically effective compounds.

***Keywords*:** introduction, culture under controlled conditions, selection of nutrient media, *Evernia prunastri*, biologically active compounds.

References

1. Kurkin V. A. *Pharmacognosy,* 1239 p. (Samara: Ofort LLC; State Educational Institution of Higher Professional Education "SamGMU Roszdrava", 2007).
2. *Medicinal plant raw materials,* 296 p. (M.: Standards Publishing House, 1980).
3. *Medicinal raw materials of plant and animal origin. Pharmacognosy*, ed. G. P. Yakovlev, 845 p. (St. Petersburg: SpetsLit, 2006).
4. Teplitskaya L. M., Kiriakidi E. P., Semyonova E. F., Goncharov M. A. State of research in lichen biotechnology, *International Research Journal*, **06 (108)**, 53 (2021). DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.108.6.043
5. Semenova E. F., Teplitskaya L. M., Goncharov M. A., Goncharov D. A. State and prospects of modern research in the biotechnology of lichens as medicinal raw materials, *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden*, **140**, 120 (2021).
6. Andreev M. P., Gimelbrant D. E. *Flora of lichens in Russia: Biology, ecology, diversity, distribution and methods of studying lichens,* 392 p. (M.; St. Petersburg: Partnership of Scientific Publications KMK, 2014).
7. Butenko R. G. *Biology of cells of higher plants and biotechnology based on them,* 159 p. (M.: FBK-Press, 1999).
8. *State Pharmacopoeia of the Russian Federation* / Ministry of Health of the Russian Federation. XV ed. (Moscow, 2023). http://femb.ru/femb/pharmacopea.php
9. *Essential oils and their quality* / V. S. Pashtetsky, L. A. Timasheva, O. A. Pekhova, I. L. Danilova, O. A. Serebryakova, 212 p. (Simferopol: IT "ARIAL", 2021).
10. *European Pharmacopoeia*. 10-e ed., Vol. I-III, Additions 10.1-10.8 (2019-2022).
11. ISO 6497:2002. *Animal feeding stuffs*
12. Starr C., McMillan B. Atoms and Elements, *Human Biology*, **11,** 16 (2014).
13. ISO 734-1:2006. Oilseed meals — Determination of oil content — Part 1: Extraction method 1 with hexane (or light petroleum)
14. ISO 5983-1:2005. *Animal feeding stuffs — Determination of nitrogen content and calculation of crude protein content – Part 1: Kjeldahl method*
15. Mashanov A. I., Velichko N. A., Tashlykova E. E. *Bioconversion of plant raw materials,* 223 p. (Krasnoyarsk state agrarian univ., 2014).

16. Kasyanova A. P., Korchikov E. S. Using the microcrystallization method to assess the content of secondary metabolites of lichens, *Samara Journal of Science,* **11(4**), 47 (2022). DOI: 10.55355/snv2022114106
17. Ulyanovsky N. V., Kosyakov D. S., Bogolitsyn K. G. Development of express methods for analytical extraction of carotenoids from plant raw materials*, Chemistry of plant raw materials,* **4**, 147 (2012).
18. Karnjanawipagul P., Nittayanuntawech W., Rojsanga P., Suntornsuk L. Analysis of carotene in carrot by spectrophotometry, *Mahidol University Journal of pharmaceutical science,* **37(1-2),** 8 **(**2010).
19. Rahiman R., Mohd Ali M. A., Ab-Rahman M. S. Carotenoids concentration detection investigation: a review of current status and future trend, *International Journal of bioscience, biochemistry and bioinformatics,* **3(5)**, 446 *(*2013).
20. Teplitskaya L. M., Semenova E. F., Kiriakidi E. P. Cyto- and histochemical studies of the lichen (L.) Ach. family *Usneaceae in vitro* culture, *Plant biology and horticulture: theory, innovations*, **159**, 37 (2021). DOI: 10.36305/2712-7788-2021-2-159-37-47

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 230–238.

УДК 612.13

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-230-238

РЕАКЦИИ СИСТЕМНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ У ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ НА ЛОКАЛЬНУЮ ХОЛОДОВУЮ СТИМУЛЯЦИЮ

Товмасян Л. А., Севрюкова Г. А.

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет», Волгоград, Россия
E-mail: laura7709@yandex.ru

Статья посвящена исследованию системной гемодинамики на фоне локального холодового воздействия у индийских студентов (n = 68). Неблагоприятными критериями адаптации к холодовой стимуляции являются: снижение выносливости сердечно-сосудистой системы, нестабильная системная гемодинамика, неадекватная амплитуда колебания пульсового давления в период восстановления, гиперкинетический тип кровообращения. Благоприятными критериями адаптивной реакции организма иностранных студентов в ответ на локальную холодовую стимуляцию являются: уменьшение амплитуды отклонения исследуемых параметров и времени их восстановления. Это необходимо учитывать при оценке приспособительных реакций системы кровообращения у иностранных студентов в процессе адаптации к климато-географическим условиям среды их проживания и обучения.
Ключевые слова: локальное холодовое воздействие, системная гемодинамика, тип системного кровообращения, иностранные студенты, адаптация.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что низкая температура является одним из факторов окружающей среды, к которой человек, безусловно, адаптируется вне зависимости от деятельности, которую он выполняет в повседневной жизни. Степень проявления физиологических реакций организма на холодовую стимуляцию зависит от площади, локализации охлаждаемой поверхности тела, длительности и мощности воздействия холодового фактора [1–3].

Гомеостатические механизмы обусловливают постоянство температуры тела человека, адаптирующегося к температурным колебаниям окружающей среды. При этом важная роль отводится индивидуальной выносливости организма к холоду, напрямую зависящей от его резервных возможностей сердечно-сосудистой системы и системы дыхания, определяющих кислородтранспортный каскад, обеспечивающий энергией организм в меняющихся условиях окружающей среды, в том числе природно-климатических [4, 5].

Резко-континентальный климат Волгоградского региона характеризуется резким перепадом температуры окружающей среды, обусловливающим резкое похолодание в осенний период [6, 7]. Именно в этот период отмечается рост числа заболеваний у иностранных студентов, особенно, в первый год адаптации к

природно-климатическим условиям Волгоградского региона. Неоспорим факт того, что успешная адаптация иностранных студентов определяет сохранение биологических и выполнение социальных функций организма, однако социальная адаптация опирается на физиологические (биологические) механизмы приспособления. Значительная доля исследований посвящена психологической, социальной, психофизиологической адаптации иностранных студентов к условиям иноязычной среды [8, 9]. При этом до настоящего времени остаются актуальными вопросы физиологической адаптации организма иностранных студентов из стран экваториального и субэкваториального климатических поясов к климату разных регионов России. Цель исследования – оценка реакций системного кровообращения на локальную холодовую стимуляцию у иностранных студентов в процессе их адаптации к резко-континентальному климату Волгоградского региона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С соблюдением принципа информированного согласия и неразглашения персональных данных в исследовании приняли участие индийские студенты медицинского вуза (n = 68 юношей; в возрасте 19–21 год). Алгоритм исследования одобрен локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО ВолгГМУ (протокол № 2022/154 от 03.11.2022). Исследование проводилось в осенний период в помещении с температурой комфорта (19–22 °С) в первой половине дня. Регистрировались фоновые показатели системной гемодинамики с использованием автоматического тонометра «Omron M2 Basic» (Omron Healthcare Co., Ltd. Kyoto, Japan), показатели системной гемодинамики на пике локальной холодовой стимуляции кисти левой руки путем погружения её в холодную воду (4 °С) на 4 мин [10] с последующей регистрацией изучаемых показателей на 1, 3 и 5 минутах восстановительного периода. Реакции системной гемодинамики оценивали по систолическому (САД, мм рт. ст.), диастолическому (ДАД, мм рт. ст.), пульсовому (ПД, мм рт. ст.), среднему гемодинамическому давлениям (Сргд, мм рт. ст.), частоте сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин), коэффициенту выносливости сердечно-сосудистой системы (КВссс, у.е.). На основе антропометрических данных (масса тела, кг; длина тела, см) и показателей артериального давления рассчитывали ударный объем крови по формуле Старра (УО, мл), минутный объем кровообращения (МОК, л/мин); площадь тела (S, $см^2$) по формуле Дюбуа. Для определения типа кровообращения рассчитывался сердечный индекс (СИ, л/мин/$м^2$) как отношение МОК / S (гипокинетический тип, СИ менее 2,7 л/мин/$м^2$; эукинетический тип, СИ от 2,7 до 3,5 л/мин/$м^2$; гиперкинетический тип, СИ более 3,5 л/мин/$м^2$) [11].

Статистический анализ данных проводили с помощью программы IBM SPSS, v. 26.0. Учитывая, что исследуемые параметры не имели нормального распределения, а холодовая проба включала 5 этапов, то для сравнения К-связанных выборок использовали ранговый дисперсионный анализ Фридмана с поправкой Бонферрони с представлением медианы (Me), первого – третьего квартиля (Q1; Q3). В качестве статистически значимого уровня принимались значения $p \leq 0,05$. Коэффициент сдвига (КС, у.е.) на холодовую пробу (ХП) вычислялся по формуле:

$КС_{ХП}$ = ln ($Р_{ХП}$ / $Р_{Ф}$), где $Р_{ХП}$ – показатель ХП, $Р_{Ф}$ – фон [12]; в период восстановления – $КС_{В1,В3,В5}$ = ln ($Р_{В1,В3,В5}$ / $Р_{ХП}$), где $Р_{В1,\ В3,\ В5}$ – показатели восстановления на 1, 3, 5 минутах соответственно, $Р_{ХП}$ – показатель ХП.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исходные данные распределения обследуемых на группы в зависимости от типа системного кровообращения выявляют преобладающую численность представителей среди индийских студентов с эукинетическим типом кровообращения – 44,9 %. Группу с гипокинетическим типом кровообращения составили 25,3 % обследуемых, группу с гиперкинетическим – 29,8 %.

Сравнительный анализ фоновых показателей системной гемодинамики у студентов из Индии в зависимости от типа кровообращения позволил установить значимые различия, в большей степени, проявляющиеся в группе с гипокинетическим типом (табл. 1). При этом широкий межквартильный диапазон показателей системной гемодинамики в группе с эукинетическим типом кровообращения позволяет сделать предположение о вариабельности срочных ответных реакций у обследуемых этой группы со стороны сердечно-сосудистой системы на локальную холодовую стимуляцию.

Таблица 1

Показатели системной гемодинамики у индийских студентов в зависимости от типа кровообращения (Me (Q_{25} – Q_{75}); n = 68)

Показатели / тип кровообращения	Гипокинетический	Эукинетический	Гиперкинетический
АДС, мм рт.ст.	112,5 (108,0 - 117,0) рГпК-ЭуК = 0,001	139,0 (121,0 - 157,0)	126,5 (113,0 - 140,0) рГпрК-ЭуК = 0,02
АДД, мм рт.ст.	62,5 (61,0 - 64,0) рГпК-ЭуК = 0,001	82,0 (65,0 - 87,0)	76,0 (74,0 - 78,0) рГпрК-ГпК = 0,003
ПД, мм рт.ст.	50,0 (44,0 - 56,0) рГпК-ЭуК = 0,005	62,0 (56,0 - 85,0)	50,5 (39,0 - 62,0) рГпрК-ЭуК = 0,02
Сргд, мм рт.ст.	79,1 (78,6 - 79,6) рГпК-ЭуК = 0,001	107,6 (83,6 - 110,3)	92,8 (87,0 - 98,6) рГпрК-ГпК = 0,003
ЧСС, уд/мин	67,5 (64,0 - 71,0) рГпК-ЭуК = 0,012	81,0 (65,0 - 101,0)	90,5 (83,0 - 98,0) рГпрК-ГпК = 0,001
КВссс, у.е.	13,7 (11,4 - 16,1)	11,6 (9,5 - 16,2)	19,2 (13,3 - 25,1) рГпрК-ЭуК = 0,02 рГпрК-ГпК = 0,05

Примечание: рГпК-ЭуК – значимость различий между группами с гипокинетическим и эукинетическим типами кровообращения; рГпрК-ГпК – значимость различий между группами с гипокинетическим и гиперкинетическим типами кровообращения; рГпрК-ЭуК – значимость различий между группами с гиперкинетическим и эукинетическим типами кровообращения

Сравнительный анализ показателей, отражающих выносливость сердечно-сосудистой системы выявляет ослабление сердечной деятельности, а возможно и скрытую функциональную недостаточность сердечно-сосудистой системы у индийских студентов с гиперкинетическим типом системного кровообращения. Напротив, в группах с гипо- и эукинетическим типами кровообращения коэффициент выносливости сердечно-сосудистой системы находился в пределах нормативных значений.

Использование расчётных коэффициентов сдвига показателей системной гемодинамики относительно фоновых значений при локальной холодовой стимуляции и относительно значений на пике холодовой пробы в период восстановления позволило отследить динамику срочных приспособительных реакций (рис. 1, 2, 3). У индийских студентов на фоне локальной холодовой стимуляции зарегистрированы разнонаправленные срочные реакции системной гемодинамики в зависимости от типа кровообращения.

Одним из физиологических показателей, отражающих мобилизацию функциональных резервов организма, является ЧСС. На фоне холодовой пробы у всех обследуемых студентов отмечалось повышение ЧСС, наиболее выраженный прирост показателя выявлен у студентов с гипокинетическим типом кровообращения. При этом достижение фоновых значений ЧСС к 1 минуте восстановительного периода (ВП) отмечалось в группе с эукинетическим типом. У студентов с гипокинетическим типом наблюдалось однонаправленное снижение ЧСС от 1 к 5 минуте ВП. Реакции студентов с гиперкинетическим типом кровообращения характеризовались своей нестабильностью на локальную холодовую стимуляцию: к 1 минуте ВП ЧСС уменьшилась на 9,5 %, к 3 минуте ВП ЧСС увеличилась 5,7 % и к 5 минуте вновь уменьшилась, достигая фоновых значений.

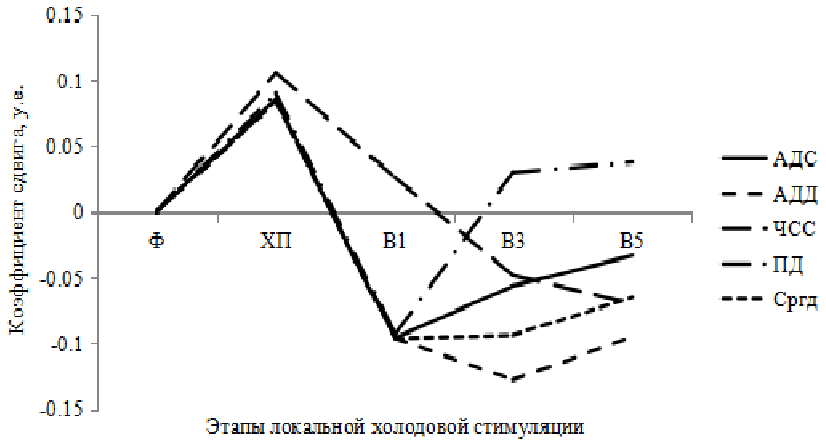


Рис. 1 Динамика показателей системной гемодинамики при локальной холодовой стимуляции у индийских студентов с гипокинетическим типом кровообращения (Ф – фон; ХП – локальное холодовое воздействие; В1, В3, В5 – периоды восстановления на 1, 3, 5 минутах)

Рис. 2 Динамика показателей системной гемодинамики при локальной холодовой стимуляции у индийских студентов с эукинетическим типом кровообращения (Ф – фон; ХП – локальное холодовое воздействие; В1, В3, В5 – периоды восстановления на 1, 3, 5 минутах)

На фоне локальной холодовой стимуляции у всех обследуемых студентов отмечалось повышение максимального и минимального артериальных давлений. При этом значимый подъём артериального давления зарегистрирован у студентов с гипокинетическим типом кровообращения, тогда как срочная приспособительная реакция у студентов с гиперкинетическим типом характеризовалась значимым подъёмом диастолического давления, обусловливающим резкое снижение пульсового давления на пике холодовой стимуляции и резким возвратным повышением в 1 минуту восстановительного периода. Очевидно, рассогласование эффекторных программ функциональной системы поддержания артериального давления, множественная энтропия приводят к формированию нестабильной реакции системной гемодинамики, обусловливая повышение энергетических затрат организма и функциональную стоимость адаптивных реакций. Субъективно студенты этой группы хуже переносили холодовую пробу по сравнению со студентами с гипо- и эукинетическим типами кровообращения.

Наиболее благоприятная реакция системной гемодинамики отмечалась у студентов с эукинетическим типом кровообращения, которая характеризовалась включением механизмов, обеспечивающих однонаправленное и равнозначное снижение максимального и минимального артериальных давлений, тем самым сохраняя должные величины пульсового и среднего гемодинамического давлений за счет адекватного согласования компонентов функциональной системы, обеспечивающей оптимальный для метаболизма уровень артериального давления и организацию эфферентно-эффекторных механизмов, снижающих энергозатраты организма. В период восстановления у студентов с эукинетическим типом кровообращения показатели системной гемодинамики однонаправленно снижались. При этом вариабельность артериального давления сохранялась, что может

свидетельствовать о достижении конечного приспособительного результата различными эффекторными механизмами (изменением тонуса артериальных сосудов, ударного объёма сердца, длительности сердечного цикла, величины венозного возврата).

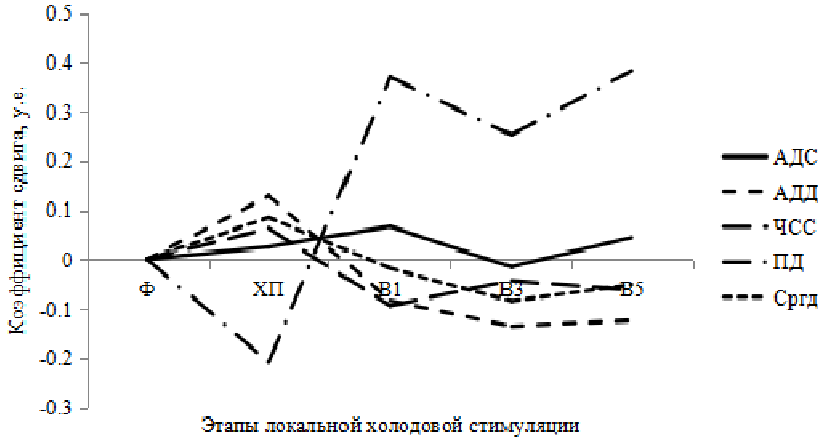


Рис. 3 Динамика показателей системной гемодинамики при локальной холодовой стимуляции у индийских студентов с гиперкинетическим типом кровообращения (Ф – фон; ХП – локальное холодовое воздействие; В1, В3, В5 – периоды восстановления на 1, 3, 5 минутах)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Адаптивная реакция организма не осуществляется без перестройки сердечного ритма, обусловливая учащение или урежение частоты сердечных сокращений, являющейся важнейшим показателем уровня функционирования целостного организма. Коэффициент выносливости сердечно-сосудистой системы, исходно высокое значение ЧСС, а также нестабильная системная гемодинамика на локальное холодовое воздействие у индийских студентов с гиперкинетическим типом кровообращения являются неблагоприятными признаками, свидетельствующими о недостаточных резервах сердечно-сосудистой системы и неудовлетворительной адаптации организма к условиям окружающей среды.

Уровень артериального давления в целом отражает возможности организма к гомеостатическому регулированию параметров системного кровообращения. Неоднозначность срочных приспособительных реакций у студентов с гипо- и гиперкинетическими типами кровообращения на локальную холодовую стимуляцию может быть объяснено особенностями функционального состояния жизнеобеспечивающих систем в момент формирования срочной ответной реакции. При этом выявленные неблагоприятные признаки ответных реакций у студентов с гиперкинетическим типом кровообращения: снижение выносливости сердечно-сосудистой системы, нестабильная системная гемодинамика и неадекватная амплитуда колебания пульсового давления в период восстановления после

локальной холодовой стимуляции, а также выраженный прирост ЧСС у студентов с гипокинетическим типом кровообращения могут быть использованы в качестве критериев неустойчивой адаптации.

Несмотря на холодовое воздействие отклонения исследуемых параметров системной гемодинамики у иностранных студентов с эукинетическим типом кровообращения оставались близкими по значению с исходными, а также у студентов этой группы отмечалось уменьшение времени их восстановления, что является благоприятными критериями срочной адаптации.

Полученные данные в дальнейшем могут быть использованы при построении дискриминантных функций, описывающих уровень устойчивости – неустойчивости к холодовому воздействию и определении степени напряжения функциональной системы поддержания должной величины артериального давления в соотнесении с метаболическими потребностями организма иностранных студентов в процессе их адаптации к резко-континентальному климату Волгоградского региона.

Список литературы

1. Кумар, М. Д. Особенности кратковременной адаптации студентов из Индии к среднегорно-морскому климату Иссык-Кульской области / М. Д. Кумар, С. Али Аббас, Г. В. Белов // Медицина Кыргызстана. – 2017. – № 2. – С. 6–9.
2. Игнатова, Ю. П. Психофизиологические и некоторые функциональные маркеры умственной нагрузки у юношей / Ю. П. Игнатова, И. И. Макарова, А. В. Аксенова // Физиология человека. – 2018. – Т. 44, № 4. – С. 26–31. – DOI 10.1134/S0131164618040057.
3. Мозговые проявления краткосрочной адаптации у студентов из Индии, обучающихся в Северном государственном медицинском университете (г. Архангельск) / А. В. Грибанов, А. Б. Кирьянов, Н. Ю. Аникина, И. С. Кожевникова // Журнал медико-биологических исследований. – 2022. – Т. 10, № 4. – С. 412–416. – DOI 10.37482/2687-1491-Z128.
4. Responding to Climate and Environmental Change Impacts on Human Health via Integrated Surveillance in the Circumpolar North: A Systematic Realist Review / A. Sawatzky, A. Cunsolo, A. Jones-Bitton, J. Middleton, S. L. Harper // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2018. – Vol. 15, № 12. – Art. № 2706. – DOI: 10.3390/ijerph15122706.
5. Health and climate change: Policy responses to protect public health / N. Watts, T. Colbourn, I. Kelman [et al.] // The Lancet. – 2015. – Vol. 386, No. 10006. – P. 1861–1914. – DOI 10.1016/S0140-6736(15)60854-6.
6. Северин А. Е. Особенности питания иностранных студентов в условиях адаптации к резко континентальному климату России / А. Е. Северин, Л. С. Панченко // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11: Естественные науки. – 2014. – № 2(8). – С. 58–63.
7. Morphofunctional aspects of the adaptation of foreign students to the conditions of the sharply continental climate of the Volgograd region / G. A. Sevriukova, E. E. Nefed'eva, Y. N. Kartushina [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: conference proceedings, Krasnoyarsk, Russia, 13–14 ноября 2019 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 421. – Krasnoyarsk, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 052005. – DOI 10.1088/1755-1315/421/5/052005.
8. Милашечкина Е. А. Психофизиологический аспект адаптации иностранных студентов с ослабленным здоровьем / Е. А. Милашечкина, И. Н. Гернет, В. С. Милашечкин // Психология. Психофизиология. – 2020. – Т. 13, № 1. – С. 95–101. – DOI 10.14529/jpps200111.
9. Socio-psychological adaptation capabilities of foreign students / G. Zh. Sakhipova, S. Zh. Kulkayeva, N. A. Abenova [et al.] // Science & Healthcare. – 2021. – Vol. 23, No. 2. – P. 140–147. – DOI 10.34689/SH.2021.23.2.015.
10. Максимов А. Л. Перестройки кардиогемодинамики, кардиоинтервалографии и микроциркуляции крови при локальной холодовой пробе у юношей уроженцев Севера / А. Л. Максимов,

И. В. Аверьянова, А. В. Харин // Физиология человека. – 2017. – Т. 43, № 4. – С. 114–125. – DOI 10.7868/S0131164617030122.
11. Аверьянова И. В. Особенности сердечно-сосудистой системы и вариабельности кардиоритма у юношей Магаданской области с различными типами гемодинамики / И. В. Аверьянова, А. Л. Максимов // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2017. – № 40. – С. 132–149. – DOI 10.17223/19988591/40/8.
12. Коновалова Г. М. Вуз, здоровье и проблемы адаптации: монография / Г. М. Коновалова, Г. А. Севрюкова. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. – ISBN 978-5-9948-0722-4.

REACTIONS OF SYSTEMIC HEMODYNAMICS IN FOREIGN STUDENTS TO LOCAL COLD STIMULATION

Tovmasyan L. A., Sevriukova G. A.

Volgograd State Medical University, Volgograd, Russian Federation
E-mail: laura7709@yandex.ru

The article is devoted to the study of systemic hemodynamics in response to local cold stimulation in Indian students (n = 68).

Objective: to research of systemic circulation in response to local cold stimulation in foreign students in the process of their adaptation to the sharply continental climate of the Volgograd region.

Systemic hemodynamics was assessed at rest, in response to local cold stimulation and during the recovery period at 1, 3 and 5 minutes.

Blood pressure (systolic, diastolic), heart rate, pulse pressure, average hemodynamic pressure, and cardiovascular endurance coefficient were recorded. The type of systemic circulation was determined by the cardiac index (hypokinetic, eukinetic, hyperkinetic). As a result of differentiation by cardiac index, it was revealed that the eukinetic type of blood circulation was observed in a larger number of Indian students – 44,9 %; hypo- and hyperkinetic – 25,3 %, 29,8 %, respectively.

In response to the cold test, all examined students showed an increase in heart rate; the most pronounced increase in the indicator was found in students with a hypokinetic type of blood circulation. The reactions of students with a hyperkinetic type of blood circulation were characterized by their instability to local cold stimulation: by the 1st minute of the recovery period the heart rate decreased by 9,5 %, by the 3rd minute – the heart rate increased by 5,7 %, and by the 5th minute it decreased again. In students with the hyperkinetic type, there was a significant increase in diastolic pressure and a sharp decrease in pulse pressure at the peak of cold stimulation and then a sharp increase at 1 minute of the recovery period.

Unfavorable criteria for adaptation to cold stimulation include: decreased endurance of the cardiovascular system, unstable systemic hemodynamics and inadequate amplitude of pulse pressure fluctuations during the recovery period, and a hyperkinetic type of systemic circulation.

Favorable criteria for the adaptive reaction of the body of foreign students in response to local cold stimulation are: a decrease in the amplitude of deviation of the studied parameters and the time of their recovery. This must be used when assessing the adaptive reactions of the cardiovascular system in foreign students in the process of adaptation to the climatic and geographical conditions of their living and studying environment.

***Keywords*:** local cold stimulation, systemic hemodynamics, type of systemic circulation, foreign students, adaptation.

References

1. Kumar M. D., Ali Abbas S. and Belov G. V. Features of short-term adaptation of students from India to the middle-sea climate of the Iskyk-Kul region, *Kyrgyzstan Medicine*, **2**, 6 (2017).
2. Ignatova Yu. P., Makarova I. I. and Aksenova A. V. Psychophysiological and some functional markers of mental workload in young men, *Human Physiology*, **44 (4)**, 26 (2018). – DOI 10.1134/S0131164618040057
3. Gribanov A. V., Kir'yanov A. B., Anikina N. YU. and Kozhevnikova I. S. Cerebral manifestations of short-term adaptation in students from India studying at northern state medical university (Arkhangelsk), *Journal of Medical and Biological Research*, **10(4)**, 412 (2022). – DOI 10.37482/2687-1491-Z128.
4. Sawatzky A., Cunsolo A., Jones-Bitton A., Middleton J. and Harper S. L. Responding to Climate and Environmental Change Impacts on Human Health via Integrated Surveillance in the Circumpolar North: A Systematic Realist Review, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, **15(12)**, Art. № 2706 (2018). – DOI: 10.3390/ijerph15122706.
5. Watts N., Abder W. N., Agnolucci P., Blackstock J., Byass P., Cai W., …Costello A. Health and climate change: policy responses to protect public health, *The Lancet*, **386(10006)**, 1861 (2015). – DOI 10.1016/S0140-6736(15)60854-6.
6. Severin A. E. and Panchenko L. S. The pecularities of feeding foreign students in the conditions of adaptation to the sharp continental climate of Russia, *Science Journal of Volgograd State University. Natural Sciences series 11*, **2(8)**, 58 (2014).
7. Sevriukova G. A., Nefed'eva E. E., Kartushina Y. N., Zheltobryukhov V.F. and Tovmasian L. A. Morphofunctional aspects of the adaptation of foreign students to the conditions of the sharply continental climate of the Volgograd region*, Abstracts of IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: conference proceedings* (Krasnoyarsk, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020), p. 052005. – DOI 10.1088/1755-1315/421/5/052005.
8. Milashechkina E. A., Gernet I. N. and Milashechkin V. S. Psychophysiological aspects of adaptation in foreign students with weakened health, *Psychology. Psychophysiology*, **13(1)**, 95 (2020). – DOI 10.14529/jpps200111.
9. Sakhipova G. Zh., Kulkayeva S. Zh. and Abenova N. A. Socio-psychological adaptation capabilities of foreign students, *Science & Healthcare*, **23(2)**, 140 (2021). – DOI 10.34689/SH.2021.23.2.015
10. Maksimov A. L., Averyanova I. V. and Kharin A. V. Changes in cardiohemodynamic parameters, cardiointervalography, and microcirculation observed in local cold test in young men born in Northern regions, *Human Physiology*, **43(4)**, 114 (2017). – DOI 10.7868/S0131164617030122.
11. Averyanova I. V. and Maksimov A. L. Cardiovascular profiles and heart rate variability observed in young male residents of Magadan region having different hemodynamic types, *Tomsk State University Journal of Biology*, **40**, 132 (2017). – DOI 10.17223/19988591/40/8.
12. Konovalova G. M. and Sevriukova G. A. *University, health and problems of adaptation* (Volgograd: IUNL VolgSTU, 2011).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 239–257.

УДК 577.112.385: 591.473.3: 615.357: 577.175.53: 612.532
DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-239-257

КОРРЕКЦИЯ АРГИНИНОМ, УМЕРЕННОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ И ИХ КОМБИНАЦИЕЙ НАРУШЕНИЙ СОКРАТИТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ ПРИ СТЕРОИДНОЙ МИОПАТИИ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА КРЫСАХ

Труш В. В.[1], Соболев В. И.[2], Попов М. Н.[2]

[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий государственный университет», Донецк, ДНР, Россия
[2]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Ялта, Республика Крым, Россия
E-mail: ver.trush@yandex.ru

В экспериментах на крысах изучали эффективность аргинина (АРГ, 100 мг/кг/сутки), умеренной динамической физической нагрузки (ФН) и их комбинации в компенсации расстройств сократительной функции *m. tibialis anterior*, вызванных введением дексаметазона (ДМ, 0,25 мг/кг/1 раз в 2-е суток, в течение 10–60 дней). Установлено, что АРГ, ФН и их комбинация, используемые в комплексе с ДМ, предотвратили характерное для ДМ-групп ухудшение резистентности мышцы к утомлению, но неоднозначно сказывались на сократительных и эргометрических ее параметрах: АРГ полностью компенсировал их ухудшение, вызванное ДМ; спустя первые 10 дней применения ДМ с ФН наблюдалось ухудшение амплитудных и временных параметров сокращения мышцы, тогда как по завершении 2-месячного периода – их нормализация. АРГ, применяемый в комплексе с ФН и ДМ, предотвратил типичное для ДМ+ФН-групп ухудшение амплитудных, но не временных параметров сокращения СМ.
Ключевые слова: скелетная мышца, дексаметазон, стероидная миопатия, аргинин, физическая нагрузка, крысы.

ВВЕДЕНИЕ

Многие аспекты патогенеза стероидной миопатии остаются до конца не раскрытыми, что отчасти обусловлено разнообразием внутриклеточных сигнальных путей глюкокортикостероидов (ГКС) и зависимостью реализации определенных из них от типа клетки-мишени, а также от дозы и типа ГКС. В связи со сложностью генеза ГКС-индуцированных мышечных нарушений, пути их коррекции требуют дальнейших исследований. При этом большинство из предполагаемых способов компенсации мышечных расстройств при гиперкортицизме были опробованы *in vitro* на мышечных трубках C2C12 или миобластах и проявили эффективность в плане предотвращения их дистрофии [1–4]. Вместе с тем, данные, полученные на миотрубках *in vitro*, могут существенно отличаться от результатов *in vivo*, даже на животных моделях [5]. Кроме того, учеными казанской научной школы [6, 7]

выявлено, что снижение мышечной силы при гиперкортицизме может быть обусловлено негеномными эффектами ГКС, вызывающими нарушение синаптической передачи, в связи с чем предотвращение мышечной атрофии может не обеспечить полной компенсации стероидной миопатии.

Наконец, установленная некоторыми специалистами [8, 9] динамичность процесса мышечной атрофии при развитии гиперкортицизма, обусловленная активацией разных механизмов на разных его этапах, требует оценки эффективности корректирующих средств в динамике введения ГКС.

В качестве рабочей гипотезы в настоящей работе было высказано предположение относительно возможной эффективности аргинина (АРГ) и умеренных физических нагрузок (ФН) динамического характера, применяемых по отдельности и в комплексе, в компенсации нарушений сократительной функции скелетной мышцы (СМ), вызванных терапевтическими дозами ГКС.

Выбор именно этих факторов для компенсации негативных эффектов ГКС на нервно-мышечный аппарат был обусловлен, прежде всего, их способностью через активацию различных сигнальных путей тормозить протеолиз и усиливать синтез белков в СМ [10–12], стимулировать митохондриальный биогенез в мышечных волокнах (МВ) и таким образом улучшать аэробное дыхание [13, 14]. Кроме того, выявлено антиоксидантное действие системы «аргинин – оксид азота» при определенной степени ее активности [15], а также усиление антиоксидантной защиты в СМ по мере их адаптации к умеренным ФН [16]. Вместе с тем, на начальных этапах ФН, напротив, оказывают прооксидантное действие [17], вызывая повышение концентрации активных форм кислорода (АФК) в МВ. В то же время умеренные концентрации АФК через активацию митогенно активных протеинкиназ обусловливают увеличение экспрессии PGC-1α в МВ [12], усиливающего митохондриальный биогенез и активирующего путь PGC-1α – ИФР-I – Akt – mTOR, ослабленные при гиперкортицизме [1, 18].

При этом уменьшить степень повреждения СМ под действием высоких концентраций АФК, образующихся при интенсивных ФН, по мнению некоторых авторов [19, 20], можно с помощью антиоксидантов, в том числе метаболита аргинина – NO, который в умеренных дозах оказывает антиоксидантное действие [15]. Все эти эффекты аргинина и его активных метаболитов должны предопределять лучшую переносимость и более эффективную адаптацию организма к ФН и, возможно, большую эффективность этой комбинации в компенсации ГКС-индуцированных мышечных нарушений, в сравнении с изолированным применением этих факторов.

Цель работы – оценить в экспериментах на крысах эффективность аргинина (АРГ, 100 мг/кг/сутки), умеренной динамической ФН и их комбинации в компенсации негативных эффектов длительно вводимого дексаметазона (ДМ, 0,25 мг/кг/1 раз в 2-е суток, на протяжении от 10 до 60 дней) на сократительную функцию СМ с преимущественным преобладанием гликолитических волокон (*m. tibial anterior)* в процессе формирования гиперкортицизма.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперименты были выполнены на 130 половозрелых молодых крысах-самках с исходной массой тела 195–205 г (виварий Республиканского лабораторного центра санитарно-эпидемиологической службы, г. Донецк). Животные в период выполнения экспериментов содержались в помещении кафедры физиологии человека и животных Донецкого национального университета с температурой воздуха 20–22 °С и 12-часовым циклом свет/темнота, имели свободный доступ к воде (ГОСТ Р 51232-98) и пище (ГОСТ 34566-2019). Протокол эксперимента, содержание животных и выведение их из опыта были составлены в соответствии с Европейской конвенцией о защите животных, используемых в эксперименте (директива 86/609/ЕЕС), принципами биоэтики, изложенными в «Международных рекомендациях по проведению медико-биологических исследований с использованием животных» (1985), приказом МЗиСР от 23.08.2010 №708н «Об утверждении Правил лабораторной практики». Все манипуляции с животными проводили согласно с правилами асептики и антисептики в соответствии с Федеральным законом РФ «О ветеринарии» (№ 4979-1 от 14.05.1993) и ГОСТ 33044-2014 (2019). Протокол исследования одобрен этическим комитетом по биоэтике Донецкого национального университета (протокол №4 от 24 апреля 2020 г.).

Животные были случайным образом разделены на 5 групп: контрольную (интактная, не подвергались никаким воздействиям, n=10, К-группа), I опытную (n=30, получали дексаметазон, ДМ-группа), II опытную (n=30, получали ДМ и подвергались ежедневному плаванию, ДМ+ФН-группа), III опытную (n=30, получали ДМ и АРГ, ДМ+АРГ-группа) и IV опытную (n=30, получали ДМ, АРГ и подвергались плаванию, ДМ+АРГ+ФН-группа). В последующем каждая опытная группа была разделена на 3 группы (n=10 в каждой) в зависимости от продолжительности экспериментальных воздействий (10, 30 и 60 дней). Такой подход позволил нам проследить динамику изменений в нервно-мышечном аппарате в процессе насыщения организма синтетическим ГКС дексаметазоном, применяемым в комплексе с введением аргинина или действием ФН или комбинацией «АРГ + ФН».

Определение доз дексаметазона и аргинина для крыс осуществляли на основании данных клинического их применения на человеке, а также опыта использования этих препаратов в доклинических исследованиях на грызунах другими специалистами. При этом, исходя из умеренной суточной дозы ДМ для человека – 3 мг [21], рассчитывали эквивалентную ей дозу для крысы, используя тактику межвидового переноса доз с применением коэффициентов, учитывающих различия в удельной площади поверхности тела, определяющей уровень основного обмена [22]. Эквивалентная умеренной терапевтической дозе для человека доза ДМ для крыс составила 0,25 мг/кг.

При выборе дозы аргинина исходили из того, что его дозы в 3–8 г/сутки для человека при пероральном введении безопасны и не вызывают острых фармакологических эффектов [23]. Учитывая, что умеренная рекомендуемая доза аргинина для человека при пероральном введении составляет 3 г/сутки [23], а при парентеральном введении она должна быть ниже, чем при пероральном введении,

на 50–60 %, поскольку при пероральном приеме в кровоток всасывается не более 60 % от принятой дозы [24], эквивалентная терапевтической для человека доза аргинина для крысы при парентеральном введении составляет 100 мг/кг.

В исследованиях на крысах установлено, что малые дозы L-аргинина (20–50 мг/кг) способствуют увеличению образования оксида азота в тканях и соответственно повышению его содержания в плазме крови, тогда как большие (1000 мг/кг) оказывают противоположный эффект [25]. В связи с этим, а также учитывая возможный дефицит NO при ГК-терапии [26], нами была выбрана доза L-аргинина – 100 мг/кг/сутки для длительного (до 2-х месяцев) парентерального приема.

Выбор в качестве аргининсодержащего средства именно препарата «Кардиоаргинин» был обусловлен, прежде всего, тем, что он является зарегистрированным лекарственным средством. При этом данный препарат, кроме аргинина содержит соли калия и магния в комплексе с аспарагинатом, облегчающим транспорт этих ионов внутрь клеток, что может быть полезным при гиперкортицизме, сопровождающимся развитием гипокалиемии [27]. Магний, как дополнительный компонент данного препарата способствует нормализации внутриклеточной концентрации калия [28]. При этом в литературе отсутствуют доказанные результаты относительно возможной эффективности калия, магния или аспарагиновой кислоты в ослаблении тяжести стероидной миопатии, а из аминокислот доказана эффективность аминокислот с разветвленной цепью (валина, лейцина и изолейцина) в ослаблении ДМ-индуцированной атрофии [29]. В связи с этим основным эффективным действующим веществом препарата «Кардиоаргинин», потенциально способным ослаблять тяжесть стероидной миопатии, является L-аргинин.

Наконец, выбор именно «Кардиоаргинина» был обусловлен еще и тем, что данный препарат проявил высокую эффективность в компенсации эндотелиальной дисфункции при застойной сердечной недостаточности и гиперлипидемии [30], что также немаловажно при длительной глюкокортикоидной терапии, сопровождающейся гиперлипидемией, гиперхолестеринемией и эндотелиальной дисфункцией [31].

Препараты вводили парентерально в связи с более высокой биодоступностью для организма, точностью дозирования и нивелированием индивидуальных особенностей всасывания в желудочно-кишечном тракте, в сравнении с пероральным введением. ДМ («KRKA», Словения) вводили 1 раз в 2-е суток в связи с продолжительным периодом биологической его «полужизни» (36-54 часа) и весьма пролонгированным эффектом, а «Кардиоаргинин» («Здоровье», Украина) – ежесуточно.

ФН моделировали путем плавания в цилиндрической емкости с гладкой поверхностью (диаметр емкости 100 см, глубина 150 см) при температуре воды 37±1°С без дополнительного отягощения с произвольной скоростью. Плавание начинали с первого дня введения препаратов с 5 минут в день, ежедневно увеличивая его продолжительность на 5 минут до доведения ФН до 1-часового периода (к 12 дню). Постепенное увеличение продолжительности плавания и

применение ФН с интервалом в 24 часа было обусловлено тем, что регулярные ФН с постепенным увеличением интенсивности и интервалами в 24–72 ч рассматриваются как наиболее безопасные в отношении оксидативного стресса и связанной с ним нестабильности ДНК [32]. ФН выполнялась животными с произвольной скоростью и не представляла для них большой координационной сложности, а поскольку она не сопровождалась дополнительным отягощением, то являлась моделью аэробной нагрузки небольшой интенсивности [33].

По завершении сроков экспериментальных воздействий на животных в условиях глубокого наркоза (тиопентал натрия, 100 мг/кг, внутрибрюшинно) проводили острый опыт, в котором с помощью методов миографии и эргографии оценивали сократительные параметры *m. tibialis anterior*, используя методические подходы, описанные в более ранней нашей работе [34].

Статистическую значимость различий между средними арифметическими величинами сравниваемых групп (при условии сохранения нормального закона распределения, W-тест Шапиро-Уилка) определяли с помощью двухвыборочного t-теста Стьюдента для выборок с различными дисперсиями и F-статистики при заданном уровне значимости $p<0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ изменения массы тела крыс ДМ-группы в течение 2-месячного периода введения ДМ выявил существенно меньший ($p<0,01$) ее прирост (+24 %) в сравнении с контролем (+50 %, см. табл.). При этом на фоне меньшего прироста массы тела за 2-месячный период у животных ДМ-группы, окружность живота у них превосходила контрольное значение (на 45 %, $p<0,01$, см. табл.), и при вскрытии по окончании острого опыта в брюшной полости визуализировались избыточные жировые отложения. Данный факт свидетельствует о развитии висцерального ожирения у животных ДМ-группы при длительном введении синтетического ГКС.

При комбинировании ДМ с плаванием прирост массы тела крыс за 2-месячный период (+46 %) был сопоставим с таковым контроля и в 2 раза большим ($p<0,01$), чем в ДМ-группе (+24 %). В случае введения ДМ в комплексе с АРГ или комбинацией «плавание + АРГ» прирост массы тела крыс за 2-месячный период (+38 % и 31 % соответственно) оказался значимо ниже контрольного ($p<0,01$), но превышал таковой ДМ-группы ($p<0,01$). При этом при комплексном применении ДМ с любым из компенсирующих факторов окружность живота спустя 2-месячный период введения препаратов значимо не отличалась от контроля и оказалась существенно меньше таковой 60ДМ-группы ($p<0,05$). Полученные данные указывают в пользу отсутствия выраженного висцерального ожирения в случае применения ДМ с любым из компенсирующих факторов.

Изолированное применение ДМ сопровождалось ухудшением сократительной функции *m. tibialis anterior*, признаки которого отмечались уже после первых 10 дней введения синтетического ГКС и носили наиболее выраженный характер спустя 30 дней его применения. Так, для мышцы животных 10ДМ-группы было характерно ухудшение параметров одиночного сокращения ($p<0,05$ относительно контроля):

уменьшение амплитуды (на 24 %, см. рис. 1 А), скорости укорочения (на 49 %, см. рис. 1 Б) и расслабления (на 33 %, см. рис. 1 В). Подобные изменения сохранялись и у крыс 30ДМ-группы, тогда как спустя 2-месячный период введения ДМ, амплитуда одиночных сокращений нормализовалась, но скорость укорочения и расслабления оставались сниженными (на 30 % и 29 %, $p<0,05$ относительно контроля).

Таблица

Средние значения ($\overline{X} \pm m$) массы тела и окружности живота крыс контрольной, ДМ-, ДМ+АРГ-, ДМ+ФН- и ДМ+АРГ+ФН-групп в динамике 2-месячного экспериментального периода

Группа животных	Исходные значения		Через 10 дней		Через 30 дней		Через 60 дней	
	Масса тела, г	Окружность живота, см	Масса тела, г	Окружность живота, см	Масса тела, г	Окружность живота, см	Масса тела, г	Окружность живота, см
К	202,0± 2,24	15,8± 0,53	222,5± 2,98$^{\bullet}$	16,1± 0,56	260,0± 4,21$^{\bullet}$	17,3± 0,60	303,0± 5,28$^{\bullet}$	18,3± 0,65
ДМ	200,6± 2,61	15,7± 0,52	193,6± 2,15*	15,4± 0,53	213,1± 2,70$^{*\bullet}$	18,9± 0,72$^{\bullet}$	249,3± 5,70$^{*\bullet}$	26,6± 1,03$^{*\bullet}$
ДМ+АРГ	205,5± 2,38	15,8± 0,52	198,6± 2,19*	15,4± 0,50	231,5± 3,19$^{*\bullet x}$	16,3± 0,54	272,0± 5,57$^{*\bullet x}$	17,0± 0,62^{x}
ДМ+ФН	204,6± 3,14	15,8± 0,53	217,0± 3,18$^{\bullet x}$	15,4± 0,54	265,3± 4,38$^{\bullet x}$	17,2± 0,64	306,3± 3,92$^{*\bullet x}$	18,4± 0,74^{x}
ДМ+АРГ+ФН	204,9± 2,32	15,8± 0,51	203,1± 2,50*	15,2± 0,53	229,0± 2,31$^{*\bullet x}$	15,2± 0,54^{x}	268,2± 3,32$^{*\bullet x}$	15,9± 0,57^{x}

Примечание: * – различия статистически значимы ($p<0,01$) относительно соответствующих значений контрольной группы; $^{\bullet}$ – различия статистически значимы ($p<0,01$) относительно исходного значения параметра соответствующей группы; ^{x} – различия статистически значимы ($p<0,05$) относительно значения соответствующего показателя ДМ-группы

Ухудшение параметров тетанического сокращения СМ при изолированном применении ДМ наблюдалось при работе мышцы с большой нагрузкой (70 г) у животных 30ДМ-группы и проявлялось в уменьшении ($p<0,05$ относительно контроля) амплитуды (на 32 %, см. рис. 2 А) и скорости развития (на 39 %, см. рис. 2 Б) тетануса, внешней работы мышцы (на 34 %, см. рис. 2 В) и абсолютной силы тетанического ее сокращения (на 64 %, см. рис. 2 Г). По окончании 2-месячного периода применения ДМ амплитуда и скорость тетанического сокращения нормализовывались, но абсолютная сила тетанического сокращения оставалась сниженной (на 32 %, $p<0,05$ относительно контроля).

Все используемые нами факторы оказались в некоторой степени эффективными для предотвращения нарушений сократительной функции СМ, вызванных длительным введением ДМ (на протяжении 30–60 дней). При этом АРГ полностью компенсировал ухудшение амплитудных и временных параметров одиночного и тетанического сокращений исследуемой мышцы, вызванное ДМ (см. рис. 1, 2).

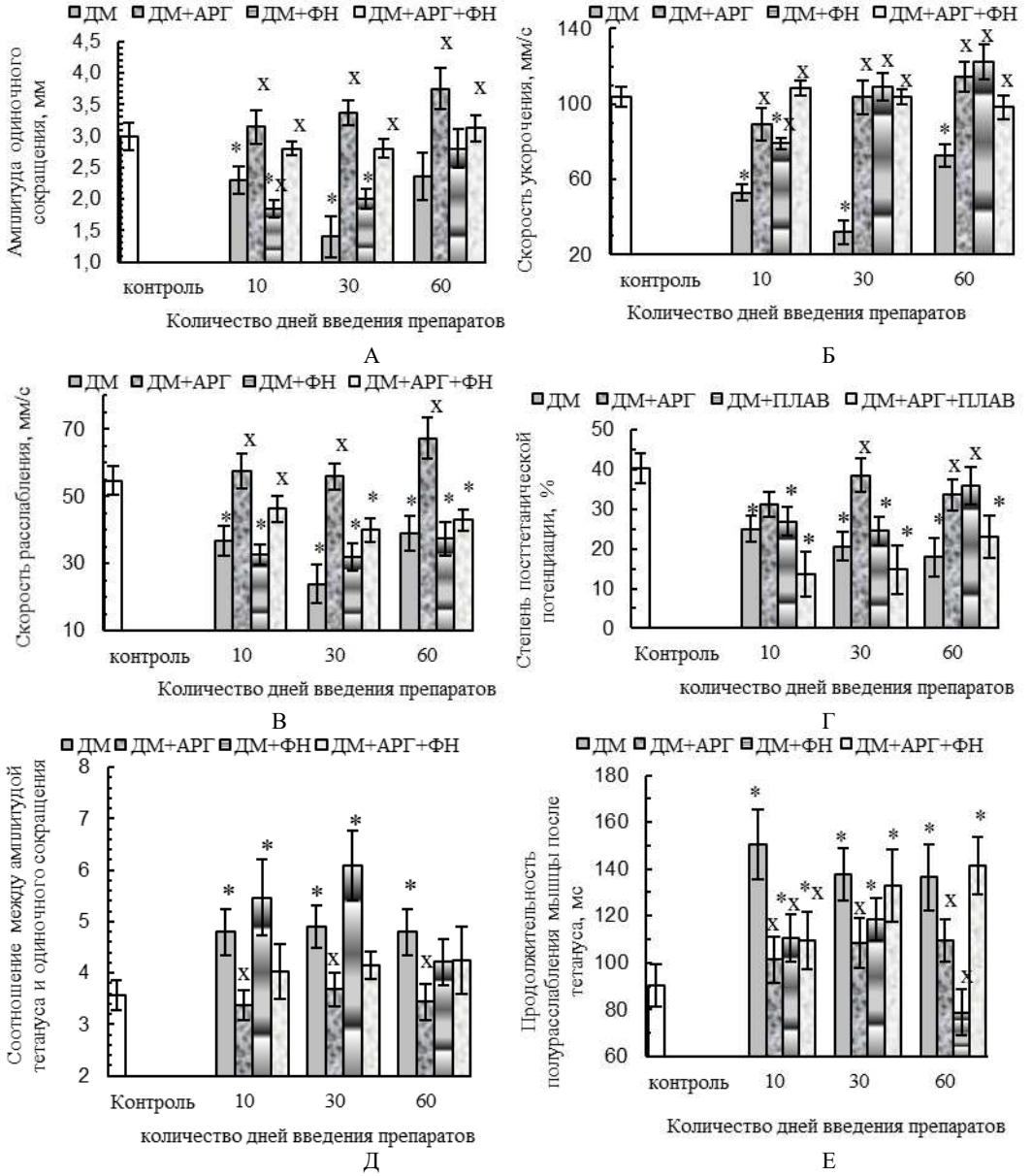


Рис. 1. Средние значения параметров одиночного сокращения *m. tibialis anterior* (А-В) и показателей, отражающих ее гистохимический профиль (Г-Е), контрольных крыс и животных ДМ-, ДМ+АРГ-, ДМ+ФН- и ДМ+АРГ+ФН-групп.

Примечания: * – различия статистически значимы ($p<0,05$) относительно значения соответствующего показателя контрольной группы; х – различия статистически значимы ($p<0,05$) относительно значения соответствующего показателя ДМ-группы

В случае применения ДМ в комплексе с плаванием и АРГ сохранялось типичное для ДМ-групп уменьшение скорости расслабления при одиночном сокращении (на 27–

22 % спустя 30 и 60 дней применения данной комбинации соответственно, $p<0,05$, см. рис. 1 В), тогда как амплитуда и скорость одиночного и тетанического сокращений, а также эргометрические параметры – внешняя работа и абсолютная сила тетанического сокращения – не ухудшались, в сравнении с контролем (рис. 1, 2). Более того, по окончании 2-месячного периода применения ДМ в комплексе с комбинацией «АРГ + плавание» наблюдалось увеличение ($p<0,05$ относительно контроля) внешней работы (на 59 %, см. рис. 2 В), абсолютной силы (на 60 %, см. рис. 2 Г), амплитуды (на 45 %, см. рис. 2 А) и скорости (на 58 %, см. рис. 2 Б) тетануса.

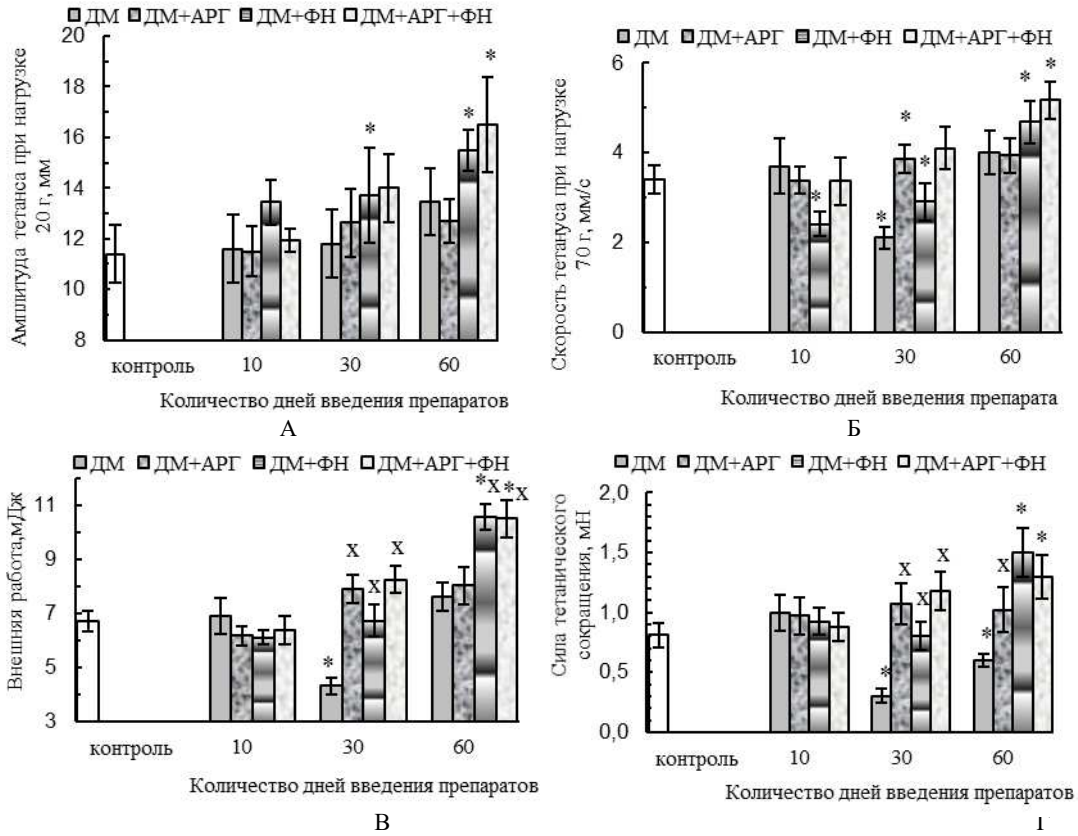


Рис. 2. Средние значения параметров тетанического сокращения *m. tibialis anterior* – амплитуды (А) и скорости (Б), а также эргометрических показателей – внешней работы (В) и абсолютной силы тетанического сокращения (Г) – при внешней нагрузке 70 г контрольных крыс и животных, получавших дексаметазон изолированно (ДМ-группа) или в комплексе с аргинином (ДМ+АРГ) или плаванием (ДМ+ФН-группа) или комбинацией «аргинин+плавание» (ДМ+АРГ+ФН-группа).
Примечания те же, что к рис. 1.

В случае же применения ДМ в комплексе с плаванием наблюдалось первоначальное ухудшение параметров одиночного сокращения мышцы, типичное и для ДМ-групп. В частности, имело место значимое относительно контроля

($p<0,05$) снижение амплитуды (на 39–33 % в 10ДМ+ФН- и 30ДМ+ФН-группах, см. рис. 1 А), скорости укорочения (на 24 % в 10ДМ+ФН-группе, см. рис. 1 Б) и расслабления (на 32–42 % на протяжении всего 2-месячного периода применения комбинации ДМ с плаванием, см. рис. 1 В) при одиночном сокращении, уменьшение скорости развития тетануса (на 29 %, у животных 10ДМ+ФН-группы, см. рис. 2 Б). Вместе с тем, для ДМ+ФН-групп не было характерно снижения абсолютной силы тетанического сокращения мышцы, отмеченное в 30ДМ- и 60ДМ-группах, напротив, этот параметр в 60ДМ+ФН-группе превышал уровень контроля (на 80 %, $p<0,05$, см. рис. 2 Г). Первоначальное (спустя первые 10 дней экспериментальных воздействий) ухудшение параметров одиночного и тетанического сокращения СМ у животных ДМ+ФН-группы может быть вызвано не только негативным влиянием ДМ, но отчасти и самой ФН.

Следовательно, эффективность в компенсации нарушений сократительной функции СМ проявили аргинин и его комбинация с ФН, тогда как при введении ДМ в комплексе с плаванием определенные нарушения сократительной функции СМ, отмеченные в ДМ-группах, сохранялись.

Изолированное применение ДМ обусловливало большую утомляемость СМ, в пользу чего свидетельствует укорочение ($p<0,05$ относительно контроля) периода максимальной работоспособности СМ (на 29–31 %) при выполнении ею утомляющей работы, типичное для 30ДМ- и 60ДМ-групп (см. рис. 3 А). Признаки повышенной утомляемости мышцы при длительном введении ДМ были отмечены и в более ранней нашей работе [35].

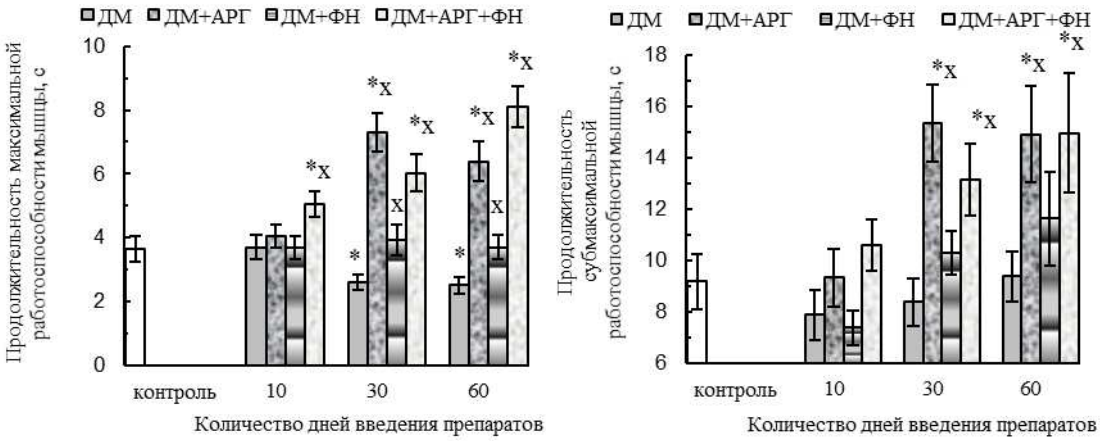
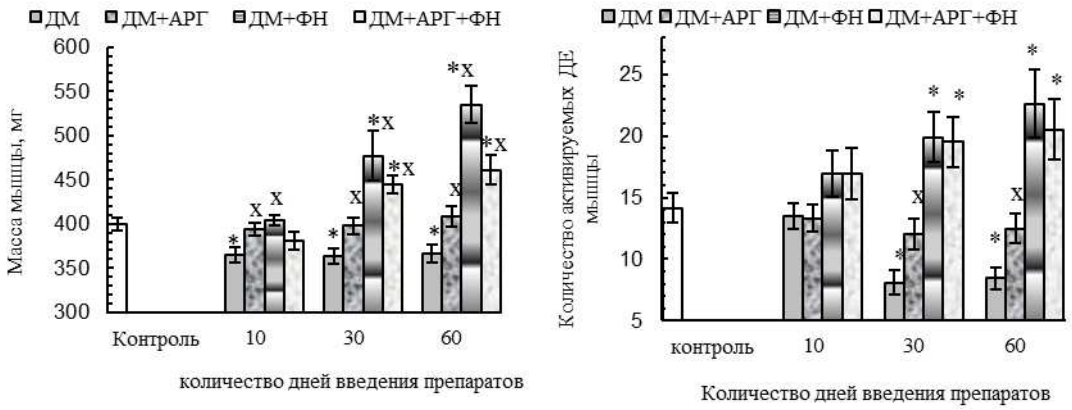


Рис. 3. Средние значения параметров работоспособности *m. tibialis anterior* – продолжительности периодов максимальной (А) и субмаксимальной (Б) работоспособности – при внешней нагрузке 70 г контрольных крыс и животных, получавших дексаметазон изолированно (ДМ-группа) или в комплексе с аргинином (ДМ+АРГ) или плаванием (ДМ+ФН-группа) или комбинацией «аргинин+плавание» (ДМ+АРГ+ФН-группа).

Примечания те же, что к рис. 1.

Все используемые средства предотвратили укорочение периода максимальной работоспособности СМ, типичное для 30ДМ- и 60ДМ-групп (см. рис. 3 А). Более того, АРГ и его комбинация с плаванием, используемые в комплексе с ДМ, обусловили удлинение относительно контроля ($p<0,05$) спустя 30 и 60 дней экспериментальных воздействий периодов максимальной (на 66–123 %, см. рис. 3 А) и субмаксимальной (на 43–67 %, см. рис. 3 Б) работоспособности СМ; при этом в случае применения комбинации ДМ с плаванием и АРГ удлинение максимальной работоспособности СМ отмечалось уже спустя первые 10 дней экспериментальных воздействий (на 39 %, $p<0,05$ относительно контроля, см. рис. 3 А).

У животных всех ДМ-групп наблюдались функциональные признаки сдвига гистохимического профиля *m. tibialis anterior* в оксидативную сторону ($p<0,05$ относительно контроля): уменьшение скорости расслабления при одиночном сокращении (на 29–56 %, см. рис. 1 В), удлинение периода полурасслабления СМ после тетануса (на 40–67 %, см. рис. 1 Е), уменьшение степени посттетанического потенцирования (см. рис. 1 Г) на фоне увеличения соотношения между амплитудой тетануса и одиночного сокращения (до соотношения 4,8:1 против 3,6:1 у контроля, см. рис. 1 Д). Отмеченный сдвиг, вероятнее всего, был обусловлен дистрофическими изменениями части гликолитических МВ, в пользу чего косвенно указывают ($p<0,05$ относительно контроля) уменьшение массы СМ (на 8–9 % у крыс всех ДМ-групп, см. рис. 4 А), количества активируемых двигательных единиц (ДЕ, на 43–40 % у животных 30ДМ- и 60ДМ-групп соответственно, см. рис. 4 Б) и обсуждаемое выше ухудшение сократительных параметров СМ.



А Б

Рис. 4. Средние значения массы передней большеберцовой мышцы (А) и количества активируемых ее двигательных единиц (ДЕ, Б) контрольных крыс и животных, получавших дексаметазон изолированно (ДМ-группа) или в комплексе с аргинином (ДМ+АРГ) или плаванием (ДМ+ФН-группа) или комбинацией «аргинин+плавание» (ДМ+АРГ+ФН-группа). *Примечания* те же, что к рис. 1.

По окончании 2-месячного периода введения ДМ наблюдалась нормализация ряда сократительных параметров СМ: амплитуды одиночного (см. рис. 1 А) и тетанического сокращений (см. рис. 2 А), внешней работы мышцы при тетаническом сокращении (см. рис. 2 В) и его скорости (см. рис. 2 Б). Такая нормализация отчасти может быть связана с адаптацией нервно-мышечного аппарата к длительному введению ГКС в постоянной дозе, но она не была обусловлена нормализацией состояния гликолитических МВ, в пользу чего указывают следующие факты. Во-первых, в 60ДМ-группе сохранялись уменьшенными ($p<0,05$ относительно контроля) масса СМ (на 9 %, см. рис. 4 А) и количество активируемых ДЕ (на 43 %, см. рис. 4 Б), а также отмечались функциональные признаки сдвига гистохимического профиля СМ в оксидативную сторону – уменьшение скорости укорочения (на 30 %, см. рис. 1 Б) и расслабления (на 29 %, см. рис. 1 В) при одиночном сокращении, удлинение времени полурасслабления после тетануса (на 43–51 %, см. рис. 1 Е), уменьшение степени посттетанического потенцирования (см. рис. 1 Г) на фоне увеличения соотношения между амплитудой тетануса и одиночного сокращения (до соотношения 4,8:1 против 3,6:1 у контроля, см. рис. 1 Д).

Во-вторых, у животных 60ДМ-группы сохранялось снижение абсолютной силы тетанического сокращения (на 32 %, см. рис. 2 Г) и отмечалось укорочение периода максимальной работоспособности СМ (см. рис. 3 А).

Все эти патологические проявления свидетельствуют в пользу того, что некоторая нормализация сократительных параметров мышцы у животных 60ДМ-группы была обусловлена не нормализацией функционального состояния гликолитических МВ, а расширением ДЕ на фоне сниженных ($p<0,05$ относительно контроля) ее массы (на 9 %, см. рис. 4 А) и количества активируемых ДЕ (на 43 %, см. рис. 4 Б). Признаки расширения ДЕ мышцы при длительном введении ДМ были отмечены и в более ранней нашей работе [36].

Весьма эффективным в предотвращении функциональных признаков сдвига гистохимического профиля СМ в оксидативную сторону оказался аргинин. В пользу этого свидетельствуют относительно нормальные (соответствующие контролю) в ДМ+АРГ-группах значения периода полурасслабления СМ после тетануса (см. рис. 1 Е), скорости расслабления мышцы при одиночном сокращении (см. рис. 1 В), степени посттетанического потенцирования (см. рис. 1 Г) и соотношения между амплитудой тетанического и одиночного сокращений (см. рис. 1 Д).

При комплексном применении ДМ с плаванием или комбинацией «плавание + АРГ» наблюдались функциональные признаки сдвига гистохимического профиля СМ в оксидативную сторону. В частности, скорость расслабления при одиночных сокращениях оказалась сниженной ($p<0,05$ относительно контроля) во всех ДМ+ФН-группах (на 32–42 %) и спустя 30–60 дней применения комбинации ДМ с плаванием и АРГ (на 27–22 %, см. рис. 1 В). Кроме того, для ДМ+ФН- и ДМ+АРГ+ФН-групп было характерно ($p<0,05$ относительно контроля) удлинение периода полурасслабления СМ после тетануса (на 29–57 %, см. рис. 1 Е), уменьшение степени посттетанической потенциации (см. рис. 1 Г) и увеличение соотношения между амплитудой тетануса и одиночных сокращений (до

соотношения 5,5:1 – 6,1:1 против 3,6:1 у контроля, см. рис. 1 Д).

Вместе с тем, в ДМ+ФН- и ДМ+АРГ+ФН-группах функциональные признаки сдвига гистохимического профиля СМ отмечались на фоне нормальных (спустя первые 10 дней введения препаратов) и даже увеличенных, в сравнении с контролем (спустя 30-60 дней экспериментальных воздействий, $p<0,05$), массы СМ (см. рис. 4 А) и количества активируемых ДЕ (см. рис. 4 Б), внешней работы (см. рис. 2 В) и абсолютной силы тетанического сокращения (спустя 60 дней экспериментальных воздействий, см. рис. 2 Г). Данные факты указывают в пользу того, что основной причиной функциональных признаков сдвига гистохимического профиля СМ у животных ДМ+ФН- и ДМ+АРГ+ФН-групп служила динамическая ФН, а не дистрофические изменения гликолитических МВ под действием ДМ.

Таким образом, несмотря на компенсацию многих сократительных нарушений, вызванных ДМ, у животных, получавших ГКС на фоне ФН или ее комбинации с АРГ, сохранялись функциональные признаки сдвига гистохимического профиля СМ в оксидативную сторону, повлекшие нарушения некоторых временных параметров сокращения мышцы.

В пользу изменения гистохимического профиля быстрой СМ при комплексном применении ГКС и ФН свидетельствуют и другие авторы. Так, в исследованиях на крысах, получавших триамцинолон, показано, что в длинном разгибателе пальцев (быстрая мышца) значительно увеличивалась доля волокон типа I под действием ФН как средней, так и высокой интенсивности, тогда как доля волокон типа IIb значительно уменьшилась в группе умеренных ФН, сочетаемых с триамцинолоном, по сравнению с группой, получавшей триамцинолон без ФН [37].

Полученная в наших исследованиях достаточно высокая эффективность аргинина в компенсации ДМ-индуцированной миопатии и имеющиеся данные относительно возможного снижения активности системы «аргинин – оксид азота» под действием фармакологических концентраций ГКС [26] предопределяют целесообразность применения аргинина, как донатора NO, при ГКС-терапии. Учитывая безопасность этого средства для организма человека, допустимо дальнейшее клиническое его испытание с целью компенсации стероидной миопатии.

В случае применения ДМ в комплексе с ФН наблюдались типичные для ДМ-групп функциональные признаки сдвига гистохимического профиля СМ в оксидативную сторону, которые, вероятнее всего, обусловлены адаптацией СМ к динамической ФН, и отмечалось ухудшение параметров одиночного и тетанического сокращения СМ на начальных этапах воздействия данной комбинации.

АРГ, применяемый в комплексе с ФН и ДМ, улучшил переносимость ФН и предотвратил типичное для ДМ+ФН-групп первоначальное (спустя 10–30 дней эксперимента) ухудшение сократительных параметров СМ, а по окончании 2-месячного экспериментального периода у животных ДМ+АРГ+ФН-группы наблюдалось улучшение ($p<0,05$ относительно контроля) амплитудных и скоростных параметров тетанического сокращения СМ.

Вместе с тем, подобно ДМ+ФН-группам, для мышцы животных ДМ+АРГ+ФН-групп были характерны функциональные признаки сдвига гистохимического ее профиля в оксидативную сторону, вероятнее всего, обусловленные адаптацией к динамической ФН и предопределяющие ухудшение ее скоростных параметров, что ставит под сомнение целесообразность применения динамической ФН с целью компенсации негативных эффектов ГКС на быстрые СМ. В то же время, в случае применения ФН в комплексе с ГКС целесообразно проводить дополнительное введение умеренных терапевтических доз аргинина для лучшей адаптации СМ к ФН. Кроме того, сам по себе аргинин оказывает ряд полезных эффектов в плане компенсации многих проявлений стероидной миопатии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Аргинин, ФН и их комбинация, используемые в комплексе с ДМ, предотвратили характерное для ДМ-групп ухудшение резистентности СМ к утомлению и привели даже к удлинению ($p<0,05$ относительно контроля) на определенных этапах экспериментальных воздействий периодов максимальной (все эти факторы) и субмаксимальной (АРГ или его комбинация с плаванием) работоспособности СМ.
2. Применение АРГ, ФН и их комбинации в комплексе с ДМ неоднозначно сказывалось на сократительных и эргометрических параметрах мышцы:
   - АРГ полностью компенсировал их ухудшение, вызванное ДМ;
   - в случае использования в комплексе ДМ плавания спустя первые 10 дней наблюдалось ухудшение амплитудных и временных параметров одиночного и тетанического сокращения СМ ($p<0,05$ относительно контроля), тогда как по завершении 2-месячного периода – нормализация и даже увеличение ($p<0,05$ относительно контроля) абсолютной силы тетанического сокращения;
   - АРГ, применяемый в комплексе с ФН и ДМ, предотвратил типичное для ДМ+ФН-групп ухудшение сократительных параметров мышцы спустя первые 10–30 дней воздействий, а по завершении 60-дневного периода воздействий обусловил улучшение эргометрических ее параметров ($p<0,05$ относительно контроля).
3. Использование в комплексе с ДМ аргинина, умеренной ФН и их комбинации неоднозначно сказывалось на скоростных параметрах сокращения мышцы: АРГ предотвратил типичное для ДМ-групп их ухудшение, тогда как при применении ДМ с плаванием или комбинацией «плавание + АРГ» их ухудшение ($p<0,05$ относительно контроля) сохранялось.
4. Учитывая относительную безопасность аргинина, а также полученные данные относительно его эффективности в компенсации нарушений сократительной функции быстрой мышцы в условиях ГКС-терапии, допустимо дальнейшее клиническое его испытание с целью компенсации стероидной миопатии. Установленные в работе факты относительно ухудшения скоростных параметров сокращения *m. tibialis anterior* крыс в случае комплексного применения ДМ с ФН динамического характера ставят под сомнение

целесообразность применения аэробных физических нагрузок с целью компенсации негативных эффектов ГКС-терапии на быстрые скелетные мышцы. В то же время в случае применения ФН в комплексе с ГКС-терапией целесообразно проводить дополнительное введение умеренных фармакологических доз аргинина для лучшей адаптации скелетной мускулатуры к ФН.

Список литературы

1. Chang J. S. Irisin prevents dexamethasone-induced atrophy in C2C12 myotubes / J. S. Chang, I. D. Kong // Pflugers Arch. – 2020. – V. 472, № 4. – P. 495–502.
2. Park S. H. Water Extract of Lotus Leaf Alleviates Dexamethasone-Induced Muscle Atrophy via Regulating Protein Metabolism-Related Pathways in Mice / S. H. Park, J. Oh, M. Jo, J. K. Kim, D. S. Kim, H. G. Kim, K. Yoon, Y. Yang, J. H. Geum, J. E. Kim, S. Y. Choi, J. H. Kim, J. Y. Cho // Molecules. – 2020. – V. 25, № 20. – P. 4592.
3. Adhikary S. FGF-2 targets sclerostin in bone and myostatin in skeletal muscle to mitigate the deleterious effects of glucocorticoid on musculoskeletal degradation / S. Adhikary, D. Choudhary, A. K. Tripathi, A. Karvande, N. Ahmad, P. Kothari, R. Trivedi // Life Sci. – 2019. – V. 229, № 15. – P. 261–276.
4. Kim H. Conessine Treatment Reduces Dexamethasone-Induced Muscle Atrophy by Regulating MuRF1 and Atrogin-1 Expression / H. Kim, M. Jang, R. Park, D. Jo, I. Choi, J. Choe, W. K. Oh, J. Park // J. Microbiol. Biotechnol. – 2018. – V. 28, № 4. – P. 520–526.
5. Archer-Lahlou E. Physiological culture conditions alter myotube morphology and responses to atrophy treatments: implications for in vitro research on muscle wasting / E. Archer-Lahlou, C. Lan, R. T. Jagoe // Physiol. Rep. – 2018. – V. 6, № 12. – P. e13726.
6. Гришин С. Н. Влияние глюкокортикоидов и катехоламинов на нервно-мышечную передачу / С. Н. Гришин, А. И. Габдрахманов, А. Е. Хайруллин, А. У. Зиганшин // Биологические мембраны. – 2017. – V. 34, № 4. – P. 251–260.
7. Камалиев Р. Р. Воздействие гидрокортизона, АТФ и аденозина на скелетную мышцу крысы / Р. Р. Камалиев, С. Н. Гришин, Ж. Ю. Фалу, А. У. Зиганшин // Казанский медицинский журнал. – 2009. – Т. 90, № 4. – С. 556–559.
8. Langendorf E. K. Detecting the Effects of the Glucocorticoid Dexamethasone on Primary Human Skeletal Muscle Cells-Differences to the Murine Cell Line / E. K. Langendorf, P. M. Rommens, P. Drees, S. G. Mattyasovszky, U. Ritz // Int. J. Mol. Sci. – 2020. – V. 21, № 7. – P. 2497.
9. Macedo A. G. Time-course changes of catabolic proteins following muscle atrophy induced by dexamethasone / A. G. Macedo, A. L. Krug, L. M. Souza, A. M. Martuscelli, P. B. Constantino, A. S. Zago, J. W. E. Rush, C. F. Santos, S. L. Amaral // Steroids. – 2016. – V. 107. – P. 30–36.
10. Cai X. α-Ketoglutarate prevents skeletal muscle protein degradation and muscle atrophy through PHD3/ADRB2 pathway / X. Cai, Y. Yuan, Z. Liao, K. Xing, C. Zhu, Y. Xu, L. Yu, L. Wang, S. Wang, X. Zhu, P. Gao, Y. Zhang, Q. Jiang, P. Xu, G. Shu // FASEB J. – 2018. – V. 32, № 1. – P. 488–499.
11. Ломоносова Ю. Н. Сигнальные эффекты субстратной стимуляции nNOS в скелетной мышце крысы после эксцентрической нагрузки / Ю. Н. Ломоносова, Б. С. Шенкман, Т. Л. Немировская // Доклады академии наук. – 2013. –Т. 452, № 6. – С. 685–689.
12. Safdar A. Exercise Increases Mitochondrial PGC-1a Content and Promotes Nuclear-Mitochondrial Crosstalk to Coordinate Mitochondrial Biogenesis / A. Safdar, J. P. Little, A. J. Stokl, B. P. Hettinga, M. Akhtar, M. A. Tarnopolsky // Journal of Biological Chemistry. – 2011. – Т. 286, № 12. – С. 10605–10617.
13. Владимирский В. Е. Молекулярные механизмы адаптационных и лечебных эффектов физических нагрузок у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями / В. Е. Владимирский, Е. В. Владимирский, А. Н. Лунина, А. Д. Фесюн, А. П. Рачин, О. Д. Лебедева, М. Ю. Яковлев, М. А. Тубекова (Ансокова) // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2022. – Т. 99, № 2. – С. 69–77.
14. Boger R. H. The clinical pharmacology of L-arginine / R. H. Boger, S. M. Bode-Boger // Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol. – 2001. – V. 41, № 1. – P. 79–99.

15. Cabrales P. Exogenous nitric oxide induces protection during hemorrhagic shock / P. Cabrales, A. G. Tsai, M. Intaglietta // *Resuscitation*. – 2009. – V. 80, № 6. – P. 707–712.
16. Gorini G. Irreversible plasma and muscle protein oxidation and physical exercise / G. Gorini, T. Gamberi, T. Fiaschi, M. Mannelli, A. Modesti, F. Magherini // Free Radic. Res. – 2019. – V. 53, № 2. – P. 126–138.
17. Сагидова С. А. Влияние околопредельных физических нагрузок на процессы свободнорадикального окисления и реактивность сосудов микроциркуляторного русла миокарда / С. А. Сагидова // Наука и спорт: современные тенденции. – 2017. – Т. 14, № 1. – С. 83–88.
18. Geng H. MicroRNA 322 Aggravates Dexamethasone-Induced Muscle Atrophy by Targeting IGF1R and INSR / H. Geng, Q. Song, Y. Cheng, H. Li, R. Yang, S. Liu, L. Hao // Int. J. Mol. Sci. – 2020. – V. 21, № 3. – P. 1111.
19. Гунина Л. М. Механизмы влияния антиоксидантов при физических нагрузках / Л. М. Гунина // Наука в олимпийском спорте. – 2016. – № 1. – С. 25–32.
20. Park M. Y. Nitric oxide-induced apoptosis of human dental pulp cells is mediated by the mitochondria-dependent pathway / M. Y. Park, Y. J. Jeong, G. C. Kang, M.-H. Kim, S. H. Kim, H.-J. Chung, J. Y. Jung, W. J. Kim // Korean J. Physiol. Pharmacol. – 2014. – V. 18, №1. – P. 25–32.
21. Katzung B. G. Greenspan's Basic and Clinical Pharmacology / B. G. Katzung. – 14th ed. – New York: McGraw-Hill Medical, 2018. – 1264 p.
22. Шекунова Е. В. Выбор дозы препарата для доклинического исследования: межвидовой перенос доз / Е. В. Шекунова, М. А. Ковалева, М. Н. Макарова, В. Г. Макаров // Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. – 2020. – Т. 10, № 1. – С. 19–28.
23. Boger R. H. The Pharmacodynamics of L-Arginine / R. H. Boger // J. Nutr. – 2007. – V. 137. – P. 1650–1655.
24. Wu G. Arginine metabolism: nitric oxide and beyond / G. Wu, S. M. Jr. Morris // Biochem. J. – 1998. – V. 336, Pt. 1. – P. 1–17.
25. Каримова Р. Г. Влияние различных факторов на продукцию оксида азота в организме крыс / Р. Г. Каримова, И. Н. Билалов, Т. В. Гарипов // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2. – С. 53–57.
26. Желнин Е. В. Посттравматическая регенерация альвеолярной кости и ее связь с метаболитами оксида азота при глюкокортикоидном остеопорозе у крыс / Е. В. Желнин, Т. В. Звягинцева, А. В. Кривошапка // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 5. – С. 34–38.
27. Древаль А. В. Проявления гиперкортицизма у больных на фоне короткого курса лечения системными глюкокортикоидами / А. В. Древаль, И. В. Комердус, Н. А. Будул, Т. А. Бритвин, С. А. Терпигорев, Т. Г. Кабанова, А. В. Чеканова // Российский медицинский журнал. – 2017. – Т. 22. – С. 1603–1606.
28. Elin R. J. Magnesium metabolism in health and disease / R. J. Elin // Disease-a-Month. – 1988. – V. 34, № 4. – P. 166–218.
29. Nishida H. Dexamethasone and BCAA Failed to Modulate Muscle Mass and mTOR Signaling in GH-Deficient Rats / H. Nishida, A. Ikegami, C. Kaneko, H. Kakuma, H. Nishi, N. Tanaka, M. Aoyama, M. Usami, Y. Okimura // PLoS One. – 2015. – V. 10, № 6. – P. e0128805.
30. Коркушко О. В. Изучение влияния препарата Кардиоаргинин-Здоровье на сосудодвигательную функцию эндотелия у больных гипертонической болезнью старше 60 лет / О. В. Коркушко, Г. В. Дужак, В. Б. Шатило, Е. В. Бондаренко, А. В. Недбайло // Ліки України. – 2014. – Т. 1, № 177. – С. 44–49.
31. Комердус И. В. Системное действие глюкокортикоидных препаратов: в помощь врачу общей практики (обзор литературы) / И. В. Комердус, Н. А. Будул, А. В. Чеканова // Российский медицинский журнал. – 2017. – № 1. – С. 45–48.
32. Danese E. Physical Exercise and DNA Injury: Good or Evil? / E. Danese, G. Lippi, F. Sanchis-Gomar, G. Brocco, M. Rizzo, M. Banach, M. Montagnana // Adv. Clin. Chem. – 2017. – V. 81. – P. 193–230.
33. Voltarelli F. F. Minimun blood lactate and muscle protein of rats during swimming exercise / F. F. Voltarelli, C. A. Gobatto, M. A. R. de Mello // Biol. Sport. – 2008. – V. 25, № 1. – P. 23–24.
34. Труш В. В. Эффективность альфакальцидола в компенсации нарушений сократительной функции скелетной мышцы при дексаметазоновом гиперкортицизме в экспериментах на крысах / В. В. Труш, В. И. Соболев // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2020. –Т. 6 (72), № 4. – С. 151–165.

35. Труш В. В. Влияние длительного применения дексаметазона на электрофизиологические параметры скелетной мышцы крыс в покое и при развитии утомления / В. В. Труш, В. И. Соболев // Экспериментальная и клиническая фармакология. – 2018. – Т. 81, № 5. – С. 21–26.
36. Труш В. В. Модуляция альфакальцидолом эффектов дексаметазона на параметры М-ответа скелетной мышцы белых крыс / В. В. Труш, В. И. Соболев // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. – 2021. – Т. 65, № 2. – С. 53–66.
37. Uchikawa K. Strenuous exercise-induced alterations of muscle fiber cross-sectional area and fiber-type distribution in steroid myopathy rats / K. Uchikawa, H. Takahashi, K. Hase, Y. Masakado, M. Liu // *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* – 2008. – V. 87, № 2. – P. 126–33.

THE CORRECTION BY ARGININE, MODERATE PHYSICAL ACTIVITY AND THEIR COMBINATION OF SKELETAL MUSCLE CONTRACTIVE FUNCTION DISTURBANCES` FOR STEROID MYOPATHY IN EXPERIMENTS ON RATS

Trush V. V.[1], Sobolev V. V.[2], Popov M. N.[2]

[1]Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Donetsk State University", Donetsk, DPR, Russia
[2]Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky", Yalta, Republic of Crimea, Russia
E-mail: ver.trush@yandex.ru

The aim of the research was to study the effectiveness of the arginine (ARG, 100 mg/kg/day), moderate dynamic physical activity (FA) and their combination in compensating of impaired contractile function of *m. tibialis anterior*, caused by the administration of dexamethasone (DM, 0,25 mg / kg / 2 days, for 10 to 60 days), were studied in experiments on rats.

Methods. The experiments were held on young female rats (195–205 g), divided into 5 groups: control (n=10, C-group), the I-st experienced (n=30, received dexamethasone, DM-group), the II-nd experienced (n=30, received DM and daily swimming, DM+FA-group), III-rd experienced (n=30, received DM in combination with ARG, DM+ARG-group) and IV-th experienced (n=30, received DM in combination with ARG and daily swimming, DM+ARG+FA-group). Each experimental group was divided into 3 groups (n=10 in each) depending on the duration of the experimental exposure (10, 30 and 60 days).

Dexamethasone (KRKA, Slovenia) was administered at a dose of 0,25 mg/kg, once in 2 days, intraperitoneally, arginine ("Cardioarginine", "Zdorovye", Ukraine) – daily, subcutaneously, at a dose of 100 mg/kg. Animals of DM+FA- and DM+ARG+FA-groups began to be subjected to physical activity from the 1-st day of medications administration, daily until the end of their administration periods. FA was modeled by swimming at a comfortable temperature (37 ± 1°C) at an arbitrary speed without additional weights, gradually increasing its duration from 5 to 60 minutes per day.

On anesthetized animals (sodium thiopental, 100 mg/kg), the parameters of the functional state of *m. tibialis anterior* under different modes of its contractions, using

myography and ergography were studied during stimulation of the peroneal nerve with superthreshold electric current.

Results. ARG, FA and their combination, used with DM, prevented the deterioration of skeletal muscle (SM) resistance to fatigue, which is characteristic for DM-groups, and even led to an elongation ($p<0.05$ relative to control) of maximum (all these factors) and submaximal (arginine or its combination with swimming) periods of SM performance at certain stages of experimental exposure.

The use of the arginine, moderate FA and their combination, used with DM, had an ambiguous effect on the contractile parameters of the SM. ARG completely compensated the deterioration of the parameters of single and tetanic SM contractions caused by DM. In case of DM`s use in combination with FA, the change in the contractile parameters of the SM in the dynamics of the 2-month period of experimental exposure was of a phase nature: at the initial stages (10 days after) they worsened, while at the end of the 2-month period, they were normalized and the absolute force of tetanic contraction was even increased ($p<0,05$ relative to control). ARG, used in combination with FA and DM, prevented the deterioration in muscle contractile parameters typical for DM+FA-groups after the first 10–30 days of exposure, and at the end of the 60-day period of exposure, it led to an improvement of its ergometric parameters ($p<0,05$ relative to control).

Use in combination with DM the arginine, moderate FA and their combination, used with DM, had an ambiguous effect on the speed parameters of the SM`s contraction: ARG prevented the deterioration of the contraction`s speed parameters, while in case of DM`s use with FA or the combination "FA+ARG", their deterioration was noted.

Conclusion. ARG ensured full compensation of disorders of the SM`s contractile function caused by the DM`s administration. Moderate FA and its combination with ARG caused a deterioration of the SM contraction`s speed parameters on the background of an initial deterioration of its single and tetanic contractions` parameters among animals of the DM+FA-group. The results obtained cast doubt on the effectiveness of moderate aerobic physical activity to maintain fast muscles` normal functional parameters during glucocorticoid therapy. At the same time, in case of FA`s use in combination with glucocorticoid therapy, it is advisable to additionally administrate moderate pharmacological doses of the ariginine for better tolerability of skeletal muscles to FA.

***Keywords*:** skeletal muscle, dexamethasone, steroid myopathy, arginine, physical activity, rats.

References

1. Chang J. S., Kong I. D., Irisin prevents dexamethasone-induced atrophy in C2C12 myotubes, *Pflugers Arch*., **472**, 495 (2020). DOI: https://doi.org/10.1007/s00424-020-02367-4
2. Park S. H., Oh J., Jo M., Kim J. K., Kim D. S., Kim H. G., Yoon K., Yang Y., Geum J. H., Kim J. E., Choi S. Y., Kim J. H., Cho J. Y., Water Extract of Lotus Leaf Alleviates Dexamethasone-Induced Muscle Atrophy via Regulating Protein Metabolism-Related Pathways in Mice, *Molecules*, **25**, 4592 (2020). DOI: https://doi.org/10.3390/molecules25204592
3. Adhikary S., Choudhary D., Tripathi A. K., Karvande A., Ahmad N., Kothari P., Trivedi R., FGF-2 targets sclerostin in bone and myostatin in skeletal muscle to mitigate the deleterious effects of glucocorticoid on musculoskeletal degradation, *Life Sci.,* **229**, 261 (2019). DOI: https://doi.org/10.1016/j.lfs.2019.05.022

4. Kim H., Jang M., Park R., Jo D., Choi I., Choe J., Oh W. K., Park J., Conessine Treatment Reduces Dexamethasone-Induced Muscle Atrophy by Regulating MuRF1 and Atrogin-1 Expression, *J. Microbiol. Biotechnol*., **28**, 520 (2018). DOI: https://doi.org/10.4014/jmb.1711.11009
5. Archer-Lahlou E., Lan C., Jagoe R. T., Physiological culture conditions alter myotube morphology and responses to atrophy treatments: implications for in vitro research on muscle wasting, *Physiol. Rep*., **6**, e13726 (2018). DOI: https://doi.org/10.14814/phy2.13726
6. Grishin S. N., Gabdrakhmanov A. I., Khairullin A. E., Ziganshin A. U., The Influence of Glucocorticoids and Catecholamines on the Neuromuscular Transmission, *Biologicheskie membrany (Biological membranes)*, **34**, 251 (2017). DOI: https://doi.org/10.7868/S02334755170 40016
7. Kamaliev R. R., Grishin S. N., Falou Zh. Yu., Ziganshin A. U., The effect of hydrocortisone, ATP and adenosine on rat skeletal muscle contraction, *Kazanskiy meditsinskiy zhurnal (Kazan Medical Journal),* **90**, 556 (2009). (In Russ.)
8. Langendorf E. K., Rommens P. M., Drees P., Mattyasovszky S. G., Ritz U., Detecting the Effects of the Glucocorticoid Dexamethasone on Primary Human Skeletal Muscle Cells-Differences to the Murine Cell Line, *Int. J. Mol. Sci.,* **21**, 2497 (2020). DOI: https://doi.org/10.3390/ijms21072497
9. Macedo A. G., Krug A. L., Souza L. M., Martuscelli A. M., Constantino P. B., Zago A. S., Rush J. W. E., Santos C. F., Amaral S. L., Time-course changes of catabolic proteins following muscle atrophy induced by dexamethasone, *Steroids*, **107**, 30 (2016). DOI: https://doi.org/10.1016/j.steroids.2015.12.016
10. Cai X., Yuan Y., Liao Z., Xing K., Zhu C., Xu Y., Yu L., Wang L., Wang S., Zhu X., Gao P., Zhang Y., Jiang Q., Xu P., Shu G., α-Ketoglutarate prevents skeletal muscle protein degradation and muscle atrophy through PHD3/ADRB2 pathway, *FASEB J*., **32**, 488 (2018). DOI: https://doi.org/10.1096/fj.201700670R
11. Lomonosova Yu. N., Shenkman B. S., Nemirovskaya T. L., Signal effects of substrate stimulation of nNOS in rat skeletal muscle after eccentric exercise, *Doklady akademii nauk (Reports of the Academy of Sciences),* **452**, 685 (2013). (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.7868/S0869565213310216
12. Safdar A., Little J. P., Stokl A. J., Hettinga B. P., Akhtar M., Tarnopolsky M. A., Exercise Increases Mitochondrial PGC-1a Content and Promotes Nuclear-Mitochondrial Crosstalk to Coordinate Mitochondrial Biogenesis, *Journal of Biological Chemistry,* **286**, 10605 (2011). DOI: https://doi.org/10.1074/jbc.m110.211466
13. Vladimirsky V. E., Vladimirsky E. V., Lunina A. N., Fesyun A. D., Rachin A. P., Lebedeva O. D., Yakovle M. YU., Tubekova (Ansokova) M. A., Molecular mechanisms of adaptive and therapeutic effects of physical activity in patients with cardiovascular diseases, *Voprosy kurortologii, fi zioterapii i lechebnoi fi zicheskoi kultury (Problems of balneology, physiotherapy, and exercise therapy),* **99**, 69 (2022). (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.17116/kurort20229902169
14. Boger R. H., Bode-Boger S. M., The clinical pharmacology of L-arginine, *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol*., **41**, 79 (2001). DOI: https://doi.org/10.1146/annurev.pharmtox.41.1.79
15. Cabrales P., Tsai A. G., Intaglietta M., Exogenous nitric oxide induces protection during hemorrhagic shock, *Resuscitation,* **80**, 707 (2009). DOI: https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2009.03.001
16. Gorini G., Gamberi T., Fiaschi T., Mannelli M., Modesti A., Magherini F., Irreversible plasma and muscle protein oxidation and physical exercise, *Free Radic. Res.,* **53**, 126 (2019). DOI: https://doi.org/10.1080/10715762.2018.1542141
17. Sagidova S. A., Influence physical activities on near-limit of free radical oxidation and reactivity microvascular in myocardium, *Nauka i sport: sovremennye tendencii (Science and sport: current trends)*, **14**, 83 (2017). (In Russ.)
18. Geng H., Song Q., Cheng Y., Li H., Yang R., Liu S., Hao L., MicroRNA 322 Aggravates Dexamethasone-Induced Muscle Atrophy by Targeting IGF1R and INSR, I*nt. J. Mol. Sci*., **21**, 1111 (2020). DOI: https://doi.org/10.3390/ijms21031111
19. Gunina L., The mechanisms of effects of antioxidants on the physical performance of athletes, *Nauka v olimpijskom sporte (Science in Olympic sports),* **1**, 25 (2016). DOI: https://doi.org/10.32652/olympic2016.1_%25x
20. Park M. Y., Jeong Y. J., Kang G. C., Kim M.-H., Kim S. H., Chung H.-J., Jung J. Y., Kim W. J., Nitric oxide-induced apoptosis of human dental pulp cells is mediated by the mitochondria-dependent pathway, *Korean J. Physiol. Pharmacol*., **18**, 25 (2014). DOI: https://doi.org/10.4196/kjpp.2014.18.1.25

21. Katzung B.G. *Greenspan's Basic and Clinical Pharmacology*. B.G. Katzung (ed.). 14th ed. New York: McGraw-Hill Medical; 2018.
22. Shekunova E. V., Kovaleva M. A., Makarova M. N., Makarov V. G., Dose selection in preclinical studies: cross-species dose conversion, *Vedomosti Nauchnogo tsentra ekspertizy sredstv meditsinskogo primeneniya (The Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products),* **10**, 19 (2020). DOI: https://doi.org/10.30895/1991-2919-2020-10-1-19-28. (In Russ.)
23. Boger R. H., The Pharmacodynamics of L-Arginine, *J. Nutr*., **137**, 1650 (2007). DOI: https://doi.org/10.1093/jn/137.6.1650s
24. Wu G., Morris S. M. Jr., Arginine metabolism: nitric oxide and beyond, *Biochem. J.,* **336**, 1 (1998). DOI: https://doi.org/10.1042/bj3360001
25. Karimova R. G., Bilalov I. N., Garipov T. V., Activization of nitric oxide formation in the rats organism by different factors, *Fundamental'nyye issledovaniya (Basic Research)*, **2**, 53 (2015). (In Russ.)
26. Zhelnin Y. V., Zvyagintseva T. V, Kryvoshapka O. V., Post-traumatic regeneration of the alveolar bone and its relation to the nitric oxide metabolites in rats with glucocorticoid osteoporosis, *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya (Progress of modern natural science),* **5**, 34 (2014). (In Russ.)
27. Dreval A. V., Komeredus I. V., Budul N. A., Britvin T. A., Terpigorev S. A., Kabanova T. G., Chekanova A. V., Manifestations of hypercorticism in patients on the background of a short course of systemic glucocorticoids treatment, *RMJ,* **22**, 1603 (2017). (In Russ.)
28. Elin R. J., Magnesium metabolism in health and disease, *Disease-a-Month,* 34, 166 (1988). DOI: https://doi.org/10.1016/0011-5029(88)90013-2
29. Nishida H., Ikegami A., Kaneko C., Kakuma H., Nishi H., Tanaka N., Aoyama M., Usami M., Okimura Y., Dexamethasone and BCAA Failed to Modulate Muscle Mass and mTOR Signaling in GH-Deficient Rats, *PLoS One,* **10**, e0128805 (2015). DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128805
30. Korkushko O. V., Duzhak H. V., Shatylo V. B., Bondarenko Ye. V., Nedbailo A. V., Study of Kardioarginin – Zdorovia Effect on Motor Function of Vascular Endothelium in Patients with Hypertension over 60, *Liky Ukraïny (Medicines of Ukraine),* **1**, 44 (2014). (In Russ.)
31. Komerdus I. V., Budul N. A., Chekanova A. V., Systemic effects of glucocorticoid drugs: a guide for the General practitioner (literature review), RMJ, **1**, 45 (2017). (In Russ.)
32. Danese E., Lippi G., Sanchis-Gomar F., Brocco G., Rizzo M., Banach M., Montagnana M., Physical Exercise and DNA Injury: Good or Evil? *Adv. Clin. Chem.,* **81**, 193 (2017). DOI: https://doi.org/10.1016/bs.acc.2017.01.005
33. Voltarelli F. F., Gobatto C. A., de Mello M. A. R., Minimun blood lactate and muscle protein of rats during swimming exercise, *Biol. Sport*., **25**, 23 (2008).
34. Trush V. V., Sobolev V. I., Efficiency of alphacalcidol in compensation of disorders of contractile functions of the skeletal muscle with dexamethazone hypercorticism in experiments on rats, *Uchenyye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Biologiya. (Khimiya Scientific notes of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky. Biology. Chemistry)*, **6** (**72**), 151 (2020). (In Russ.).
35. Trush V. V., Sobolev V. I., Influence of long dexamethasone administration on electrophysiological parameters of the rat skeletal muscle at rest and exhaustion development, *Eksperimental'naya i klinicheskaya farmakologiya (Experimental and clinical pharmacology),* **81**, 21 (2018). (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30906/0869-2092-2018-81-5-21-26
36. Trush V. V., Sobolev V. I., Alphacalcidol modulation of the dexamethazone effects on parameters of M-response of skeletal muscle of white rats, *Pathological Physiology and Experimental Therapy,* **65**, 53 (2021). (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.25557/0031-2991.2021.02.53-66
37. Uchikawa K., Takahashi H., Hase K., Masakado Y., Liu M., Strenuous exercise-induced alterations of muscle fiber cross-sectional area and fiber-type distribution in steroid myopathy rats, *Am. J. Phys. Med. Rehabil*., **87**, 126 (2008). DOI: https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e31815869d0

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 258–273.

УДК 631.445.12

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-258-273

КЛАССИФИКАЦИЯ, СВОЙСТВА И ВИДОВАЯ НАСЫЩЕННОСТЬ ТОРФОВ ДОЛИННЫХ БОЛОТ (НА ПРИМЕРЕ БОЛОТА ИШТАН)

***Щуряков Д. С.*[1,2]**

[1]Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
[2]Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина Российской академии наук, Борок, Россия
E-mail: shuryakoff@yandex.ru

В статье приводится анализ результатов исследования ботанического состава торфа болота Иштан. Торфяная залежь болота принадлежит к низинному типу лесного (14 образцов, 11,67 %), лесо-топяного (63 образца, 52,5 %) и топяного подтипа (43 образца, 35,83 %). Наиболее представлены следующие группы: травяно-древесная (26 образцов), древесная (23), травяная (22), древесно-травяная (21). Среди зарегистрированных 27 видов торфа наибольшее распространение имеют древесный хвойный, вахтово-древесный, осоковый, вахтово-осоковый, осоково-гипновый низинный виды. Среднее число видов-торфообразователей – 7,71/на образец. Наибольшее среднее значение видовой насыщенности определено для вахтово-осоково-гипнового вида торфа (14). Торфяная залежь болота Иштан сложена не менее 48 видами растений. Основными торфообразователями являются: *Carex cespitosa*, *C. lasiocarpa*, *C. omskiana*, *C. rostrata*, *Equisetum palustre*, *Menyanthes trifoliata*, пушица, гипновые мхи, а также группы хвойных и лиственных пород деревьев. Торф отличается высокой степенью разложения – 40,47 %. Определено, что наибольшей частотой смены видов торфов характеризуется притеррасная часть долинных болот.
Ключевые слова: низинное болото, торфяная залежь, видовая насыщенность, торфообразование, степень разложения торфа.

ВВЕДЕНИЕ

Болота являются уникальными природными системами, их биосферная роль огромна. Развитие болотных экосистем сопровождается сменой их фитоценотической структуры. Данные преобразования приводят к изменению характеристик и свойств пластов торфяной залежи. Исследование вышеупомянутого явления позволяет проследить историю развития болот, определить особенности их формирования на различных этапах функционирования. Свойства торфяной залежи значительно разнятся от вида болот и нередко изменяются под действием различных физико-географических факторов.

Объектом исследования является Болото Иштан, располагающееся в левобережной пойме р. Обь, в непосредственной близости от с. Иштан и с. Подоба (расположенных на первой надпойменной террасе, к северо-западу и западу от болотного массива соответственно), в южной части Кривошеинского и северной части Шегарского районов Томской области. Вытянуто с севера на юг на 32 км при максимальной ширине 8 км. Болото Иштан в генетическом отношении

представляет собой самый северный сегмент системы Обского болота – одной из крупнейших пойменных болотных систем Западной Сибири – и располагается у подножия высокой террасы в древнем староречье Оби на юге лесной зоны. При этом, формально болото Иштан является отдельным болотным массивом, поэтому в составе Обского болота в публикациях и отраслевых фондовых материалах не рассматривается. Относится к типу низинных пойменных (притеррасных) болот. Площадь составляет около 124 км² (Рис. 1).

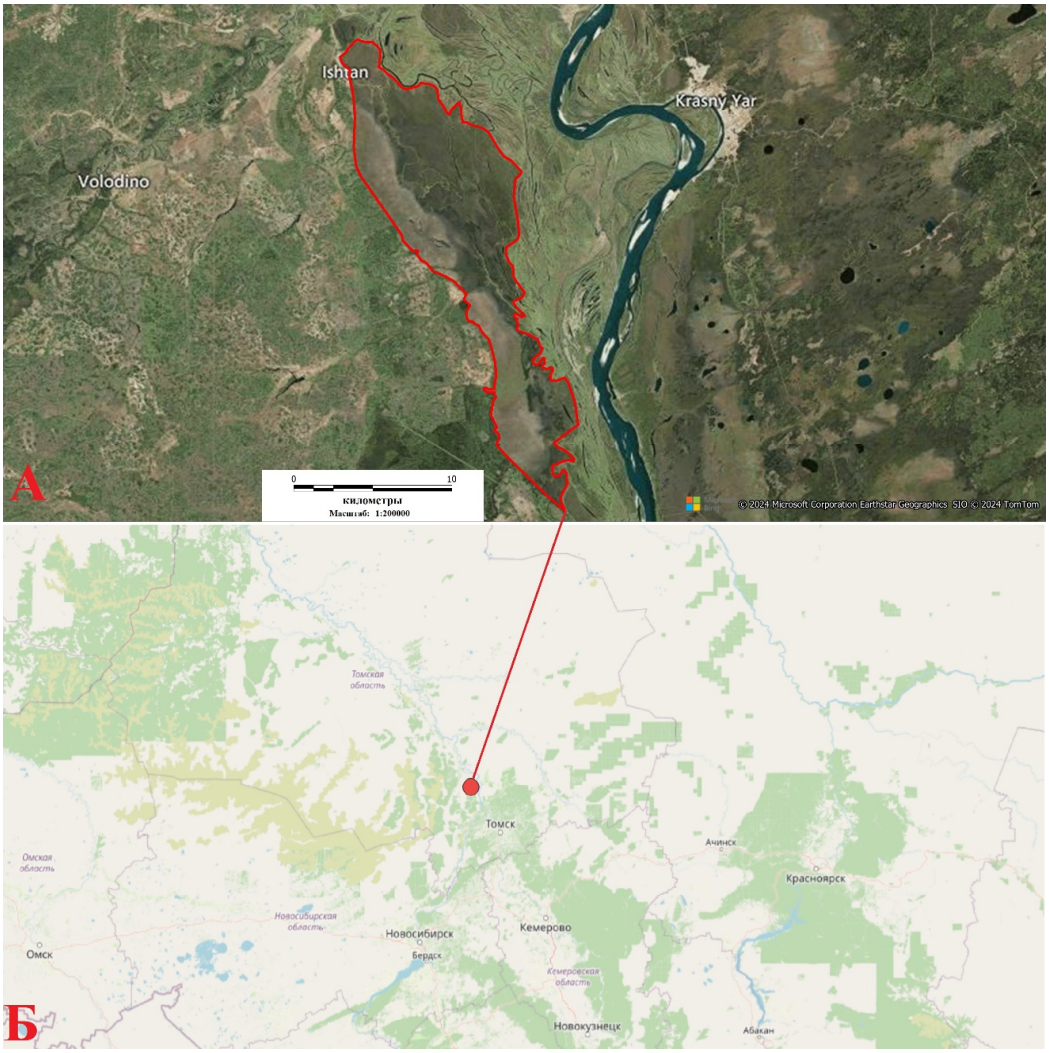


Рис. 1. Карта с географической привязкой болота Иштан на территории Томской области.

А – спутниковый снимок и контуры болота (слой «гибрид» https://www.bing.com/)

Б – Расположение болота Иштан на территории Томской области (www.openstreetmap.org)

Самые географически близкие к нашему исследованию работы связаны с публикациями Савичева О. Г. и соавторов, в которых рассматривались минералого-геохимические особенности торфяной залежи в условиях антропогенной нагрузки Обского болота и химический состав вод объекта [1]. Также, растительность и гидроэкологические процессы Обского болота рассмотрены Лапшиной Е. Д. и соавторами [2]. Значительная часть имеющихся данных о болоте представлена в крупно- и среднемасштабных тематических картах (ландшафты, почвенные гидрологические и климатические ресурсы и пр.), специализированных реестрах и отчетах по состоянию окружающей среды, иными словами, в ресурсах, не посвященных его целенаправленному исследованию.

Согласно ландшафтно-экологическому районированию, исследуемая территория относится к бореально-континентальной ландшафтной группе, широтно-зональному таёжному подтипу [3]. По другой классификации массив относится к подтаежной болотной провинции западносибирских атлантических евтрофных осоково-гипновых болот [4]. Согласно Львову Ю. А., объект относится к Обь-Иртышскому пойменному болотному округу, к Кожевниковскому району низинных гипновых и осоково-гипновых притеррасных болот [5].

Работы, в основе которых лежат результаты исследования ботанического состава торфа, довольно редки в связи с их трудоемкостью и малым числом специалистов, освоивших данную методику. При этом, актуальность исследований с применением данной методики подтверждается отечественными [6–11] и зарубежными публикациями [12, 13] последних лет различных научных направлений.

В анализе современных публикаций по нашей теме стоит упомянуть почвоведческие работы Аветова Н. А. и соавторов, в которой методика определения ботанического состава торфа используется для диагностики и систематизации торфяных почв (на примере болот северотаежной подзоны Западной Сибири) [14, 15]. Заслуживает внимания и работа Шишконаковой и соавторов, в которой данные о ботаническом составе торфа используется для выявления многообразия компонентов почвенно-растительного покрова и направленности сукцессионных процессов на восстанавливающиеся после нарушений болотных землях [16].

Настоящая работа вносит вклад в формирование базы знаний о динамике и структуре пойменных болотных экосистем Западной Сибири. Впервые для исследуемого района Томской области представлены данные о видовой насыщенности и свойствах торфов низинных долинных болот. Приведенная информация может использоваться для дальнейших узкоспециализированных исследований в области био- и педоразнообразия, экологии, ресурсоведения, фармакогнозии и т.д.

Цель исследования – классификация, характеристика отдельных свойств и определение видовой насыщенности торфяной залежи низинного долинного болота Иштан на основе анализа результатов изучения её ботанического состава.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Бурение торфяной залежи проведено в различных по экологическим условиям и растительному покрову частях болота, в его северной части, в 3–4 км к юго-востоку

от с. Иштан (рис. 1.). На каждой из площадок, дополнительно проведено геоботаническое описание по традиционным методам [17, 18], дана ландшафтно-экологическая характеристика. Скважинам присвоены названия «И1», «И2» и «И3».

Для характеристики торфяной залежи нами выполнена пробоподготовка и проведён анализ ботанического состава торфа, степени разложения растительных остатков, уровня минерального загрязнения всех 3 скважин (120 образцов): «И1» 45 образцов, «И2» – 40, «И3» – 35. Пробоотбор проходил с шагом в 10 см. Определение ботанического состава торфа из скважины «И1» проводилось на базе группы биогеоценологии и болотоведения НИИ биологии и биофизики НИ ТГУ. Образцы из скважин «И2» и «И3» исследованы на базе Лаборатории болотных экосистем Карельского научного центра РАН. Результаты изучения ботанического состава торфа болота подробно изложены в отдельной публикации [19].

Образцы промывались от гумифицированной части под водой через сито с диаметром отверстий 0,25 мм. В дальнейшем подготовленный образец рассматривался под микроскопом. Определение остатков происходило по специализированным атласам [20, 21]. Оценка степени разложения торфа проводилась макроскопическим (таблица признаков определения степени разложения И. Ф. Ларгина) и микроскопическим методом. За методическую основу классификации торфов болота Иштан мы использовали классификацию, предложенную в 1976 г. советским торфоведом С. Н. Тюремновым [22]. По ней, в название торфа входят только те торфообразователи, доля которых составляет не менее 20 %. В случае, если торф образован не одним, а несколькими торфообразователями в количестве не менее 20% каждый, все они включаются в название торфа в порядке увеличения их доли.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Классификация торфов. Торфяная залежь болота Иштан принадлежит к низинному типу. Многообразие растительных компонентов в торфе позволяет отнести его к комплексным многослойным торфам лесного (14 образцов, 11,67 %), лесо-топяного (63 образца, 52,5 %) и топяного подтипа (43 образца, 35,83 %), где на различных глубинах отмечается преобладание осоковых, вахтовых, древесных, гипновых торфов и их комбинаций (Таблица 1).

Таблица 1

Подтипы торфа болота Иштан

Подтип торфа	Количество пробоотборов			Всего
	И1	И2	И3	
Лесной	2	8	4	14
Лесо-топяной	15	27	21	63
Топяной	28	5	10	43

Согласно вышеописанной классификации определено 12 групп торфов (Таблица 2).

Таблица 2

Группы торфов болота Иштан

Подтип	Группа торфа	Количество пробоотборов			Всего
		И1	И2	И3	
Лесной	Древесная	1	10	12	23
Лесо-топяной	Древесно-травяная	11	10	0	21
	Травяно-древесная	6	13	7	26
	Травяно-мохово-древесная	0	1	2	3
	Древесно-травяно-моховая	0	1	1	2
	Древесно-мохово-травяная	0	0	1	1
	Мохо-травяно-древесная	0	0	1	1
	Мохо-древесная	0	0	1	1
Топяной	Травяная	17	3	2	22
	Травяно-моховая	3	1	6	10
	Мохо-травяная	7	0	2	9
	Моховая	0	1	0	1

Наиболее представлены следующие группы: травяно-древесная (26 образцов), древесная (23), травяная (22), древесно-травяная (21). Данные 4 группы объединяют в себе более 76 % образцов. Две следующие за ними группы отмечаются реже: травяно-моховая (10) и мохо-травяная (9). Остальные группы встречаются единично, их роль в торфосложении незначительна.

Всего в рамках настоящего исследования нами выделено 27 видов торфа (Таблица 3). Самый часто встречаемый вид – древесный хвойный (*Pinus sylvestris* L.+ *Picea obovata* Ledeb.) (27 образцов/22,5 %). Далее по распространению: вахтово-древесный (14/11,67 %), осоковый (11/9,17 %), вахтово-осоковый (8/6,67 %), осоково-гипновый низинный (7/5,83 %).

Единично встречаются комплексные низинные торфа с 3 торфообразователями: древесно-вахтово-осоковый, древесно-хвощево-вахтовый, вахтово-осоково-гипновый, древесно-пушициево-гипновый и др.

Видовая насыщенность торфообразователей. Среднее число видов-торфообразователей – **7,71**/на образец. Наибольшее среднее значение определено для вахтово-осоково-гипнового вида торфа (14). Наименьшее число видов-торфообразователей (3) отмечается в древесных торфах хвойного, соснового, вахтово-древесного, древесно-вахтово-осокового вида. Максимальное число видов-торфообразователей отмечено в образцах хвойного, вахтово-древесного, вахтово-осоково-гипнового торфа.

Таблица 3

Виды торфа болота Иштан

Скважина/Вид торфа	Количество пробоотборов			Всего
	И1	И2	И3	
Березово-хвойный	0	5	1	6
Хвойно-березовый	0	1	0	1
Хвойный	0	8	19	27
Сосновый низинный	2	0	0	2
Древесно-осоковый	3	0	0	3
Древесно-гипновый	0	0	1	1
Вахтово-древесный	4	9	1	14
Осоково-древесный	4	1	0	5
Древесно-вахтово-осоковый	3	0	0	3
Древесно-хвощево-вахтовый	1	0	0	1
Хвощево-вахтовый	1	0	0	1
Осоково-вахтово-древесный	1	4	0	5
Древесно-вахтовый	0	5	0	5
Древесно-пушициево-гипновый	0	1	0	1
Древесно-осоково-гипновый	0	0	1	1
Вахтово-гипно-древесный	0	0	1	1
Гипно-древесный	0	0	1	1
Осоково-гипно-древесный	0	1	1	2
Вахтовый	0	3	0	3
Осоковый	10	0	1	11
Осоково-гипновый низинный	2	0	5	7
Гипно-осоковый	6	0	0	6
Гипновый низинный	1	1	0	2
Гипно-вахтовый	0	1	0	1
Вахтово-осоково-гипновый	0	0	1	1
Вахтово-осоковый	7	0	1	8
Вахтово-гипно-осоковый	0	0	1	1

Основные виды-торфообразователи. Торфяная залежь болота Иштан сложена не менее 48 видами растений (таблица 4).

Основные торфообразователи представлены следующими группами и видами:

I. ***Древесная***:

I-а. Хвойные (*Picea obovata* + *Pinus sylvestris*). Встречаемость в торфах (В) – 88,33 %, средняя доля (ср) – 38,27 %, максимальные значения участия в торфосложении (max) достигают 95 %. Пласты чистого хвойного торфа являются нередким явлением в границах низинных болот.

I-б. Лиственные (Различные березы с незначительной долей других лиственных деревьев и кустарников). В – 35 %, ср – 14,37 %. Зачастую таковые торфа являются

примесью к остаткам хвойных. В редких случаях являются индикаторами смены условий трофности в сторону обедненности.

Таблица 4

Торфообразователи болота Иштан

№	Вид	Встречаемость		Доля в торфе, %		
		число	%	средняя	min	max
1	2	3	4	5	6	7
Основные растения-торфообразователи (отдельные виды и группы)						
1	*Carex cespitosa* L.	30	25	5,17	1	25
2	*Carex lasiocarpa* Ehrh.	107	89,17	23,77	1	95
3	*Carex omskiana* Meinsh.	14	11,67	12,21	1	40
4	*Carex rostrata* Stokes	26	21,67	3,35	1	15
5	*Equisetum palustre* L.	42	35	5,81	1	25
6	*Eriophorum* sp.	38	31,67	3,90	1	25
7	*Menyanthes trifoliata* L.	113	94,17	20,03	1	80
8	Зеленые мхи	91	75,83	14,53	1	75
9	Лиственные деревья	42	35	14,37	1	65
10	Хвойные деревья	106	88,33	38,27	1	95
Другие торфообразователи (сосудистые растения)						
11	*Carex chordorrhiza* Ehrh.	4	3,33	1	1	1
12	*Carex cinerea* Poll.	2	1,67	1	1	1
13	*Carex dioica* L.	1	0,83	1	1	1
14	*Carex globularis* L.	9	7,5	1,89	1	5
15	*Carex limosa* L.	13	10,83	4,08	1	15
16	*Carex vesicaria* L.	4	3,33	1	1	1
17	*Carex juncella* (Fries) Th. Fr.	3	2,5	2,33	1	5
18	*Comarum palustre* L.	1	0,83	1	1	1
19	*Eleocharis palustris* (L.) Roem. & Schult.	1	0,83	1	1	1
20	*Poaceae* sp.	4	3,33	1	1	1
21	*Salix* sp.	9	7,5	2,44	1	10
22	*Scheuchzeria palustris* F.Muell.	2	1,67	3	1	5
23	*Thelypteris palustris* Schott	14	11,67	2,43	1	5
24	*Trichophorum* sp.	4	3,33	1	1	1
25	*Typha* sp.	1	0,83	1	1	1
Другие торфообразователи (мхи)						
26	*Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwägr.	2	1,67	1	1	1
27	*Brachithecium mildeanum* (Schimp.) Schimp.	1	0,83	5	5	5

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7
28	*Bryum pseudotriquetrum* (Hedw.) P.Gaertn., B.Mey. & Scherb.	1	0,83	5	5	5
29	*Bryum* sp.	3	2,5	1	1	1
30	*Calliergon cordifolium* (Hedw.) Kindb.	1	0,83	1	1	1
31	*Calliergon* sp.	6	5	1	1	1
32	*Drepanocladus* sp.	38	31,67	2,47	1	10
33	*Drepanocladus vernicosus* (Mitt.) Warnst.	1	0,83	1	1	1
34	*Hielodium blandowii* (F. Weber & D. Mohr) Warnst.	1	0,83	5	5	5
35	*Tomentypnum nitens* (Hedw.) Loeske.	9	7,50	5,33	1	15
36	*Meesia* sp.	5	4,17	1.8	1	5
37	*Meesia triquetra* (Jolycl.) Ångstr.	9	7,5	1,44	1	5
38	*Mniaceae* sp.	16	13,33	3,13	1	35
39	*Rhizomnium pseudopunctatum* (Bruch & Schimp.) T.J.Kop.	1	0,83	5	5	5
40	*Sphagnum* секц. *Sphagnum*	1	0,83	1	1	1
41	*Sphagnum centrale* C.E.O.Jensen	1	0,83	1	1	1
42	*Sphagnum fuscum* (Schimp.) H. Klinggr.	1	0,83	1	1	1
43	*Sphagnum papillosum* Lindb.	1	0,83	5	5	5
44	*Sphagnum warnstorfii* Russow	3	2,5	4	1	10
45	*Sphagnum* секц. *Acutifolia*	5	4,17	1,8	1	5
46	*Sphagnum* секц. *Cuspidata*	2	1,67	1	1	1
47	*Warnstorfia* sp.	9	7,5	1	1	1

Примечание: столбцы 6 и 7 – показатели участия вида в торфообразовании (процентное соотношение остатков отдельного вида во всем образце): «min» – минимальное значение, «max» – максимальное значение.

II. *Травяная*:

II-а. *Carex cespitosa*. Встречается в 25 % образцов со средней долей в 5,17 %.

II-б. *Carex lasiocarpa.* Важнейший торфообразователь. Число встреч – 89,17 %, ср. доля – 23,77 %, max – 95 %. Нередко самостоятельно или с участием других осок создает пласты чистого осокового торфа.

II-в. *Carex omskiana.* В – 11,67 %, ср. – 12,21 %, max – 40 %.

II-г. *Carex rostrata*. В – 21,67 %, ср. – 3,35 %, max – 15 %.

II-д. *Equisetum palustre*. В – 35 %, ср. – 5,81 %, max – 25 %. Часто отмечается небольшой примесью от 1 до 10 %. Образует уникальные для территории древесно-хвощево-вахтовые и хвощево-вахтовые пласты торфа.

II-е. *Menyanthes trifoliata.* Самый распространённый вид в торфяной залежи болота Иштан. Встречается в 94,17 % образцов торфа при ср. доле 20,03 % и max – 80 %. Образует как чистый вахтовый торф, так и его комбинации с древесными, травяными и моховыми видами.

III. ***Моховая*** – Различные зеленые, преимущественно гипновые мхи (*Calliergon* spp., *Drepanocladus* spp., *Meesia* spp., *Mniaceae* spp., *Warnstorfia* spp.), значительно реже бриевые. Остатки зеленых мхов отмечены в 75,83 % образцов при средней доле 14,53 %. В силу высокой степени разложения, встреченные образцы мохообразных зачастую поддаются определению лишь до рода.

Степень разложения. Средняя степень разложения торфов болота Иштан – 40,47 %. Наибольшие средние значения (50 %) определены для древесно-вахтово-осокового, древесно-хвощево-вахтового, хвощево-вахтового и вахтово-осокового торфа, а наименьшие средние (25 %) – для древесно-осоково-гипнового вида. Последнее связано с его залеганием на минимальной глубине – 0–10 см. Максимальная степень разложения (60 %) отмечается для хвойного и вахтово-осокового торфа. Оба образца залегают на максимальных глубинах и граничат с минеральным глеевым горизонтом, подстилающим торфяную залежь (Таблица 5).

Таблица 5

Степень разложения и показатели видовой насыщенности торфов болота Иштан

Вид торфа	Число видов			Степень разложения		
	min	max	среднее	min	max	среднее
1	2	3	4	5	6	7
Березово-хвойный	5	9	6,67	40	45	40,83
Хвойно-березовый	7	7	7	45	45	45
Хвойный	3	15	7,37	40	60	45,56
Сосновый низинный	3	4	3,5	50	55	52,5
Древесно-осоковый	5	10	7	40	50	46,67
Древесно-гипновый	8	8	8	40	40	40
Вахтово-древесный	3	14	6,43	40	55	46,07
Осоково-древесный	5	7	6	40	50	49
Древесно-вахтово-осоковый	3	6	4,67	50	50	50
Древесно-хвощево-вахтовый	5	5	5	50	50	50
Хвощево-вахтовый	6	6	6	50	50	50
Осоково-вахтово-древесный	4	8	6	45	55	47
Древесно-вахтовый	7	9	7,8	25	40	32

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7
Древесно-пушициево-гипновый	9	9	9	35	35	35
Древесно-осоково-гипновый	7	7	7	25	25	25
Вахтово-гипно-древесный	6	6	6	35	35	35
Гипно-древесный	8	8	8	40	40	40
Осоково-гипно-древесный	6	7	6,5	40	45	42,5
Вахтовый	4	9	6	25	30	28,33
Осоковый	4	10	6,82	40	55	48,18
Осоково-гипновый низинный	5	11	8,29	25	50	32,86
Гипно-осоковый	5	11	8	5	50	42,5
Гипновый низинный	6	7	6,5	40	50	45
Гипно-вахтовый	11	11	11	30	30	30
Вахтово-осоково-гипновый	14	14	14	30	30	30
Вахтово-осоковый	4	10	7	35	60	50
Вахтово-гипно-осоковый	10	10	10	35	35	35

Примечание: столбцы 2, 3, 4 – показатели количества видов растений, слагающих определенный вид торфа: «min» – минимальное число, «max» – максимальное число, видов. Столбцы 5, 6, 7 – показатель степени разложения вида торфа: «min» – минимальная степень разложения, «max» – максимальная степень разложения.

Основные направления развития и смены торфов. Всего нами отмечено 61 направление переходов видов торфа, из которых лишь 6 повторилось два и более раза (знаком «=» обозначен переход одного вида торфа в другой):

1. Вахтово-древесный = Осоково-древесный
2. Вахтово-осоковый = Осоковый
3. Осоковый = Гипно-осоковый
4. Гипно-осоковый = осоковый
5. Осоковый = Вахтово-осоковый
6. Осоковый = Древесно-осоковый

Более половины переходов (31) отмечено для притеррасной части, скважины «И1». Здесь смена растительных сообществ происходила наиболее интенсивно: часто в травяные сообщества внедрялись древесные растения, заселялись гипновые и наоборот. По всей видимости, изменения экологических условий, наиболее явными из которых являются увлажнение (обводненность) и трофность проявлялись здесь наиболее показательно.

Отдельное внимание заслуживают закономерности, отражающие переход от евтрофных к мезотрофным условиям и в обратном направлении. Изменения такого рода фиксировались на основе появления в торфах определенной (до 25 %) доли мезотрофных видов. Исходя из этого, применительно к нашей работе, логичнее и

правильнее будет называть низинные торфа с примесью видов-мезотрофов мезоевтрофными (Рис. 2).

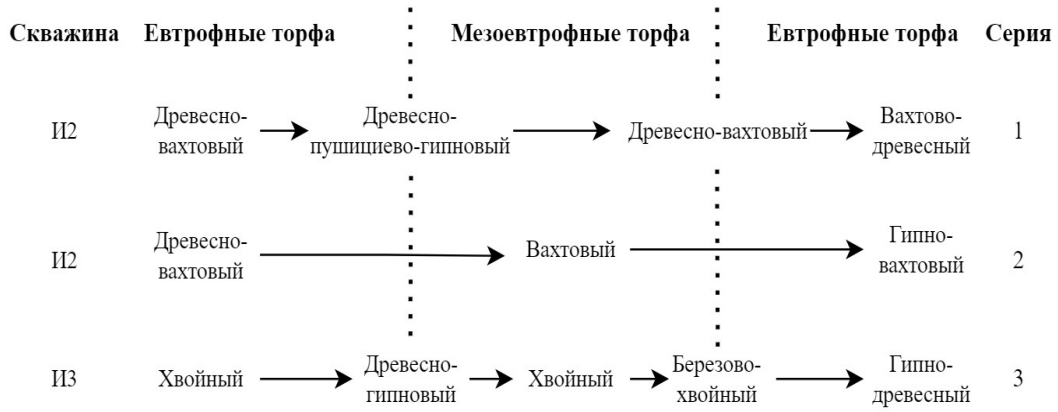


Рис. 2. Основные серии смены торфов с участием мезоевтрофных условий.

Для первой серии растениями-индикаторами мезоевтрофности условий являются остатки пушицы, доля которой доходит до 25 %. Во втором случае индикаторами мезоевтрофности, помимо пушицы, являются части *Sphagnum centrale*. В третьем случае показателями обеднения условий выступают остатки сфагновых: *S. fuscum*, *S. warnstorfii*, *Sphagnum* секции Acutifolia. Мы можем отметить следующую закономерность: появление гипновых мхов свидетельствует об увеличении трофности условий, равно как и снижение их доли индицирует о смене условий в сторону обеднения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Торфяная залежь болота Иштан принадлежит к низинному типу. Многообразие растительных компонентов в торфе позволяет отнести его к комплексным многослойным торфам лесного (14 образцов, 11,67 %), лесо-топяного (63 образца, 52,5 %) и топяного подтипа (43 образца, 35,83 %), где на различных глубинах отмечается преобладание осоковых, вахтовых, древесных, гипновых торфов и их комбинаций. Наиболее представлены следующие группы: травяно-древесная (26 образцов), древесная (23), травяная (22), древесно-травяная (21). Данные 4 группы составляют выше 76% всех представленных групп торфов. Всего в рамках настоящего исследования нами выделено 27 видов торфа.
2. Всего видов-торфообразователей – 48. Основными торфообразователями являются: *Carex cespitosa*, *C. lasiocarpa*, *C. omskiana*, *C. rostrata*, *Equisetum palustre*, *Menyanthes trifoliata*, пушица, гипновые мхи, а также группы хвойных и лиственных пород деревьев. Среднее число видов-торфообразователей – 7,71/на образец. Наибольшее среднее значение определено для вахтово-осоково-гипнового вида торфа (14). Торфа болота Иштан отличаются высокой степенью разложения (40,47 %).

3. Всего нами отмечено 61 направление переходов видов торфа, из которых лишь 6 повторилось два и более раза. Более половины переходов (31) отмечено для притеррасной части. Постоянная смена видового состава остатков в торфе позволяет заключить о непрерывном развитии растительных сообществ на исследованной территории. В сложении торфяной залежи притеррасной части на скважине «И1» участвует не менее 32 вида растений, для центральной части («И2») и пойменной («И3») – не менее 25.

Перспективы дальнейшего исследования торфяных залежей территории определяются двумя одинаково важными направлениями. Первое из них заключается в качественном улучшении базы знаний об исследованном объекте – дополнительно могут быть установлены, например, физико-химические свойства торфов. Второе направление – расширение географии исследований (например, изучение более южных сегментов Обского болота). Последним шагом может стать обобщение знаний и выявление на основе полученного массива данных глобальных закономерностей развития и функционирования болот территории.

Работа выполнена в рамках госзадания ИБВВ РАН, тема №124032100076-2 "Структура, функционирование и разнообразие первичных продуцентов континентальных вод"

Список литературы

1. Савичев О. Г. Химический состав вод Обского болота (Западная Сибирь) и его пространственные изменения под влиянием сбросов загрязняющих веществ / О. Г. Савичев, Н. В. Гусева, Е. А. Куприянов [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2013. – Т. 323, вып. 1. – С. 168–172.
2. Лапшина Е. Д. Болота Юго-Востока Западной Сибири : Ботаническое разнообразие, история развития и динамика накопления углерода в голоцене : диссертация ... доктора биологических наук : 03.00.05. / Лапшина Е. Д. – Томск, 2004. – 512 с.
3. Ландшафтная карта СССР масштаба 1:2500000, изданная на 16 листах / Отв. ред.: И. С. Гудилин. – М.: Министерство геологии СССР, 1980.
4. Лисс О. Л. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / О. Л. Лисс, Л. И. Абрамова, Н. А. Аветов [и др.] / под ред. В. Б. Куваева. – Тула : Гриф и К, 2001. – 584 с.
5. Львов Ю. А. Болотные ресурсы // Природные ресурсы Томской области / отв. ред. И. М. Гаджиев, А. А. Земцов. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1991. – С. 67–83.
6. Baisheva E. Z. Plant diversity and spatial vegetation structure of the calcareous spring fen in the “Arkaulovskoye Mire” Protected Area (Southern Urals, Russia) / E. Z. Baisheva, A. A. Muldashev, V. B. Martynenko [et al.] // Mires and Peat, 2019. – Vol. 24. – Art. 13. DOI: 10.19189/MaP.2019.OMB.StA.1890.
7. Синюткина А. А. Оценка трансформации торфяной залежи осушенных верховых болот юго-восточной части Западной Сибири / А. А. Синюткина // Геосферные исследования. – 2020. – № 1. – С. 78–87. – DOI 10.17223/25421379/14/6.
8. Логвинова Л. А. Сравнительное фармакогностическое исследование низинных древесно-травяных видов торфа различного происхождения для обоснования их использования в качестве перспективных источников биологически активных гуминовых кислот / Логвинова Л. А. // Химия растительного сырья. – 2022. – №. 1. – С. 277–288.
9. Маслов С. Г. Состав органического вещества и микроэлементов сфагновых торфов северной части месторождения Васюганское и направление их использования / Маслов С. Г., Инишева Л. И., Порохина Е. В. // Химия растительного сырья. – 2023. – №. 2. – С. 311–318.

10. Razjigaeva N. G. The stratigraphy of the blanket peatland and the development of environments on Bolshoi Shantar Island in the Late Glacial–Holocene / N. G. Razjigaeva, T. A. Grebennikova, L. A. Ganzey [et al.] // Russian Journal of Pacific Geology. – 2021. – T. 15, №. 3. – C. 252–267.
11. Kutenkov S. Topology, vegetation and stratigraphy of far eastern Aapa mires (Khabarovsk region, Russia) / Kutenkov S., Chakov V., Kuptsova V. // Land. – 2022. – T. 11, №. 1. – C. 96.
12. Vincze I. Paleoclimate reconstruction and mire development in the Eastern Great Hungarian Plain for the last 20,000 years / I. Vincze, E. Magyari, M. Braun [et al.] // Review of Palaeobotany and Palynology. – 2019. – Vol. 271. – P. 104112. – DOI 10.1016/j.revpalbo.2019.104112.
13. Kalnina L. Ilze Ozola Peat stratigraphy and changes in peat formation during the Holocene in Latvia / Kalnina L., Kuske E. // Quaternary International. – 2015. – Vol. 383. – P. 186–195.
14. Avetov N. A. Soils of Oligomesotrophic and Mesotrophic Bogs in the Boreal Zone of West Siberia: Possibilities of Botanical Diagnostics within the Framework of the Type of Mesotrophic Peat Soils / N. A. Avetov, O. L. Kuznetsov, E. A. Shishkonakova // Eurasian Soil Science. – 2021. – Vol. 54, No. 5. – P. 689–701. – DOI 10.1134/S1064229321030029.
15. Аветов Н. А. Опыт использования классификации и диагностики почв России в систематике торфяных почв биогеоценозов олиготрофных болот северотаежной подзоны Западной Сибири / Н. А. Аветов, О. Л. Кузнецов, Е. А. Шишконакова // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2019. – № 4. – С. 37–47.
16. Почвенное и биологическое разнообразие территории бывших торфоразработок Шатурской Мещеры в контексте их антропогенной трансформации / Е. А. Шишконакова, Н. А. Аветов, Г. В. Виндекер [и др.] // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2022. – № 111. – С. 30–76. – DOI 10.19047/0136-1694-2022-111-30-76. – EDN AJODYR.
17. Барицкая В. А. Геоботаника и методы геоботанических исследований / В. А. Барицкая, В. В. Чепинога. – Иркутск : Иркутский государственный университет, 2014. – 193 с.
18. Суворов В. В. Ботаника с основами геоботаники : учебник для подготовки бакалавров, обучающихся по направлениям 110400 "Агрономия" и 110500 "Садоводство" / В. В. Суворов, И. Н. Воронова. – 3-е издание, переработанное и дополненное. – М. : АРИС, 2012. – 520 с.
19. Щуряков Д. С. Результаты исследования ботанического состава торфяной залежи болотного массива Иштан / Щуряков Д. С. // Ботаника и ботаники в меняющемся мире: труды Международной научной конференции, посвященной 135-летию кафедры ботаники и 145-летию Томского государственного университета (г. Томск, 14–16 ноября 2023 г.). Томск: Изд-во Том. ун-та, 2023. – С. 323–329.
20. Домбровская А. В. Атлас растительных остатков, встречаемых в торфе / А. В. Домбровская, М. М. Коренева, С. Н. Тюремнов. – М.–Л. : Госэнергоиздат, 1959. – 137 с.
21. Кац Н. Я. Атлас растительных остатков в торфах / Н. Я. Кац, С. В. Кац, Е. И. Скобеева. – М. : Недра, 1977. – 371 с.
22. Тюремнов С. Н. Торфяные месторождения / под ред. А. С. Оленин. – М. : Недра, 1976. – 487 с.

CLASSIFICATION, PROPERTIES AND SPECIES SATURATION OF PEATS OF VALLEY SWAMP (A CASE STUDY OF THE ISHTAN SWAMP)

***Schuryakov D. S.*[1,2]**

[1]National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia
[2]Papanin Institute for Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences, Borok, Russia
E-mail: shuryakoff@yandex.ru

Swamps are unique natural systems with undeniable biosphere importance. The development of swamp ecosystems is accompanied by a change in their phytocenotic structure. These transformations lead to changes in the characteristics and properties of

peat deposits. The study of the above-mentioned phenomenon allows us to trace the history of the development of swamps and determine the features of their formation at various stages of functioning. The properties of a peat deposit vary significantly from the type of swamp and often change under the influence of various physical and geographical factors. The purpose of the study is to classify, characterize some properties and determine the species saturation of the peat deposit of the lowland valley swamp Ishtan. Research based on the results of studying its botanical composition.

We performed sample preparation and analyzed the botanical composition of peat, the degree of decomposition of plant residues, and the level of mineral contamination of all 3 wells (120 samples). For the methodological basis of the classification of the peats we used the classification proposed in 1976 by the peat scientist S. N. Tyuremnov. According to it, the name of peat includes only those peat-forming agents, the proportion of which is at least 20 %.

The peat deposit of the Ishtan swamp belongs to the lowland type. The variety of plant components in peat allows it to be attributed to complex multilayer peats of forest (14 samples, 11.67 %), forest-swamp (63 samples, 52.5 %) and swamp subtype (43 samples, 35.83 %), where the predominance of *Cyperaceae*, *Menyanthes trifoliata*, wood, *Hypnales* peat and their combinations is noted at various depths.

The following groups are most represented: herbal-wood (26 samples), wood (23), herbal (22), wood-herbal (21). These 4 groups account for over 76 % of all peat groups represented. The two following groups are noted less frequently: herbal-moss (10) and moss-herbal (9). The remaining groups occur singly, their role in peat composition is insignificant.

We have identified 27 types of peat. The most common species is the woody coniferous (*Pinus sylvestri*s + *Picea obovata*) ((27 samples/22.5 %). Further in distribution: *Menyanthes trifoliata*-woody (14/11.67 %), *Cyperaceae* (11/9.17 %), *Menyanthes trifoliata-Cyperaceae* (8/6.67 %), *Cyperaceae-Hypnales* lowland (7/5.83 %).

The average number of peat-forming species is 7.71/per sample. The highest average value was determined for the *Menyanthes trifoliata-Cyperaceae-Hypnales* type of peat (14). The peat deposit of the Ishtan swamp is composed of at least 48 species of plants. The main peat-forming agents of lowland valley swamps are the following plants and their groupings:

I. Woody:

I-a. Conifers (*Picea obovata* + *Pinus sylvestris*). The occurrence in peat (C) is 88.33 %, the highest average proportion (avg.) is 38.27 %, the maximum values of the proportion in peat composition (max) reach 95 %.

I-b. Deciduous (Various *Betula* sp. with a small proportion of other deciduous trees and shrubs). B – 35 %, avg. – 14.37 %. Often, such peat is an admixture to the remains of conifers. They are also indicators of a change in trophic conditions towards depletion in rare cases.

II. Herbal:

II-a. *Carex cespitosa*. It occurs in 25 % of samples with an average fraction of 5.17 %.

II-b. *Carex lasiocarpa*. The most important peat-forming agent. The occurrence is 89.17 %, the average proportion is 23.77 %, max is 95 %. Often, independently or with the other sedges creates layers of pure sedge peat.

II-c. *Carex omskiana*. B – 11.67 %, avg. – 12.21 %, max – 40 %.

II-d. *Carex rostrata*. B – 21.67 %, avg. – 3.35 %, max – 15 %.

II-e. *Equisetum palustre*. B – 35 %, avg. – 5.81 %, max – 25 %. It is often marked by a small impurity from 1 to 10 %. It forms woody-*Equisetum-Menyanthes trifoliata* and *Equisetum-Menyanthes trifoliata* peat layers unique for the territory.

II-f. *Menyanthes trifoliata*. The most common species in the peat deposits of the Ishtan swamp. It is found in 94.17 % of peat samples with an average fraction of 20.03 % and a max of 80 %. It forms both pure shift peat and its combinations with woody, herbal and moss species.

III. Mosses (*Bryum* spp., *Calliergon* spp., *Drepanocladus* spp., *Meesia* spp., *Mniaceae* spp., *Warnstorfia* spp.) Remains of mosses were noted in 75.83 % of samples with an average fraction of 14.53 %. Due to the high degree of decomposition, residues can often be determined only up to the genus.

The average degree of peat decomposition of the Ishtan swamp is 40.47 %. The highest average values (50 %) were determined for woody-*Menyanthes trifoliata-Cyperaceae*, woody-*Equisetum-Menyanthes trifoliata*, *Equisetum-Menyanthes trifoliata* and *Menyanthes trifoliata-Cyperaceae* peat, and the lowest average (25 %) – for woody-*Cyperaceae-Hypnales* species. The latter is due to its occurrence at a minimum depth of 0–10 cm. The maximum degree of decomposition (60 %) is noted for coniferous and *Menyanthes trifoliata-Cyperaceae* peat. Both samples lie at maximum depths and border on the mineral gley horizon underlying the peat deposit. We noted 61 directions of transitions of peat species, of which only 6 were repeated two or more times.

The prospects for further exploration of the peat deposits of the territory are determined by two equally important directions. The first of them is the qualitative improvement of the knowledge base about the studied object – the physico-chemical properties of peat can be established in addition. The second direction is the expansion of the geography of research (for example, the study of more southern segments of the Ob swamp). The last step may be the generalization of knowledge and the identification of global patterns of development and functioning of the marshes of the territory on the basis of the obtained data array.

***Keywords*:** lowland swamp, peat deposit, species saturation, peat formation, degree of peat decomposition.

References

1. Savichev O. G. Guseva N. V., Kuprijanov E. A. [et al.] Himicheskij sostav vod Obskogo bolota (Zapadnaja Sibir') i ego prostranstvennye izmenenija pod vlijaniem sbrosov zagrjaznjajushhih veshhestv, *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta*, **323**, **31**, 168 (2013).
2. Lapshina E. D. *Bogs in the southeast of West Siberia: Botanical diversity, development history and accumulation dynamics of carbon in the Holocene*, Doctoral (Biol.) Dissertation, 512 (Tomsk: TGU, 2004).
3. *Landshaftnaya karta SSSR masshtaba 1:2500000*, izdannaya na 16 listax, Otv. red.: I. S. Gudilin, (M.: Ministerstvo geologii SSSR, 1980).

4. Liss O. L., Abramova L. I., Avetov N. A. [et al.]. *Bog Systems of Western Siberia and Their Significance for Nature Conservation*, 584 (Tula : Grif i Ko, 2001).
5. L'vov Yu. A. Bolotnye resursy, *Prirodnye resursy Tomskoi oblasti*, 67 (Novosibirsk: Nauka, Sibirskoe otdelenie, 1991).
6. Baisheva E. Z., Muldashev A. A., Martynenko V. B. [et al.] Plant diversity and spatial vegetation structure of the calcareous spring fen in the "Arkaulovskoye Mire" Protected Area (Southern Urals, Russia), *Mires and Peat*, **24**, Art. 13. (2019). DOI: 10.19189/MaP.2019.OMB.StA.1890.
7. Sinyutkina A. A. Estimation of the raised bogs peat deposit transformation of West Siberia south-eastern part, *Geosphere Research*, **1**, 78 (2020).– DOI 10.17223/25421379/14/6.
8. Logvinova L. A., Zykova M. V., Krivoshchekov S. V., Drygunova L. A., Perederina I. A., Golubina O. A., Perminova I. V., Konstantinov A. I., Belousov M. V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, **1**, 277 (2022). (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20220110663.
9. Maslov S. G., Inisheva L. I., Porokhina E. V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2, 311 (2023) (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20230211764.
10. Razjigaeva N. G., Grebennikova T. A., Ganzey L. A. [et al.] The stratigraphy of the blanket peatland and the development of environments on Bolshoi Shantar Island in the Late Glacial–Holocene, *Russian Journal of Pacific Geology*, **15**, 3, 252 (2021).
11. Kutenkov S., Chakov V., Kuptsova V. Topology, vegetation and stratigraphy of far eastern Aapa mires (Khabarovsk region, Russia), *Land*, **11**, **1**, 96. (2022).
12. Vincze I., Magyari E., Braun M. [et al.] Paleoclimate reconstruction and mire development in the Eastern Great Hungarian Plain for the last 20,000 years, *Review of Palaeobotany and Palynology*, **271**, 104112. (2019). DOI 10.1016/j.revpalbo.2019.104112.
13. Kalnina L., Kuske E., Ilze Ozola Peat stratigraphy and changes in peat formation during the Holocene in Latvia, *Quaternary International*, **383**, 186 (2015).
14. Avetov N. A., Kuznetsov O. L., Shishkonakova E. A. Soils of Oligomesotrophic and Mesotrophic Bogs in the Boreal Zone of West Siberia: Possibilities of Botanical Diagnostics within the Framework of the Type of Mesotrophic Peat Soils, *Eurasian Soil Science*, **54**, **5**, 689 (2021). DOI 10.1134/S1064229321030029.
15. Avetov N. A., Kuznetsov O. L., Shishkonakova E. A. Experience in the use of Russian soil classification and diagnosis in the systematics of peat soils of oligotrophic bogs in the north taiga subzone of West Siberia, *Moscow Univ. Soil Sci. Bull*., **74**, 169 (2019). DOI: 10.3103/S0147687419040021.
16. Shishkonakova E. A., Avetov N. A., Vindeker G. V., Tolpysheva T. Yu., Garaeva N. R. Soil- and biodiversity of the former peat mines in Shaturskaya Meshchera in the context of their anthropogenic transformation, *Dokuchaev Soil Bulletin*, **111**, 30 (2022). DOI: 10.19047/0136-1694-2022-111-30-76.
17. Bariczkaya V. A., Chepinoga V. V. *Geobotanika i metody` geobotanicheskix issledovanij*, 193 (Irkutsk : Irkutskij gosudarstvenny`j universitet, 2014).
18. Suvorov V. V., Voronova I. N. *Botanika s osnovami geobotaniki : uchebnik dlya podgotovki bakalavrov, obuchayushhixsya po napravleniyam* 110400 "Agronomiya" i 110500 "Sadovodstvo", 3-e izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe, 520 (M. : ARIS, 2012).
19. Schuryakov D. S. *The results of study of botanical composition of peat deposit of the Ishtan swamp massif*, Botanika i botaniki v menyayushhemsya mire: trudy` Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashhennoj 135-letiyu kafedry` botaniki i 145-letiyu Tomskogo gosudarstvennogo universiteta (Tomsk, 14–16 of November 2023), 323 (Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta, 2023).
20. Dombrovskaya A. V., Koreneva M. M., Tyuremnov S. N. *Atlas rastitel`ny`x ostatkov, vstrechaemy`x v torfe*, 137 (M.–L. : Gosenergoizdat, 1959).
21. Kats N. Ya., Kats S. V., Skobeyeva Ye. I. *Atlas rastitel'nykh ostatkov v torfakh*, 371 (M. : Nedra, 1977).
22. Tyuremnov S. N. *Torfyanyye mestorozhdeniya,* 488 (M.: Nedra Publ., 1976).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 274–282.

УДК 612.621.31-055.2:796.015.6
DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-274-282

ГЛЮКОКОРТИКОИДНАЯ АКТИВНОСТЬ КОРЫ НАДПОЧЕЧНИКОВ В ОРГАНИЗМЕ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОК С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ

Юферев В. С., Погодина С. В.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Республика Крым, Симферополь, Россия
E-mail: sveta_pogodina@mail.ru

Обследованы спортсменки со средней продолжительностью менструального цикла 28–30 дней 37–45 и 16–26 лет. Проведены иммуноферментный анализ содержания гонадотропных и половых гормонов, иммунохроматографический in vitro тест на овуляцию, статистический анализ данных. У спортсменок с ановуляторным менструальным циклом диапазон глюкокортикоидной реакции на пороговые физические нагрузки сужается, что ограничивает их компенсаторно-приспособительные возможности. Прием орального противозачаточного препарата Мерсилон обусловливает повышение глюкокортикоидной активности, выходящей за пределы нормальных значений, что является компенсаторно-приспособительной реакцией в системе стероидогенеза.
Ключевые слова: глюкокортикоидная активность, диапазон реакции, спортсменки женщины, физические нагрузки, особенности репродуктивной функции, ановуляторный менструальный цикл, контрацептивы.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение роли эндокринных функций в формировании приспособительных механизмов в организме спортсменок является одной из важнейших проблем, как спортивной физиологии, так и спортивной тренировки женщин [1, 2]. Условия физического стресса в сочетании с эндогенными факторами, детерминирующими особенности функционирования репродуктивной системы организма женщин, в определенных возрастных группах могут обусловить напряжение механизмов саморегуляции и компенсации гомеостатических функций [3, 4], одним из которых выступит повышение или понижение реактивности гормонального звена адаптации [5]. Большое значение при этом придается механизму активации коры надпочечников, продуцирующей гормон – кортизол, обладающий выраженным эрготропным эффектом [6–8]. Компенсаторные изменения активности коры надпочечников необходимые для удовлетворения метаболической потребности и возможные только лишь при согласованной координированной деятельности регулирующих нервных центров позволяют в течение определенного отрезка

времени сохранить продуктивность работы на необходимом уровне [9, 10]. В связи с этим изучение адаптационных изменений свойств глюкокортикоидной активности в организме высококвалифицированных спортсменок в аспекте дифференциации функций репродуктивной системы позволяет получить дополнительные физиологические характеристики свойств реактивности стресс-реализующей системы и выделить группы спортсменок с напряжением компенсаторных механизмов на уровне гормонального звена адаптации к определенным пороговым нагрузкам.

Целью работы явилось изучение адаптационных изменений глюкокортикоидной активности в организме высококвалифицированных спортсменок при различном уровне функционирования репродуктивной системы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обследованы подгруппы высококвалифицированных спортсменок (представители видов спорта, связанных с преимущественным развитием аэробной выносливости) с овуляторным менструальным циклом (ОМЦ), (16–26 лет, n=32) и ановуляторным менструальным циклом (АМЦ), (37–45 лет, n=18). Спортсменки имели постоянный менструальный цикл и не принимали противозачаточных препаратов. Также обследована подгруппа высококвалифицированных спортсменок, принимающих противозачаточный препарат Мерсилон (n=9). Концентрацию кортизола и эстрадиола в сыворотке крови определяли методом твердофазного иммуноферментного анализа с использованием наборов Стериод ИФА-кортизол-01, (ЗАО «АлкорБио», Россия) и EstradiolELISAKit (TheCalbiotech, Inc (CBI), США) с помощью иммуноферментного полуавтоматического планшетного фотометра StatFax 2100, AwarenessTechnology (США) и термостата (инкубатор) – шейкера для планшетов (на 2 планшета) StatFax 2200, Awareness Technology (США). Референсные значения для эстрадиола 10-370 пг/мл, кортизола 150-760 нмоль/л. Иммунохроматографический тест на овуляцию OVUPLAN LUX использовался для ее определения. Показатели содержания гормонов в организме спортсменок изучались в динамике менструального цикла (МЦ): в период менструации (1–3 день от начала МЦ); в межменструальный период (8–9, 20–22 дни от начала МЦ); в период овуляции (13–16 день от начала МЦ); предменструальный период (26–27 день от начала МЦ). Содержание гормонов в венозной крови, определяли в исходном состоянии и при выполнении велоэргометрического теста ступенчато-возрастающей мощности на велоэргометре Ketler. Работа на ступенях нагрузки выполнялась при скорости педалирования 60об/мин в течение 3–4 минут и предусматривала режим малой (W_1=100–120 Вт), средней (W_2=150–180 Вт) и субмаксимальной (W_3=200-250 Вт) мощности. ЧСС на уровне малой, средней и субмаксимальной мощности соответственно 130–140, 150–160, 170–180 уд/мин. Для расчета уровня потребления кислорода (VO_2, мл/мин) определяли объем легочной вентиляции с помощью спиропневмотахометрического метода используя прибор «Spirobank – G» (производство Италия) и напряжение кислорода в выдыхаемом воздухе (P_EO_2, мм рт.ст.) используя термохимический газосигнализатор кислорода «Щит-3» (Украина). Объемные и газовые параметры корректировались с учетом

условий BTPS и STPD. Все изучаемые в работе показатели регистрировались в течение 30 секунд в конце последней минуты каждой ступени нагрузки. Результаты обработаны параметрическими и непараметрическими методами математической статистики в программе "OriginPro 8.5.1". Для определения статистически значимых различий использовали t-критерий Стьюдента, Т-критерий Вилкоксона и U-критерий Манна-Уитни. Статистически значимые различия считались при $p<0,05$. Наблюдения проводились во втягивающих мезоциклах подготовительного периода годового тренировочного процесса при условии добровольного информированного согласия.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В организме высококвалифицированных спортсменок в динамике ОМЦ и АМЦ показаны преимущественно гипоергические ответы кортизола при выполнении работы различной мощности (табл. 1). Гиперергические ответы кортизола показаны в периодах сниженной эстрогенной насыщенности (в менструальном и предменструальном периодах).

Таблица 1.
Характер изменений в содержании кортизола и эстрадиола в организме высококвалифицированных спортсменок,
(достоверное повышение -↑, достоверное снижение ↓)

Дни МЦ	ОМЦ						АМЦ					
	эстрадиол			кортизол			эстрадиол			кортизол		
	W_1	W_2	W_3	W_1	W_2	W_3	W_1	W_2	W_3	W_1	W_2	W_3
1-3	↓	↓			↓					↑	↑	
8-9							↓		↓		↓	↓
13-16	↑		↑			↓			↓		↓	
20-22			↑	↓	↓	↓					↓	↓
26-27				↑	↓					↓	↓	↓

Примечание: значимые различия показаны по отношению к исходному уровню.

В организме высококвалифицированных спортсменок, имеющих АМЦ, показана сравнительно большая чувствительность ответов кортизола на уровне средней и субмаксимальной мощности работы. В динамике ОМЦ на фоне гипоергических ответов кортизола отмечается повышение гонадной активности, тогда как в динамике АМЦ наблюдается снижение гонадной активности. Также обращает на себя внимание относительная устойчивость к нагрузке ответов эстрадиола у спортсменок с АМЦ. Тогда как у спортсменок с ОМЦ выражена относительная устойчивость ответов кортизола. Изучение особенностей диапазона глюкокортикоидной реакции в организме высококвалифицированных спортсменок позволило установить его выраженное сужение в динамике АМЦ относительно спортсменок с ОМЦ (IQR кортизол (нмоль/л ОМЦ min – 150, max – 500; АМЦ min –

25, max – 140). Установлено, что при выполнении работы средней мощности диапазон глюкокортикоидной реакции повышался по мере увеличения эстрогенной насыщенности в динамике ОМЦ. Очевидно, что именно на уровне средней мощности работы глюкокортикоидная реакция является наиболее чувствительной к циклическим изменениям гормонального фона. Особенности глюкокортикоидной активности в условиях приема оральных контрацептивов изучалась для выявления адаптационного уровня глюкокортикоидов при содержании эстрадиола ниже нормальных значений. Установлено, что при приеме оральных контрацептивов в период с 9–16 день от начала МЦ содержание эстрадиола в организме высококвалифицированных спортсменок снижалось до 0 пг/мл. В этот же период в организме высококвалифицированных спортсменок в исходном состоянии покоя выявлено выраженное повышение содержания кортизола свыше 1750 нмоль/л, что говорит о превышении нормальных значений этого гормона (рис. 3). Содержание кортизола при выполнении пороговых нагрузок соответствовало значениям исходного уровня. Уменьшение дозы противозачаточного препарата после предполагаемого периода овуляции приводило к снижению содержания кортизола в организме до уровня нормы. Таким образом, прием оральных контрацептивов и связанное с ним падение уровня эстрогенов ниже нормальных значений, обусловливало гиперреактивный ответ кортизола, повышение активности глюкокортикоидной функции. При сопоставлении динамики глюкокортикоидной реакции с динамикой потребления кислорода во всех группах испытуемых было установлено значимое увеличение потребления кислорода по мере повышения мощности работы, и к 13–16 дню от начала МЦ (уровень VO_2, мл·мин$^{-1}$ на 13–16 день: ОМЦ – при W_1 – 1942,12±17,24, при W_3 – 3140,08±14,79, $p<0,05$; АМЦ – при W_1 – 2000,96±17,43, при W_3 – 3398,37±17,10, $p<0,05$). При этом содержание эстрогенов в организме высококвалифицированных спортсменок, имеющих ОМЦ к этому периоду достигало значений, характерных для овуляторного пика (103,8 [90,00; 183,3] пг/мл), а в организме высококвалифицированных спортсменок, имеющих АМЦ, не превышало значений (93,4 [83,0; 97,5] пг/мл, $p=0,00338$).

Очевидно, что увеличение кислородного запроса в период с 13-16 день от начала МЦ связано с реакцией вентиляторного звена на нейрогормональные изменения в организме, имеющие циклический характер. Данные изменения могут не зависеть от гонадной активности и длительно поддерживаться на супрагипофизарном уровне [11, 12], а также опосредованно влиять на вентиляторную функцию [13]. В группе высококвалифицированных спортсменок, принимающих оральные контрацептивы значительное повышение уровня потребления кислорода отмечено при выполнении физической работы средней мощности (3638,32±31,87 мл·мин$^{-1}$, $p<0,001$), что свидетельствовало о значительном усилении энерготрат при сравнительно низком пороговом уровне работы. Субмаксимальная мощность работы приводила к значительному снижению потребления кислорода до 3276,32±24,02 мл·мин$^{-1}$, ($p<0,01$), очевидно в связи с падением вентиляторной функции.

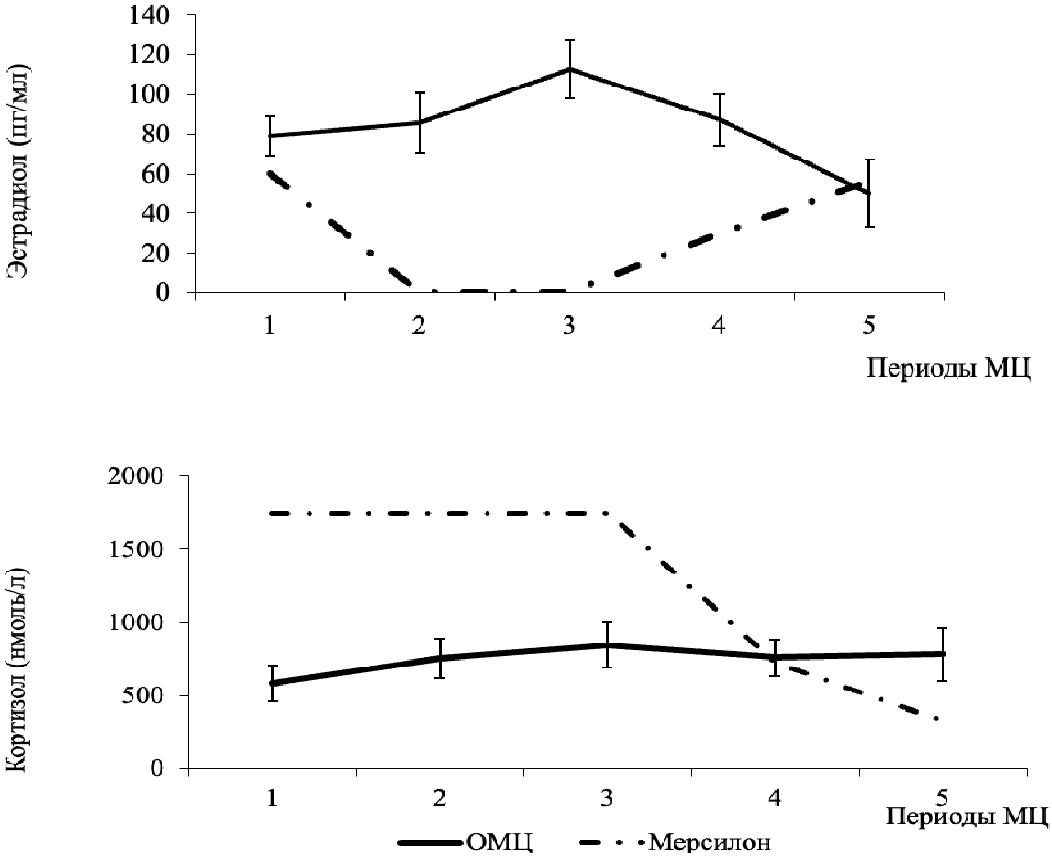


Рис. 3. Содержание кортизола и эстрадиола в организме высококвалифицированных спортсменок в исходном состоянии покоя в динамике ОМЦ (прямая линия) и в условиях приема контрацептивов (пунктирная линия).

Среди факторов, определяющих активность глюкокортикоидной функции весьма существенное значение придается параметрам нагрузки, уровню энергетических трат, тренированности [6], возрасту и полу [14]. В женском организме выявлена тесная функциональная взаимосвязь между надпочечниками и гонадами, которые составляют собой единую стероид-синтезирующую систему [15]. Также общепринятым является мнение о том, что гипоталамо-гипофизарно-адреналовая система женщин является более возбудимой, а амплитуда гормонального ответа высокой, что в значительной мере связано с влиянием эстрогенов [4]. Нами показано, что при повышении потребления кислорода по мере увеличения мощности физической работы наблюдали преимущественно гипоергические ответы кортизола в организме высококвалифицированных спортсменок с ОМЦ и АМЦ, что очевидно связано с кумулятивным снижением реактивности коры надпочечников на данную пороговую нагрузку.

Гиперергические ответы были выявлены в периодах МЦ, где имеет место снижение уровня эстрогенов (во время менструации и в предменструальный период), а также при падении уровня эстрогенов ниже нормальных значений (в связи с приемом оральных контрацептивов). Гиперергические ответы в большей степени являлись необходимыми для компенсаторного усиления функций стероидогенеза при снижении эстрогенной насыщенности. Глюкокортикоидная активность в данном случае, выполняет роль компенсаторного механизма, поддерживающего, необходимый для саморегуляции гомеостаза, оптимальный стероидогенез. В случае с высококвалифицированными спортсменками, принимающими оральные контрацептивы выраженная гиперергическая глюкокортикоидная реакция на падение уровня эстрадиола ниже границы нормы свидетельствует об адаптационном напряжении в гормональном звене стресс-реакции. В свою очередь избыточность метаболических трат в данной группе высококвалифицированных спортсменок, на сравнительно низком уровне пороговой нагрузки отражает формирование напряжение и на уровне системы внешнего дыхания. Следовательно, падение уровня эстрогенов ниже допустимого может значительно снизить толерантность к физическим нагрузкам, на уровне ведущих стресс-реализующих звеньев – гормонального и вентиляторного.

Известно, что потенциал компенсаторно-приспособительных возможностей организма определяется его способностью изменять уровень деятельности физиологических систем в соответствии с требованиями среды. Широкие границы диапазона глюкокортикоидной реакции в динамике ОМЦ свидетельствуют о высоком потенциале компенсаторно-приспособительных возможностей организма высококвалифицированных спортсменок с нормальным уровнем функционирования репродуктивной системы. В свою очередь, выявленная нами тенденция расширения диапазона глюкокортикоидной реакции по мере увеличении содержания уровня эстрогенов при выполнении средней мощности работы, свидетельствует о необходимости строго дозировать данную мощность пороговой нагрузки в зависимости от периода ОМЦ. При снижении в женском организме половой функции взаимосвязь между репродуктивным и адаптационным гомеостазом повышается. Низкий диапазон глюкокортикоидной реакции в организме высококвалифицированных спортсменок, имеющих АМЦ является свидетельством ограничения компенсаторно-приспособительных возможностей на уровне эндокринного звена стресс-реакции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В организме высококвалифицированных спортсменок в динамике ОМЦ и АМЦ при выполнении пороговых нагрузок установлены преимущественно гипоергические глюкокортикоидные реакции, что связано со снижением реактивности коры надпочечников на пороговые нагрузки.
2. Гиперергические глюкокортикоидные реакции выявлены при падении эстрогенной насыщенности и являются компенсаторно-приспособительными в системе стероидогенеза. Падение эстрогенной насыщенности ниже нормальных

значений повышает степень адаптационного напряжения на уровне глюкокортикоидного и вентиляторного звеньев стресс-реакции.

3. В динамике ОМЦ установлен сравнительно широкий диапазон глюкокортикоидной реакции, который имеет высокую чувствительность к гормональным регулирующим влияниям на уровне средней пороговой мощности работы.

Список литературы

1. Иорданская Ф. А. Мужчина и женщина в спорте высших достижений (проблемы полового диморфизма) / Ф. А. Иорданская – М.: Советский спорт, 2012. – 256 с.
2. Соболева Т. С. О проблемах женского спорта / Т. С. Соболева // Теория и практика физической культуры. – 1999. – № 6. – С. 56–63.
3. Манухин И. Б. Ановуляция и инсулинорезистентность / И. Б. Манухин, М. А. Геворкян, Н. Б. Чагай // ГЭОТАР-Медиа. – 2006. – 416 с.
4. Резников А. Г. Эндокринологические аспекты стресса / А. Г. Резников // Международный эндокринологический журнал. – 2007. – № 4(10). – С. 11–17.
5. Типисова Е. В. Реактивность и компенсаторные реакции эндокринной системы у мужского населения Европейского Севера : Автореф. дисс. докт. биол. наук. / Е. В. Типисова – 2007 г . – 352 с.
6. Виру А. А. Функции коры надпочечников при мышечной деятельности / А. А. Виру – М.: Медицина, 1977. – 176 с.
7. Диденко С. Н. Показатели некоторых гормонов в слюне юных спортсменов, специализирующихся в гандболе / С. Н. Диденко, Г. Д. Алексанянц // Физическая культура, спорт – наука и практика. – 2015. – № 2. – С. 51–53.
8. Crewther B. T. Effects of oral contraceptive use on the salivary testosterone and cortisol responses to training sessions and competitions in elite women athletes / B. T. Crewther, D. Hamilton, K. Casto, L. P. Kilduff, C. J. Cook // Physiology & Behavior . – 2015. – Vol. 147. – P. 84–90.
9. Лысенко Е. Н. Физиологическая реактивность и особенности мобилизации функциональных возможностей высококвалифицированных спортсменов / Е. Н. Лысенко. // Материалы Всеросийской научно-практической конференции “Спортивная медицина. Здоровье и физическая культура. – Сочи, 2012. – С. 245–249.
10. Тамбовцева Р. В. Изменения гормональной регуляции обменных процес сов у конькобежцев на разных етапах тренировочного цикла / Р. В. Тамбовцева, И. А. Никулина // Теория и практика физической культуры. – 2015. – № 5. – С. 52–55.
11. Guasti L. Autonomic function and baroreflex sensitivity during a normal ovulatory cycle in humans / L. Guasti, P. Grimoldi, L. T. Mainardi et al. // ActaCardiol. – 1999. – Vol. 54. – P. 209–213.
12. Hirshoren N. Menstrual cycle effects on the neurohumoral and autonomic nervous system regulating the cardiovascular system / N. Hirshoren, L. Tzoran, Y Makrienko et al. // Clinical Endocrinology and Metabolism. – 2002. – Vol. 87. – P. 1569–1575.
13. Шахлина Л. Я.-Г. Медико-биологические основы спортивной тренировки женщин / Л. Я.-Г. Шахлина – Киев.: Наукова думка, 2001. – 326 с.
14. Погодина С. В. Гендерные особенности стресс-реакций в организме спортсменов юношеского и зрелого возраста / С. В. Погодина, Г. Д. Алексанянц // Физическая культура, спорт – наука и практика. – 2015. – № 2. – С. 41–46.
15. Pogodina S. V. The heart rate variability and hemodynamic response of the female athletes in the age range of 17–45 years / S. V Pogodina., G. D. Aleksanyants // Fundamental and applied sciences today. – 2015. – Vol. 2. – P. 1–3.

GLUCOCORTICOID ACTIVITY OF THE ADRENAL CORTEX IN THE BODY OF HIGHLY QUALIFIED ATHLETES WITH DIFFERENT LEVELS OF FUNCTIONING OF THE REPRODUCTIVE SYSTEM

Yuferev V. S, Pogodina S. V.

Federal V.I. Vernadsky Crimean University, Simferopol, Russia
E-mail: sveta_pogodina@mail.ru

Athletes with an average menstrual cycle duration of 28-30 days, 37-45 and 16-26 years old were examined. Enzyme immunoassay of gonadotropin and sex hormones, immunochromatographic in vitro ovulation test, and statistical data analysis were performed. In athletes with an anovulatory menstrual cycle, the range of glucocorticoid response to threshold physical activity narrows, which limits their compensatory and adaptive capabilities. Taking the oral contraceptive drug Mercilon causes an increase in glucocorticoid activity beyond normal values, which is a compensatory adaptive reaction in the steroidogenesis system. In the body of highly skilled athletes in the dynamics of ovarian and menstrual anovulatory menstrual cycle set gipoergicheskom glucocorticoid response. Range is expressed glucocorticoid response characteristics depending on the level of functioning of the reproductive system. The dynamics of the ovulatory menstrual cycle shows a relatively wide range of glucocorticoid response, thus increasing the level of compensatory and adaptive capabilities steroidogenesis system in the troubled periods of the menstrual cycle. In athletes with anovulatory menstrual cycle glucocorticoid response range is narrow, which limits the compensatory-adaptive possibilities. Admission Mersilon contraceptive drug has an effect on the range of glucocorticoid response, which is the estimated ovulation period exceeds the range of its normal physiological fluctuations. In the body of highly qualified athletes, in the dynamics of OMC and AMC, when performing threshold loads, mainly hypoallergenic glucocorticoid reactions were established, which is associated with a decrease in the reactivity of the adrenal cortex to threshold loads. Hyperergic glucocorticoid reactions were detected with a decrease in estrogen saturation and are compensatory and adaptive in the steroidogenesis system. A drop in estrogen saturation below normal values increases the degree of adaptive stress at the level of the glucocorticoid and ventilator links of the stress reaction. A relatively wide range of glucocorticoid reactions has been established in the dynamics of the OMC, which has a high sensitivity to hormonal regulatory influences at the level of the average threshold power of work.

***Keywords*:** glucocorticoid activity, reactions range athletes women, physical activity, especially reproductive function, anovulatory menstrual cycle, contraceptive.

References

1. Iordanskaya F. A. *Muzhchina i zhenshchina v sporte vysshih dostizhenij (problemy polovogo dimorfizma)*, 256 (M.: Sovetskij sport, 2012).
2. Soboleva T. S. O problemah zhenskogo sporta, *Teoriya i praktika fizicheskoj kul'tury*, **6**, 56 (1999).
3. Manuhin I. B., Gevorkyan M. A., Chagaj N. B. *Anovulyaciya i insulinorezistentnost',* 416 (GEOTAR-Media, 2006).

4. Reznikov A. G. Endokrinologicheskie aspekty stressa, *Mezhdunarodnyj endokrinologicheskij zhurnal*, **4(10),** 11 (2007).
5. Tipisova E. V. *Reaktivnost' i kompensatornye reakcii endokrinnoj sistemy u muzhskogo naseleniya Evropejskogo Severa*, Avtoref. diss. dokt. biol. Nauk, 352 (2007).
6. Viru A. A. *Funkcii kory nadpochechnikov pri myshechnoj deyatel'nosti*, 176 s. (M.: Medicina, 1977).
7. Didenko S. N., Aleksanyanc G. D. Pokazateli nekotoryh gormonov v slyune yunyh sportsmenov, specializiruyushchihsya v gandbole, *Fizicheskaya kul'tura, sport – nauka i praktika*, **2,** 51 (2015).
8. Crewther B. T., Hamilton D., Casto K., Kilduff L. P., Cook C. J. Effects of oral contraceptive use on the salivary testosterone and cortisol responses to training sessions and competitions in elite women athletes, *Physiology & Behavior*, **147**, 84 (2015).
9. Lysenko E. N. *Fiziologicheskaya reaktivnost' i osobennosti mobilizacii funkcional'nyh vozmozhnostej vysokokvalificirovannyh sportsmenov*, Materialy Vserosijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii "Sportivnaya medicina. Zdorov'e i fizicheskayakul'tura, 245 (Sochi, 2012).
10. Tambovceva R. V., Nikulina I. A. Izmeneniya gormonal'noj regulyacii obmennyh proces sov u kon'kobezhcev na raznyh etapah trenirovochnogo cikla, *Teoriya i praktika fizicheskoj kul'tury*, **5**, 52 (2015).
11. Guasti L., Grimoldi P., Mainardi L. T., et al. Autonomic function and baroreflex sensitivity during a normal ovulatory cycle in humans, *ActaCardiol*., **54**, 209 (1999).
12. Hirshoren N., Tzoran L., Makrienko Y. et al. Menstrual cycle effects on the neurohumoral and autonomic nervous system regulating the cardiovascular system, *Clinical Endocrinology and Metabolism*, **87**, 1569 (2002).
13. Shahlina L. Ya.-G. *Mediko-biologicheskie osnovy sportivnoj trenirovki zhenshchin*, 326 (Kiev.: Naukova dumka, 2001).
14. Pogodina S. V., Aleksanyanc G. D. Gendernye osobennosti stress-reakcij v organizme sportsmenov yunosheskogo i zrelogo vozrasta, *Fizicheskaya kul'tura, sport – nauka i praktika*, **2**, 41 (2015).
15. Pogodina S. V., Aleksanyants G. D. The heart rate variability and hemodynamic response of the female athletes in the age range of 17-45 years, *Fundamental and applied sciences today*, **2**, 1 (2015).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 283–293.

УДК 612.621.31-055.2:796.015.6
DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-283-293

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И РЕЗЕРВЫ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СПОРТСМЕНОК ВТОРОГО ЗРЕЛОГО ВОЗРАСТА

Юферев В. С., Погодина С. В.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: sveta_pogodina@mail.ru

Обследованы высококвалифицированные спортсменки со средней продолжительностью менструального цикла 28–30 дней 37–45 и 16–26 лет. Проведены иммуноферментный анализ содержания гонадотропных и половых гормонов, иммунохроматографический in vitro тест на овуляцию, анализ вариабельности сердечного ритма, анализ реограмм центральной гемодинамики, велоэргометрический тест ступенчато-возрастающей нагрузки, статистический анализ данных.
У профессиональных спортсменок 37–45 лет во второй пловине ановуляторного менструального цикла определены физиологические особенности проявления резервных и компенсаторных эффектов на уровне регуляторного, кардиального и гемодинамического звеньев сердечно-сосудистой системы, что необходимо учитывать в дозировании высокоинтенсивных физических нагрузок.
Ключевые слова: второй зрелый возраст, профессиональные спортсменки, сердечно-сосудистая система, физиологические резервы.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время имеет место формирование устойчивой потребности социально-активных женщин в продолжительном проявлении профессиональных возможностей на высоком уровне [1]. В профессиональном спорте отмечается феномен расширения возрастных границ спортсменок, демонстрирующих высокий уровень достижений в диапазоне четвертого десятилетия (40+ лет), то есть в нисходящем периоде развития [2]. Тогда как известно, что в женском организме инволютивно-возрастные сдвиги связаны со снижением адаптивно-регуляторных резервов в связи с интенсивными изменениями в системе гипоталамус-гипофиз-гонады (падение гонадной активности, деструктуризация овариально-менструального цикла и увеличение количества ановуляторных циклов) [3, 4], которые являются ведущими в повышении риска развития сердечно-сосудистых расстройств [5, 6]. Присутствие в профессиональном спорте женщин второго зрелого возраста вскрывает и актуализирует для возрастной физиологии и спортивной практики проблему функциональной способности сердечно-сосудистой системы (ССС) женского организма адаптироваться к напряженным физическим нагрузкам в прединволютивном периоде [7]. С практической точки зрения это

важно для выявления физиологических факторов формирования высокого функционального уровня ССС женского организма при длительных физических воздействиях вплоть до позднего онтогенеза [8], и при этом факторов риска снижения регуляторных, гемодинамических и кардиальных резервов [9]. В связи с этим принципиально необходим анализ функциональных характеристик ССС профессиональных спортсменок в широких возрастных границах путем сравнения состояния ССС спортсменок разных возрастных периодов. Целью работы явился анализ физиологических особенностей и резервов ССС профессиональных спортсменок 37–45 лет.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обследованы высококвалифицированные спортсменки, не принимающие оральные контрацептивы, со средней продолжительностью менструального цикла (МЦ) 28–30 дней (представители длинных дистанций в беге и плавании) прединволютивного периода (группа с ановуляторным менструальным циклом (АМЦ) 37–45 лет, n=18) и репродуктивного периода (группа с овариально-менструальным циклом (ОМЦ) 16–26 лет, n=32). Исследование содержания гормонов проводили методом твердофазного иммуноферментного анализа (иммуноферментный полуавтоматический планшетный фотометр Stat Fax 2100, термостат (инкубатор) – шейкер на 2 планшета Stat Fax 2200, Awareness Technology, США). Для определения содержания эстрадиола (E_2) использовали набор реагентов Estradiol ELISA Kit (The Calbiotech, Inc (CBI), США, референсные значения эстрадиола – 10–370 пг/мл). Для определения содержания фолликулостимулирующего (ФСГ) и лютеинизирующего (ЛГ) гормонов применяли наборы реагентов Гонадотропин ИФА-ЛГ и ДС-ИФА–гонадотропины-ФСГ (ЗАО «Алкор Био», Россия). Иммунохроматографический одностадийный in vitro тест на овуляцию OVUPLAN LUX проводили для определения овуляции [10]. Вегетативную регуляцию и функции кардио-гемодинамики исследовали реографическим методом на восьмиканальном тетраполярном реографе РЕОКОМ Стандарт (ХАИ-МЕДИКА, Украина). Анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР) осуществляли путем записи ЭКГ с регистрацией 5-минутных фрагментов кардиоинтервалограммы (КИГ). Для обработки КИГ применяли статистический анализ следующих показателей: частота сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин); SDNN – стандартное отклонение средних значений NN интервалов; квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов (RMSSD, мс); число пар кардиоинтервалов с разностью более 50 мс в % к общему числу кардиоинтервалов в массиве (pNN50, n). Также анализ ВСР проводили путем построения гистограмм распределения R-R-интервалов и определения показателей: моды (Mo) – наиболее часто встречающееся значение R-R (мс), амплитуды моды (AMo) – количество R-R, соответствующих значению моды (n), расчета индекса напряжения регуляторных систем (ИН) [9, 11]. Спектральный анализ волновой структуры ритма сердца применяли для определения мощности и соотношения трех видов волн различной частотной характеристики: с высокочастотными колебаниями (HF) в границах от 0,15 до 0,4 Гц, низкочастотными колебаниями (LF) в границах от

0,04 до 0,15 Гц и колебаниями очень низкой частоты (VLF) в границах от 0 до 0,04 Гц. В качестве изучаемых гемодинамических показателей использовали: В качестве изучаемых гемодинамических показателей использовали: ударный объём крови (УОК, мл), ударный индекс (УИ, мл/кг) минутный объём крови (МОК, л/мин), сердечный индекс (СИ, л/мин/м^2); общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС, дин·с$^{-1}$м$^{-5}$), работоспособность левого желудочка (РЛЖ, кгм), систолическое артериальное давление (АДсист., мм рт. ст.), диастолическое артериальное давление (АДдиаст., мм рт. ст.). Исследуемые показатели ССС изучались в исходном состоянии, и при выполнении велоэргометрического теста ступенчато-возрастающей нагрузки (велоэргометр Kettler, Германия) в котором по параметрам мощности, интенсивности и продолжительности воздействия моделировались поровые режимы работы – аэробный, аэробно-анаэробный, анаэробно-аэробный. Все показатели определялись в разных периодах МЦ. За менструальный период принимали с 1 по 2 день от начала МЦ, за постменструальный с 8 по 9 день, за овуляторный с 13 по 16 день, за постовуляторный с 20 по 22 день, за предменструальный с 26 по 27 день [12, 13]. Результаты исследований обработаны с применением программного обеспечения STATISTICA 10.0. Проверка соответствия данных закону нормального распределения проводилась с помощью критерия Шапиро-Уилка. Далее определяли среднее значение исследуемых величин и ошибку среднего арифметического. Статистически значимые различия определялись с помощью t-критерия Стьюдента, значимые различия считались при $p<0,05$. В случае, когда статистические данные не подчинялись закону нормального распределения, анализ проводили по показателям медианы (Me), 25 и 75 % процентилей, минимального и максимального значений [min; max]. Статистически значимые различия определяли используя критерий Т-Вилкоксона и U-критерий Манна-Уитни, значимыми различия считались при $p<0,05$. Также использовался корреляционный анализ и определение коэффициента корреляции (r) Пирсона с учетом поправки Бонферрони для множественных сравнений. Все спортсменки дали добровольное информированное согласие на участие в исследовании, что было одобрено комитетом по биоэтике Кубанского государственного университета физической культуры, спорта и туризма.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ репродуктивного статуса спортсменок выявил низкую степень сохранности овариально-менструальной функции в диапазоне 37–45 лет. В частности, у спортсменок данного возрастного диапазона в in vitro тесте OVUPLAN LUX был установлен отрицательный результат в 72 % случаях, что свидетельствовало о преимущественно ановуляторном характере менструального цикла. Также у спортсменок 37–45 лет регистрировали уровень ФСГ на 2–3 день менструации – 25,4±1,42 мМЕ/мл и содержание ЛГ в межменструальный период – 70,9±4,49 мМЕ/мл, что превышает значения нормы для репродуктивного возраста. В свою очередь, у спортсменок 16–26 лет положительный результат в in vitro тесте регистрировали в 100 % случаях, что подтверждало наличие овуляции и овариально-менструального характера цикла. В результате изучения уровня

содержания эстрадиола (Me [min; max]) установлено, что у спортсменок 16–26 лет с ОМЦ, содержание эстрогенов в организме находилось в диапазоне нормы, установленной для репродуктивного возраста. Овуляторный пик E_2 в сыворотке крови наблюдали на 13–16 день от начала МЦ (соответственно E_2 = 103,815 [80,03; 139] пг/мл). Далее, в период с 20–22 день от начала МЦ происходило снижение содержания E_2 до 94 [70; 113,95] пг/мл, и в период с 26–27 день от начала МЦ содержание E_2 снижалось до значений 74 (50; 91) пг/мл). У спортсменок 37-45 лет с АМЦ пик E_2, характерный для овуляции, не выявлен. Также в этой возрастной группе спортсменок относительно периода с 1 по 3 день от начала МЦ отмечено снижение содержания E_2 в периоды с 8 по 9 и с 13 по16 день (величины E_2 (Me [min; max]) соответственно равны 86 [79; 94] и 93 [86; 96] пг/мл). То есть, у спортсменок 37–45 лет установлен сбой оптимального для репродуктивного возраста соотношения в содержании гонадотропных и половых гормонов и перестройка овариально-менструального цикла на ановуляторный.

Оценка вегетативной регуляции спортсменок в исходном состояния, проведенная путем статистического анализа ВСР показала, что величина SDANN, характеризующая уровень интегральной нейрогуморальной регуляторной активности, в диапазоне 37–45 лет была сравнительно низкой, что говорит о тенденции снижения регуляторных резервов [11]. При этом достоверное снижение SDANN до значений 36,8±2,09 ($p<0,01$) определено в период с 13 по 16 день. У спортсменок 16–26 лет с ОМЦ достоверное снижение величины SDANN до значений 46,5±1,32, $p<0,05$ определено в предменструальном периоде. Также отмечено, что в предменструальном периоде у всех спортсменок величина SDANN не имела достоверных различий (ОМЦ – 46,5±1,32; АМЦ – 49,8±2,69, $p>0,05$). Анализ соотношения симпато-парасимпатических влияний выявил наиболее выраженные групповые различия в величинах показателя pNN50, диапазон значений которого у спортсменок 37–45 лет находился в пределах от 8,5±4,66 до 17,0±1,66 %, а у спортсменок 16–26 лет в пределах от 17,4±2,76 до 42,1±3,22 %, что говорит о снижении парасимпатических влияний к 37–45 годам. Необходимо отметить, что в предменструальном периоде у спортсменок 16-26 лет определено значимое снижение pNN50 до наименьшей величины 17,4±2,76 % ($p<0,05$), и отсутствие достоверных различий данной величины от значения аналогичного параметра в возрасте 37–45 лет. Показатели, характеризующие симпато-адреналовые влияния, имели сравнительно высокие значения у спортсменок 37–45 лет, что говорит о большем напряжении нейро-гормональных адаптационных механизмов у последних. Так, диапазон значений ИН у спортсменок 37–45 лет находился в пределах 206,0±50,95 и 408,8±199,00 усл. ед., а у спортсменок 16–26 лет в пределах 19,4±2,79 и 53,3±24,71 усл. ед. ($p<0,001$, $p<0,01$). У спортсменок 16–26 лет имело место достоверное увеличение ИН перед менструацией, тем не менее, в данном периоде различия величины ИН в возрастных группах спортсменок статистически не значимы (при ОМЦ – 168,7±9,40 усл. ед.; при АМЦ – 190,8±5,96 усл. ед., $p>0,05$). Спектральный анализ ВСР выявил значимые групповые различия в показателе мощности колебаний в спектре VLF-волн, который у спортсменок 37–45 лет, имел сравнительно низкие значения относительно

16–26 лет. То есть при возрастном снижении овариально-менструальной функции у спортсменок определяется относительное снижение централизации управления сердечным ритмом. В свою очередь, у спортсменок 16–26 лет выявлено два пика повышения значений мощности VLF-волн – в постменструальном и постовуляторном периодах, где регистрировали повышение эстрогенной насыщенности (рисунок 1 А). В предменструальном периоде значения мощности VLF-волн в возрастных группах спортсменок не достоверны.

Значения мощности LF-волн, характеризующие степень симпатических влияний, значимо повышались во всех группах спортсменок в период с 8 по 16 день, где имеет место сравнительно высокое содержание эстрогенов при ОМЦ. При этом, у спортсменок 16–26 лет с ОМЦ значения мощности LF-волн были достоверно больше, относительно 37–45 лет. Это свидетельствует о сравнительно высоком уровне симпатических влияний при относительно высокой гонадной активности. В предменструальном периоде различия в значениях величин мощности LF-волн в возрастных группах спортсменок не достоверны.

Анализ величин мощности HF-волн, характеризующих степень парасимпатических влияний, выявил относительно низкие значения у спортсменок 37–45 лет, что говорит о снижении резервов автономной регуляции у последних. В диапазоне 37–45 лет установлено достоверное повышение значений мощности HF-волн во второй половине АМЦ – в период с 20 по 22 день, а в диапазоне 16–26 лет в первой половине ОМЦ – в период с 8–16 день (рисунок 1 Б), что позволяет считать эти периоды как благоприятные для проявления потенциала регуляторных резервов.

Дозированная физическая нагрузка, выполняемая в высокоинтенсивном анаэробно-аэробном режиме, является критерием, определяющим истинные резервы вегетативного и автономного механизмов регуляции сердечного ритма. При данной нагрузке установлено снижение значений мощности VLF-волн у спортсменок 16–26 лет в первой половине ОМЦ, а в 37–45 лет во второй половине АМЦ (рисунок 1 А). Также в условиях высокоинтенсивной нагрузки определено достоверное повышение значений мощности LF-волн у всех спортсменок во второй половине МЦ, что говорит об относительном напряжении быстрого механизма автономной регуляции. Значения мощности HF-волн достоверно увеличиваются при анаэробно-аэробном режиме нагрузки у спортсменок 16–26 лет в период с 8 по 16 день, а у спортсменок 37–45 лет с АМЦ во второй половине цикла с 20 по 22 день (рисунок 1 Б), что в данных периодах создает условия для повышения резервов медленного механизма автономной регуляции. Анализ кардио-гемодинамических функций в условиях высокоинтенсивного режима нагрузки позволил дифференцировать резервные возможности циркуляторного и кардиального звеньев ССС спортсменок. В диапазоне 37–45 лет отмечено повышение РЛЖ до 86,71±2,43 % ($p<0,05$) при относительно высоком повышении величины МОК на 172,32±6,14 % ($p<0,01$) в период с 20 по 22 день, тогда как в диапазоне 16–26 лет повышение РЛЖ регистрировали в период с 8 по 16 день в пределах 102,34±5,54 – 181,09±9,02 % ($p<0,05$, $p<0,001$), при этом величины МОК возрастали в пределах 148 %.

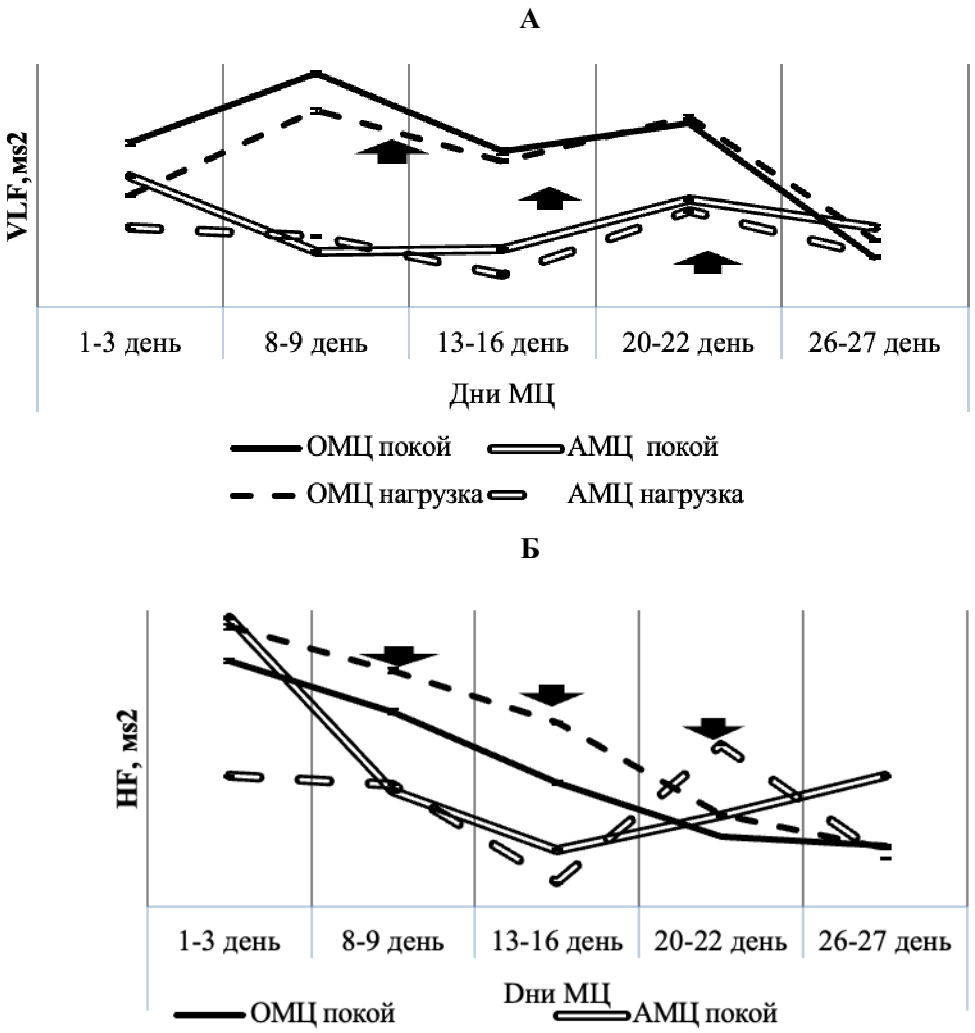


Рис. 1. Хронобиолгические особенности спектральных характеристик ВРС у профессиональных спортсменок 37–45 лет с АМЦ и 16–26 лет с ОМЦ.

То есть в возрастной группе спортсменок 37–45 лет отмечали меньший прирост РЛЖ при наибольшей интенсивности кровотока, что говорит о сравнительно низкой активности кардиального и гиперактивности циркуляторного компонентов в достижении приспособительного результата.

В то же время у спортсменок 16–26 лет показаны отрицательные инотропные эффекты, выражающиеся в снижении РЛЖ в периоды второй половины ОМЦ (до предела 63,07±2,62 – 27±1,18 %, $p<0,05$, $p<0,01$), тогда как у спортсменок 37–45 лет отмечены признаки снижения сократительной способности миокарда в предменструальном периоде до 69,26±2,56 %, $p<0,05$. Выявленные особенности

кардио-гемодинамических ответов у спортсменок 37–45 и 16–26 лет в соответствующие периоды АМЦ и ОМЦ по качеству аналогичны сдвигам вегетативной регуляции ССС. Однако, у спортсменок 37–45 лет резервы кардиального и циркуляторного звеньев в достижении высокого функционального уровня ССС снижены, что особенно выражено в циркуляторном звене.

Эффекты физиологических особенностей ССС также могут быть исследованы на уровне организации системных компонентов, который отражает функциональную активность системы в достижении полезного приспособительного результата. Изучение организации функций ССС проводилось с использованием анализа множественных корреляционных взаимосвязей между показателями блоков ВСР и кардио-гемодинамики [14]. При анализе корреляционных матриц нами показаны изменения суммы статистически значимых коэффициентов корреляции (СКК) у спортсменок 37–45 и 16–26 лет в динамике АМЦ и ОМЦ. У спортсменок 37–45 лет относительно высокие значения СКК – 44,02 приходятся на менструальный и предменструальный периоды (соответственно 44,2 и 24,48). Очевидно, что менструальный и предменструальный периоды для спортсменок данной возрастной группы являются в большей степени напряженными, поскольку увеличение СКК говорит о повышении жесткости связей между компонентами системы. В свою очередь сравнительно низкие значения этого показателя зарегистрированы в период с 13 по 16 (8,37) и с 20 по 22 (14,7) день. Учитывая, что у данной категории спортсменок характер менструального цикла является ановуляторным, то, по нашему мнению, середина АМЦ является «переломным» периодом для изменения эндокринной ситуации в условиях, когда овуляция не происходит. Это требует регуляторной перестройки в адаптивных системах, что в ССС проявляется в изменении количества внутри- и межсистемных корреляционных взаимосвязей.

У спортсменок 16–26 лет максимальное значение показателя СКК составляет 29,28 и приходится на период с 13 по 16 день. Становится очевидным, что овуляторный период является напряженным, поскольку жесткость связей между системными компонентами возрастает. В период с 8 по 9 день СКК имеет относительно низкие значения – 23,19. Минимальное значение этого показателя (10,67) зарегистрировано с 26 по 27 день. В данном случае снижение СКК до минимальных значений свидетельствует об ослаблении регуляторных влияний и кардио-гемодинамических резервов перед менструацией. Регуляция адаптивного ответа на внешнее воздействие в данном случае происходит по принципу срочной детерминированности с малым избирательным включением компонентов системы, участвующих в обеспечении приспособительного эффекта [2]. Обращает на себя внимание суммарный показатель СКК. Из таблицы 1 видно, что его значение у спортсменок 37–45 лет выше относительно 16–26 лет (115,06 против 112,49), что говорит об относительном напряжении в организации функций ССС в течение АМЦ.

Анализ корреляционных матриц позволил дифференцировать варианты внутрисистемных и межсистемных взаимосвязей в блоках условных систем вегетативной регуляции (ВРС) и кардио-гемодинамики (КГ), а также определить

значимость взаимосвязей между частными показателями в формировании напряжения регуляторных механизмов у спортсменок 37–45 и 16–26 лет. У спортсменок 16–26 лет в период с 1 по 3 день от начала МЦ наблюдается межсистемный вариант взаимосвязей. Организация функций ССС направлена на регуляцию уровня АДсист. При этом выявлена отрицательная взаимосвязь между VLF % и АДсист. (r=-0,90). Известно, что VLF-составляющую спектра связывают с активностью гуморальных и метаболических процессов, поэтому показанная выше взаимосвязь, может отражать влияние падения эстрогенного фона в менструальном периоде на повышение АДсист. В период с 8 по 9 день определены преимущественно межсистемные статистически значимые взаимосвязи между показателями гемодинамики (РЛЖ, ОПСС, МОК, СИ, УИ, УОК) и показателем VLF. В период с 13 по 16 день отмечен внутрисистемный вариант взаимосвязей в блоке ГД, что говорит об усилении внутрисердечных механизмов в регуляции функций ССС. В период с 20 по 22 день также отмечен внутрисистемный вариант взаимосвязей. В данный период АМЦ определена взаимосвязь ИН с показателями VLF и УОК. В период с 26 по 27 день установлен межсистемный вариант взаимосвязей при увеличении их количества, что говорит об усилении вегетативного контроля гемодинамических реакций. Преимущественно в периодах АМЦ отмечается постоянство взаимосвязи ИН с VLF-составляющей.

У спортсменок 16–26 лет в период с 1 по 3 день отмечается внутрисистемный вариант взаимосвязей в блоке ВРС. Определена положительная корреляционная взаимосвязь между показателями Mo, ЧСС и pNN50, что свидетельствует о прямой зависимости состояния ССС в период менструации от уровня парасимпатических влияний. В период с 8 по 9 день выявлен межсистемный вариант взаимосвязей. Показана положительная взаимосвязь МОК и РЛЖ с мощностью LF-волн (соответственно r=0,90, r=0,90), что говорит о прямых симпатических влияниях на сократительную способность миокарда и интенсивность кровотока. В период с 13 по 16 день также имеет место межсистемный вариант взаимосвязей. Показатели ОПСС и ЧСС коррелируют с LF % и LF, мс^2 (r=0,68; r=0,74), тогда как показатель АДдиаст. с HF % (r=0,73). При этом отмечается повышение количества взаимосвязей в блоке ГД, что указывает на активацию внутрисердечных механизмов. В период с 20 по 22 день определен межсистемный вариант взаимосвязей. Отмечена положительная взаимосвязь РЛЖ и HFмс^2, (r=-0,93). В период с 26 по 27 день выявлена статистически значимая межсистемная взаимосвязь между показателем АДдиаст. и HF % (r=-0,73). Показатели УОК, УИ, МОК имеют высокую отрицательную зависимость с ОПСС (соответственно r=-0,93, r=-0,89, r=-0,86). Выявленные взаимосвязи говорят об усилении значимости влияния автономной регуляции на периферические сосудистые реакции в предменструальном периоде. В периодах ОМЦ у спортсменок 16–26 лет отмечается преимущественная взаимосвязь ИН с HF-компонентом спектра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. У профессиональных спортсменок 37–45 лет установлено относительное снижение активности центрального и автономного механизмов регуляции

сердечного ритма и формирование наиболее благоприятного периода автономной регуляции ССС с 20 по 22 день от начала АМЦ, что позволяет этот период считать потенциальным для проявления регуляторных резервов в столь зрелом возрасте.

2. Регуляторные сдвиги у спортсменок 37–45 лет в периодах АМЦ по качеству аналогичны сдвигам в кардио-гемодинамике. При этом, резервы кардиального и сосудистого звеньев в достижении высокого функционального уровня ССС относительно снижены, а напряжение более выражено в сосудистом звене, что необходимо учитывать при дозировании высокоинтенсивных физических нагрузок.
3. Эффекты напряжения функций ССС у спортсменок 37–45 лет отражены и на уровне системной организации, что проявляется сравнительно высокой жесткостью системных взаимосвязей. Основным показателем, коррелирующим с ИН в течение АМЦ, является VLF-компонент, отражающий нейро-гуморальную составляющую регуляции ритма сердца. У спортсменок 16–26 лет в течение ОМЦ такой коррелирующей с ИН составляющей является парасимпатическая регуляция.

Список литературы

1. Воронков Ю. И. Медико-биологические и психолого-педагогические проблемы здоровья и долголетия в спорте / Ю. И. Воронков, А. Я. Тизул. – М.: Советский спорт, 2011. – 228 с.
2. Якимович В. С. Возраст спортсменов и олимпийский спорт: миф и реальность / В. С. Якимович // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2014. – Т. 20. – С. 3011–3015.
3. Гурбанова Л. Р. Особенности функционального состояния женского организма в перименопаузальном периоде и его оптимизация на фоне аэробных физических нагрузок / Л. Р. Гурбанова, Т. Л. Боташева, В. А. Линде // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 1096.
4. Christensen A. Hormonal regulation of female reproduction / A. Christensen, G. E. Bentley, R. Cabrera [et al.] // Hormone and Metabolic Research. – 2012. – Vol. 44 (8). – P. 587–91.
5. Нейфельд И. В. Особенности показателей вегетативной регуляции кровообращения и вариабельности сердечного ритма у женщин в перименопаузе / И. В. Нейфельд, А. Р. Киселев, А. С. Караваев и др. // Неинвазивная аритмология. – 2014. – Т. 11, №2. – С. 98–108.
6. Guasti L. Autonomic function and baroreflex sensitivity during a normal ovulatory cycle in humans / L. Guasti, P. Grimoldi, L. T. Mainardi [et al.] // Acta Cardiol. – 1999. – № 54. – P. 209–213.
7. Погодина С. В. Адаптация и функциональное состояние высококвалифицированных спортсменов в возрастном и половом аспектах / С. В. Погодина, Г. Д. Алексанянц // Теория и практика физической культуры.– 2017. – № 10. – С. 72–74.
8. Hirshoren N. Menstrual cycle effects on the neurohumoral and autonomic nervous system regulating the cardiovascular system / N. Hirshoren, L. Tzoran, Y. Makrienko [et al.] // J. Clin. Endocrinol. Metab. – 2002. – № 87. – P. 1569–1575.
9. Erez A. The association between cardiorespiratory fitness and cardiovascular risk may be modulated by known cardiovascular risk factors / A. Erez, S. Kivity, A. Berkovitch, A. Milwidsky [et al.] // American Heart Journal. – 2015. – Vol. 169 (6). – P. 916–923.
10. Berga S. Neuroendocrine control of ovulation / S. Berga, F. Naftolin // Gynecological Endocrinology. – 2012. – Vol. 28, № S1. – P. 9–13.
11. Grad C. Heart rate variability and heart rate recovery as prognostic factors / C. Grad // Clujul. Med. – 2015. – Vol. 88 (3). – P. 304–309.

12. Макарова Г. А. Методологические принципы анализа и оценки физиологических и клинико-лабораторных параметров у спортсменок / Г. А. Макарова, С. А. Локтев // Лечебная физкультура и спортивная медицина. – 2016. – № 2. – С. 4–12.
13. Давыденко Д. Н. Адаптация и функциональные резервы организма / Д. Н. Давыденко // Вестник Балтийской педагогической академии.– 1998. – Вып. 2. – С. 15–31.
14. Schuste A. K. Decreased heart rate variability correlates to increased cardiovascularrisk / A. K. Schuster, J. E. Fischer, J. F. Thayer [et al.] // Int. J. Cardiol. – 2015. – Vol. 203. – P. 728–730.

PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS AND RESERVES OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM PROFESSIONAL SPORTSWOMEN IN PRE-INVOLUTIVE PERIOD

Yuferev V. S., Pogodina S. V.

V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia
E-mail: sveta_pogodina@mail.ru

Aim. The analysis of physiological features and reserves of cardiovascular system of professional sportswomen of pre-involutive (37–45 years) and reproductive (16–26 years) age ranges.

Materials and methods. We examined highly qualified sportswomen who do not take oral contraceptives, with an average duration of the menstrual cycle 28–30 days (representatives of long distances in running and swimming) pre-involutive (37–45 years, n=18) and reproductive (16–26 years, n=32) periods. Carried out ELISA analysis of the content of gonadotropic and sex hormones, in vitro immunochromatographic test for ovulation, the analysis of heart rate variability, analysis of reogram Central hemodynamics, Bicycle test speed-increasing load, the statistical analysis of the data.

Results. Physiologically justified functional ability of the cardiovascular system of women of the pre-involutive period to adapt to strenuous physical activity in professional sports. In the pre-revolutionary period of sportswomen relative decrease in activity of the central and autonomous mechanisms of regulation of a heart rhythm, formation of the most favorable period of autonomous regulation from 20 to 22 days that can be considered as a regulatory reserve is established. At the same time, the reserves of cardiac and vascular links in achieving a high functional level of the cardiovascular system are relatively reduced, and the tension is more pronounced in the vascular link.

Conclusion**.** In professional sportswomen 37–45 years in the second half of the anovulatory menstrual cycle, physiological features of the manifestation of reserve and compensatory effects at the level of regulatory, cardiac and hemodynamic links of the cardiovascular system were determined, which must be taken into account in dosing high-intensity loads. In professional athletes aged 37–45 years, a relative decrease in the activity of the central and autonomous mechanisms of heart rate regulation and the formation of the most favorable period of autonomous regulation of the cardiovascular system from day 20 to 22 from the beginning of the AMC was established, which allows

this period to be considered potential for the manifestation of regulatory reserves at such an advanced age. Regulatory shifts in athletes aged 37–45 years in the periods of AMC are similar in quality to shifts in cardio-hemodynamics. At the same time, the reserves of the cardiac and vascular links in achieving a high functional level of cardiovascular system are relatively reduced, and stress is more pronounced in the vascular link, which must be taken into account when dosing high-intensity physical exertion. The effects of stress on the functions of the CCC in athletes aged 37–45 years are reflected at the level of systemic organization, which is manifested by the relatively high rigidity of systemic relationships. The main indicator correlating with IN during the AMC is the VLF component reflecting

***Keywords*:** pre-involutive period, professional sportswomen, cardiovascular system, physiological reserves.

References

1. Voronkov Yu. I., Tizul A. Ya. *Mediko-biologicheskie i psihologo-pedagogicheskie problemy zdorov'ya i dolgoletiya v sporte*, 228 (M.: Sovetskij sport, 2011).
2. Yakimovich V. S. Vozrast sportsmenov i olimpijskij sport: mif i real'nost', *Nauchno-metodicheskij elektronnyj zhurnal «Koncept»*, **20**, 3011 (2014).
3. Gurbanova L. R., Botasheva T. L., Linde V. A. Osobennosti funkcional'nogo sostoyaniya zhenskogo organizma v perimenopauzal'nom periode i ego optimizaciya na fone aerobnyh fizicheskih nagruzok, *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, **6**, 1096. (2014).
4. Christensen A., Bentley G. E., Cabrera R. [et al.] Hormonal regulation of female reproduction, *Hormone and Metabolic Research*, **44 (8)**, 587 (2012).
5. Nejfel'd I. V., Kiselev A. R., Karavaev A. S. i dr. Osobennosti pokazatelej vegetativnoj regulyacii krovoobrashcheniya i variabel'nosti serdechnogo ritma u zhenshchin v perimenopauze, *Neinvazivnaya aritmologiya*, **11**, **2**, 98 (2014).
6. Guasti, L., Grimoldi P., Mainardi L. T. [et al.] Autonomic function and baroreflex sensitivity during a normal ovulatory cycle in humans, *Acta Cardiol*., **54**, 209 (1999).
7. Pogodina S. V., Aleksanyanc G. D. Adaptaciya i funkcional'noe sostoyanie vysokokvalificirovannyh sportsmenov v vozrastnom i polovom aspektah, *Teoriya i praktika fizicheskoj kul'tury,* **10**, 72 (2017).
8. Hirshoren N., Tzoran L., Makrienko Y. [et al.] Menstrual cycle effects on the neurohumoral and autonomic nervous system regulating the cardiovascular system, *J. Clin. Endocrinol. Metab*., **87**, 1569 (2002).
9. Erez A., Kivity S., Berkovitch A., Milwidsky A. [et al.] The association between cardiorespiratory fitness and cardiovascular risk may be modulated by known cardiovascular risk factors, *American Heart Journal*., **169 (6)**, 916 (2015).
10. Berga S., Naftolin F. Neuroendocrine control of ovulation, *Gynecological Endocrinology*, **28**, **S1**, 9 (2012).
11. Grad C. Heart rate variability and heart rate recovery as prognostic factors, *Clujul. Med*., **88 (3)**, 304 (2015).
12. Makarova G. A., Loktev S. A. Metodologicheskie principy analiza i ocenki fiziologicheskih i kliniko-laboratornyh parametrov u sportsmenok, *Lechebnaya fizkul'tura i sportivnaya medicina,* **2**, 4 (2016).
13. Davydenko D. N. Adaptaciya i funkcional'nye rezervy organizma, *Vestnik Baltijskoj pedagogicheskoj akademii*, **2**, 15 (1998).
14. Schuste A. K., Fischer J. E., Thayer J. F. [et al.] Decreased heart rate variability correlates to increased cardiovascularrisk, *Int. J. Cardiol*., **203**, 728 (2015).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 294–305.

УДК 612.063

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-294-305

ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ ЧРЕСКОЖНОЙ НЕЙРОСТИМУЛЯЦИИ СЛУЖЕБНЫХ СОБАК НА ИХ ПОИСКОВУЮ АКТИВНОСТЬ

Яковенко А. А.[1,2], Колмакова Т. С.[2], Диденко А. В.[1]

[1]Федеральное государственное казенное учреждение дополнительного профессионального образования «Ростовская школа служебно-розыскного собаководства МВД России», Ростов-на-Дону, Россия
[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России, Ростов-на-Дону, Россия
E-mail: 5maya@list.ru

В статье приведены результаты исследования влияния чрескожной нейростимуляции служебных собак с помощью аппарата «СКЭНАР» на их поисковую активность. 30 служебных собак были распределены на три группы. Служебные собаки первой (контрольной) группы не подвергались каким-либо воздействиям. Служебные собаки второй группы подвергались чрескожной нейростимуляции аппаратом «СКЭНАР» ежедневно в течение двух недель, служебные собаки третьей группы – однократному СКЭНАР-воздействию в конце исследования перед выполнением поискового задания. В качестве показателей поисковой активности служебных собак использовались время поиска 10 закладок в ходе выполнения поискового задания и количество служебных собак, нашедших каждую из них. Было установлено, что использование аппарата СКЭНАР для чрескожной нейростимуляции служебных собак повышает их поисковую активность.
Ключевые слова: аппарат «СКЭНАР», закладка целевого вещества, поисковая активность, служебная собака, чрескожная нейростимуляция.

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня популярность кинологической службы и необходимость использования кинологических расчетов постоянно растет. Это в первую очередь связано с напряженной геополитической обстановкой, в том числе проведением специальной военной операции, где специалисты-кинологи и служебные собаки по поиску целевых веществ, в частности взрывчатых веществ, взрывных устройств, оружия и боеприпасов, активно применяются при разминировании освобожденных территорий. Также кинологические расчеты участвуют в профилактических мероприятиях во всех субъектах Российской Федерации.

Правоохранительная деятельность органов внутренних дел подразумевает, что служебная собака является специальным средством, то есть одним из инструментов выполнения поставленных оперативно-служебных задач. Однако не стоит забывать, что служебная собака в первую очередь является живым организмом, поэтому неотъемлемым компонентом эффективного выполнения поставленных перед

кинологическим расчетом служебных задач являются хорошая работоспособность и высокая поисковая активность служебных собак.

Следует отметить, что в особых условиях несения службы кинологические расчеты постоянно сталкиваются с тяжелыми нагрузками как физического, так и психоэмоционального характера, подвергаются негативным воздействиям окружающей среды (сильные световые и звуковые раздражители: звуки выстрелов, взрывы и т.д.), режим труда и отдыха носит ненормированный характер. Специалисты-кинологи должны всегда быть готовыми к качественному несению службы и решению поставленных задач, что невозможно без качественной работы служебных собак. Все перечисленные выше факторы даже при условии хорошей подготовки служебной собаки приводят к постоянному напряжению нервной системы, утомлению, снижению работоспособности и могут быстро истощить ресурсы организма служебной собаки, что отражается на качестве ее работы, то есть эффективности выполнения служебных задач кинологическим расчетом.

В настоящее время в литературе представлен ряд исследований, в которых имеются сведения о положительном влиянии на физиологические показатели [1–4], обонятельную функцию [3, 4], рабочие качества [5], работоспособность [6–8] служебных собак различных препаратов и веществ. Но в основном подобного рода исследования носят точечный характер. Недостаточная изученность данного вопроса предопределяет актуальность нашего исследования. В этой связи представляется актуальным поиск новых способов повышения работоспособности и поисковой активности служебных собак.

Поскольку аппарат «СКЭНАР» является нейростимулирующим устройством и в литературе имеются данные о положительном влиянии чрескожных воздействий данного электронейростимулятора на работоспособность и поддержание должного функционального состояния представителей различных профессий, испытывающих повышенные нагрузки [9–12], а также имеются сведения о положительном влиянии СКЭНАР-воздействий на здоровье собак [13], возникло предположение о возможности использования данного прибора для повышения работоспособности и поисковой активности служебных собак.

По принципу работы аппараты «СКЭНАР» относятся к физиотерапевтическим приборам биоуправляемой электростимуляции. Данный метод относится к группе методов активации корковых структур посредствам возбуждения периферических нервов с помощью чрескожной электронейростимуляции (ЧЭНС). Основным воздействующим фактором аппарата «СКЭНАР» являются электрические импульсы, представляющие собой затухающую синусоиду с периодом, который составляет примерно 16 мкс, что соответствует частоте 62,5 кГц. Воздействие при СКЭНАР-терапии осуществляется периодической последовательностью импульсов с частотой следования от 15 до 350 Гц и силой тока 10–100 мА. Подробное описание характеристик стимулирующего сигнала приведено в работе Гринберга Я. З. (2009) [14]. По имеющимся данным, сигналы, формирующиеся аппаратом «СКЭНАР», воздействуя на нервную систему, приводят к общей реакции – генерализованной активности мозга (усилению альфаподобных колебаний), которая развивается вследствие реакции коры головного мозга и структур

гипоталамуса, координирующего активность вегетативной нервной системы. Во время синхронизированной активности мозга кора становится более доступной для поступающих от различных органов сигналов. Для этого состояния центральной нервной системы характерен повышенный тонус парасимпатического звена [15]. Подобные сведения, полученные Черчаго А. Я. (2004) в результате исследования СКЭНАР-воздействий, осуществляемых в том числе на проекции остистых отростков позвоночника и паравертебральные зоны практически здоровых людей, позволили предположить, что использование чрескожной нейростимуляции в отношении служебных собак может способствовать активации парасимпатической нервной системы и повышению восприятия мозгом поступающих от обонятельного анализатора сигналов, что, в свою очередь, окажет положительное действие на дифференцировку запахов целевых веществ, а значит, повысит поисковую активность служебных собак.

Таким образом, **целью данной работы** стало изучение влияния чрескожной стимуляции аппаратом «СКЭНАР» на поисковую активность служебных собак.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Базой для проведения исследовательской работы стала образовательная организация по подготовке-специалистов-кинологов – ФГКУ ДПО «РШ СРС МВД России». В исследовании приняли участие 30 служебных собак возрастом от 1 года до 4 лет, проходящих подготовку по поиску, обнаружению и обозначению целевых веществ по их запаху, которые были распределены на три группы по 10 голов: первая группа – контрольная, вторая и третья – опытные. Условия содержания, сбережения и подготовки служебных собак трех групп в рамках проведения исследования были идентичными.

С целью определения поисковой активности служебных собак кинологическим расчетам в начале и в конце исследования предлагалось пройти тестовое испытание, максимально приближенное к реальным условиям несения службы, которое заключалось в поиске 10 закладок целевых веществ в помещениях и на открытой местности. Специалисты-кинологи не знали мест расположения закладок. Поисковое задание состояло из двух частей (подходов): первая часть заключалась поиске первых четырех закладок, на что было отведено 15 минут, затем следовали преодоление полосы препятствий в качестве физической нагрузки (15 минут), отдых (15 минут) и вторая часть поискового задания, которая заключалась в поиске остальных шести закладок в течение 30 минут. Учитывались время нахождения каждой из десяти закладок и количество собак, нашедших ту или иную закладку.

Служебные собаки опытных групп в ходе проведения исследования подвергались чрескожной нейростимуляции аппаратом «СКЭНАР»: в течение двух недель ежедневно – во второй группе, однократно в конце исследования перед выполнением поискового задания – в третьей группе. Воздействия осуществлялись в первой половине дня с использованием специальной насадки в виде гребня. При этом манипуляции проводились вдоль позвоночника служебной собаки, которая находилась в положении стоя, по проекциям остистых отростков позвонков от

основания черепа к основанию хвоста, а также по паравертебральным линиям. При воздействии использовалась стандартная частота сигнала – 60 Гц. Сила (энергия) воздействия определялась в соответствии с инструкцией – индивидуально по реакции организма служебной собаки. Применялся индивидуально-дозированный режим, при котором продолжительность чрескожной нейростимуляции определялась автоматически самим прибором по принципу биологической обратной связи. Аппарат «СКЭНАР» применялся в последние две недели месяца, предшествующего итоговой аттестации, то есть в период максимальных нагрузок.

Статистическая обработка полученных данных осуществлялась с использованием компьютерной программы IBM SPSS Statistics 26. Проверка на нормальность распределения показателя времени поиска служебными собаками закладок с помощью критерия Шапиро-Уилка показала, что значения данного показателя имеют распределение, отличное от нормального, в связи с чем время поиска представлено в виде медианы (Me) и первого и третьего квартилей (Q_1, Q_3). Выявление статистически значимых различий показателей для связанных выборок осуществлялась с помощью критерия Вилкоксона, для несвязанных – с помощью критерия Мана-Уитни. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Время нахождения закладок служебными собаками контрольной и опытных групп в начале и конце исследования представлено в таблице 1. В том случае, когда закладка была обнаружена не всеми служебными собаками группы, данные (медиана, квартили) подсчитывались только исходя из результатов работы служебных собак, нашедших закладку, в связи с чем время нахождения последних закладок каждого подхода может быть меньше времени нахождения предыдущих закладок. Количество служебных собак в каждой группе, нашедших ту или иную закладку, представлено в таблице 2.

В результате проведенной работы было выявлено, что служебные собаки во всех группах к концу исследования стали демонстрировать более быстрый поиск. Особенно это касается первых двух закладок. Так, время нахождения первой закладки в первой группе (контрольной) уменьшилось на 36,2 %, во второй – на 64,2 %, в третьей – на 33,8 %; время нахождения второй закладки в первой группе снизилось на 53,4 %, во второй – на 59,1 %, в третьей – на 39,8 %. Данные изменения являются статистически значимыми.

Также обращает на себя внимание факт статистически значимого снижения времени нахождения пятой, шестой и седьмой закладок служебными собаками опытных групп при том, что вторая часть поискового задания в начале исследования сопровождалась признаками утомления служебных собак всех групп. Служебные собаки второй группы, подвергавшиеся ежедневной чрескожной нейростимуляции в течение 2 недель, в конце исследования показали максимальное из всех трех групп снижение времени поиска: пятой закладки – на 83,5 %, шестой – на 81,5 %, седьмой – на 75,5 %.

Таблица 1

Время поиска закладок служебными собаками, в секундах (Me, Q_1, Q_3)

№ п/п закладки	1 группа (контроль)		2 группа (воздействие 2 недели)		3 группа (однократное воздействие)	
	начало	конец	начало	конец	начало	конец
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
1	240,5 (165,5; 312,0)	153,5* (64,8; 231,5)	353,5 (209,5; 599,5)	126,5*,*** (55,0; 199,3)	292,5 (204,8; 610,0)	193,5* (187,0; 248,5)
2	543,5 (397,3; 727,8)	253,5* (191,0; 392,5)	694,0 (422,0; 843,0)	284,0*,*** (156,5; 382,8)	715,5 (565,5; 805,0	431,0* (325,8; 499,0)
3	663,0 (519,5; 894,0)	630,0 (449,5; 835,0)	803,5 (760,0; 847,0)	430,0*** (286,5; 580,0)	743,0 (701,0; 785,0)	646,0 (498,0; 823,5)
4	686,0 (630,0; 737,0)	650,0 (578,5; 870,0)	-	541,0 (377,0; 743,0)	870,0 (-; -)	613,0 (376,0; 850,0)
5	240,0 (162,5; 310,8)	219,5 (166,8; 382,0)	342,5 (184,8; 532,8)	56,5*·**·*** (22,3; 130,0)	302,0 (246,5; 389,8)	160,0 (113,3; 252,5)
6	533,0 (356,8; 983,8)	606,0 (451,3; 827,5)	823,5 (431,5; 1090,0)	152,0*·**·*** (75,8; 280,5)	617,0 (540,0; 852,0)	353,0*·** (258,5; 400,0)
7	861,5 (575,3; 1078,0)	856,0 (672,0; 1158,5)	1390,0** (1056,0; 1467,5)	340,0* (236,5; 877,3)	1418,5 (957,0; 1595,0)	702,5* (477,0; 1022,5)
8	1130,0 (718,8; 1363,0)	1180,0 (1037,5; 1412,5)	1235,0 (1025,8; 1550,0)	671,0 (360,5; 1192,3)	1180,0 (1040,0; -)	1139,0 (771,0; 1465,0)
9	1264,0 (855,0; 1295,5)	1021,0 (497,0; 1342,5)	1444,5 (1349,0; -)	1000,0 (610,3; 1192,8)	-	1090,0 (899,5; 1308,0)
10	1568,0 (-; -)	603,0 (-; -)	-	377,5 (131,5; 880,0)	-	129,5 (105,0; 152,5)

Примечание: * – статистически значимые различия показателей по отношению к исходным значениям этой же группы ($p<0,05$)

** – статистически значимые различия показателей по отношению к контрольной группе ($p<0,05$)

*** – статистически значимые различия показателей по отношению к третьей опытной группе ($p<0,05$)

Служебные собаки, подвергавшиеся однократному воздействию аппаратом «СКЭНАР» в конце исследования, также продемонстрировали более быстрый поиск: пятой закладки – на 47,0 %, шестой – на 42,8 %, седьмой – на 50,5 %. Это при том, что в начале исследования в опытных группах некоторые из последних закладок (четвертая и десятая для второй группы и девятая и десятая для третьей группы) не были найдены ни одной собакой.

Интересно отметить, что при этом в контрольной группе время нахождения закладок (кроме первых двух) к концу исследования уменьшилось незначительно, а шестой и восьмой закладки даже увеличилось. Это подтверждается и статистически значимой разницей во времени нахождения закладок служебными собаками контрольной группы и опытных (пятая и шестая закладки – второй группы, шестая – третьей). При сравнении двух опытных групп между собой было выявлено, что служебные собаки второй группы, которые проходили процедуру чрескожной нейростимуляции в течение двух недель, к концу исследования стали более быстро находить закладки, чем служебные собаки третьей группы, подвергавшиеся воздействию аппаратом «СКЭНАР» однократно (см. в таблице 1 закладки 1, 2, 3, 5, 6).

Таблица 2

Количество служебных собак, нашедших закладку, в %

№ п/п закладки	1 группа (контроль)		2 группа (воздействие 2 недели)		3 группа (однократное воздействие)	
	начало	конец	начало	конец	Начало	конец
1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2	80,0	100,0	70,0	100,0	60,0	100,0
3	50,0	90,0	20,0	90,0	20,0	90,0
4	30,0	50,0	0,0	70,0	10,0	20,0
5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
6	100,0	100,0	100,0	100,0	90,0	100,0
7	80,0	100,0	90,0	100,0	80,0	100,0
8	60,0	90,0	40,0	100,0	30,0	90,0
9	30,0	30,0	20,0	80,0	0,0	50,0
10	10,0	10,0	0,0	40,0	0,0	40,0

Результаты исследования также показали, что количество собак, продемонстрировавших результативный поиск, с каждой последующей от начала поиска закладкой во всех группах уменьшается. Особенно это заметно в начале исследования. Так, в опытных группах при первом тестовом испытании в начале исследования не было найдено по две последних закладки (четвертую и десятую закладки за отведенное время не нашла ни одна служебная собака второй группы, девятую и десятую не нашла ни одна служебная собака третьей группы). При этом 100 % служебных собак нашли первые в каждом поиске закладки. К концу исследования во всех группах процент служебных собак, которые обнаружили

закладки, увеличился. Так, в контрольной первой группе 100 % собак нашли первую, пятую и шестую закладки, во второй группе – первую, вторую и с пятой по восьмую, в третьей группе – первую, вторую и с пятой по седьмую.

Из таблиц 1 и 2, представленных выше, следует, что при последовательном поиске нескольких закладок с течением времени у служебных собак снижаются работоспособность и поисковая активность. Соответственно, эффективность выполнения работы кинологическим расчетом также снижается. Это подтверждает необходимость повышения работоспособности служебных собак для выполнения сложных поисковых задач даже при условии высокой надрессированности.

Тем не менее к концу исследования во всех группах показатели поиска у служебных собак улучшились: время поиска и нахождения закладок уменьшилось, количество служебных собак, обнаруживших закладку за отведенное время, возросло. В первую очередь это можно связать с повышением уровня надрессированности служебных собак, поскольку весь период проведения исследования проходили практические учебные занятия по специальному курсу дрессировки.

Ожидаемое повышение показателей поисковой активности служебных собак, связанное с процессом дрессировки, демонстрирует контрольная группа, в которой значимо уменьшилось время нахождения первых двух закладок: на 1 мин 27 с и 4 мин 50 с соответственно. Время нахождения остальных закладок первой части поискового задания снизилось на полминуты. Больший интерес представляет вторая часть поискового задания, поскольку именно в этот период наиболее часто наблюдались признаки утомления у служебных собак (хаотичный поиск, потеря интереса к работе, отвлечение на посторонние раздражители, проходы мимо закладок, ложные обозначения и др.). И в первой группе время нахождения закладок практически не изменилось (если не брать в расчет 9 и 10 закладки, которые были найдены далеко не всеми собаками), а время нахождения шестой и восьмой закладки к концу исследования даже увеличилось, чего не было отмечено в опытных группах. К концу исследования в контрольной группе количество собак, нашедших закладки, увеличилось, особенно это касается первой части поискового задания, во второй части изменения произошли только при нахождении седьмой и восьмой закладок: седьмую закладку нашли на две служебные собаки больше, а восьмую – на три. При этом девятую и десятую закладки нашли три и одна служебные собаки соответственно, как и в начале исследования, что стало самым низким показателем среди всех групп.

В третьей группе, где служебные собаки подвергались однократному воздействию аппаратом «СКЭНАР» перед выполнением поискового задания, к концу исследования показатели времени нахождения закладок по сравнению с исходными значениями улучшились, особенно первой – на 1 мин 39 с, второй – на 4 минуты 44,5 с, третьей – на 1 мин 37 с, четвертой – на 4 мин 17 с, пятой – на 2 мин 22 с, шестой – на 4 мин 24 с, седьмой – на 11 мин 56 с. Также отмечены значимые различия с группой контроля во второй части поискового задания (шестая закладка). Полученные результаты свидетельствуют о том, что служебные собаки, подвергшиеся однократной стимуляции аппаратом «СКЭНАР» перед выполнением поискового задания, вели более быстрый поиск. Также в данной группе более

сильно, чем в контрольной, увеличилось количество собак, нашедших закладки. Так, например, третью закладку к концу исследования нашло на 7 собак больше, а восьмую – на 6. При этом, если в начале исследования в данной группе последние две закладки не нашла ни одна служебная собака, то в конце исследования девятую закладку нашла половина собак, а десятую – 40 %, что является более высоким результатам, чем в контрольной группе.

Во второй группе служебные собаки подвергались ежедневному воздействию аппаратом СКЭНАР в течение двух недель и к концу исследования продемонстрировали наилучшие результаты. Время поиска первой закладки уменьшилось на 3 мин 47 с, второй – на 6 мин 50 с, третьей – на 6 мин 13,5 с (отмечены значимые различия с третьей группой). Особый интерес представляет пятая и шестая закладки (две первых во второй части поиска). В данной группе время их поиска стало выше как по отношению к исходным значениям, так и по отношению к другим группам (первой – контрольной и третьей – опытной). По отношению к исходным значениям в данной группе время поиска пятой закладки уменьшилось на 4 мин 46 с, шестой – на 11 мин 11,5 с, седьмой – на 17 мин 30 с, восьмой – на 9 мин 24 с, девятой – на 7 мин 24,5 с. Такое снижение времени нахождения закладок говорит о более быстром поиске и, как следствие, лучшей поисковой активности служебных собак второй группы. Это подтверждается и бóльшим количеством служебных собак, нашедших закладки, во второй группе по сравнению с другими группами (таблица 2). Учитывая полученные результаты, можно предположить, что за время проведения исследования служебные собаки этой группы стали более тренированными и приспособленными к продолжительному поиску не только за счет дрессировочного процесса, но и за счет чрескожной нейростимуляции с помощью аппарата «СКЭНАР» в течение двух недель.

Чрескожная нейростимуляция организма с помощью аппарата «СКЭНАР» обладает многочисленными положительными эффектами. Так, по данным Маляренко Ю. И. и др. (2001), помимо нормализации симпато-вагусного баланса, она способствует расширению функциональных возможностей мозга, при этом снижается тревожность, улучшаются характеристики внимания и образного мышления, увеличивается скорость и точность психомоторных реакций и оптимизируются показатели стрессорной устойчивости. В основе наблюдаемых эффектов лежат механизмы межсенсорного взаимодействия и усиления интегративных процессов в мозге вследствие активации кожных афферентов [16]. Вероятно, улучшение поисковой активности служебных собак опытных групп связано именно с эффектами усиления интегративной деятельности мозга и синхронизированной активности нейронов, способствующими увеличению скорости и точности поиска запахов целевых веществ.

Таким образом, результаты проведенного исследования показали следующее. В процессе дрессировки в течение месяца у всех служебных собак показатели поисковой активности улучшились. При этом у служебных собак, подвергавшихся ежедневному воздействию аппаратом «СКЭНАР» на протяжении двух недель отмечены наиболее высокие показатели поисковой активности на момент окончания исследования. Результативность работы служебных собак увеличилась как по

сравнению с исходными значениями, так и по сравнению с контрольной и опытной группами. Показатели третьей группы и их изменения к концу исследования также были выше, чем в группе контроля, однако двухнедельное воздействие аппаратом «СКЭНАР» показало большую эффективность, чем однократное.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного исследования показали эффективность использования аппарата «СКЭНАР» для повышения поисковой активности служебных собак и дают основание считать возможным применение аппарата «СКЭНАР» как однократно перед выполнением поисковых задач, так и ежедневно в течение не менее двух недель, что является более эффективной схемой.

Чрескожная нейростимуляция аппаратом «СКЭНАР» в течение двух недель привела к выраженному снижению времени поиска закладок служебными собаками как по сравнению с исходными значениями, так и по сравнению с другими группами, а также увеличила процент служебных собак, нашедших предложенные закладки, больше, чем в других группах.

Таким образом, можно сделать вывод, что чрескожная нейростимуляция как вид физиологического воздействия оказывает положительное влияние на поисковую активность служебных собак.

Список литературы

1. Голдырев А. А. Влияние биологически активных добавок «Бетулин» и «Трансверол» на некоторые физиологические показатели служебных собак / А. А. Голдырев, Р. В. Мальчиков // Подготовка специалистов силовых структур: проблемы, перспективы, тенденции развития : Сборник научных трудов. – Пермь : ФГКВОУ ВПО «ПВИ ВВ МВД России», 2016. – С. 112–117.
2. Садыкова Ю. Р. Опыт применения адаптогенов в служебном собаководстве / Ю. Р. Садыкова // Академический вестник войск национальной гвардии Российской Федерации. – 2022. – № 1. – С. 18–24.
3. Зыкова С. С. Новые аспекты применения убихинона у собак / С. С. Зыкова, И. А. Родин, Н. Н. Гугушвили // Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. – 2018. – Т. 7, № 2. – С. 145–150.
4. Вычужанин А. А. Влияние плаценты денатурированной эмульгированной на обонятельную функцию собак / А. А. Вычужанин, Э. Е. Острикова // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Проблемные вопросы служебной кинологии на современном этапе» (16 мая 2019 г., Ростов-на-Дону). – Ростов-на-Дону: ФГКУ ДПО «РШ СРС МВД России», 2019. – С. 83–89.
5. Киселев Ю. А. Влияние экстракта элеутерококка на рабочие качества служебных собак / Ю. А. Киселев, Н. А. Ким, А. Н. Приходько, О. Л. Янкина // Голоса молодых – развитию АПК Приморского края : Сборник студенческих статей по материалам выпускных квалификационных работ. В 4-х частях / Отв. Ред. И. И. Бородин. Часть IV. – Уссурийск : Приморская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. – С. 213–217.
6. Яковенко А. А. Влияние адаптогена «Адаптовит» на работоспособность служебных собак / А. А. Яковенко, Т. С. Колмакова, А. В. Диденко // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Проблемные вопросы служебной кинологии на современном этапе» (16 мая 2019 г., Ростов-на-Дону). – Ростов-на-Дону: ФГКУ ДПО «РШ СРС МВД России», 2019. – С. 90–96.
7. Мальчиков Р. В. Биологически активная добавка «Трансверол» в рационах служебных собак / Р. В. Мальчиков // Инновации и современные технологии в производстве и переработке

сельскохозяйственной продукции : Сборник научных статей по материалам IX Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летнему юбилею факультета технологического менеджмента, Ставрополь, 24–25 ноября 2014 года. – Ставрополь: Агрус, 2014. – С. 185–189.
8. Никулин Ю. П. Функциональные показатели служебных собак при введении в рацион препарата глицин / Ю. П. Никулин, О. А. Никулина // Актуальные вопросы развития кинологии : Материалы II Всероссийской (Национальной) научно-практической конференции, Уссурийск, 21 апреля 2022 года. – Уссурийск : Приморская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. – С. 211–217.
9. Городецкий И. Г. Оценка применения прибора «СКЭНАР» в качестве нового метода повышения работоспособности / И. Г. Городецкий, Е. Н. Городецкая, В. А. Мацкевич, А. В. Чунтул, Н. В. Якимович // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 9 (98). – С. 57–64.
10. Городецкая Е. Н. Контроль и коррекция когнитивной работоспособности человека-оператора / Е. Н. Городецкая, И. Г. Городецкий, Е. А. Трофимов // Человеческий фактор в сложных технических системах и средах : труды Второй Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 06–09 июля 2016 года. Санкт-Петербург: Межрегиональная эргономическая ассоциация, 2016. – С. 459–464.
11. Ерошенко А. Ю. Перспективные немедикаментозные технологии оптимизации психофизиологических качеств и работоспособности операторов / А. Ю. Ерошенко, С. М. Грошилин, С. Э. Бугаян, Л. Г. Анистратенко, С. Н. Линченко, В. А. Степанов, С. Г. Афендиков // Морская медицина. – 2019. – № 2. – С. 55–62.
12. Моргуль Е. В. Дезорганизация суточных биологических ритмов студентов-медиков и способы их профилактики / Е. В. Моргуль, И. В. Захарченко // Материалы Международной научной конференции «Бисосфера и человек» : Материалы Международной научной конференции, Майкоп, 24–25 октября 2019 года. Майкоп: ООО «Электронные издательские технологии», 2019. – С. 384–386.
13. Тараканов А. В. Перспективы лечения и профилактики заболеваний у собак с помощью чрескожной нейростимуляции аппаратом СКЭНАР / А. В. Тараканов, В. Г. Панов // Профессия кинолог. – 2014. – № 7. – С. 15–21.
14. Гринберг Я. З. Физические факторы воздействия при СКЭНАР-терапии. Аппликационная звукотерапия / Я. З. Гринберг // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2009. – Т. 6, № 10. – С. 123–128.
15. Черчаго А. Я. Нейрофизиологические механизмы действия аппаратов серии СКЭНАР / А. Я. Черчаго // Известия ТРТУ. – 2004. – № 6 (41). – С. 122–124.
16. Маляренко Ю. Е. Гомеостатические эффекты электронейростимуляции / Ю. Е. Маляренко, С. В. Шутова, Е. В. Бирюкова // Вестник российских университетов. Математика. – 2001. – Т. 6, № 1. – С. 66–67.

POSITIVE EFFECT OF TRANSCUTANEOUS NEUROSTIMULATION OF POLICE DOGS ON THEIR SEARCH ACTIVITY

Yakovenko A. A.[1,2], Kolmakova T. S.[2], Didenko A. V.[1]

[1]Rostov Canine School of the Russian Ministry of Interior, Rostov-on-Don, Russia
[2]Rostov State Medical University of the Ministry of Health Care of Russia, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: 5maya@list.ru

Good working capacity and high search activity of police dogs are integral components of fulfilling of service tasks assigned to canine units. The work of police dogs is accompanied by increased physical and psychoemotional loads. Currently, the literature presents a series of studies in which there is information about the positive effect of

various substances on physiological parameters, olfactory function, working qualities and working capacity of police dogs. Insufficient study of this issue predetermines the relevance of our study what seems to search for new ways to increase the working capacity and search activity of police dogs.

The study was conducted on the basis of the Rostov Canine School of the Russian Ministry of Interior. The study involved 30 police dogs, which were divided into three groups of 10 heads each. The first group was the control group, the second and third groups were experimental. During the study, police dogs of experimental groups were subjected to transcutaneous neurostimulation by the SCENAR device: daily for two weeks in the second group, once at the end of the study before performing the search task in the third group. The conditions of keeping, saving and training police dogs of the three groups were identical. To determine the search activity, the time of searching ten target substance placements and the quantity of dogs that found each of them were taken into account.

As a result of this work, it was revealed that the working capacity and search activity of police dogs decrease over time when they consistently search for several placements of target substance. Accordingly, the efficiency of the canine unit's work performance also decreases. Nevertheless, by the end of the study, police dogs in all groups began to demonstrate faster searching. The quantity of police dogs that found particular placement of target substance in the allotted time has also increased. First of all, this can be associated with an increase in the level of training of police dogs, since during the entire period of the study practical training sessions on a special training course were held.

But also, taking into account the results obtained, it can be assumed that during the study, police dogs of the experimental groups became more trained and adapted to prolonged search not only due to the training process, but also due to transcutaneous neurostimulation using the SCENAR device.

Police dogs exposed by the SCENAR device daily for two weeks showed the highest rates of search activity at the end of the study. The working capacity of police dogs of this group increased both compared to the initial values and compared to the control and experimental groups.

The indicators of the third group and their changes by the end of the study were also higher than in the control group, however, two-week exposure to the SCENAR device was more effective than a single exposure.

The results of the study showed that transcutaneous neurostimulation as a type of physiological influence has a positive effect on the search activity of police dogs, and give rhe reason to consider it possible to use the SCENAR device both once before performing search tasks, and daily for at least two weeks, which is more effective scheme.

***Keywords*:** SCENAR device, placement of target substance, search activity, police dog, transcutaneous neurostimulation.

References

1. Goldyrev A. A., Mal'chikov R. V. Study of biological active substances «Betulin» and «Transverol» on some physiological indicators of service dogs, *Training of specialists in law enforcement agencies: problems, prospects, development: Collection of scientific papers* (Perm Military Institute of Internal Troops of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Perm, 2016), p. 112.

2. Sadykova Y. R. Experience in the use of adaptogens in service dog breeding, *Academic Herald of the National Guard Troops of the Russian Federation,* **1**, 18 (2022).
3. Zykova S. S., Rodin I. A., Gugushvili N. N. New aspects of the use of ubiquinone in dogs, *Collection of scientific works of the Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine,* **2 (7)**, 145 (2018).
4. Vychuzhanin A. A., Ostrikova E. E. The influence of denatured emulsified placenta on the olfactory function of dogs, *Materials of the VIII International Scientific and Practical Conference "Problematic Issues of Service Cynology at the Present Stage" (May 16, 2019, Rostov-on-Don)* (Rostov canine school of the Russian Ministry of Interior, Rostov-on-Don, 2019), p. 83.
5. Kiselev Y. A., Kim N. A., Prikhodko A. N., Yankina O. L. The influence of Eleutherococcus extract on the working qualities of service dogs, *Voices of the young – the development of the agro-industrial complex of the Primorsky Territory: Collection of student articles based on materials from final qualifying works. In 4 chapters* / edited by. Borodin I.I.. Ch. IV (Primorsk State Agricultural Academy, Ussuriysk, 2021), p. 213.
6. Yakovenko A. A., Kolmakova T. S., Didenko A. V. The influence of adaptogen "Adaptovit" on the working capacity of service dogs, *Materials of the VIII International Scientific and Practical Conference "Problematic Issues of Service Cynology at the Present Stage" (May 16, 2019, Rostov-on-Don)* (Rostov canine school of the Russian Ministry of Interior, Rostov-on-Don, 2019), p. 90.
7. Mal'chikov R. V. Biologically active supplement "Transverol" in the diets of service dogs, Innovations and modern technologies in the production and processing of agricultural products: *Collection of scientific articles based on the materials of the IX International Scientific and Practical Conference dedicated to the 85th anniversary of the Faculty of Technological Management (November 24–25, 2014, Stavropol),* (Agrus, Stavropol, 2014), p. 185.
8. Nikulin Y. P., Nikulina O. A. Functional indicators of service dogs when introducing glycine into the diet, *Actual issues of the development of cynology: Materials of the II All-Russian (National) Scientific and Practical Conference (April 21, 2022, Ussuriysk)*, (Primorsky State Agricultural Academy, Ussuriysk, 2022), p. 211.
9. Gorodetsky I. G., Gorodetskaya E. N., Matskevich V. A., Chuntul A. V., Yakimovich N. V. The estimation of the SCENAR device application as the new method of the increase of operator's working capacity, *Izvestiya SFedU. Engineering sciences,* **9 (98),** 57 (2009).
10. Gorodetskaya E. N., Gorodetsky I. G., Trofimov E. A. Monitoring and correction of cognitive health of human operator, *Human factors in complex technological systems and environments: Proceedings of the Second International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, July 06–09, 2016)* (Interregional Ergonomic Association, St. Petersburg, 2016), p. 459.
11. Eroshenko A. Y., Groshilin S. M., Bugayan S. E., Anistratenko L. G., Linchenko S. N., Stepanov V. A., Afendikov S.G. Perspective non-pharmacological technologies of optimization of psychophysiological qualities and working capacity of operators, *Marine Medicine*, **2**, 55 (2019).
12. Morgul E. V.. Zakharchenko I. V. Disorganization of daily biological rhythms of medical students and and methods of their prevention, *Proceedings of the International Scientific Conference "Biosphere and Man", Maykop, October 24–25, 2019* (Electronic Publishing Technologies LLC, Maykop, 2019), p. 384.
13. Tarakanov A. V., Panov V. G. Prospects for the treatment and prevention of diseases in dogs using transcutaneous neurostimulation by the SCENAR device, *Profession of a dog handler*, **7**, 15 (2014).
14. Grinberg J. Z. Physical influencing factors in SCENAR-therapy, *Izvestiya SFedU. Engineering science,* **99 (10)**, 123 (2009).
15. Cherchago A. Ya. Neurophysiological mechanisms of effect of devices of the SCENAR series, *Izvestiya TREU*, **6 (41)**, 122 (2004).
16. Malyarenko Yu. E., Shutova S. V., Biryukova E. V., Homeostatic effects of electrical neurostimulation, *Russian Universities Reports. Mathematics,* **6 (1)**, 66 (2001).

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского

Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 306–314.

УДК 544.723. 622.772

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-306-314

ДИНАМИКА СОРБЦИИ СЕРЕБРА ПРИРОДНЫМИ ЦЕОЛИТАМИ

Белова Т. П., Хижко З. И.

Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук (НИГТЦ ДВО РАН), Петропавловск-Камчатский, Россия
E-mail: tpbel@yandex.ru

Методом нисходящего потока раствора через колонку с неподвижным слоем сорбента исследованы сорбционные свойства цеолитового туфа Середочного месторождения Хабаровского края по отношению к ионам серебра. Приводятся данные по сорбции ионов серебра в концентрациях от 10 до 20 мг/л из нитратных растворов. Для расчетов сорбционных характеристик использовали модели Томаса и Адамса-Бохарта. При расчетах параметров сорбции серебра из растворов с содержанием 10 мг/л коэффициент Томаса K_{Th} равен 2,50–3,09 мл/мг·мин, максимальная равновесная сорбционная емкость составила 0,63 мг/г. При повышении концентрации исходного раствора в два раза K_{Th} понижается до 0,725 мл/мг мин, максимальная сорбционная емкость повышается до 0,98 мг/г. При расчете кинетических коэффициентов Адамса-Бохарта K_{AB} имеет значения 2,48–3,07 мл/мг·мин, при сорбции из раствора с содержанием серебра 20 мг/л K_{AB} равен 0,69 мл/мг·мин. Теоретическая сорбционная емкость в первом случае имеет величину 0,67 мг/г, а во втором – 1,08 мг/г. Десорбцию рекомендуется проводить 0,1–0,2 н азотной кислотой. За один цикл сорбции–десорбции коэффициент концентрирования изменялся от 2,25 до 5,25 ед. в зависимости от концентрации серебра в растворе, использованном для насыщения колонок.
Ключевые слова: серебро, сорбционная емкость, цеолитовый туф, динамическая сорбция, десорбция.

ВВЕДЕНИЕ

Промышленные сточные воды, как правило, содержат значительные количества ионов различных металлов. Сточные воды предприятий, сбрасываемые в открытые водоемы без очистки, способствуют загрязнению окружающей среды. Известно, что многие металлы, накапливаясь в растениях и почве, представляют угрозу здоровью людей и животных. Кроме этого, в районах горно-перерабатывающих предприятий потеря ценного сырья со сточными водами понижает рентабельность производства. Большой научный и практический интерес представляет извлечение ионов металлов из промышленных сточных вод. Одним из таких металлов является серебро. Серебро широко используется в качестве сырья в различных отраслях промышленности благодаря своим превосходным пластичным свойствам, электро- и теплопроводности, светочувствительности и антимикробным свойствам. Со сточными водами таких предприятий теряется большое количество серебра и из-за

его токсичности, способности накапливаться в живых организмах, важно удалять серебро из сточных вод. Серебро относится ко второму классу опасности, ПДК (Ag) для питьевой воды составляет 0,05 мг/л.

Наиболее часто применяемые технологии выделения серебра – осаждение, электролиз, экстракция растворителем, ионный обмен с использованием синтетических смол и смол, способных к хелатообразованию. Эти методы могут быть эффективно использованы в больших масштабах, когда концентрация серебра достаточно высока [1]. Для очистки сточных вод, содержание серебра в которых невелико, целесообразно применять сорбционный метод. Существует огромное количество сорбционных материалов, но стремление современных промышленных предприятий минимизировать затраты на очистку сточных вод вынуждает их обращать внимание на использование недорогих сорбентов. В последние годы использование природных цеолитов [2–4] для борьбы с загрязнением сточных вод ионами тяжелых металлов возросло. Насыщенные серебром цеолитовые туфы можно использовать для поглощения галогенид-ионов, в том числе и иодид-ионов из загрязненных вод, что на сегодняшний день актуально, о чем имеются сведения в открытой печати [5, 6]. Кроме того, цеолиты, содержащие серебро, являются эффективными катализаторами в химическом синтезе.

Целью настоящей работы является определение сорбционных характеристик природных цеолитов по отношению к серебру в динамическом режиме, установление параметров десорбции и регенерации сорбентов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использовали цеолитовый туф Середочного месторождения (СМ) Хабаровского края, состоящего из гейландита и клиноптилолита. Ранее нами [2] был описан детальный состав данного цеолитового туфа и изучена его устойчивость в агрессивных средах.

В качестве сорбционной колонны использовали лабораторную бюретку на 25 мл (ГОСТ 20292-74, 2 класс) с внутренним диаметром 10 мм, высота слоя сорбента, в зависимости материала, составляла 12–14 см, элюирование проводили методом нисходящего потока, объемную скорость потока поддерживали на уровне 1,0 мл/мин. Десорбцию осуществляли также в динамическом режиме 0,1 н и 0,2 н азотной кислотой.

Содержание ионов серебра и вытесняемых катионов в элюатах определяли с помощью эмиссионного спектрометра параллельного действия с индуктивно-связанной плазмой ICPE-9000 («Shimadzu», Япония). Градуировочные образцы были изготовлены из мультистандарта (MultiElement Standard IV, Германия). Для приготовления модельных растворов была взята навеска нитрата серебра $AgNO_3$ марки ч.д.а. Контроль pH проводили с использованием иономера «SevenCompact» фирмы «Mettler-ToledoInstrument (Shanghai) Co. Ltd» с универсальным электродом с точностью не хуже, чем ± 0,03 ед. pH.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Описание динамики сорбции серебра на колоннах с неподвижным слоем сорбента проводили с помощью кривых проскока [7–9], которые характеризуют динамический отклик сорбционной колонны. Это необходимо для успешного проектирования и эксплуатации промышленной сорбционной колонны, когда требуется прогнозировать ее профиль «концентрация – время (объем)». В зависимости от скорости потока, высоты поглощающего слоя, состава раствора, pH, концентрации поглощаемого иона форма отклика будет изменяться. Установлено, что при сорбции натуральными цеолитами в динамическом режиме наиболее приемлемой является линейная скорость потока на уровне 1,2–1,5 см/мин при условии высоты поглощающего слоя 12–14 см. В отличие от статического режима сорбции емкость сорбента в динамическом режиме выше, так как в динамике сохраняется постоянный большой градиент концентрации на границе раздела фаз, в то время как в статике происходит постоянное уменьшение концентрации компонента в растворе вплоть до равновесной.

Модель Томаса – одна из наиболее общих и широко используемых моделей в теории производительности колонн [7–9]. Она основана на предположении, что процесс следует ленгмюровской кинетике адсорбции-десорбции без осевой дисперсии. Таким образом, движущая сила сорбции подчиняется кинетике обратимой реакции второго порядка. Основными преимуществами этой модели являются простота применения и адекватная последовательность в прогнозировании кривых проскока в различных условиях эксплуатации. Уравнение модели имеет следующий вид:

$$\frac{C_t}{C_0} = \frac{1}{1+exp\left(\frac{K_{Th}}{Q}(q_0 M - C_0 V)\right)}, \quad (1)$$

где C_0 – концентрация сорбата на входе в колонну, мг/мл;
C_t – концентрация сорбата на выходе из колонны, мг/мл;
K_{Th} – константа скорости Томаса, мл·/мг·мин;
q_0 – равновесная емкость адсорбента (мг/г);
M – масса загрузки колонны, г;
Q – объемная скорость потока (мл/мин);
V – объем раствора, прошедшего через колонну, мл.

Уравнение (1) имеет вид линейной зависимости в координатах $ln\left(\frac{C_0}{C_t}-1\right)$ от V. Учитывая, что $V = Q \cdot t$, логарифмическая форма уравнения Томаса может быть представлена в координатах $ln\left(\frac{C_0}{C_t}-1\right)$ от t, чему соответствует уравнение (2):

$$ln\left(\frac{C_0}{C_t}-1\right) = \frac{K_{Th} q_0 M}{Q} - K_{Th} C_0 t. \quad (2)$$

Модель Адамса-Бохарта [7, 9, 10] в основном используется для расчетов на начальном участке выходной кривой и описывается уравнением:

$$\frac{C_t}{C_0} = exp\left(K_{AB} C_0 t - K_{AB} N_0 \frac{Z}{U}\right), \quad (3)$$

где K_{AB} – кинетический коэффициент Адамса-Бохарта, мл/мг·мин;

Z – высота слоя сорбента в колонке, см;

N_o – концентрация насыщения, мг/мл;

U – линейная скорость, рассчитанная путем деления объемной скорости потока на площадь сечения колонки, см /мин.

Логарифмический вид уравнения (3):

$$ln\frac{C_t}{C_0} = K_{AB}C_0t - K_{AB}N_0\frac{Z}{U}, \quad (4)$$

Расчет параметров уравнения Адамса-Бохарта проводили путем построения зависимости $ln\frac{C_t}{C_0}$ от t методом линейной регрессии.

На графике (рис. 1) представлены зависимости в координатах уравнения (2). По уравнениям линий тренда рассчитаны величины констант скорости сорбции Томаса (K_{Th}, мл/ мг·мин) и максимальной равновесной емкости сорбента (q_0, мг/г). Высокие значения коэффициентов корреляции R^2 на уровне 0,967–0,996 свидетельствуют о применимости модели Томаса для описания сорбции ионов серебра из модельных растворов с использованием цеолитового туфа СМ.

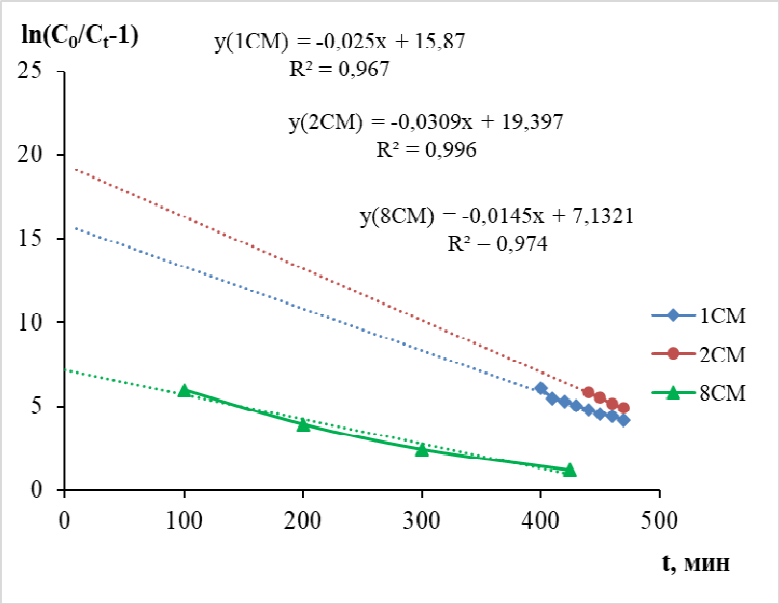


Рис. 1. Зависимость $ln\left(\frac{C_0}{C_t}-1\right)$ от времени согласно модели Томаса (уравнение 2), высота слоя сорбента 12 см, скорость потока 1мл/мин.

Установлено, что при сорбции из раствора нитрата серебра с концентрацией 10 мг/л K_{Th} равняется 2,50 и 3,09 мл/мг·мин для колонок 1СМ и 2СМ соответственно. Максимальная равновесная сорбционная емкость при этом оказалась одинаковой и в первой, и во второй колонках и составила 0,63 мг/г. Емкость до проскока составляет 0,45 мг/г. При повышении концентрации исходного

раствора в два раза (колонка 8СМ) K_{Th}, = 0,725 мл/ мг мин, максимальная сорбционная емкость повышается до 0,98 мг/г, а емкость до проскока имеет величину 0,77 мг/г.

На графике (рис. 2) представлены зависимости в координатах уравнения Адамса-Бохарта (уравнение 4). При расчете кинетических коэффициентов K_{AB} (мл/мг·мин) и концентрации насыщения N_0 по уравнениям линий тренда получены следующие данные: при сорбции из раствора с содержанием серебра на уровне 10 мг/л K_{AB} имеет значения 2,48 и 3,07 мл/мг·мин, при сорбции из раствора с содержанием серебра 20 мг/л K_{AB} равен 0,69 мл/мг·мин. Теоретическая сорбционная емкость в первом случае имеет величину 0,67 мг/г, а во втором –1,08 мг/г.

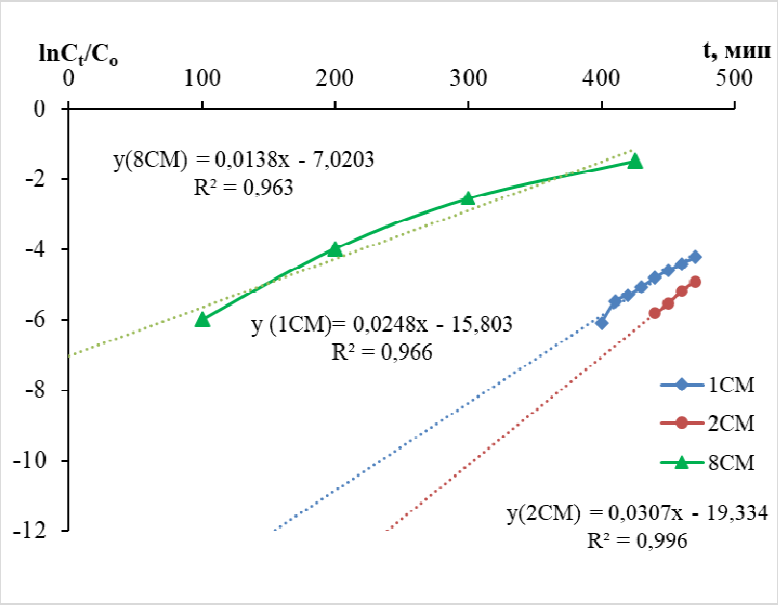


Рис. 2. Зависимость $ln\frac{C_t}{C_0}$ от времени согласно модели Адамса-Бохарта (уравнение 4), высота слоя сорбента 12 см; скорость потока 1 мл/мин.

Сопоставляя значения параметров, рассчитанных по модели Томаса и модели Адамса-Бохарта, можно сделать вывод, что обе модели адекватно описывают сорбцию ионов серебра из нитратных растворов диапазоне концентраций 10–20 мг/л.

Десорбцию проводили в двух вариантах – 0,1 н и 0,2 н азотной кислотой. Результаты представлены на графике (рис. 3).

Извлечение серебра из сорбента СМ происходит интенсивно. Через 7,5 колоночных объемов концентрация серебра достигает максимума равного 36,7 мг/л при десорбции 0,1 н кислотой колонки 1СМ и через 5 колоночных объемов при десорбции 0,2 н кислотой 2СМ, максимальная концентрация при этом составляет 52,2 мг/л. Во втором случае пик более узкий, следовательно, можно выделить концентрат меньшего объема. Критерием для выделения концентрата мы

установили концентрацию серебра на выходе из колонки равную концентрации исходного раствора при сорбции. При десорбции 0,1 н кислотой объем концентрата составил 175 мл с содержанием серебра 22,52 мг/л, извлечение составило 80 %. При десорбции 0,2 н кислотой колонки 2СМ объем концентрата составил 125 мл с содержанием серебра 25,23 мг/л, извлечение составило 69,3 %. Десорбцию колонки, насыщенной ионами серебра при сорбции из раствора с содержанием основного компонента 20 мг/л, проводили 0,2 н азотной кислотой. Максимальная концентрация серебра в элюате достигла 243 мг/л. Выделенный концентрат в объеме 150 мл имел содержание серебра на уровне 105 мг/л. Коэффициент концентрирования – 5,25. Также получены низко концентрированные растворы. В первом случае 325 мл с содержанием серебра 5,28 мг/л, во втором – 375 мл с содержанием 2,37 мг/л. Низко концентрированные растворы могут быть объединены с исходным раствором и направлены на повторную сорбцию. Суммарное извлечение серебра из сорбента приближается к 100 %.

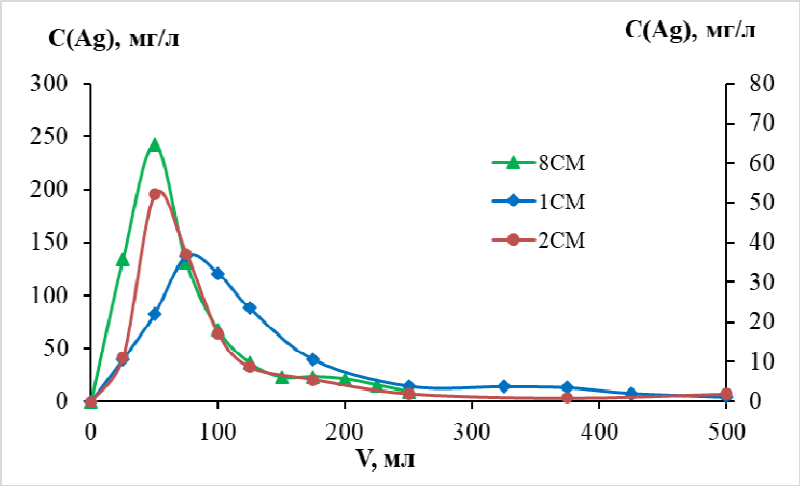


Рис. 3. Десорбция серебра из колонок с сорбентами Середочного (СМ): 1СМ десорбция 0,1 н азотной кислотой; 2СМ и 8СМ десорбция 0,2 н азотной кислотой. Содержание серебра в растворах при десорбции 8СМ отражаются по основной оси, при десорбции 1СМ и 2СМ – по вспомогательной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цеолиты Середочного месторождения Хабаровского края рекомендуется использовать для извлечения серебра из загрязненных вод различного происхождения в динамическом режиме.

Установлено, что сорбция серебра в динамическом режиме удовлетворительно описывается моделями Томаса и Адамса-Бохарта. Различия в значениях кинетических коэффициентов не превышают величину погрешности методики экспериментального исследования.

Показано, что десорбцию необходимо проводить 0,1–0,2 н азотной кислотой. Десорбция проходит практически полностью. За один цикл сорбции–десорбции коэффициент концентрирования составляет от 2,25 до 5,25 ед. в зависимости от концентрации серебра в растворе, использованном для насыщения колонок.

Список литературы

1. Wajima T. Removal of Ag(I) from aqueous solution by japanese natural clinoptilolite / Wajima T. // Advances in Chemical Engineering and Science. – 2016. – Vol. 6, № 4. – P. 470–487. DOI: 10.4236/aces.2016.64042.
2. Белова Т. П. Устойчивость природных цеолитов при сорбции золота из модельных растворов при различных значениях pH / Т. П. Белова, З. И. Хижко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2023. – Т. 9, № 2. – С. 251–258. DOI: 10.29039/2413-1725-2023-9-2-251-258.
3. Inglezakis V. Efficient mercury removal from water by using modified natural zeolites and comparison to commercial adsorbents / V. Inglezakis, A. Kudarova, A. Guney [et al.] // Sustainable Chemistry and Pharmacy. – 2023. – Vol. 32. – P. 101017. DOI: 10.1016/j.scp.2023.101017.
4. Abdollahi T. Sorption of cesium and strontium ions by natural zeolite and management of produced secondary waste / T. Abdollahi, J. Towfight, H. Rezaei-Vahidian // Environmental Technology and Innovation. – 2020. – Vol. 17. – P. 100592. DOI: 10.1016/j.eti.2019.100592.
5. Эфендиева Н. Т. Сорбция ионов серебра (I) синтетическим сорбентом из водных растворов / Н. Т. Эфендиева, А. М. Магеррамов, Ф. М. Чырагов // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2022. – Т. 12, № 1. – С. 30–37. DOI: 10.21285/2227-2925-2022-12-1-30-37.
6. Черноокая Е. В. Кинетика сорбции ионов серебра на синтетическом цеолите NaX / Е. В. Черноокая, В. А. Сивкова, К. В. Ротманов // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2021. – Т. 21, № 5. – С. 717–722. DOI: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3778.
7. Алифханова Л. М. к. Выбор оптимальных условий динамического концентрирования ионов серебра(I) из растворов сложного состава сульфоэтилированными полиаминостиролами / Л. М. к. Алифханова, Ю. С. Петрова, С. Н. Босенко, Л. К. Неудачина, А. В. Пестов // Журнал неорганической химии. – 2021. – Т. 66, № 4. – С. 540–548. – DOI: 10.31857/S0044457X21040036.
8. El-Naggar M. R. Sorptive removal of cesium and cobalt ions in a fixed bed column using Lewatit S100 cation exchange resin / M. R. El-Naggar, H. A. Ibrahim and A. M El-Kamash // Arab Journal of Nuclear Science and Applications. – 2014. – Vol. 47 (2). – P. 77–93.
9. Белова Т. П. Сорбция ионов железа, никеля, меди и кобальта из растворов бактериально-химического выщелачивания кобальт-медно-никелевых руд / Т. П. Белова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020 – № S46. – С. 87–98. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-46-87-98.
10. Han R. Use of rice husk for the adsorption of congo red from aqueous solution in column mode / R. Han, D. Ding, Y. Xu, [et al.] // Bioresource Technology. – 2008. – Vol. 99. – P. 2938–2946

SILVER SORPTION DYNAMICS BY NATURAL ZEOLITES

Belova T. P., Khizhko Z. I.

Research Geotechnological Center of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences (RGC FEB RAS), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation
E-mail: tpbel@yandex.ru

The present work provides data on sorption of silver ions in concentrations ranging from 10 to 20 mg/l from nitrate solutions. The zeolite tuff sorption properties from the Seredochnoe deposit in Khabarovsk Krai were investigated by the down flow solution method through a column with a fixed sorbent bed. The elution curves method was employed to ascertain the operational mode of the column and its dynamic response. Based on the elution curves, the practical maximum sorption capacity and the capacity before breakthrough for silver ions at the outlet of the sorption column were calculated. The Thomas model calculations revealed that for sorption from a silver nitrate solution with a concentration of 10 mg/l K_{Th}, the sorption capacity was 2.50 and 3.09 ml/mg-min for the 1SD and 2SD columns, respectively. The maximum equilibrium sorption capacity in the first and second columns was found to be 0.63 mg/g. The capacity before breakthrough was calculated to be 0.45 mg/g. Upon doubling the concentration of the stock solution (column 8SD), K_{Th}, 0.725 ml/mg□min, the maximum sorption capacity increased to 0.98 mg/g, while the capacity before breakthrough exhibited a value of 0.77 mg/g.

The following data were obtained when calculating K_{AB} kinetic coefficients (ml/mg·min): when sorption from solution with silver content of 10 mg/l, the K_{AB} values were 2.48 and 3.07 ml/mg·min, while at sorption from solution with silver content of 20 mg/l, the K_{AB} was equal to 0.69 ml/mg-min. The theoretical sorption capacity in the first case is 0.67 mg/g, while in the second case it is 1.08 mg/g.

The values of the parameters calculated using the Thomas model and the Adams-Bohart model indicate that both models adequately describe the sorption of silver ions from nitrate solutions in the concentration range of 10–20 mg/l.

It is recommended that desorption be carried out with 0.1-0.2 n nitric acid. Under these conditions, concentrates with silver ions content of 22.52 mg/l were obtained using 0.1 n acid. Upon desorption with 0.2 n acid, the silver content was 25.23 mg/l and 105 mg/l. The concentration coefficient for one sorption–desorption cycle was found to be in the range of 2.25–5.25 units.

Keywords: silver, sorption capacity, zeolite tuff, dynamic sorption, desorption.

References

1. Wajima, T., Removal of Ag(I) from aqueous solution by japanese natural clinoptilolite, *Advances in Chemical Engineering and Science,* **6** (4), 470 (2016). DOI: 10.4236/aces.2016.64042.
2. Belova T.P., Khizhko Z.I., Stabitity of natural zeolites in sorption of gold from model solutions at different pH values, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry,* **9** (2), 251 (2023). (*in Russ.*). DOI: 10.29039/2413-1725-2023-9-2-251-258.

3. Inglezakis V., Kudarova A., Guney A., Kunayat N., Tauanov Zh., Efficient mercury removal from water by using modified natural zeolites and comparison to commercial adsorbents, *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, **32**, 101017 (2023). DOI: 10.1016/j.scp.2023.101017.
4. Abdollahi T., Towfight J., Rezaei-Vahidian H., Sorption of cesium and strontium ions by natural zeolite and management of produced secondary waste, *Environmental Technology and Innovation*, **17**, 100592 (2020). DOI: 10.1016/j.eti.2019.100592.
5. Afandiyeva N.T., Maharramov A.M., Chyragov F.M., Sorption of silver (I) ions from aqueous solutions using the synthetic sorbent, *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology,* **12** (1), 30 (2022). (*in Russ*). DOI: 10.21285/2227-2925-2022-12-1-30-37.
6. Chernookaya E.V., Sivkova V.A., Rotmanov K.V., Kinetics of sorption of silver ions on a synthetic NaX zeolite. *Sorption and chromatography processes*, **21** (5), 717 (2021). (*in Russ*). DOI: 10.17308/sorpchrom.2021.21/3778.
7. Alifkhanova L.M. k., Petrova Yu.S., Bosenko S.N., Neudachina L.K., Pestov A.V., Choice of optimal conditions for the dynamic concentration of silver(I) ions from complex solutions with sulfoethylated polyaminostyrenes, *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, **66** (4), 540 (2021). (*in Russ*). DOI: 10.31857/S0044457X21040036.
8. El-Naggar M.R., Ibrahim H.A. and El-Kamash A.M., Sorptive removal of cesium and cobalt ions in a fixed bed column using Lewatit S100 cation exchange resin, *Arab Journal of Nuclear Science and Applications*, **47** (2), 77 (2014).
9. Belova T.P., Adsorption of iron nickel, copper and cobalt ions from solutions of bacterial-chemical leaching of cobalt-copper-nickel ore, *Mining Inf. Anal. Bull (Scientific and Technical Journal),* S46, 87 (2020). (*in Russ*). DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-46-87-98.
10. Han R., Ding D., Xu Y., Zou W., Wang Yu., Li Y., Zou L., Use of rice husk for the adsorption of congo red from aqueous solution in column mode, *Bioresource Technology*, **99**, 2938 (2008)

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 315–322.

УДК 666.913.2

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-315-322

ВЛИЯНИЕ НАТРИЕВЫХ СОЛЕЙ ЭТИЛЕНДИАМИНТЕТРАУКСУСНОЙ КИСЛОТЫ НА ПРОЦЕСС ОТВЕРЖДЕНИЯ ГИПСА

Гришковец В. И.[1], Мельник В. М.[1], Яковишин Л. А.[2], Корж Е. Н.[2]

[1]Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
[2]ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия
E-mail: vladgri@ukr.net

Изучена концентрационная зависимость ингибирующего действия моно-, ди-, три- и тетранатриевых солей этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА) на процесс отверждения гипса. Проведено сравнение активности этих солей с тризамещенным цитратом натрия, который широко используется в качестве замедлителя отверждения в промышленно выпускаемых гипсовых составах. Показано, что наибольшей ретардантной активностью из изученных солей обладает динатриевая соль ЭДТА. Оптимальный диапазон концентраций рабочих растворов динатриевой соли ЭДТА составляет 0,025–0,05 М (0,19–0,37 %) без потери механической прочности отливок, но ингибирующее действие динатриевой соли ЭДТА в 3–4 раза слабее цитрата натрия.
Ключевые слова: вяжущие материалы, гипс, натриевые соли этилендиаминтетрауксусной кислоты, цитрат натрия.

ВВЕДЕНИЕ

Использование этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА) и ее динатриевой соли в качестве ретардантов (замедлителей) процессов отверждения как цемента, так и гипса неоднократно описывалось в научной литературе и патентах. Публикаций по использованию ЭДТА в цементах значительно больше, чем работ по ЭДТА и гипсу. Так, например, в работе [1] изучено влияние ЭДТА на гидратацию твердеющего цемента с помощью метода альтернативно-токовой импедансной спектроскопии (ACIS) и установлено, что ЭДТА замедляет раннюю гидратацию цемента. Результаты микроструктурной характеристики раскрыли рабочий механизм ЭДТА, возникающий из-за его комплексообразующего эффекта со свободными ионами кальция. В работе [2] были исследованы как единичный эффект ЭДТА/Na_2–ЭДТА, так и синергетический эффект ЭДТА/Na_2–ЭДТА и лимонной кислоты на механизм гидратации, фазовый состав, микроструктуру и механические свойства магнийоксисульфатного цемента. Результаты показали, что комплексы Mg–EDTA, образованные ионами $EDTA^{4-}$ и Mg^{2+}, действовали как ядра для продуктов гидратации. В работе [3] с помощью анализа раствора и электронной микроскопии изучено влияние ЭДТА на раннюю гидратацию портландцемента.

Было показано, что ЭДТА является замедлителем гидратации цемента, и его действие объясняется с точки зрения его комплексообразования с катионами кальция. В работе [4] изучен эффект карбоновых и гидроксикарбоновых кислот на замедление гидратации портландцемента. Было установлено, что гидроксикарбоновые кислоты замедляют гидратацию посредством хелатирования кальция и поверхностной адсорбции, которая включает адсорбцию хелатного комплекса кальция преимущественно на трикальцийсиликате. Результаты моделирования показали, что гликолят кальция образует сильную сеть водородных связей вблизи поверхностей гидроксида кальция и гидратированного трикальцийсиликата и отвечает за его сильную адсорбцию на этих поверхностях.

Использование ЭДТА в качестве ингибитора кристаллизации гипса описано в [5]. Оптимальные условия для ингибирования были объяснены с точки зрения концентрации некомплексированного лиганда, которая определяется стабильностью комплексов кальция с составом 1:1, а также степенью конкуренции протонов. Также были изучены структура, состав и морфология осаждающихся твердых веществ, выделенных из равновесных смесей по завершении процесса осаждения, и были идентифицированы грани кристаллов, на которых адсорбция наиболее вероятна. В патенте [6] было предложено использование ЭДТА и его аналогов в качестве модификаторов габитуса (формы) кристаллов гипса, но механизм действия модификаторов не исследовался и не обсуждался.

Таким образом, из приведенных работ видно, что существенную роль в процессах замедления гидратации как цемента, так и гипса играют как процессы хелатирования, так и сорбция хелатных комплексов или самих хелатирующих агентов на поверхности растущих кристаллов.

В настоящей работе исследовано влияние моно-, ди-, три- и тетранатриевых солей этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА) на процесс отверждения гипса и изучена концентрационная зависимость ингибирующего действия этих солей в сравнении с цитратом натрия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использовались вещества: строительный гипс марки Г5, динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (Трилон Б, ч.д.а.), натрий лимоннокислый тризамещенный (ч.д.а.). Мононатриевая соль ЭДТА получена в растворе путем добавления 1 эквивалента соляной кислоты. Тринатриевая и тетранатриевая соли получены путем добавления к раствору Трилона Б одного или двух эквивалентов гидроксида натрия, соответственно.

В ходе работы использовали исходные 0,1 М растворы натриевых солей ЭДТА. Путем последовательного разбавления дистиллированной водой были получены растворы следующих молярностей: 0,05; 0,025; 0,0125; 0,0062; 0,0031 и 0,0016 М.

Для получения отвержденных гипсовых образцов брали навески гипса по 2,0 г, к которым добавляли по 1,3 мл исследуемых растворов каждой из солей в разных концентрациях. Смесь интенсивно перемешивали в ступке с помощью пестика в течение 10 с. Получившуюся гипсовую массу переносили на подложку и фиксировали время начала и окончания отверждения образца. Момент помутнения

глянцевой поверхности гипсовой смеси отмечали как начало процесса отверждения. Время окончательного отверждения определялось в момент, когда образец при надавливании и легком ударе стеклянной палочкой перестает деформироваться и издает характерный «стеклянный» звук.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение ингибирующего действия натриевых солей этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА) проводилось по нашей методике, заключающейся в быстром замешивании гипса с водой или растворами исследуемого модификатора с убывающей концентрацией (в весовой пропорции гипс/раствор – 1/0,65). Время начала процесса схватывания определялось по исчезновению глянцевого блеска исходной гипсовой массы, а время окончания отверждения как момент потери пластичности при надавливании на гипсовую массу твердым (металлическим или стеклянным) предметом и появления характерного «стеклянного» звука при ударе.

Исследовался диапазон молярных концентраций водных растворов натриевых солей ЭДТА от 0,1 М до 0,0031 М. В том же диапазоне концентраций для сравнения ингибирующего действия одновременно тестировался и раствор тризамещенного цитрата натрия. Концентрации исследованных растворов уменьшались с шагом 1/2, что позволяло достаточно уверенно проследить зависимость ингибирующего действия от концентрации ингибитора. Нижний предел концентрации растворов (0,0031 М) определялся по практическому исчезновению эффекта ингибирования. Полученные результаты приведены в таблицах 1, 2 и на рисунках 1, 2.

Таблица 1

Ингибирующее действие растворов натриевых солей ЭДТА на начало отверждения гипса

Концентрация *C* (моль/л)	Na–ЭДТА (мин)	Na_2–ЭДТА (мин)	Na_3–ЭДТА (мин)	Na_4–ЭДТА (мин)	Цитрат натрия (мин)
0,1000	–	40	30	11	65
0,0500	25	30	20	10	70
0,0250	18	15	15	7	80
0,0125	10	10	10	5	60
0,0063	4	6	6	4	50
0,0031	4	4	4	4	40

Примечание: время начала отверждения гипса в дистиллированной воде – 4 минуты. Для Na–ЭДТА концентрация 0,1 М недостижима из-за низкой растворимости; концентрация 0,05 М – пересыщенный раствор.

Таблица 2

Ингибирующее действие растворов натриевых солей ЭДТА на окончание процесса отверждения гипса

Концентрация *C* (моль/л)	Na–ЭДТА (мин)	Na_2–ЭДТА (мин)	Na_3–ЭДТА (мин)	Na_4–ЭДТА (мин)	Цитрат натрия (мин)
0,1000	–	90	90	20	150
0,0500	90	180	100	19	200
0,0250	35	40	50	18	180
0,0125	25	35	40	14	150
0,0063	20	30	30	12	75
0,0031	15	15	20	12	60

Примечание: время окончания отверждения гипса в дистиллированной воде – 10–12 минут. Для Na–ЭДТА концентрация 0,1 М недостижима из-за низкой растворимости; концентрация 0,05 М – пересыщенный раствор.

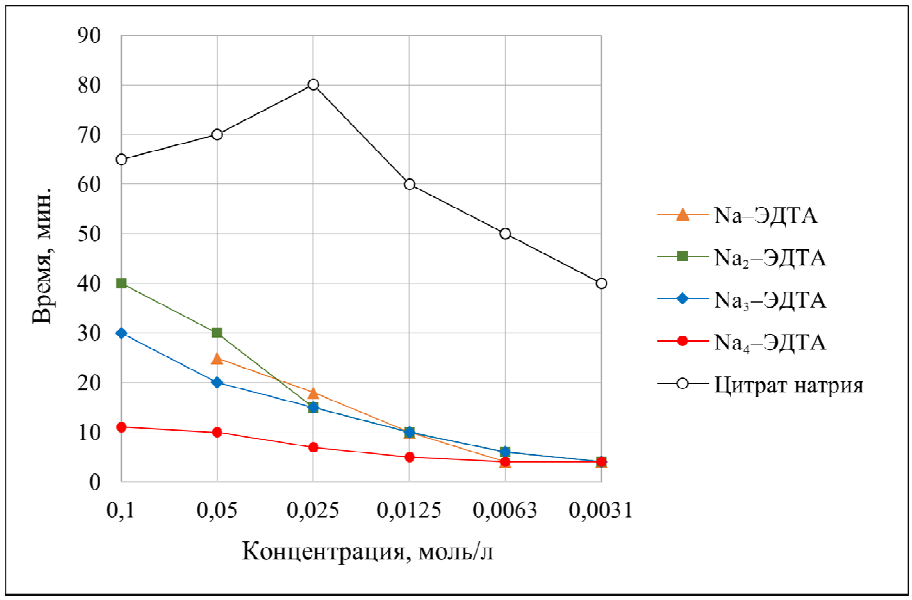


Рис. 1. Влияние натриевых солей ЭДТА и цитрата натрия на время начала отверждения гипса.

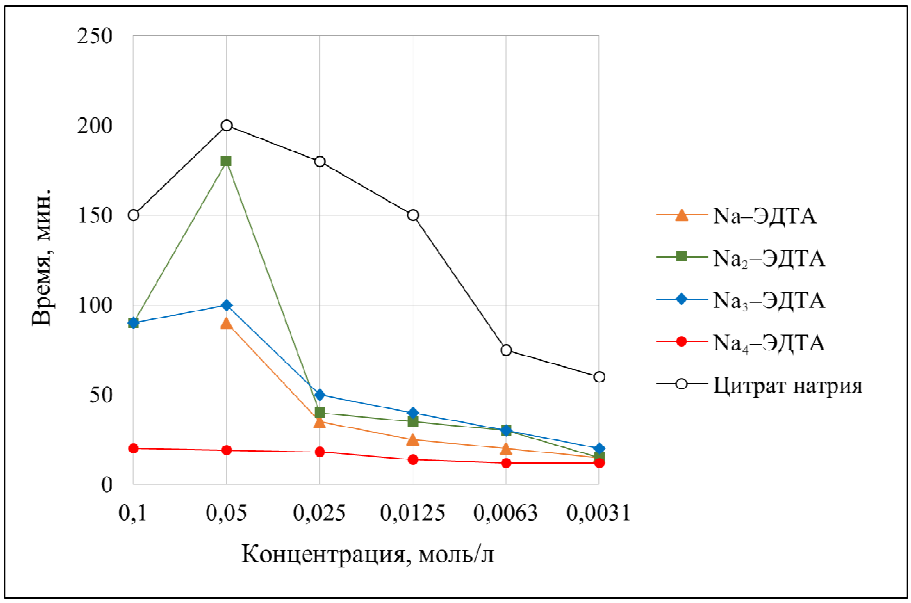


Рис. 2. Влияние натриевых солей ЭДТА и цитрата натрия на время окончания отверждения гипса.

Анализ полученных результатов показывает, что натриевые соли ЭДТА обладают ингибирующим эффектом в процессе отверждения гипса, однако их действие достаточно сильно разнится. Эффект ингибирования как для начала, так и для окончания отверждения гипса наиболее выражен у динатриевой соли (Na_2–ЭДТА), несколько слабее ингибирующее действие проявляют моно- и тринатриевые соли, а у тетранатриевой соли эффект ингибирования минимален. Наблюдаемые максимумы или плечи на кривых зависимостей ингибирующего действия от концентрации (в области 0,05–0,025 моль/л) объясняются одновременным действием двух разнонаправленных факторов – специфическим ингибированием с одной стороны и хорошо известным неспецифическим ускоряющим действием нейтральных солей вследствие увеличения ионной силы раствора, что не раз наблюдалась и в наших работах и обсуждалось в предыдущих публикациях. Сравнение действия солей ЭДТА с тризамещенным цитратом натрия показывает их меньшую относительную активность, однако их изучение было интересно с точки зрения прояснения механизма ингибирующего действия. Большинство упомянутых выше работ [1–3, 5] объясняют ингибирующую активность связыванием ионов кальция в водном растворе в комплекс и тем самым уменьшением концентрации свободных кальциевых ионов, участвующих в построении зародышевых кристаллов двуводного сульфата кальция. Однако сравнение констант устойчивости комплекса кальция с ЭДТА ($3{,}88 \cdot 10^{10}$) и цитратного комплекса кальция ($1{,}48 \cdot 10^{3}$) [7] показывает, что действие натриевых солей ЭДТА слабее цитрата натрия, несмотря на то, что константа устойчивости комплекса с ЭДТА на 7 порядков выше, чем в случае цитратного комплекса. Очевидно, это связано с тем, что механизм комплексообразования и связывания

свободного кальция в затворяющем растворе не является основным. С учетом выше цитированных работ [4, 5] становится понятным, что процессы сорбции модификаторов (ЭДТА или цитрата и их как натриевых, так и кальциевых солей) на поверхности растущих зародышевых кристаллов играют даже более существенную и определяющую роль в процессе отверждения гипса. Более того, в работе [8] показано, что процессы сорбции происходят и на гранях кристаллов исходного полуводного сульфата кальция, что также должно вызывать замедляющее действие на процесс его перехода в водную фазу с последующим образованием зародышей новой фазы двуводного сульфата кальция и в итоге на весь процесс отверждения полуводного гипса.

Качественное исследование прочностных свойств полученных образцов гипсовых отливок показало, что в изученном диапазоне концентраций натриевых солей ЭДТА прочность отливок не снижается до концентрации 0,025 М, тогда как для двух самых высоких концентраций затворяющих растворов кислот (0,05 и 0,1 М) наблюдалось незначительное снижение механической прочности полученных отливок. Количественное изучение прочностных свойств гипсовых отливок на сжатие и изгиб с различными модификаторами предполагается в дальнейшем в отдельном исследовании.

Таким образом, анализ полученных результатов показывает, что в сравнении с тризамещенным цитратом натрия эффективность наиболее активной динатриевой соли примерно в 3–4 раза ниже, но все равно представляет определенный практический интерес, особенно с учетом низкой цены технического Трилона Б. Рекомендуемый для практического использования диапазон концентраций растворов динатриевой соли ЭДТА составляет 0,025–0,05 М (0,19–0,37 %) в зависимости от желаемого времени начала схватывания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучена концентрационная зависимость ингибирующего действия водных растворов натриевых солей ЭДТА на процесс отверждения гипса.
2. Показано, что из изученных солей наиболее активна динатриевая соль ЭДТА, ингибирующее действие которой в 3–4 раза слабее в сравнении с тризамещенным цитратом натрия, но может иметь практическое значение.
3. Показано, что оптимальный диапазон концентраций рабочего раствора наиболее активной динатриевой соли составляет 0,025–0,05 М (0,19–0,37 %) без потери механической прочности отливок.

Список литературы

1. Investigation of the hydration properties of cement with EDTA by alternative current impedance spectroscopy / L. Chi, W. Li, Z. Li [et al.] // Cement and Concrete Composites. – 2022. – Vol. 126. – P. 104365.
2. Gu K. Effects of ethylenediamine tetra-acetic acid (EDTA) and its disodium salt derivative (EDTA-Na) on the characteristics of magnesium oxysulfate (MOS) cement / K. Gu, Y. Maierdan, B. Chen // Composites Part B: Engineering. – 2022. – Vol. 232. – P. 109654.

3. Thomas N. L. The hydration of Portland cement, C3S and C2S in the presence of a calcium complexing admixture (EDTA) / N. L. Thomas, D. D. Double // Cement and Concrete Research. – 1983. – Vol. 13, №3. – P. 391–400.
4. Chaudhari O. Effect of carboxylic and hydroxycarboxylic acids on cement hydration: experimental and molecular modeling study / O. Chaudhari, J. J. Biernacki, S. Northrup // Journal of Materials Science. – 2017. – Vol. 52 (24). – P. 13719.
5. EDTA analogues – unconventional inhibitors of gypsum precipitation / S. Ziegenheim, A. Sztegura, M. Szabados [et al.] // Journal of Molecular Structure. – 2022. – Vol. 1256. – P. 132491.
6. Способ получения гипса [Электронный ресурс]. URL: https://patents.google.com/patent/RU2448049C2/ru (дата обращения: 26.09.2024).
7. Справочник химика. Том 3. Химическое равновесие и кинетика, свойства растворов, электродные процессы / Под ред. Б. П. Никольского. – М.–Л.: Химия, 1965. – 1005 с.
8. Simultaneous effect of Na_2EDTA on the phase transformation and morphology evolution during the transformation of gypsum into α-calcium sulfate hemihydrate / A. Xiao, C. Jia, X. Fang [et al.] // New J. Chem. – 2024. – Vol. 48. – P. 4473–4481.

EFFECT OF ETHYLENEDIAMINETETRAACETIC ACID SODIUM SALTS TO THE PROCESS OF GYPSUM CURING

Grishkovets V. I.[1], Melnik V. M.[1], Yakovishin L. A.[2], Korzh E. N.[2]

[1]V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia
[2]Sevastopol State University, Sevastopol, Russia
E-mail: vladgri@ukr.net

The concentration dependence of the inhibitory effect of mono-, di-, tri- and tetrasodium salts of ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) on the gypsum curing process has been studied. The activity of these salts has been compared with sodium trisubstituted citrate, which is widely used as a curing retarder in commercially available gypsum formulations. It is shown that the disodium salt of EDTA has the greatest retardant activity of the studied salts.

The optimal concentration range of working solutions of EDTA disodium salt is 0.025–0.05 M (0.19–0.37 %) without loss of mechanical strength of castings, but the inhibitory effect of EDTA disodium salt is 3–4 times weaker than sodium citrate. The range of molar concentrations of aqueous solutions of EDTA sodium salts from 0.1 M to 0.0031 M was studied. An analysis of the results shows that sodium salts of EDTA have an inhibitory effect during the curing of gypsum, but their effect varies quite a lot. The inhibition effect for both the beginning and the end of gypsum curing is most pronounced in disodium salt (Na_2–EDTA), mono- and trisodium salts exhibit a slightly weaker inhibitory effect, and in tetrasodium salt the inhibition effect is minimal. A comparison of the action of EDTA salts with sodium trisubstituted citrate shows their lower relative activity, however, their study was interesting from the point of view of clarifying the mechanism of inhibitory action.

A comparison of the stability constants of the calcium complex with EDTA ($3.88 \cdot 10^{10}$) and the calcium citrate complex ($1.48 \cdot 10^{3}$) shows that the action of EDTA sodium salts is weaker than sodium citrate, despite the fact that the stability constant of the

complex with EDTA is 7 orders of magnitude higher than in the case of the citrate complex. Obviously, this is due to the fact that the mechanism of complexation and binding of free calcium in the sealing solution is not the main one. It becomes clear that the processes of sorption of modifiers (EDTA or citrate and their both sodium and calcium salts) on the surface of growing germ crystals play a more significant and decisive role in the process of gypsum curing. A qualitative study of the strength properties of the obtained gypsum castings samples showed that in the studied range of concentrations of EDTA sodium salts, the strength of castings does not decrease to a concentration of 0.025 M, whereas for the two highest concentrations of sealing acid solutions (0.05 and 0.1 M), a slight decrease in the mechanical strength of the castings was observed.

***Keywords*:** binder materials, gypsum, ethylenediaminetetraacetic acid sodium salts, sodium citrate.

References

1. Chi L., Li W., Li Z., Wang Z., Lu S., Liu Q., Investigation of the hydration properties of cement with EDTA by alternative current impedance spectroscopy, *Cement and Concrete Composites*, **126**, 104365 (2022).
2. Gu K., Maierdan Y., Chen B., Effects of ethylenediamine tetra-acetic acid (EDTA) and its disodium salt derivative (EDTA-Na) on the characteristics of magnesium oxysulfate (MOS) cement, *Composites Part B: Engineering*, **232**, 109654 (2022).
3. Thomas N. L., Double D. D., The hydration of Portland cement, C3S and C2S in the presence of a calcium complexing admixture (EDTA), *Cement and Concrete Research*, **13** (3), 391 (1983).
4. Chaudhari O., Biernacki J. J., Northrup S., Effect of carboxylic and hydroxycarboxylic acids on cement hydration: experimental and molecular modeling study, *Journal of Materials Science*, **52** (24), 13719 (2017).
5. Ziegenheim S., Sztegura A., Szabados M., Kónya Z., Kukovecz Á., Pálinkó I., Sipos P., EDTA analogues – unconventional inhibitors of gypsum precipitation, *Journal of Molecular Structure*, **1256**, 132491 (2022).
6. *Method of producing gypsum*, https://patents.google.com/patent/RU2448049C2/ru (Accessed September 26, 2024). (*in Russ.*).
7. Nikolsky B. P., *Chemist's handbook. Vol. 3. Chemical equilibrium and kinetics, solution properties, electrode processes*, 1005 p. (Khimiya, Moscow, Leningrad, 1965) (*in Russ.*).
8. Xiao A., Jia C., Fang X., Zhao J., Zhang H., Simultaneous effect of Na_2EDTA on the phase transformation and morphology evolution during the transformation of gypsum into α-calcium sulfate hemihydrate, *New J. Chem.*, **48**, 4473 (2024).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 323–333.

УДК 541.64:532.77

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-323-333

СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ СЕЛЕНА, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ПОЛИВИНИЛПИРРОЛИДОНОМ

Панов Д. А.

Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь, Россия
E-mail: despanov@gmail.com

Методами УФ-спектроскопии, вискозиметрии и pH-метрии были изучены наноструктуры селена, образующиеся в результате восстановления селенит-ионов аминокислотой L-цистеином в водном растворе биологически активного полимера поливинилпирролидона с различной молекулярной массой. Исследовано влияние массового соотношения селен–полимер и молекулярной массы полимера на структурно-конформационные характеристики наноструктур. В результате адсорбции полимера на поверхности наночастиц селена образуется селеносодержащие нанокомпозиты, агрегативно устойчивые в течение месяца.
Ключевые слова: наночастицы, наноселен, цистеин, полимерные стабилизаторы, поливинилпирролидон, селеносодержащие наноструктуры.

ВВЕДЕНИЕ

В литературе последних лет наблюдается рост публикаций, посвящённых созданию новых материалов на основе самоорганизованных наноструктурированных композитов заданных размеров и в течение длительного времени сохраняющих свою стабильность. Особый интерес представляют наносистемы на основе наноселена, так как он жизненно важен для человека и животных. Недостаток селена в организме вызывает целый ряд заболеваний, в том числе: сердечно-сосудистые, желудочно-кишечные, бронхиальную астму; участвует в обмене жиров, белков, углеводов, стимулирует работу щитовидной железы, обладает противоопухолевой активностью. Селен входит в активные центры ферментов, системы антиоксидантной защиты организма, защищает организм от действия тяжелых и токсичных металлов (меди, свинца, кадмия, ртути и других) [1–4]. Селен, как и другие микроэлементы, поступает в организм с продуктами растительного и животного происхождения. Однако, во многих регионах России в почвах сельскохозяйственного назначения наблюдается дефицит селена, поэтому содержание его в растениях недостаточно [5–6]. Дефицит селена в организме восполняют, в основном, путем добавления в продукты питания биологически активные добавки, содержащие производные селена. Неорганические формы селена (селенит-, селенат-ионы) являются токсичными и могут вызвать негативные явления. Органические селеносодержащие соединения плохо растворимы и дороги [7–9]. Наименее токсичным и биодоступным является наноразмерный селен

(20–70 нм). Наночастицы селена, согласно литературным данным, проявляют высокую антиоксидантную, антимутагенную активность, предотвращают раковые заболевания, замедляют развитие опухолей. Селеносодержащие наноструктуры находят применение в качестве средств доставки лекарств, антимикробного агента, в биотехнологии, медицинской диагностике, сельском хозяйстве и пищевой промышленности [10–15].

Анализ литературных данных выявил различные способы получения наноразмерного селена. Среди них методы лазерной абляции, ультразвукового и механического диспергирования. Однако аппаратура весьма дорога, что сдерживает широкое распространение этих методов [16]. В настоящее время наиболее распространены методы химического восстановления ионов селена в растворах. В качестве восстановителей часто используют аскорбиновую кислоту, глюкозу, тиомочевину, серосодержащие аминокислоты [17–19]. В этом случае образуются наночастицы селена размером 100–500 нм, обладающие сильно развитой межфазной поверхностью. Ввиду своей гидрофобности частицы метастабильны и быстро агрегируют в водных растворах. В связи с этим актуальными являются исследования, связанные с разработкой методов стабилизации, образующихся наночастиц. В качестве стабилизаторов используют высокомолекулярные соединения как природные (альгинат, хитозан, арабиногалактан), так и синтетические (полиэтиленгликоль, поливиниловый спирт, поливинилпирролидон) [20–25]. Адсорбция полимеров на поверхности наночастиц сопровождается формированием органической оболочки, которая снижает поверхностное натяжение растущих неорганических частиц, обеспечивая агрегативную устойчивость их по отношению к окружающей среде. Стабилизация наночастиц происходит за счет разных по природе нековалентных взаимодействий между полимерными цепями и поверхностью образующихся частиц. Такими взаимодействиями могут быть стерические, электростатические, гидрофобные и координационные связи [21–26]. Макромолекулы полимеров не только стабилизируют дисперсные системы, но и принимают непосредственное участие в их формировании, контролируют размер и форму растущих наносистем. Следует отметить, что средний размер наночастиц, образующихся в присутствии полимеров существенно меньше, чем в отсутствии. Так, например, наночастицы селена, получающиеся в результате восстановления селенит-ионов аминокислотой L-цистеином имеют размер частиц около 100 нм, а эти же частицы, полученные в присутствии полимерного стабилизатора – альгината натрия имеют, в основном, размер 24–34 нм (91 %) [18–22].

В настоящее время в медицине, биотехнологии и других областях науки и техники используют синтетический водорастворимый биологически активный полимер – поливинилпирролидон (ПВП). Поливинилпирролидон – нетоксичный, пленкообразующий полимер имеет высокую адсорбционную способность и склонность к комплексообразованию. Благодаря высокой биосовместимости и отсутствию токсичности, низкомолекулярные полимеры ПВП широко применяют для создания лекарственных препаратов, например, кровезаменители дезинтакционного действия. Согласно литературным данным, в ряде работ ПВП используют в качестве стабилизатора наночастиц металлов и неметаллов [21–27].

Целью данной работы был синтез самоорганизованных наночастиц селена в матрице поливинилпирролидона с разной молекулярной массой. Установление влияния соотношения компонентов селен–ПВП на процесс формирования, спектральные и структурно-морфологические характеристики нанокомпозитов селена, а также на их агрегативную устойчивость к окружающей среде.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Наночастицы селена получали путем химического восстановления селенита натрия (ч., Россия) аминокислотой L-цистеином (х.ч., «Synex Pharma», Китай), в присутствии синтетического водорастворимого биологически активного полимера – поливинилпирролидона марки «Kollidon® 30» (К-30, х.ч., «HAIHANG», Китай) и марки «Kollidon® 90 F» (К-90, х.ч., «BASF», Германия). Средневязкостные молекулярные массы (M_w) ПВП и вязкость нанокомпозитов селена определяли на вискозиметре Оствальда с диаметром капилляра 0,56 мм или 0,73 мм при температуре 23 ºС и атмосферном давлении. Повторность измерений составляла не менее трех раз и разница в расчетах не превышала 3 сек. Характеристические вязкости исходных образцов полимера определяли экстраполяционным методом из концентрационных зависимостей от приведенной вязкости. Средневязкостный молекулярные массы рассчитывали по уравнению Марка-Куна-Хаувинка [27]:

$$[\eta] = K \cdot M_w^{\alpha}, \quad (1)$$

где [η] – характеристическая вязкость дл/г; K – и α константы; M_w – молекулярная масса.

Синтез селеносодержащих наносистем осуществляли следующим образом: в реакционную колбу помещали водный раствор ПВП ($C_{ПВП}$ = 0,04–0,25 масс.%) и цистеин (Cys) (T_{Cys} = 0,031 г/дл). Смесь перемешивали до полного растворения цистеина, затем добавляли селенит натрия (T = 0,011 г/дл) и перемешивали в течение 20 мин. Концентрация нуль-валентного селена оставалась постоянной – C_{Se} = 0,005 масс.%. В результате окислительно-восстановительной реакции селенит-иона с цистеином в присутствии стабилизатора ПВП образуется коллоидный раствор аморфного селена красно-оранжевого цвета. Раствор выдерживали в течение 2 суток. В этот период происходит упорядочивание структуры селеносодержащих наносистем и раствор приобретает устойчивый красный цвет. Электронные спектры поглощения индивидуальных веществ и наносистем селена регистрировали с помощью псевдо-двухлучевого сканирующего спектрофотометра Shimadzu UV-1280 (Япония) в рабочем диапазоне длин волн λ = 200–350 нм, в кварцевых кюветах с фотометрическим слоем 1 см при температуре 23 °С. Калибровку базовой линии проводили по дистиллированной воде.

Для изучения влияния концентрации и молекулярной массы ПВП на процесс формирования и структурные характеристики образующихся наносистем селена был выбран ряд растворов с различным массовым соотношением селен–ПВП (υ = 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; 0,10; 0,12, где $\upsilon = C_{Se}/C_{ПВП}$ – отношение массовой концентрации селена к массовой концентрации полимера). Растворы селеносодержащих наносистем сохраняли в закрытых колбах при комнатной температуре (23 °С и атмосферном

давлении, вдали от прямых солнечных лучей). Контроль агрегативной устойчивости полученных наночастиц селена осуществляли спектрофотометрическим и потенциометрическим методами. Измерение pH проводили на иономере Экотест 2000-Т («Эконикс», Россия) с комбинированным стеклянным электродом «Эком-pH-ком» (ΔpH = ±0,01) при температуре 23±1 °С. Измерение pH и оптической абсорбции проводили два раза в неделю в течение двух месяцев.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Вискозиметрическим методом были определены характеристические вязкости двух образцов поливинилпирролидона (марки К-30 и К-90). Средневязкостные молекулярные массы рассчитывали по уравнению Марка-Куна-Хаувинка:

для образца К-30 $$[0{,}212] = 1{,}90 \cdot 10^{-4} \cdot M_w^{0{,}68} \quad (2)$$

для образца К-90 $$[1{,}526] = 1{,}90 \cdot 10^{-4} \cdot M_w^{0{,}68} \quad (3)$$

Экспериментальные исследования показали, что для образца ПВП (К-30) молекулярная масса равна M_w = 30 кДа и для образца ПВП (К-90) – M_w = 553 кДа.

При изучении физико-химических свойств наночастиц анализируются прежде всего оптические спектры абсорбции, так как они заключают в себе информацию о размере частиц, распределении их по размерам и степень агрегации. На рисунке 1 представлены оптические спектры в УФ области индивидуальных веществ (ПВП и цистеина), смеси ПВП и цистеина, а также селеносодержащей наносистемы, раствором сравнения служила дистиллированная вода.

В исследуемом диапазоне длин волн (λ = 240–350 нм) ПВП (Рис. 1, кривая 1), цистеин (Рис. 1, кривая 2), смесь (Рис. 1, кривая 3) практически не поглощают кванты света, в то время как в диапазоне 200–240 нм наблюдается резкий скачек абсорбции. При этом четко видно, что величина абсорбции для цистеина много меньше, чем для ПВП (Рис. 1, кривые 2 и 1), и для смеси цистеин-ПВП (Рис. 1, кривая 3). Таким образом, основной и значительный вклад в величину оптической абсорбции вносит, именно ПВП. На кривой 4 (Рис. 1), соответствующей селеносодержащей наноструктуре наблюдается увеличение оптической абсорбции в области λ = 240–260 нм, согласно литературным данным, эта область поглощения свидетельствует об образовании наночастиц селена в нуль-валентном состоянии с размером частиц 20–70 нм [20–23]. При изучении процессов самоорганизации наноструктур селена в присутствии ПВП различной концентрации и молекулярной массы были получены и проанализированы зависимости оптической плотности от длины волны для наносистем с разным массовым соотношением селен-полимер (υ = 0,02–0,12). Для всех исследованных наносистем наблюдается плато в интервале длин волн λ = 240–260 нм (Рис. 2).

Согласно полученным данным, для селеносодержащих наносистем в присутствии ПВП (К-30 и К-90) наблюдаются похожие по форме и величине оптические спектры, следовательно, молекулярная масса и концентрация ПВП не оказывает существенного влияния на размер и оптические свойства наночастиц селена, полученных в результате восстановления селенит-ионов цистеином.

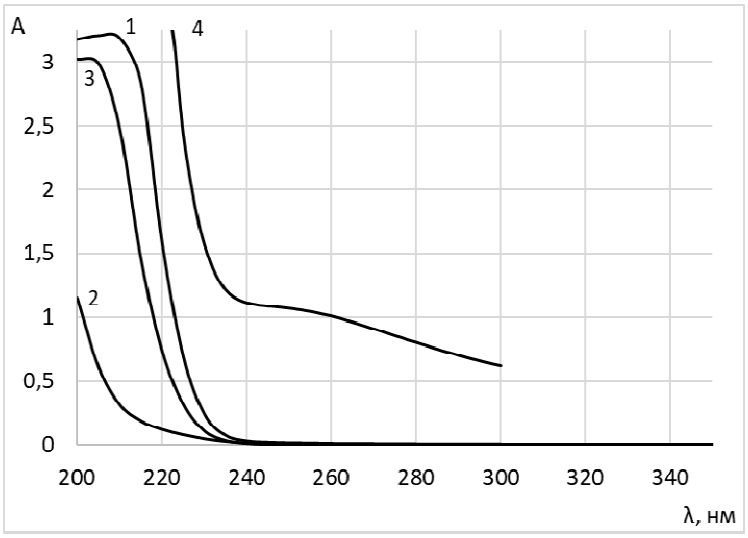


Рис. 1. УФ-спектры индивидуальных веществ, смеси и селеносодержащей наносистемы.

1 – поливинилпирролидон;

2 – цистеин;

3 – смесь ПВП и цистеина;

4 – селеносодержащая наносистема.

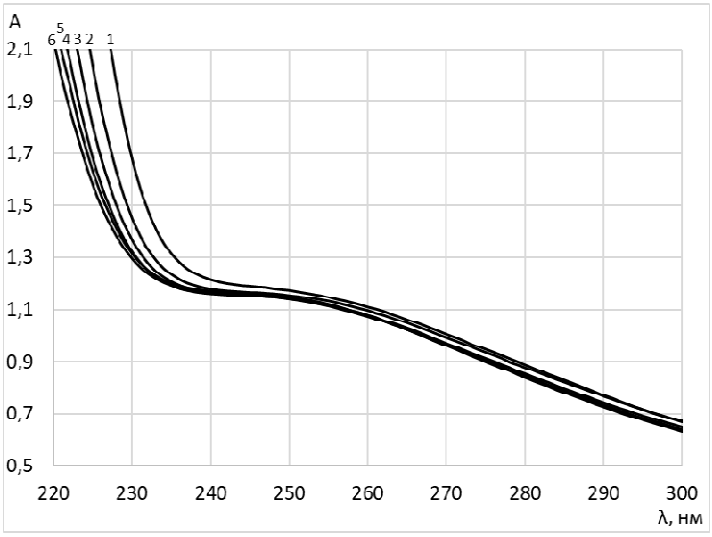


Рис. 2. УФ-спектры селеносодержащих наносистем

1 – селен–ПВП (υ = 0,02); 2 – селен–ПВП (υ = 0,04); 3 – селен–ПВП (υ = 0,06); 4 – селен–ПВП (υ = 0,08); 5 – селен–ПВП (υ = 0,10); 6 – селен–ПВП (υ = 0,12).

Для изучения влияния концентрации и молекулярной массы ПВП на агрегативную устойчивость наночастиц селена, был использован ряд растворов с различным массовым соотношением селен-ПВП (υ = 0,02–0,12), приготовленных ранее. Затем были измерены величины pH (Рис. 3) и оптической абсорбции через определенные промежутки времени в течение пяти недель.

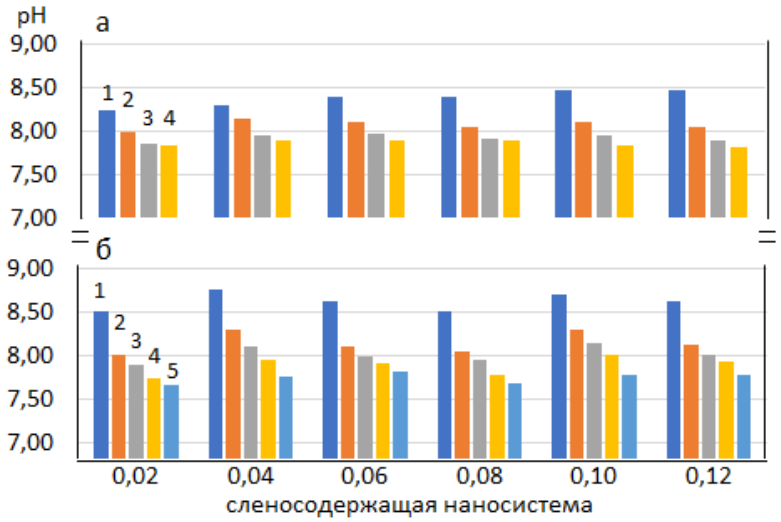


Рис. 3. pH селеносодержащих наносистем (селен-ПВП υ = 0,02–0,12).
а – селеносодержащие наносистемы с ПВП марки К-30, 1–4 – неделя;
б – селеносодержащие наносистемы с ПВП марки К-90, 1–5 – неделя.

Согласно полученным данным все системы обладают хорошей стабильностью на протяжении всего срока наблюдений, начиная со 2 недели наблюдений pH и оптическая абсорбция незначительно меняются в течение 4 недель в растворах, содержащих наносистемы с ПВП (К-30), а для ПВП (К-90) этот период составил 5 недель. Для наносистем с ПВП (К-30) изменение величины pH в течение всего периода наблюдений в среднем составило 0,5 единиц pH, а для наносистем с ПВП (К-90) – 0,8. Неопределенность полученных данных не превышала 0,1 единиц pH. По прошествии указанных сроков наблюдается выпадение частиц наноселена в осадок ввиду увеличения их размеров и агрегации, причем красная форма селена сохраняется. Таким образом экспериментально было установлено, что наноселен в матрице ПВП в интервале массовых соотношений υ = 0,02–0,12 образует устойчивые коллоидные растворы независимо от концентрации и молекулярной массы ПВП, так как в течение 4 недель для ПВП (К-30) и 5 недель для ПВП (К-90) не происходит никаких заметных изменений в системе (помутнение или образование осадка). Но для получения более агрегативно устойчивых селеносодержащих наноструктур необходимо использовать ПВП с большей молекулярной массой. Аналогичные результаты наблюдались в работах Остаевой Г. Ю. При изучении процессов восстановления ионов меди(II) трет-бутиламинобораном в разбавленных водных растворах ПВП с различной

молекулярной массой обнаружено, что в исследуемых системах образуются наночастицы Cu_2O одинакового размера независимо от молекулярной массы полимера, а для получения долгоживущих золей Cu_2O необходимо использовать ПВП с большей молекулярной массой [28].

Наночастицы селена являются типичными лиофобными коллоидами с избытком поверхностной энергии и низкой агрегативной устойчивостью, поэтому для стабилизации использовали амфифильный полимер ПВП, который за счет физической адсорбции, обусловленной силами Ван-дер-Ваальса и дипольными взаимодействиями экранирует наночастицы, что предотвращает их рост и агрегацию. Согласно литературным данным, процесс образования наноструктур является достаточной сложным, протекающим в несколько стадий: 1 – образование наночастиц; 2 – адсорбция полимеров-стабилизаторов на их поверхности; 3 – упорядочивание полимерной матрицы и уплотнение наноструктуры. Что касается нашей системы, то 1 стадия восстановления селенит-ионов протекает достаточно быстро. В процессе прибавления селенита натрия к смеси ПВП и цистеина раствор окрашивается в оранжево-красный цвет в течение 15–30 сек [18]. 2 и 3 стадии – процессы адсорбции макромолекул и их взаимодействие с поверхностью наночастиц селена являются сложными и протекают во времени. Однако, какой из процессов будет оказывать наибольшее влияние на формирование селеносодержащих наноструктур сказать затруднительно [21–26]. На рисунке 3 представлена динамика изменения pH во время хранения растворов. Как видно из представленных данных по истечении первой недели во всех системах наблюдалось резкое падение значения pH, а далее изменения были незначительными, в пределах 0,2 единиц pH для наносистем с ПВП (К-30), и 0,4 для наносистем с ПВП (К-90). Скорость снижения pH для систем с ПВП различной молекулярной массой была близка. Следует отметить, что в связи с уплотнением полимерной матрицы на поверхности наночастиц коллоидные растворы в течение 1–2 дней приобретают красный цвет. Что касается величины оптической абсорбции она также меняется в течение 1 недели, а затем сохраняет стабильность в течение 4-5 недель, при этом, описанное ранее, плато в интервале длин волн λ = 240–260 нм остается постоянным.

Полученные биокомпозиты наноселена могут быть использованы при проведении научных и прикладных исследований в области биохимии, медицины, пищевой промышленности, препаратов сельскохозяйственного назначения и в производстве антимикробных средств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Синтезированы новые биоактивные системы на основе наночастиц селена и неионогенного полимера – поливинилпирролидона с различной молекулярной массой.
2. Методом УФ-спектроскопии установлено образование в водных растворах ПВП наночастиц селена в нуль-валентном состоянии, достаточно устойчивых в течение 4–5 недель.

3. Установлено, что концентрация и молекулярная масса ПВП не оказывают значительного влияния на структуру и размер наночастиц селена, а влияют на агрегативную устойчивость и «время жизни» наносистем.

Список литературы

1. Третьяк Л. Н. Специфика влияния селена на организм человека и животных (применительно к проблеме создания селеносодержащих продуктов питания) / Л. Н. Третьяк, Е. М. Герасимов // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. – 2007. – №12. – С. 136–145.
2. Голубкина Н. А. Селен в медицине и экологии / Н. А. Голубкина, А. В. Скальный, Я. А. Соколов, Л. Ф. Щелкунов // М.: КМК, 2006. – 136 с.
3. Громова О. А. Селен – впечатляющие итоги и перспективы применения / О. А. Громова, И. В. Гоголева // Трудный пациент. – 2007. – № 14., Т. 5. – С. 25–30.
4. Скрыпник Л. Н. Влияние селена и цинка на устойчивость китайской капусты к окислительному стрессу/ Л. Н. Скрыпник, Г. Н. Чупахина // Вестник РГУ им. И. Канта. Сер. Естественные науки. 2007. – №7. – С. 73–78.
5. Голубкина Н. А. Селен в продуктах растительного происхождения / Н. А. Голубкина, П. А. Полубояринов, А. В. Синдирева // Вопросы питания. – 2017. – № 2. – С. 63–69.
6. Голубкина Н. А. Внутрирегиональная вариабельность селенового статуса населения / Н. А. Голубкина, А. В. Синдирева, В. Ф. Зайцев // Юг России: экология, развитие. – 2017. – Т. 12, № 1. – С. 107–127.
7. Кохан С. Т. Восстановление антиоксидантной и иммунной защиты организма селеносодержащими средствами при экспериментальном гипоселенозе / С. Т. Кохан, Е. В. Фефелова, М. В. Максименя [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 11, ч. 4. – С. 837–841.
8. Голубев В. И. Сравнение токсичности селенита и селената натрия для сахаромицетов / В. И. Голубев, Н. В. Голубев // Проблемы медицинской микологии. – 2007. – Т. 9, № 3. – С. 34–36.
9. Bhattacharjee A. Selenium nanoparticles are less toxic than inorganic and organic selenium to mice in vivo / A. Bhattacharjee, A. Basu, S. Bhattacharya // Nucleus. – 2019. – Vol. 62. – P. 259–268. https://doi.org/10.1007/s13237-019-00303-1.
10. Шурыгина И. А. Нанокомпозиты селена – перспективы применения в онкологии / И. А. Шурыгина, М. Г. Шурыгин // Вестник новых медицинских технологий. – 2020. – Т. 27, №1. – С. 81–86. https://doi.org/10.24411/1609-2163-2020-16517.
11. Скоринова К. Д. Перспектива создания лекарственных препаратов на основе наночастиц селена (обзор) / К. Д. Скоринова, В. В. Кузьменко, А. И. Василенко // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2020. Т. 9, № 2. – С. 33–44. https://doi.org/10.33380/2305-2066-2020-9-2-33-44.
12. Therapeutic applications of selenium nanoparticles / A. Khurana, S. Tekula, M. A. Saifi [et al.] // Biomed Pharmacother. – 2019. Vol. 111. – P. 802–812. https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.12.146.
13. Селен в наноформе: токсичность и безопасность / И. А. Шурыгина, Н. Н. Дремина, И. С. Трухан [и др.] // Байкальский медицинский журнал. – 2022. – Т. 1, № 1. – С. 24–32. https://doi.org/10.57256/2949-0715-2022-1-24-32.
14. Nayak V. Potentialities of Selenium Nanoparticles in Biomedical Sciences / V. Nayak, K. Singh. A. Singh, R. Singh // New Journal of Chemistry. – 2021. – Vol. 45, № 6. – P. 2849–2878. http://doi.org/10.1039/D0NJ05884J.
15. Association between regional selenium status and reported outcome of COVID-19 cases in China / J. Zhang, E. W. Taylor, K. Bennett [et al.] // Am J Clin Nutr. – 2020. – Vol, 111, № 6. – 1297–1299. https://doi.org/10.1093/ajcn/nqaa095.
16. Тананаев И. Г. Получение коллоидных растворов селена диспергационными методами // И. Г. Тананаев, Г. Э. Фолманис, М. А. Федотов, Л. В. Коваленко // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2018. – Т. 5 (201). – С. 138–143. https://doi.org/10.25808/08697698.2018.201.5.020.
17. Макаров С. В. Взаимодействие селенита натрия с гидроксиметансульфинатом натрия и диоксидом тиомочевины в водных растворах / С. В. Макаров, П. А. Молодцов, И. А. Деревеньков,

Е. В. Найденко // Известия ВУЗов. Серия Химия и химическая технология. – 2021. Том. 64, № 11. – С. 65–70. https://doi.org/10.6060/ivkkt.20216411.6442.
18. Facile and controllable one-step fabrication of selenium nanoparticles assisted by l-cysteine / Q. Li, T. Chen, F. Yang [et al.] // Materials Letters. – 2010. – Vol. 64 (5). – P. 614–617. https://doi.org/10.1016/j.matlet.2009.12.019.
19. Молодцов П. А. Влияние белков на взаимодействие селенита натрия с серосодержащими восстановителями / П. А. Молодцов, С. В. Макаров, И. А. Деревеньков, А. С. Макарова // Известия высших учебных заведений. Серия Химия и химическая технология. – 2022. – Т. 65, № 4. – С. 56–61. https://doi.org/10.6060/ivkkt.20226504.6557.
20. Титова А. В. Стабилизация наночастиц селена биологически активными синтетическими и природными полимерами / А. В. Титова, Л. Н. Боровикова, А. И. Киппер, О. А Писарев // В сборнике: Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций, 2016. – С. 510–512.
21. Валуева С. В. Влияние природы наночастицы и биосовместимого полимерного стабилизатора на размерные и спектральные характеристики гибридных наносистем / С. В. Валуева, Л. Н. Боровикова, А. А. Кутин, А. В. Плющенко // Журн. физ. химии. – 2019. – Т. 93, № 2. – С. 269–277. https://doi.org/10.1134/S0044453719020304.
22. Панов Д. А. Получение и свойства нанобиокомпозита селена и альгината натрия / Д. А Панов // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология, химия. – 2017. – Т. 3 (69), №1. – С. 91–98.
23. Panov D. A. Synthesis and properties of selenium nanoparticles in a natural polysaccharide matrix / D. A. Panov, A. M. Katsev, A. V. Omelchenko // Russian Journal of Bioorganic Chemistry. – 2023. – Vol. 49, № 7. – P. 1567–1576. https://doi.org/10.1134/S1068162023070853.
24. Лесничая М. В. Синтез наночастиц сульфида селена в полисахаридных матрицах арабиногалактана и крахмала / М. В. Лесничая, Б. Г. Сухов // Российские нанотехнологии. – 2021. Т. 16, № 2. – С. 222–231. https://doi.org/10.1134/S1992722321020096.
25. Bai K. Antioxidant Capacity and Hepatoprotective Role of Chitosan-Stabilized Selenium Nanoparticles in Concanavalin A-Induced Liver Injury in Mice / K. Bai, B. Hong, J. He, W. Huang // Nutrients. – 2020. – Vol. 12 (3) – P. 857. https://doi.org/10.3390/nu12030857.
26. Суздалев И. П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И. П. Суздалев. – URSS, 2019. – 592 с.
27. Кирш Ю. Э. Поли-N-винилпирролидон и другие поли-N-виниламиды / Ю. Э. Кирш. – М.: Наука, 1998. – 252 с.
28. Влияние молекулярной массы поли-n-винилпирролидона на формирование наночастиц Cu_2O при восстановлении ионов двухвалентной меди трет-бутиламин-бораном в полимерном растворе / Г. Ю. Остаева, И. Ю. Исаева, В. В. Грушина [и др.] // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. – 2018. – Т. 60, № 4. – С. 305–313. https://doi.org/10.1134/S2308113918040083.

SYNTHESIS OF SELENIUM NANOPARTICLES STABILIZED WITH POLYVINYLPYRROLIDONE

Panov D. A.

V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea Republic, Russia
E-mail: despanov@gmail.com

In recent years, there has been an increase in publications devoted to the creation of new materials based on self-organized nanostructured composites of specified sizes and maintaining their stability for a long time. Nanosystems based on nanoselenium are of particular interest, as it is vital for humans and animals. However, in many regions of Russia, selenium deficiency is observed in agricultural soils. The least toxic and

bioavailable is nanoscale selenium. Currently, the most widely used methods of chemical reduction of selenium ions in solutions using ascorbic acid, glucose, dithiourea and sulfur-containing amino acids. And high-molecular compounds are used as stabilizers, both natural (alginate, chitosan, arabinogalactan) and synthetic (polyethylene glycol, polyvinyl alcohol, polyvinylpyrrolidone). The aim of this work was the synthesis of self-organized selenium nanoparticles in a polyvinylpyrrolidone (PVP) matrix with different molecular weights. To establish the effect of the ratio of selenium–PVP components on the formation process, spectral and structural-morphological characteristics of selenium nanocomposites, as well as on their aggregative resistance to the environment.

Selenium nanoparticles were obtained by chemical reduction of sodium selenite with L-cysteine, in the presence of PVP grade "Kollidon® 30" (K-30) and grade "Kollidon® 90 F" (K-90). The viscometric method was used to determine the medium-viscosity molecular weights of two PVP samples (grades K-30 and K-90). The control of the aggregate stability of the obtained selenium nanoparticles was carried out by spectrophotometric and potentiometric methods.

As a result of this work, new bioactive systems based on selenium nanoparticles and a nonionic polymer – polyvinylpyrrolidone with different molecular weights were synthesized. The formation of selenium nanoparticles in the zero-valence state in aqueous solutions of PVP, which are sufficiently stable for 4–5 weeks, has been established by UV spectroscopy. It was found that the concentration and molecular weight of PVP do not significantly affect the structure and size of selenium nanoparticles, but affect the aggregate stability and "lifetime" of nanosystems.

***Keywords*:** nanoparticles, nanoselenium, cysteine, polymer stabilizers, polyvinylpyrrolidone, selenium-containing nanostructures.

References

1. Tretiak L. N. Specificity of selenium influence on human and animal's organism (with regard to the problem of creation of seleniumcontaining food stuff). *Bulletin of the Orenburg State University*, **12**, 136 (2007) (*in Russ.*).
2. Golubkina N. A., Skalny A. V., Sokolov Ya. A. *Selenium in medicine and ecology*, 136 p. ("KMK", Moscow, 2006). (in Russ.)
3. Gromova O. A. Selenium – impressive results and prospects of use. *Difficult patient,* **14** (5), 25 (2007). (*in Russ.*).
4. Skrypnic L., Chupakhina G. He influence of selenium and zinc on oxidative stability of celery cabbage. *Bulletin of the I. Kant Russian State University. Ser. Natural sciences*. **7**, 73 (2007). (*in Russ.*).
5. Golubkina N. A., Poluboyarinov P. A., Sindiryova V. A. Selenium in foods of plant origin. *Problems in Nutrition*. **86** (2), 63 (2017). (in Russ.).
6. Golubkina N. A., Sindireva A. V., Zaitsev V. F. Nterigional variability of the human selenium status. *South of Russia: ecology, development*, **12** (1), 107 (2017). (in Russ.).
7. Kokhan S. T., Fefelova E. V., Maksimenya M. V., Tereshkov P. P., Krivosheeva E. M., Pateyuk A. V., Shantanova L. N. Recovery and antioxidant selenium-containing immune defense funds in experimental giposelenoze. *Fundamental research*, **11** (4), 837 (2012). (in Russ.).
8. Golubev W. I., Golubev N. W. Comparison of sodium selenite and selenate toxicity for saccharomyces complex. *Problems in medical mycology*, **9** (3), 34 (2007). (in Russ.).
9. Bhattacharjee A., Basu A., Bhattacharya S. Selenium nanoparticles are less toxic than inorganic and organic selenium to mice in vivo, *Nucleus,* **62**, 259 (2019). https://doi.org/10.1007/s13237-019-00303-1.

10. Shurygina I. A., Shurygin M. G. Selenium nanocomposites – the prospects of application in oncology. *Journal of new medical technologies*, **27** (1), 81 (2020). https://doi.org/10.24411/1609-2163-2020-16517 (in Russ.).
11. Skorinova K. D., Kuzmenko V. V., Vasilenko I. A. *Research and development of new drug products*, **9** (2), 33 (2020). https://doi.org/10.33380/2305-2066-2020-9-2-33-44. (in Russ.).
12. Khurana A., Tekula S., Saifi M. A., Venkatesh P., Godugu C. Therapeutic applications of selenium nanoparticles, *Biomed Pharmacother*, **111**, 802 (2019). https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.12.146.
13. Shurygina I. A., Dremina N. N., Trukhan I. S., Shurygin M. G. Selenium in nanoform: toxicity and safety. *Baikal Medical Journal*, **1** (1), 24 (2022). https://doi.org/10.57256/2949-0715-2022-1-24-32. (in Russ.).
14. Nayak V., Singh K., Singh A., Singh R. Potentialities of Selenium Nanoparticles in Biomedical Sciences. *New J. Chem.*, **45**, 2849 (2021). http://doi.org/10.1039/D0NJ05884J.
15. Zhang J., Taylor E. W., Bennett K., Saad R., Rayman M. P. Association between regional selenium status and reported outcome of COVID-19 cases in China. *Am J Clin Nutr*., **111(6)**, 1297 (2020) doi: 10.1093/ajcn/nqaa095. PMID: 32342979; PMCID: PMC7197590.
16. Tananaev I. G., Folmanis G. E., Fedotov M. A., Kovalenko L. V. Production of colloidal solutions of selenium by dispersion methods. *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*, **5** (201), 138 (2018). https://doi.org/10.25808/08697698.2018.201.5.020. (in Russ.).
17. Makarov S. V., Molodtsov P. A., Dereven'kov I. A., Naidenko E. V. Interaction of sodium selenite with sodium hydroxymethanesulfinate and thiourea dioxide in aqueous solutions. *News of universities. Chemistry and Chemical Technology Series*, **64** (11), 65 (2021). https://doi.org/10.6060/ivkkt.20216411.6442. (in Russ.).
18. Li Q., Chen T., Yang F., Liu J., Zheng W. Facile and controllable one-step fabrication of selenium nanoparticles assisted by l-cysteine. *Materials Letters*, **64** (5), 614 (2010). https://doi.org/10.1016/j.matlet.2009.12.019.
19. Molodtsov P. A., Makarov S. V., Dereve'nkov I. A., Makarova A. S. Influence of proteins on the interaction between sodium selenite and sulfur-containing reductants. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved., Khim. Khim. Tekhnol.*, **65** (4), 56 (2022). https://doi.org/10.6060/ivkkt.20226504.6557. (in Russ.).
20. Titova A. V., Borovikova L. N., Kipper A. I., Pisarev O. A. Stabilization of selenium nanoparticles by biologically active synthetic and natural polymers. *In the collection: Science Week of SPbPU. Materials of the scientific conference with international participation. Institute of Physics, Nanotechnology and Telecommunications*, 510 (216). (in Russ.).
21. Valueva S. V., Borovikova L. N., Kutin A. A., Plyushchenko A. V. Effect of the nature of nanoparticles and biocompatible polymer stabilizers on the sizes and spectral characteristics of hybrid nanosystems. *Russian Journal of Physical Chemistry A.*, **93** (2), 311 (2019). https://doi.org/10.1134/S0036024419020298. (in Russ.)
22. Panov D. A. Selenium and sodium alginate nanocomposites producing and properties, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **3** (1), 91 (2017). (in Russ.).
23. Panov D. A., Katsev A. M., Omelchenko A. V. Synthesis and properties of selenium nanoparticles in a natural polysaccharide matrix, *Russian Journal of Bioorganic Chemistry,* **49**, **7**, 1567 (2023). https://doi.org/10.1134/S1068162023070853.
24. Lesnichaya M. V., Sukhov B. G. Synthesis of selenium sulfide nanoparticles in polysaccharide matrices of arabinogalactan and starch. *Russian Nanotechnologies*, **16** (2), 222 (2021). (in Russ.).
25. Bai K., Hong B., He J., Huang W. Antioxidant Capacity and Hepatoprotective Role of Chitosan-Stabilized Selenium Nanoparticles in Concanavalin A-Induced Liver Injury in Mice. *Nutrients*., **12(3)**, 857. (2020) doi: 10.3390/nu12030857. PMID: 32210138; PMCID: PMC7146609.
26. Suzdalev I. P. *Nanotechnology: physico-chemistry of nanoclusters, nanostructures and nanomaterials,* 592 p. (URSS, 2019). (in Russ.).
27. Kirsh Yu. E. *Poly-N-vinylpyrrolidone and other poly-N-vinylamides*, 252 p. (Nauka, Moscow, 1998). (in Russ.).
28. Ostaeva G. Y., Isaeva I. Y., Grushina V. V., Stuzhuk A. N., Odinokova I. V. Influence of the molecular mass of poly(n-vinylpyrrolidone) on formation of Cu_2O nanoparticles during reduction of divalent copper ions with tert-butylamine borane in polymer solution. *Polymer Science, Series B*, **60** (4), 455 (2018). https://doi.org/10.1134/S1560090418040085. (in Russ.).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 334–340.

УДК 546.185 + 547.787.1

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-334-340

СИНТЕЗ И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ АНАЛОГОВ ДИБАЗОЛА

Цикалов В. В., Цикалова В. Н., Поддубов А. И., Гусейнова У. Р.

Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: ts_v_v@mail.ru

Конденсацией ряда фенилуксусных карбоновых кислот с 1,2-фенилендиамином синтезированы аналоги дибазола такие как, 2-(2-хлорбензил)-1*H*-бензимидазол, 2-феноксиметил-1*H*-бензимидазол, 2-(1-нафтил)метил-1*H*-бензимидазол. Структура всех полученных веществ подтверждена методом ^{1}H-ЯМР-спектроскопии. Рассмотрена расчетная потенциальная противовирусная и психотропная активность синтезированных соединений, полученная программой PASSOnline в сравнении с аналогичными данными по дибазолу.
Ключевые слова: дибазол, бензимидазол, конденсация, антивирусная активность, PASSOnline.

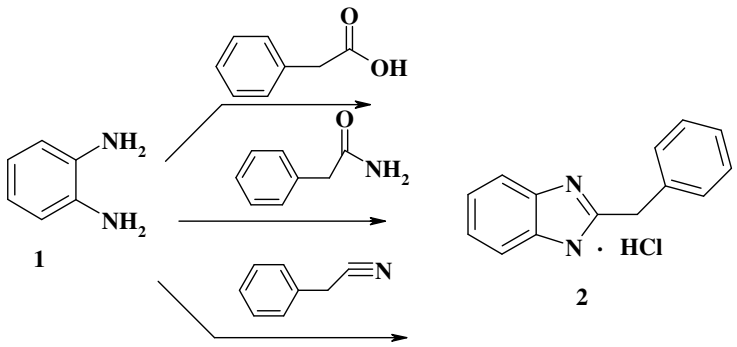
ВВЕДЕНИЕ

Вот уже более 70 лет дибазол или 2-бензил-1*H*-бензимидазол находится в арсенале отечественной фармакологии. Структура молекулы, содержащей бензимидазольное кольцо, определяет её способность взаимодействовать с белковыми рецепторами, на что особенно влияет фенилметильная группа. Структура дибазола также влияет на его метаболизм, всасывание, распределение в организме и выведение, определяя его как эффективное и безопасное фармацевтическое средство. Таким образом, строение дибазола оказывает важное влияние на его взаимодействие с биологическими системами, фармакокинетические свойства и фармакодинамику, определяя его медицинское применение и потенциальные эффекты [1, 2].

Впервые 2-бензилбензимидазол был синтезирован в 1899 г. немецкими химиками Р. Вальтером и Т. Пулавски длительным нагреванием о-фенилендиамина с небольшим избытком фенилуксусной кислоты до 180 °С. В настоящее время в промышленном синтезе дибазола в качестве предшественника бензильного фрагмента используют не только фенилуксусную кислоту или ее нитрил, но также и ее амид [3, 4].

Изучение бензимидазолов и дибазола является весьма актуальным в связи с их широким применением в различных областях медицины и химии. Дибазол как компонент входит в сосудорасширяющие средства с преимущественно периферическим действием. Гипотензивное действие дибазола обусловлено сочетанием сосудорасширяющего действия со стимуляцией нервнотрофических

влияний, повышающих адаптационные способности организма. Как спазмолитик дибазол уменьшает моторику желудочно-кишечного тракта, поэтому он может использоваться также для снятия спазма гладкой мускулатуры внутренних органов при язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, при кишечной, почечной и печеночной колике. Последующие исследования показали, что дибазол повышает иммунитет благодаря способности стимулировать клеточные и гуморальные факторы защиты, эритро- и особенно лейкопоэз, оказывать Т-стимулирующий эффект [5, 6]. Поэтому в синтетической химии синтез аналогов дибазола является актуальным и перспективным с медицинской точки зрения.



С недавнего времени особую популярность для оценивания предварительной биологической активности приобрела программа PASSOnline. Этот ресурс позволяет оценить вероятный профиль биологической активности органических соединений на основе их структурных формул. Программа основана на анализе взаимосвязи структура–активность (Quantitative Structure–Activity Relationships, QSAR) и содержит данные по широкому кругу соединений, включая лекарственные препараты и перспективные в использовании препараты. Данная программа может быть полезным инструментом в фармацевтической и медицинской индустрии, позволяя быстро и эффективно предсказывать биологическую активность новых соединений на основе их структуры [7]. Ресурс основан на анализе связей между структурой и активностью в обучающей выборке, содержащей информацию о более чем 300 тысячах соединений. Прогнозирование осуществляется для более чем 4 тысяч видов биологической активности, и точность прогноза составляет более 95 %. Это делает PASSOnline мощным инструментом для исследования и предсказания биологической активности органических соединений. С помощью этого инструмента пользователь может предсказать биологическую активность как для реальных соединений, так и для виртуальных структур, которые еще не были синтезированы [8].

Целью данной работы является синтез бензимидазольных аналогов дибазола и исследование их потенциальной биологической активности с помощью программы PASSOnline.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Спектры ^{1}H-ЯМР получены на приборе Varian VXR-400, (Институт живых систем Северо-Кавказского федерального университета, г. Ставрополь). Внутренний стандарт – тетраметилсилан, химические сдвиги в δ-шкале.

Синтез 2-(2-хлорбензил)-1*H*-бензимидазола.

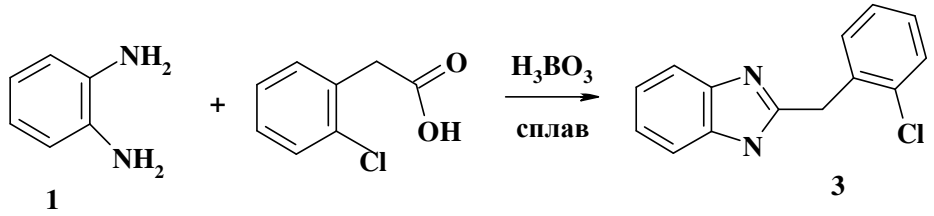


Рис. 1. Схема синтеза 2-(2-хлорбензил)-1*H*-бензимидазола **3**.

В плоскодонную колбу загружали 1,6 г (0,025 моль) ортоборной кислоты, 5,4 г (0,050 моль) 1,2-фенилендиамина, и 10,2 г (0,060 моль) *о*-хлорфенилуксусной кислоты. Реакционную массу нагревали до 130–150 °С в течение 3-х часов. После чего смесь охлаждали до температуры 85–90 °С и к сплаву добавляли 200 мл горячей воды и 50 мл изопропилового спирта. Раствор охлаждали до комнатной температуры и отфильтровали. Затем осадок растворили в 20 мл изопропилового спирта с добавлением 1 г активированного угля, смесь перекристализовали. Полученный остаток сушили в сушильном шкафу при температуре 100 ºС. Выход 2-(2-хлорбензил)-1*H*-бензимидазола 4,4 г (36%). Т. пл. = 183–186 °С.

^{1}H-ЯМР (DMSO-d_6): 4,35 м.д. (2H, с, –CH_2–); 6,23–7,62 м.д. (8H, м, Ar); 12,32 м.д. (1H, с, –NH– (гетероцикл))

Синтез 2-(феноксиметил)-*1H*-бензимидазола.

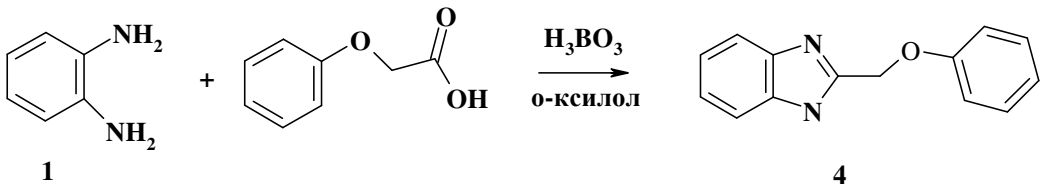


Рис. 2. Схема синтеза 2-(феноксиметил)-1*H*-бензимидазола **4**.

В плоскодонную колбу загружали 3,1 г (0,05 моль) ортоборной кислоты, 10,8 г (0,1 моль) 1,2-фенилендиамина, 18,26 г (0,12 моль) феноксиуксусной кислоты и 60 мл *о*-ксилола. Колбу нагревали при 135–145 °С в течении 2-х часов. Колбу охлаждали до комнатной температуры и добавляли 50 мл воды и 30 мл HCl. Нагревали до растворения. Охлажденный до комнатной температуры раствор нейтрализовали 25 % NH_3 до pH=11, а затем отфильтровали. Осадок сушили в

сушильном шкафу при температуре 100 ºС. Выход 2-(феноксиметил)-1*H*-бензимидазола 20,9 г (93 %). Т пл. = 146–151 °С.

^{1}Н-ЯМР (DMSO-d_6): 5,28 м.д. (2Н, с, $–CH_2–$); 6,94–7,51 м.д. (9Н, м, Ar); 12,61 м.д. (1Н, с, –NH– (гетероцикл))

Синтез 2-(1-нафтилметил)-1*H*-бензимидазола.

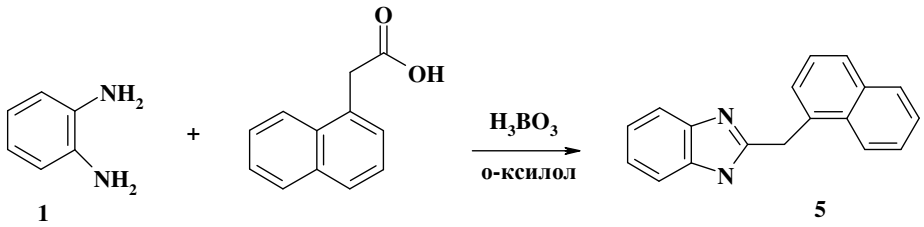


Рис. 2. Схема синтеза 2-(1-нафтилметил)-1*H*-бензимидазола **5**.

В плоскодонную колбу загружали 1,6 г (0,05 моль) ортоборной кислоты, 5,4 г 1,2-фенилендиамина (0,1 моль), 11,6 г (0,12 моль) 1-нафтилуксусной кислоты и 60 мл *о*-ксилола. Колбу нагревали при 130–150°С в течении 2-х часов. Колбу охлаждали до комнатной температуры и добавляли 50 мл воды и 20 мл HCl. Нагревали до растворения. Охлажденный до комнатной температуры раствор нейтрализовали 25 % NH_3 до pH=11, а затем отфильтровали. Выход 2-(1-нафтилметил)-1*H*-бензимидазола составил 9,0 г (35,0 %). Т пл. = 212–217°С

^{1}Н-ЯМР (DMSO-d6): 4,66 м.д. (2Н, д, CH_2); 7,10–8,23 м.д. (11Н, м, Ar); 12,24 м.д. (1Н, с, –NH– (гетероцикл)).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Синтез производных бензимидазола, аналогичных по строению дибазолу, проводили по двум методикам. По первой методике 1,2-фенилендиамин подвергался сплавлению с избытком 2-хлорфенилуксусной кислоты в присутствии ортоборной кислоты при температуре 150°С. После обработки и кристаллизации выход 2-(2-хлорбензил)-1*H*-бензимидазола составил 36 %. По второму методу, 1,2-фенилендиамин подвергался взаимодействию с избытком феноксиуксусной кислоты и 1-нафтилуксусной кислоты в присутствии ортоборной кислоты в среде *о*-ксилола при температуре кипения растворителя. После обработки реакционной смеси соляной кислотой до полного растворения продукта реакции, а затем раствором аммиака, продукт выделяли кристаллизацией. 2-(Феноксиметил)-1*H*-бензимидазол был получен с выходом 93 %, а 2-(1-нафтилметил)-1*H*-бензимидазол с выходом 35 %.

Строение 2-(феноксиметил)-1*H*-бензимидазола, 2-(2-хлорбензил)-1*H*-бензимидазола и 2-(1-нафтилметил)-1*H*-бензимидазола было подтверждено методом ^{1}Н-ЯМР-спектроскопии. В спектрах 2-(феноксиметил)-1*H*-бензимидазола и 2-(2-хлорбензил)-1*H*-бензимидазола, в частности, идентифицированы сигналы протонов метильной группы феноксиметильного фрагмента и 2-хлорбензильного фрагмента в виде синглетов с химическими сдвигами 5,28 м.д. и 4,35 м.д. Сигналы

мультиплетов восьми и девяти ароматических протонов этих соединений находятся в области 6,94–7,51 м.д. и 6,23–7,62 м.д. Синглет протона ароматического амина имеет химический сдвиг равный 12,61 м.д. и 12,32 м.д. соответственно.

Структура 2-(1-нафтилметил)-1*H*-бензимидазола была подтверждена методом ^{1}Н-ЯМР-спектроскопии. В спектре идентифицирован синглет метильной группы нафтилметильного фрагмента с химическим сдвигом 4,66 м.д., мультиплеты сигналов одиннадцати ароматических протонов бензимидазольного и нафтилметильного фрагмента идентифицированы в области 7,10–8,23 м.д., а также синглет протона ароматического амина имеет химический сдвиг равный 12,24 м.д.

Рассчитанная с использованием веб-сервиса PASSOnline для 2-(фенилметил)-*1H*-бензимидазола и близких к нему по структуре производных бензимидазола, таких как, 2-(феноксиметил)-*1H*-бензимидазол, 2-(2-хлорфенилметил)-*1H*-бензимидазол, 2-(1-нафтилметил)-*1H*-бензимидазол, потенциальная противовирусная активность составила 0,704, 0,667, 0,629, и 0,613 соответственно. Для 2-(фенилметил)-*1H*-бензимидазола прогнозируется самая высокая противовирусная активность в выбранном ряду производных бензимидазола, равная 0,704. Введение кислорода в фенилметильный фрагмент снижает прогнозируемую противовирусную активность 2-(феноксиметил)-*1H*-бензимидазола до 0,667. Введение хлора в *о*-положение фенилметильного фрагмента уменьшает прогнозируемую противовирусную активность 2-(2-хлор-фенилметил-*1H*-бензимидазола до 0,629. Замена фенилметильного радикала на нафтилметильный, снижает прогнозируемую противовирусную активность 2-(1-нафтилметил)-*1H*-бензимидазола до 0,613.

Ряд потенциальной психотропной активности отличается и уменьшается в следующем ряду: 2-(феноксиметил)-1*H*-бензимидазол 0,833, 2-(фенилметил)-1*H*-бензимидазол 0,758, 2-(1-нафтилметил)-1*H*-бензимидазол 0,687, 2-(2-хлорбензил)-1*H*-бензимидазол 0,621. Для 2-(феноксиметил)-1*H*-бензимидазол прогнозируется самая высокая психотропная активность в выбранном ряду производных бензимидазола, равная 0,833. Замена феноксиметильной группы на фенилметильные фрагменты снижает прогнозируемую психотропную активность 2-(фенилметил)-1*H*-бензимидазола до 0,758 и 2-(2-хлор-фенилметил-1*H*-бензимидазола до 0,621, а замена феноксиметильной группы на нафтилметильный фрагмент, снижает прогнозируемую психотропную активность 2-(1-нафтилметил)-1*H*-бензимидазола до 0,687.

Проведенный анализ расчетной активности показал следующие данные:

во-первых, синтезированные аналоги дибазола (2-(феноксиметил)-1*H*-бензимидазол, 2-(2-хлорбензил)-1*H*-бензимидазол, 2-(1-нафтилметил)-1*H*-бензимидазол) обладают высокой расчетной психотропной и антивирусной активностью;

во-вторых, максимальная расчетная психотропная активности наблюдается у 2-(феноксиметил)-1*H*-бензимидазола.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Синтезирован ряд аналогов дибазола: 2-(2-хлорбензил)-1*H*-бензимидазол, 2-(феноксиметил)-1*H*-бензимидазол, 2-(1-нафтилметил)-1*H*-бензимидазол методом конденсации 1,2-фенилендиамина с соответствующими кислотами в

присутствии борной кислоты методом сплавления или нагревания в растворителе.

2. Показано, что прогнозируемая потенциальная психотропная и антивирусная активность полученных бензимидазолов сопоставима с данным для самого дибазола.
3. Среди синтезированных аналогов дибазола 2-(феноксиметил)-1*H*-бензимидазол имеет наибольшую потенциальную психотропную активность, и рекомендуется для дальнейших биологических исследований.

Список литературы

1. Рамш С. М. История создания отечественного лекарственного препарата / С. М. Рамш // Историко-биологические исследования. – 2011. – Том 3, №4 – С. 36–57.
2. Яременко К. В. Адаптогены как средства практической медицины. / К. В. Яременко. – Томск: Изд-во Томского унта, 1990. – 96 с.
3. Walther R. Untersuchungen aus dem organischen Laboratorium der technischen Hochschule zu Dresden. XXXII. Zur Kenntniss einiger Benzimidazol / R. Walther, Pulawski Th. // J. Prakt. Chem. –1899. – Bd. 59. – S. 249–265.
4. Мелентьева Г. А. Фармацевтическая химия. В 2-х т. Т. 2. / Г. А. Мелентьева. – М.: Медицина, 1976. – 828 с.
5. Руководство по фармакологии. В 2-х т. Т. 1 / Отв. ред. Н.В. Лазарев. – Л.: Медгиз, 1961. –611 с.
6. Руководство по клинической фармакологии / Под ред. В. В. Закусова. – М.: Медицина, 1978. –607 с.
7. Pharma expert predictive services «PASS online» [Electronic resource]: FSBI «Research Institute of biomedical chemistry named after V.N. Orekhovich» The Russian Academy of medical Sciences. – Mode of access: URL: http://pharmaexpert.ru/PASSOnline (дата обращения: 23.05.2024).
8. Предсказание спектров биологической активности органических соединений с помощью веб-ресурса PASSOnline / Д. А. Филимонов, А. А. Лагунин, Т. А. Глориозова [и др.] // Химия гетероциклических соединений – 2014. – № 3. – С. 483–499.

SYNTHESIS AND POTENTIAL BIOLOGICAL ACTIVITY OF ANALOGUES OF THE DIBAZOL

Tsikalov V. V., Tsikalova V. N., Poddubov A. I., Guseinova U. R.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea
E-mail: ts_v_v@mail.ru

The synthesis of benzimidazole derivatives, similar to dibazole, was carried out using two methods. According to the first, 1, 2-Phenylenediamine condensed with excess quantity of 2-chlorophenylacetic acid in the presence of orthoboric acid at a temperature of 150 °C. After treatment and crystallization, the yield of 2-(2-chlorobenzyl)-1*H*-benzimidazole was 36 %. In the second method, 1, 2-phenylenediamine was reacted with an excess of phenoxyacetic acid and 1-naphthylacetic acid in the presence of orthoboric acid in an o-xylene solvent at boiling point. Thus, 2-(phenoxymethyl)-1*H*-benzimidazole was obtained in 93 % yield, and 2-(1-naphthylmethyl)-1*H*-benzimidazole in 35 % yield.

The structure of all obtained benzimidazoles was confirmed by 1H-NMR spectroscopy. In the spectra of 2-(phenoxymethyl)-1*H*-benzimidazole and 2-(2-chlorobenzyl)-1*H*-benzimidazole signals of protons of the methyl group were identified in the form of a singlet with a chemical shift of 5.28 and 4.35 ppm. Multiplets of eight and nine aromatic protons are in the region of 6.94–7.51 and 6.23–7.62 ppm. The aromatic amine proton singlet has a chemical shift of 12.61 and 12.32 ppm. respectively. Similar signals confirmed the structure of 2-(1-naphthylmethyl)-1*H*-benzimidazole.

Potential antiviral activity by PASSOnline program for 2-(phenylmethyl)-1*H*-benzimidazole (dibazole), 2-(phenoxymethyl)-1*H*-benzimidazole, 2-(2-chlorophenylmethyl)-1*H*-benzimidazole, 2-(1-naphthylmethyl)-1*H*-benzimidazole was 0.704, 0.667, 0.629, and 0.613, respectively. The range of potential psychotropic activity differs and decreases in the following order: 2-(phenoxymethyl)-1*H*-benzimidazole 0.833, 2-(phenylmethyl)-1*H*-benzimidazole 0.758, 2-(1-naphthylmethyl)-1*H*-benzimidazole 0.687, 2-(2-chlorobenzyl)-1*H*-benzimidazole 0.621.

***Keywords*:** dibazole, benzimidazole, condensation, antiviral activity, PASSOnline.

References

1. Ramsh S. M. History of the creation of a domestic drug, *Historical and biological studies*. **3(4)**, 36 (2011). (*in Russ*.)
2. Yaremenko K. V. (1990) *Adaptogens as means of practical medicine*. Tomsk: Tomsk University Publishing House. (*in Russ.*)
3. Walther R. Pulawski Th. Investigations from the organic laboratory of the Technical University of Dresden. XXXII. On the knowledge of some benzimidazole, *J. Prakt. Chem.* **59**, 249 (1899).
4. Melentyeva G. A. (1976) *Pharmaceutical chemistry*. In 2 volumes. V. 2. Moscow: Medicine. (*in Russ*.)
5. Lazarev N. V. (1961) *Guide to Pharmacology*. In 2 volumes. V. 1. Leningrad: Medgiz. (*in Russ*.)
6. Zakusova V. V. (1978) *Guide to Clinical Pharmacology*. Moscow: Medicine. (*in Russ*.)
7. Pharma expert predictive services «PASS online» [Electronic resource]: FSBI «Research Institute of biomedical chemistry named after V. N. Orekhovich» The Russian Academy of medical Sciences. – Mode of access: URL: http://pharmaexpert.ru/PASSOnline.
8. Filimonov D. A., Lagunin A. A., Gloriosova T. A., Rudik A. V., Druzhilovsky D. S., Pogodin P. V., Poroikov V. V. Prediction of the spectra of biological activity of organic compounds using the web resource PASSOnline, Chemistry of heterocyclic compounds, 3, 483 (2014). (*in Russ*.)

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 10 (76). 2024. № 3. С. 341–348.

УДК 536.631

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-3-341-348

АППРОКСИМАЦИЯ АНАЛИТИЧЕСКИМИ ФУНКЦИЯМИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ АТОМНОЙ ТЕПЛОЁМКОСТИ МЕДИ В ИНТЕРВАЛЕ 50–1300 K

Шейх-Заде М. И.

ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: tospcrimea@gmail.com

Рассмотрена задача об аппроксимации аналитическими функциями температурной зависимости атомной теплоёмкости при постоянном давлении C_p^m меди в интервале температур 50–1300 K. Экспериментальные значения C_p^m в указанном интервале температур заимствованы из литературных источников. Показано, что в интервале 300–1300 K зависимость C_p^m от температуры удовлетворительно описывается линейной зависимостью. Параметры этой зависимости найдены методом наименьших квадратов. В интервале 50–300 K зависимость C_p^m от температуры имеет нелинейный характер и для описания этой зависимости использованы интерполяционный полином Лагранжа $L_3(T)$ и интерполяционный кубический сплайн $S_3(T)$. Показано, что при использовании сплайна $S_3(T)$ качество аппроксимации лучше, чем при использовании полинома $L_3(T)$.
Ключевые слова: теплоёмкость, температурная зависимость, аппроксимация.

ВВЕДЕНИЕ

Теплоёмкость представляет собой одну из важных характеристик вещества. Чтобы можно было сравнивать разные вещества по теплоёмкости, теплоёмкость нормируют на единицу массы вещества (удельная теплоёмкость, $C^{уд}$, Дж/(K·кг)) или на один моль вещества (молярная теплоёмкость, C^m, Дж/(K·моль)). В случае твёрдых веществ с атомной кристаллической решёткой теплоёмкость C^m называют атомной теплоёмкостью. Различают атомную теплоёмкость при постоянном объёме C_v^m и при постоянном давлении C_p^m. При теоретическом рассмотрении теплоёмкости легче вычислить C_v^m, так как C_v^m определяется только изменением внутренней энергии, а C_p^m зависит ещё от работы расширения. В случае экспериментального определения теплоёмкости, легче измерять значения C_p^m, так как при нагревании твёрдых тел трудно сохранить постоянство объёма тела (что необходимо для измерения значений C_v^m).

Теория и эксперимент показывают, что теплоёмкость зависит от температуры. Зависимость C_{v}^m от температуры для тел с атомной кристаллической структурой была теоретически рассмотрена П. Дебаем [1–3], который получил формулу, правильно передающую эту зависимость. Температурную зависимость экспериментально найденных величин C_p^m можно описать аналитическими функциями в различных интервалах температур.

Целью данной работы является аппроксимация аналитическими функциями температурной зависимости атомной теплоёмкости C_p^m меди в интервале 50–1300 K.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для построения приближающих функций, описывающих температурную зависимость C_p^m меди, необходимо иметь в распоряжении экспериментальные значения C_p^m в исследуемом интервале температур. Такие данные были заимствованы из справочников [4–6]. При температурах выше 300 K зависимость C_p^m от температуры имеет линейный характер. Для нахождения параметров этой линейной зависимости был применён метод наименьших квадратов, а в качестве наилучшего приближения была использована величина выборочного среднеквадратического отклонения:

$$s = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{\kappa=1}^{N} [(C_{p,э}^m)_\kappa - (C_{p,в}^m)_\kappa]^2} \,,$$

где N – число экспериментальных точек, $(C_{p,э}^m)_\kappa$ – ордината k-той экспериментальной точки, $(C_{p,в}^m)_\kappa$ – значение приближающей функции для k-той экспериментальной точки.

В интервале 50–300 K зависимость C_p^m от температуры имеет нелинейный характер и для аппроксимации этой зависимости были использованы интерполяционный полином Лагранжа $L_3(T)$ и интерполяционный кубический сплайн $S_3(T)$ [7–9]. Кубические сплайны получили наиболее широкое применение на практике, так как имеют на всём отрезке аппроксимации непрерывные производные до второго порядка включительно, что обеспечивает достаточную гладкость таких сплайнов для большинства практических задач. Построение интерполяционных полиномов Лагранжа и кубических сплайнов можно производить с помощью ПК с использованием соответствующих программ [10, 11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлены графически в виде точек экспериментальные значения C_p^m меди при различных температурах в интервале 50–1300 K.

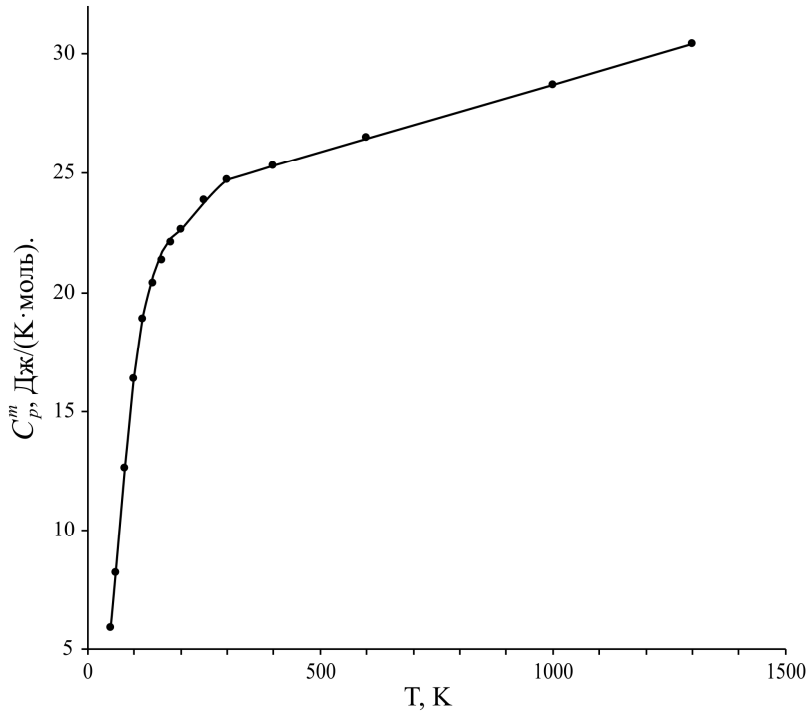


Рис. 1. Экспериментальные значения C_p^m меди (точки) и их аппроксимация аналитическими функциями (сплошная линия).

Как видно из рис. 1, зависимость C_p^m от температуры является сложной функцией и на практике такую зависимость при достаточно высоких температурах выражают обычно в виде различных степенных рядов [12–14]. Коэффициенты таких рядов определяются из экспериментальных данных, например, методом наименьших квадратов и помещают в справочники с указанием интервала температур, в которых соответствующий ряд даёт хорошее приближение. Чаще всего используется степенной ряд:

$$C_p^m = a + b \cdot T + c' \cdot T^{-2} \qquad (1)$$

В [15] для меди в интервале температур 298–1356 K приведены значения коэффициентов ряда (1): a=22,64; b=6,28·10^{-3}; c'=0. В [16] для меди в том же интервале температур приведены значения: a=22,65059; b=6,28020·10^{-3}; c'=0. Незначительные отличия в значениях коэффициента a могут быть обусловлены, возможно, различными исходными данными для C_p^m. Так как в данной работе использованы значения C_p^m из [4–6], то для интервала температур 300–1300 K были определены значения коэффициентов ряда (1) методом наименьших квадратов и они оказались равными: a=22,988; b=5,679·10^{-3}; c'=0 с значением среднеквадратического отклонения s=4·10^{-3}. Нижняя точка (300 K) этого

температурного интервала близка к стандартной температуре 298 K и к характеристической температуре Дебая для меди Θ_D=313 K [15]. Как видно из рис. 1 (сплошная линия), линейная зависимость $C_p^m = a + b \cdot T$ с найденными значениями коэффициентов a и b удовлетворительно передаёт зависимость C_p^m меди от температуры в интервале 300–1300 K.

Из рис. 1 также видно, что ниже 300 K зависимость C_p^m от температуры более сложная и ряд (1) непригоден для описания этой зависимости. Для описания такой зависимости в области температур 50–300 K можно применить классический метод решения подобной задачи – использовать интерполяционные полиномы Лагранжа [9–11]. В данной работе в качестве узлов интерполяции выбраны точки 50, 100, 200, 300 K. Поэтому в качестве приближающей функции использован кубический интерполяционный полином Лагранжа $L_3(T)$. Результат такой аппроксимации приведён в табл. 1, где в третьем столбце $C_p^m = L_3(T)$, а в четвёртом столбце $\Delta_L = C_{p,э}^m - C_{p,в}^m$.

Таблица 1

Экспериментальные $C_{p,э}^m$ и вычисленные $C_{p,в}^m$ по $L_3(T)$ и $S_3(T)$ значения теплоёмкости меди и разности $\Delta = C_{p,э}^m - C_{p,в}^m$

T, K	C_p^m, Дж/(K·моль)	$C_{p,в}^m$, Дж/(K·моль)			
		выч. по $L_3(T)$	Δ_L	выч. по $S_3(T)$	Δ_S
50	5,86	5,86	0	5,86	0
60	8,16	8,51	–0,35	8,19	–0,03
80	12,55	12,94	–0,39	12,61	–0,06
100	16,32	16,32	0	16,32	0
120	18,83	18,79	0,04	18,96	–0,13
140	20,33	20,51	–0,18	20,66	–0,33
160	21,34	21,61	–0,27	21,67	–0,33
180	22,09	22,26	–0,17	22,23	–0,14
200	22,59	22,59	0	22,59	0
250	23,85	23,01	0,84	23,57	0,28
300	24,69	24,69	0	24,69	0

Из табл. 1 можно видеть, что между узлами интерполяции происходит осцилляция полинома $L_3(T)$, т.е. отклонение от экспериментальных значений C_p^m в ту или иную сторону. Такая осцилляция может быть существенной при использовании полиномов Лагранжа высокой степени. Уменьшить осцилляцию можно путём уменьшения степени полинома, интерполируя только часть точек. Тогда для всего множества точек получается составная кривая, которая непрерывна

на всём интервале задания точек. Такая идея реализуется также при использовании сплайнов, которые представляют собой гладкие кусочно-полиномальные функции с однородной структурой, т. е. составленные из алгебраических полиномов одной и той же степени. На практике чаще всего используют кубические сплайны. В данной работе использованы естественные кубические сплайны $S_3(T)$ [10] с узлами T_0=50 K, T_1=100 K, T_2=200 K, T_3=300 K и имеющие вид:

$$S_3(T) = \begin{cases} P_0(T), & T_0 \le T \le T_1 \\ P_1(T), & T_1 \le T \le T_2 \\ P_3(T), & T_2 \le T \le T_3 \end{cases},$$

где каждый $P_к(T)$ – многочлен третьей степени:

$$P_к(T) = a_{к,0} + a_{к,1}\cdot(T–T_к) + a_{к,2}\cdot(T–T_к)^2 + a_{к,3}\cdot(T–T_к)^3$$

для Tє$[T_к, T_{к+1}]$ и $к$ = 0,1,2.

Коэффициенты $a_{к,j}$ (j=0,1,2,3) находятся с использованием экспериментальных значений C_p^m [10, 11]. Значения коэффициентов $a_{к,j}$, найденные по методике, изложенной в [10], приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов $a_{к,j}$ полиномов $P_K(T)$ сплайна $S_3(T)$

K	$a_{K,0}$	$a_{K,1}$	$a_{K,2}$	$a_{K,3}$
0	5,86	0,234	0	$–9{,}896\cdot10^{-6}$
1	16,32	0,160	$–1{,}484\cdot10^{-3}$	$5{,}143\cdot10^{-6}$
2	22,59	0,017	$5{,}836\cdot10^{-5}$	$–0{,}195\cdot10^{-6}$

Вычисленные с использованием сплайна $S_3(T)$ значения $C_{p,в}^m$ и разности $\Delta_S = C_{p,э}^m - C_{p,в}^m$ представлены в табл. 1 в пятом и шестом столбцах соответственно, а в графическом виде приведены на рис. 1 в интервале температур 50–300 K (сплошная линия). Следует отметить, что в масштабе рис. 1 графическое представление результатов аппроксимации полиномом Лагранжа $L_3(T)$ невозможно отличить от графического представления результатов аппроксимации кубическим сплайном $S_3(T)$. Поэтому о качестве аппроксимации этими методами можно судить по данным табл. 1 и значений среднеквадратических отклонений s=0,319 и s=0,175 при аппроксимации полиномом $L_3(T)$ и сплайном $S_3(T)$ соответственно. Из табл. 1 и значений s можно видеть, что качество аппроксимации кубическим сплайном $S_3(T)$ лучше, чем полиномом Лагранжа $L_3(T)$.

Из полученных данных следует, что температурную зависимость C_p^m меди в интервале температур 300–1300 K можно описать линейной зависимостью

$$C_p^m = 22{,}988 + 5{,}679\cdot10^{-3}\cdot T,$$

а в интервале температур 50–300 K – интерполяционным кубическим сплайном $S_3(T)$ с коэффициентами $a_{к,j}$, приведённым в табл. 2. Подобным образом можно получить аналитические выражения для описания температурной зависимости C_p^m для других веществ с атомной кристаллической решёткой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что температурная зависимость C_p^m меди в кристаллическом состоянии удовлетворительно описывается линейной зависимостью в интервале температур 300–1300 K, а в интервале 50-300 K более лучшее качество аппроксимации удаётся получить при использовании интерполяционного кубического сплайна $S_3(T)$, чем интерполяционного полинома Лагранжа $L_3(T)$.

Список литературы

1. Соколов А. А. Квантовая механика / А. А. Соколов, Ю. М. Лоскутов, И. М. Тернов. – М.: Просвещение, 1965. – 638 с.
2. Жуховицкий А. А. Физическая химия / А. А. Жуховицкий, Л. А. Шварцман. – М.: Металлургия, 1968. – 520 с.
3. Жданов Г. С. Физика твёрдого тела / Г. С. Жданов. – М.: Изд-во МГУ, 1962. – 502 с.
4. Физические величины: справочник / Под ред. И. С. Григорьева и Е. З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
5. Таблицы физических величин. Справочник / Под ред. И. К. Кикоина. – М.: Атомиздат, 1976. – 1006 с.
6. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. А. А. Равделя и А. М. Пономарёвой. – Л.: Химия, 1983. – 232 с.
7. Алберг Дж. Теория сплайнов и её применение / Дж. Алберг, Э. Нильсон, Дж. Уолш. – М.: Мир, 1972. – 316 с.
8. Корнейчук Н. П. Сплайны в теории приближения / Н. П. Корнейчук. – М.: Наука, 1984. – 352 с.
9. Завьялов Ю. С. Методы сплайн-функций / Ю. С. Завьялов, Б. И. Квасов, В. Л. Мирошниченко. – М.: Наука, 1980. – 352 с.
10. Метьюз Дж. Г. Численные методы. Использование MathLab / Дж. Г. Метьюз, К. Д. Финк. – М.: Вильямс, 2001. – 720 с.
11. Лапчик М. П. Численные методы / М. П. Лапчик, М. И. Рагулина, Е. К. Хеннер. – М.: Академия, 2007. – 384 с.
12. Курс физической химии. Т.1 / Под ред. Я. И. Герасимова. – М.: Химия, 1979. – 592 с.
13. Борнацкий И. И. Основы физической химии / И. И. Борнацкий. – М.: Металлургия, 1971. – 344 с.
14. Стромберг А. Г. Физическая химия / А. Г. Стромберг, Д. П. Семченко. – М.: Высшая школа, 1973. – 480 с.
15. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. К. П. Мищенко и А. А. Равделя. – Л.: Химия, 1974. – 200 с.
16. Физико-химические свойства элементов. Справочник / Под ред. Г. В. Самсонова. – Киев.: Наукова Думка, 1965. – 808 с.

APPROXIMATION BY ANALYTICAL FUNCTIONS OF THE TEMPERATURE DEPENDENCE COPPER ATOMIC HEAT CAPACITY IN THE INTRVAL 50-1300 K

Sheikh-Zade M.-I.

Fevzi Yakubov Crimean Engineering and Pedagogical University, Simferopol, Crimea, Russia Federation
E-mail: tospcrimea@gmail.com

Theory and experiment show that the atomic heat capacities at constant volume C_{v}^m and constant pressure C_p^m depend on temperature. In a theoretical consideration of heat capacity, it is easier to calculate C_{v}^m, since C_{v}^m depends only on the change in internal energy, and C_p^m also depends on the work of expansion. The dependence of C_{v}^m on temperature for bodies with an atomic lattice was theoretically considered by Debye, who obtained a formula that correctly conveys this dependence. In an experimental determination of heat capacity, it is easier to measure the values of C_p^m. In this paper, the problem of approximating the temperature dependence of the copper atomic heat capacity C_p^m in the temperature interval 50–1300 K by analytical functions is considered. It is shown that in the temperature interval 300–1300 K, this dependence is satisfactorily described by the linear function

$$C_p^m = 22{,}988 + 5{,}679 \cdot 10^{-3} \cdot T ,$$

the parameters of which are determined by the least squares method; the standard deviation was found to be equal to $s = 4 \cdot 10^{-3}$.

In the interval 50–300 K, the dependence of C_p^m on temperature is nonlinear and the Lagrange interpolation polynomial and cubic spline $S_3(T)$ were used to describe this dependence. It is shown that when using the spline $S_3(T)$ with the confidant $a_{K,j}$, given in the table

K	$a_{K,0}$	$a_{K,1}$	$a_{K,2}$	$a_{K,3}$
0	5,86	0,234	0	$-9{,}896 \cdot 10^{-6}$
1	16,32	0,160	$-1{,}484 \cdot 10^{-3}$	$5{,}143 \cdot 10^{-6}$
2	22,59	0,017	$5{,}836 \cdot 10^{-5}$	$-0{,}195 \cdot 10^{-6}$

it is possible to obtain a better approximation quality than when using the Lagrange interpolation polynomial $L_3(T)$.

***Keywords*:** heat capacity, temperature dependence, approximation.

References

1. Sokolv A. A., Loskutov Yu. M., Ternov I. M. *Quantum mechanics*, 638 p. (Prosveshhenie, Moscow, 1965). (in Russ.).
2. Zhukhoviczkij A. A., Shvarczman L. A. *Physical chemistry*, 520 p. (Metallurgiya, 1968). (in Russ.).
3. Zhdanov G. S. *Solid state physics*, 502 p. (Izd-vo MSU, Moscow, 1962). (in Russ.).
4. *Physical quantity: handbook.* Ed. Grigor'eva I.S. and Mejlikhova E. Z., 1232 p. (Energoatomizdat, Moscow, 1991). (in Russ.).
5. *Tables of physical quantity. Handbook.* Ed. Kikoin I. K., 1006 p. (Atomizdat, Moscow, 1976). (in Russ.).
6. *Brief Handbook of physical and chemical quantity.* Ed. Ravdel' A. A. and Ponomaryova A. M., 232 p. (Chemistry, Leningrad, 1983). (in Russ.).
7. Ahlberg J. N., Nilsson E. N., Walsh J. L. *The theory of splines and their applications*, 316 p. (Mir, Moscow, 1972). (in Russ.).
8. Kornejchuk N. P. *Splines in theory of approximation*, 352 p. (Nauka, Moscow, 1984). (in Russ.).
9. Zav'yalov Yu. S., Kvasov B. I., Miroshnichenko V. L. *Methods of spline functions*, 352 p. (Nauka, Moscow, 1980). (in Russ.).
10. Mathews J. H., Fink K. D. *Numerical methods. Using MathLab*, 720 p. (Vil'yams, Moscow, 2001). (in Russ.).
11. Lapchik M. P., Ragulina M. I., Henner E. K. *Numerical methods*, 384 p. (Akademiya, Moscow, 2007). (in Russ.).
12. *Course of physical chemistry*, Vol.1. Ed. Gerasimov Ya. I. 592 p. (Chemistry, Moscow, 1979). (in Russ.).
13. Bornaczkij I. I. *Foundations of physical chemistry*, 344 p. (Metallurgiya, Moscow, 1971). (in Russ.).
14. Stromberg A. G., Semchenko D. P. *Physical chemistry*, 480 p. (Higher School, Moscow, 1973). (in Russ.).
15. *Brief Handbook of physical and chemical quantity.* Ed. Mishhenko K. P. and Ravdel' A. A., 200 p. (Chemistry, Leningrad, 1974). (in Russ.).
16. *Physical and chemical properties of elements. Handbook.* Ed. Samsonov G. V., 808 p. (Naukova Dumka, Kiev, 1965). (in Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Аединова Диана Закировна — Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся направления подготовки 06.03.01 Биология

Александрова Асель Биляловна — Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии, e-mail: adabl@mail.ru

Багнетова Елена Александровна — Сургутский государственный педагогический университет, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры медико-биологических дисциплин и безопасности жизнедеятельности, e-mail: e.bagnetova@gmail.com

Белова Татьяна Павловна — Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук (НИГТЦ ДВО РАН), кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, e-mail: tpbel@yandex.ru

Бугаец Янина Евгеньевна — Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры физиологии, e-mail: yana_bugaetz@mail.ru

Бушов Юрий Валентинович — Институт биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства Национального исследовательского Томского государственного университета, профессор, доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии человека и животных, e-mail: bushov@bio.tsu.ru

Вахрушева Людмила Павловна — Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН", кандидат биологических наук, доцент, научный сотрудник

Веселовская Екатерина Дмитриевна — Волгоградский государственный медицинский университета, аспирант 2 года по специальности «Физиология человека и животных», ассистент кафедры нормальной физиологии, e-mail: veselovskaya15@mail.ru

Витвицкий Павел Александрович — Сургутский государственный педагогический университет, аспирант кафедры медико-биологических дисциплин и безопасности жизнедеятельности, e-mail: pavel.vitvitskiy@mail.ru

Головин Михаил Сергеевич — Новосибирский государственный педагогический университет, кандидат биологических наук, доцент кафедры анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности,

Гончаров Михаил Анатольевич — ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», студент специальности «Фармация», e-mail: mihail_a_g.99@mail.ru

Гордеева Карина Андреевна — Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: Karina_869@mail.ru

Гришковец Владимир Иванович — Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор химических наук, профессор кафедры «Общая химия»

Гронская Алина Станиславовна — Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой физиологии, e-mail: gro_al@mail.ru

Гузь Александр Алексеевич — Академия биологии и биотехнологии Южного федерального университета, студент кафедры зоологии, e-mail: aleksag@sfedu.ru

Гусейнова Усние Рустемовна — Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», студент 4 курса по направлению подготовки 04.03.01 Химия

Джелдубаева Эльвиза Рашидовна — Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики

Диденко Алексей Викторович — ФГКУ ДПО «Ростовская школа служебно-розыскного собаководства МВД России»; e-mail: did5371@gmail.com

Елфимова Надежда Сергеевна — Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), заведующий сектором зообентоса, e-mail: elfimovans@azniirkh.vniro.ru

Жмурова Татьяна Анатольевна — Институт фундаментальной медицины и здоровьесбережения, Севастопольский государственный университет, кандидат биологических наук, доцент кафедры "Физвоспитание и спорт"

Ибрагимова Эвелина Энверовна — ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова», кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой биологии, экологии и безопасности жизнедеятельности

Исаенко Татьяна Алексеевна — Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии, e-mail: istat1@yandex.ru

Калаева Елена Анатольевна — ФГБОУ ВО «ВГУ», кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры биофизики и биотехнологии медико-биологического факультета, e-mail: kalaevae@gmail.com

Кандаурова Дарья Андреевна — ФИЦ ИнБЮМ, аспирант 4 года обучения направления подготовки 06.06.01 Биологические науки , младший научный сотрудник лаборатории фиторесурсов отдела Биотехнологии и фиторесурсов, e-mail: dkandaurova@ibss-ras.ru

Колмакова Татьяна Сергеевна — ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России, доктор биологических наук, доцент, e-mail: tat_kolmakova@mail.ru.

Корж Елена Николаевна — ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и химические технологии»

Кротова Кристина Александровна — Смоленский государственный университет спорта, аспирантка кафедры биологических дисциплин

Кулагина Валентина Ивановна — Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: viksoil@mail.ru.

Литвин Федор Борисович — Смоленский государственный университет спорта, профессор, доктор биологических наук, профессор кафедры биологических дисциплин

Лысенков Сергей Петрович — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Майкопский государственный технологический Университет», медицинский институт, доктор медицинских наук, профессор кафедры физиологии и общей патологии, e-mail: sergeyprofff@yandex.ru

Макалиш Татьяна Павловна — Центральная научно-исследовательская лаборатория Ордена Трудового Красного Знамени Медицинского института им. С. И. Георгиевского ФГАОЦ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник

Малука Марина Викторовна — Кубанский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой физиологии, e-mail: mvmaluka@mail.ru

Мальков Олег Алексеевич — Сургутский государственный педагогический университет, доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры медико-биологических дисциплин и безопасности жизнедеятельности, e-mail: docom@mail.ru

Мельник Владимир Михайлович — Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», бакалавр 4 курса кафедры «Общая химия»

Мижерицкая Анна Романовна — Академия биологии и биотехнологии Южного федерального университета, студентка кафедры зоологии, e-mail: miz@sfedu.ru

Микашинович Зоя Ивановна — ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет», Министерство здравоохранения Российской федерации, доктор биологических наук, профессор кафедры общей и клинической биохимии N1, e-mail: mikashinovich@gmail.com

Мищенко Дарья Петровна — Академия биологии и биотехнологии Южного федерального университета, студентка кафедры зоологии, e-mail: damishc@sfedu.ru

Муженя Дмитрий Витальевич — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Адыгейский государственный университет», НИИ комплексных проблем, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: dmuzhenya@mail.ru

Мурталиева Вероника Хамидуллаевна — ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России, ассистент кафедры фармакогнозии, фармацевтической технологи и биотехнологии, e-mail: murtalieva90@mail.ru

Назырова Лина Эльдаровна — Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся направления подготовки 06.03.01 Биология

Панов Денис Александрович — ФГАОУ ВО Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Институт биохимических технологий, экологии и фармации, кафедра общей химии, доцент, кандидат химичских наук, доцент, e-mail: despanov@gmail.com

Погодина Светлана Владиировна — ФГАОУ ВО Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, доктор биологических наук, профессор, кафедра спорта и физического воспитания

Поддубов Александр Игоревич — Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», преподаватель кафедры общей химии

Попов
Максим Николаевич

Гуманитарно-педагогическая академия (филиал) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» в г. Ялте, кандидат педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой здоровья и реабилитации, заместитель директора, e-mail: maks.popov@mail.ru

Прима
Ольга Сергеевна

Новосибирский государственный педагогический университет, аспирант кафедры анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности

Ржевская
Виктория Степановна

Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», аспирант кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий

Романчук
Роман Викторович

Академия биологии и биотехнологии Южного федерального университета, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры зоологии заведующий «Зоологическим музеем ЮФУ», e-mail: roma.romanchuk.95@bk.ru

Рябцев
Сергей Михайлович

Севастопольский государственный университет, Институт фундаментальной медицины и здоровьесбережения, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры "Физвоспитание и спорт"

Рязанов
Станислав Сергеевич

Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: RStanislav.soil@yandex.ru

Сахно
Татьяна Михайловна

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории ароматических и лекарственных растений, e-mail: sahno_tanya@mail.ru

Светлик
Михаил Васильевич

Институт биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства Национального исследовательского Томского государственного университета, кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных

Севрюкова
Галина Александровна

Волгоградский государственный медицинский университет, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры нормальной физиологии, e-mail: sevrykova2012@yandex.ru

Семенова Елена Федоровна — Институт фундаментальной медицины и здоровьесбережения ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», профессор кафедры «Фундаментальная медицина, здравоохранение и здоровьесбережение», Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры фармации, e-mail: sef1957@mail.ru

Сергалиева Мариям Утежановна — ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России, кандидат биологических наук, доцент кафедры фармакогнозии, фармацевтической технологи и биотехнологии, e-mail: charlina_astr@mail.ru

Скрябина Анастасия Александровна — Институт биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства Национального исследовательского Томского государственного университета, ассистент, учебный мастер, аспирант кафедры физиологии человека и животных, e-mail: skryabina.anastasiya1994@yandex.ru

Слюнькова Валерия Геннадьевна — Академия биологии и биотехнологии Южного федерального университета, студентка кафедры зоологии Россия, e-mail: vsliunkova@sfedu.ru

Смирнова Ольга Борисовна — ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет», Министерство здравоохранения Российской федерации, кандидат биологических наук, доцент кафедры общей и клинической биохимии N1, e-mail: zolochevskaj51@mail.ru

Соболев Валерий Иванович — ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры здоровья и реабилитации, e-mail: v.sobolev@mail.ru

Суботялов Михаил Альбертович — Новосибирский государственный педагогический университет, доктор медицинских наук, профессор кафедры анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности; Новосибирский государственный университет, доцент кафедры фундаментальной медицины

Сунгатуллина Люция Мансуровна — Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, старший научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: Sunlyc@yandex.ru

Телесманич Наталья Робертовна — ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет», Министерство здравоохранения Российской федерации, доктор биологических наук, профессор кафедры общей и клинической биохимии N1, e-mail: telesmanich.nr@gmail.com

Теплицкая Людмила Михайловна — Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент

Товмасян Лаура Андреевна — Волгоградский государственный медицинский университет, аспирант 2 года по специальности «Физиология человека и животных» кафедры нормальной физиологии, e-mail: laura7709@yandex.ru

Труш Вера Владимировна — ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», кандидат медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой физиологии человека и животных, e-mail: ver.trush@yandex.ru

Тугуз Аминат Рамазановна — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Адыгейский государственный университет», НИИ комплексных проблем, доктор биологических наук, профессор, e-mail: Lab_genetic@mail.ru

Туманянц Каринэ Николаевна — Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, директор Центра коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика», e-mail: timur328@gmail.com

Хайруллина Алина Маратовна — Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, младший научный сотрудник лаборатории экологии почв, e-mail: his.alina94@mail.ru

Хижко Зоя Игоревна — Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук (НИГТЦ ДВО РАН), младший научный сотрудник

Цибизова Александра Александровна — ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России, кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры фармакогнозии, фармацевтической технологи и биотехнологии, e-mail: sasha3633@yandex.ru

Цикалов Виктор Валентинович — Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии

Цикалова Виктория Николаевна — Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии

Черняков Дмитрий Игоревич — Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», ассистент кафедры фармации, e-mail: dimaoberlin@yandex.ru

Шагидуллин Рифгат Роальдович — Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, член-корреспондент АН РТ, доктор химических наук, директор, e-mail: shagidullin@mail.ru

Шатунова Снежана Витальевна — Институт биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», студент специальности «Фармация», e-mail: shatunovasneja@gmail.com

Шейх-Заде Мамет-Исмет — ГБОУВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова», кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры «Электромеханика и сварка»

Шумилов Дмитрий Сергеевич — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Адыгейский государственный университет», НИИ комплексных проблем, кандидат биологических наук, e-mail: dmi6277@ya.ru

Щуряков Дмитрий Сергеевич — Национальный исследовательский Томский государственный университет, младший научный сотрудник НИИ биологии и биофизики ТГУ, магистрант кафедры ботаники НИ ТГУ

Юферев Владимир Сергеевич — ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры спорта и физического воспитания

Яковенко Александра Александровна — ФГКУ ДПО «Ростовская школа служебно-розыскного собаководства МВД России»; e-mail: 5maya@list.ru

Яковишин Леонид Александрович — ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», доктор химических наук, профессор кафедры «Химия и химические технологии», e-mail: chemsevntu@rambler.ru

Ярмолюк Наталья Сергеевна — Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Бугаец Я. Е., Гронская А. С., Исаенко Т. А., Малука М. В.
ОЦЕНКА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ С АМПУТАЦИЕЙ ГОЛЕНИ НА ЭТАПАХ ФИЗИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ.....3

Вахрушева Л. П., Кандаурова Д. А.
МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОНТОГЕНЕТИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ И СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ *ECBALLIUM ELATERIUM* (L.) RICH. НА АЗОВСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КЕРЧЕНСКОГО ПОЛУОСТРОВА (КРЫМ) 12

Веселовская Е. Д., Севрюкова Г. А.
ОСОБЕННОСТИ ЦЕРЕБРАЛЬНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ У ЛЮДЕЙ ПРЕДПЕНСИОННОГО ВОЗРАСТА 32

Витвицкий П. А., Багнетова Е. А., Мальков О. А., Ибрагимова Э. Э.
ОСОБЕННОСТИ ФИЗИОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОРГАНИЗМА СТУДЕНТОВ С РАЗЛИЧНЫМ ПСИХОФУНКЦИОНАЛЬНЫМ СОСТОЯНИЕМ 45

Джелдубаева Э. Р., Ярмолюк Н. С., Ржевская В. С., Макалиш Т. П., Туманянц К. Н., Аединова Д. З., Назырова Л. Э.
АНАЛИЗ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖЕЛУДКА У КРЫС ПРИ ВВЕДЕНИИ ПРОБИОТИКА 55

Жмурова Т. А., Рябцев С. М.
ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СПОРТСМЕНОВ-ЭКСТРЕМАЛОВ НА ПОДГОТОВИТЕЛЬНОМ ЭТАПЕ 69

Кротова К. А., Литвин Ф. Б.
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АПИПРОДУКТА «БИЛАР» ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМЫ МИКРОГЕМОЦИРКУЛЯЦИИ СПОРТСМЕНОВ.....79

Кулагина В. И., Сунгатуллина Л. М., Александрова А. Б., Рязанов С. С., Шагидуллин Р. Р., Хайруллина А. М., Гордеева К. А.
ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ САРАЛИНСКОГО УЧАСТКА ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА.....92

Микашинович З. И., Телесманич Н. Р., Смирнова О. Б.
ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ СТРЕСС КАК МОЛЕКУЛЯРНАЯ ОСНОВА НЕЙРОДЕГЕНЕРАТИВНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ И ПУТИ АНТИОКСИДАНТНОЙ ТЕРАПИИ 106

Муженя Д. В., Лысенков С. П., Тугуз А. Р., Шумилов Д. С.
СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ИММУНОИНДУЦИРОВАННОМ ПРОЦЕССЕ В МЫШЦАХ ПРИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ 128

Мурталиева В. Х., Цибизова А. А., Сергалиева М. У.
КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОКСИКОРИЧНЫХ КИСЛОТ И ОЦЕНКА АНТИОКСИДАНТНЫХ СВОЙСТВ *AMORPHA FRUTICOSA* L. 147

Прима О. С., Головин М. С., Суботялов М. А.
ВЕГЕТАТИВНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ И РЕАКТИВНОСТЬ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ХОККЕИСТОВ-ПОДРОСТКОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИГРОВОГО АМПЛУА 155

Романчук Р. В., Слюнькова В. Г., Мищенко Д. П., Гузь А. А., Елфимова Н. С., Мижерицкая А. Р.
ХОЗЯЙСТВЕННО ЗНАЧИМЫЕ ТАКСОНЫ ЛИСТОВЁРТОК (LEPIDOPTERA: TORTRICIDAE) РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ: ФАУНИСТИЧЕСКИЙ СОСТАВ, ДАННЫЕ О ВЫЯВЛЕНИИ И РАСПРОСТРАНЕНИИ В РЕГИОНЕ (ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ) 162

Сахно Т. М.
ФИТОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЭФИРНОГО МАСЛА ПЕЛАРГОНИИ ДУШИСТОЙ (*PELARGONIUM GRAVEOLENS* L'HÉR.) В УСЛОВИЯХ КУЛЬТУРЫ НА ЮЖНОМ БЕРЕГУ КРЫМА 191

Скрябина А. А., Светлик М. В., Бушов Ю. В.
АКТИВНОСТЬ ЗЕРКАЛЬНЫХ НЕЙРОНОВ У МОНОЛИНГВОВ И БИЛИНГВОВ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ И ПРОИЗНЕСЕНИИ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО И НЕЭМОЦИОНАЛЬНОГО СЛОВ НА РОДНОМ И НЕРОДНОМ ЯЗЫКАХ 207

Теплицкая Л. М., Гончаров М. А., Семенова Е. Ф., Черняков Д. И., Шатунова С. В., Калаева Е. А.
ОПТИМИЗАЦИЯ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД И УСЛОВИЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ *IN VITRO* ЭВЕРНИИ СЛИВОВОЙ *EVERNIA PRUNASTRI* (L.) ACH. 219

Товмасян Л. А., Севрюкова Г. А.
РЕАКЦИИ СИСТЕМНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ У ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ НА ЛОКАЛЬНУЮ ХОЛОДОВУЮ СТИМУЛЯЦИЮ 230

Труш В. В., Соболев В. И., Попов М. Н.
КОРРЕКЦИЯ АРГИНИНОМ, УМЕРЕННОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ И ИХ КОМБИНАЦИЕЙ НАРУШЕНИЙ СОКРАТИТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ ПРИ СТЕРОИДНОЙ МИОПАТИИ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА КРЫСАХ 239

Щуряков Д. С.
КЛАССИФИКАЦИЯ, СВОЙСТВА И ВИДОВАЯ НАСЫЩЕННОСТЬ ТОРФОВ ДОЛИННЫХ БОЛОТ (НА ПРИМЕРЕ БОЛОТА ИШТАН) 258

Юферев В. С., Погодина С. В.
ГЛЮКОКОРТИКОИДНАЯ АКТИВНОСТЬ КОРЫ НАДПОЧЕЧНИКОВ В ОРГАНИЗМЕ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОК С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ 274

Юферев В. С., Погодина С. В.
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И РЕЗЕРВЫ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СПОРТСМЕНОК ВТОРОГО ЗРЕЛОГО ВОЗРАСТА 283

Яковенко А. А., Колмакова Т. С., Диденко А. В.
ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ ЧРЕСКОЖНОЙ НЕЙРОСТИМУЛЯЦИИ СЛУЖЕБНЫХ СОБАК НА ИХ ПОИСКОВУЮ АКТИВНОСТЬ 294

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Белова Т. П., Хижко З. И.
ДИНАМИКА СОРБЦИИ СЕРЕБРА ПРИРОДНЫМИ ЦЕОЛИТАМИ 306

Гришковец В. И., Мельник В. М., Яковишин Л. А., Корж Е. Н.
ВЛИЯНИЕ НАТРИЕВЫХ СОЛЕЙ ЭТИЛЕНДИАМИНТЕТРАУКСУСНОЙ КИСЛОТЫ НА ПРОЦЕСС ОТВЕРЖДЕНИЯ ГИПСА 315

Панов Д. А.
СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ СЕЛЕНА, СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ПОЛИВИНИЛПИРРОЛИДОНОМ 323

Цикалов В. В., Цикалова В. Н., Поддубов А. И., Гусейнова У. Р.
СИНТЕЗ И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ АНАЛОГОВ ДИБАЗОЛА 334

Шейх-Заде М. И.
АППРОКСИМАЦИЯ АНАЛИТИЧЕСКИМИ ФУНКЦИЯМИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ АТОМНОЙ ТЕПЛОЁМКОСТИ МЕДИ В ИНТЕРВАЛЕ 50-1300 K 341

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 349

СОДЕРЖАНИЕ 357