

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ
КРЫМСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА имени В. И. ВЕРНАДСКОГО.
БИОЛОГИЯ. ХИМИЯ
Научный журнал

Том 4 (70), № 1

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

Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского
Симферополь, 2018

Свидетельство о регистрации СМИ – ПИ № ФС77-61791 от 18 мая 2015 года.
Выдано Федеральной службой по надзору в 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 № 1 от 5 марта 2018 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 03.02.00 – общая биология, 03.03.00 – физиология,
02.00.00 – химические науки, дата включения – 12.07.2017, а также в систему «Российский индекс
научного цитирования» (РИНЦ)

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

Главный редактор – Чуян Елена Николаевна, д. б. н., проф.

Ответственный секретарь – Туманянц К. Н., к. б. н., доц.

Технический редактор – Ярмлюк Н. С., к. б. н., доц.

Раздел «Биология»:

1. Диатроптов Михаил Евгеньевич, д. б. н., с. н. с.
2. Ивашов Анатолий Васильевич, д. б. н., проф.
3. Колесников Сергей Ильич, д. с-х. н., проф.
4. Коношенко Светлана Владимировна, д. б. н., проф.
5. Коренюк Иван Иванович, д. б. н., проф.
6. Котов Сергей Федорович, к. б. н., доц.
7. Лебедева Наталья Николаевна, д. б. н., проф.
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. Рубцова Нина Борисовна, д. б. н., проф.
13. Рябинина Зинаида Николаевна, д. б. н., проф.

Раздел «Химия»:

14. Гришковец Владимир Иванович, д. х. н., проф. (редактор раздела «Химия»)
15. Гусев Алексей Николаевич, д. х. н., проф.
16. Еременко Игорь Леонидович, академик РАН
17. Земляков Александр Евгеньевич, д. х. н., проф.
18. Кукушкин Вадим Юрьевич, член корр. РАН
19. Новоторцев Владимир Михайлович, академик РАН
20. Панюшкин Виктор Терентьевич, д. х. н., проф.
21. Шульгин Виктор Федорович, д. х. н., проф.

Подписано в печать 7.03.2018. Формат 70x100 1/16.

Заказ № НП/126. Тираж 50. Индекс, цена.

Дата выхода в свет « » 2018 г.

Отпечатано в управлении редакционно-издательской деятельности
ФГАОУ ВО «КФУ имени В. И. Вернадского»

Адрес редакции, издательства и типографии:

295051, г. Симферополь, бул. Ленина, 5/7

<http://sn-biolchem.cfuv.ru>

ПАМЯТИ НАТАЛЬИ АРМЕНАКОВНЫ ТЕМУРЬЯНЦ



Сотрудники Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского с чувством глубокой скорби сообщают, что 17.10.2017 года ушел из жизни человек большого пронизательного ума и неотразимого личного обаяния, выдающийся научный деятель **Темурьянц Наталья Арменаковна** – доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии человека и животных и биофизики Таврической академии Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского.

Темурьянц Наталья Арменаковна родилась 31 октября 1944 года в городе Симферополе. В 1968 году окончила педиатрический факультет Крымского государственного медицинского института с отличием. Начала свою трудовую деятельность в 1971 году после окончания аспирантуры в должности ассистента кафедры анатомии и физиологии человека и животных Крымского государственного педагогического института (ныне – Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского). В 1972 году Наталья Арменаковна защитила кандидатскую, а в 1989 г. – докторскую диссертацию.

Темурьянц Наталья Арменаковна – автор более 350 публикаций, 12 монографий, 20 патентов, руководитель Крымской школы магнитобиологии. Под ее руководством защищены 1 докторская и 23 кандидатских диссертации. С 2006 по 2014 гг. Темурьянц Н. А. являлась председателем специализированного ученого совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальностям «Физиология человека и животных» и «Биофизика», была членом экспертного совета Министерства образования и науки Украины, редактором журнала «Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия “Биология. Химия”», членом редколлегии журнала «Геополитика и экогеодинамика регионов».

Наталья Арменаковна являлась Действительным членом Европейского и Американского биоэлектромагнитных обществ, Действительным членом Международного общества биометеорологов, Членом Украинского биофизического и физиологического обществ, Действительным членом Крымской Академии Наук, лауреатом премии имени В. И. Вернадского Таврического национального университета (ныне – Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского), лауреатом Государственной премии Автономной Республики Крым в номинации «Наука и научно-техническая деятельность» за серию работ по исследованию биологических эффектов электромагнитного экранирования, лауреатом премии Европейского фонда имени Бенвенисте за цикл работ по электромагнитному экранированию, Соросовским профессором.

В 2007 году Темурьянц Наталья Арменаковна награждена нагрудным знаком Министерства образования и науки Украины «За научные достижения», в 2008 г. удостоена звания «Заслуженный работник образования», в 2011 г. стала победителем конкурса в номинации «Самый продуктивный профессор Таврического национального университета им. В. И. Вернадского».

Ученики, коллеги и друзья скорбят о потере прекрасного человека, отдавшего всю свою жизнь беззаветному служению науке. Память о ней навсегда сохранится в наших сердцах и сердцах всех, кто её знал.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского

Биология. Химия. Том 4 (70). 2018. № 1. С. 5–14.

УДК 597.55 591.492

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ ПЛОТВЫ РАЗЛИЧНЫХ БИОТОПОВ АРГАЗИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Бастанов Р. И., Дерхо М. А.

*ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», Троицк, Россия
E-mail: rasim-bastanov@mail.ru*

Изучены морфологические и биологические характеристики плотвы, приуроченной к различным биотопам Аргазинского водохранилища. Меристические и пластические признаки выявили большую полиморфность стада плотвы на различных биотопах. Отсутствие асимметрии выявлено на биотопах с максимальной конкуренцией. Наибольшие темпы роста были выявлены на биотопах с максимальными показателями кормовой базы. В целом по водохранилищу темпы роста плотвы снижаются по сравнению с прошедшими десятилетиями. Сходный спектр питания плотвы на различных биотопах свидетельствует о пищевых миграциях стада. В то же время разнообразный спектр питания плотвы демонстрирует оптимальные характеристики рациона.

Ключевые слова: плотва, окунь, лещ, морфологические признаки, асимметрия, Аргазинское водохранилище.

ВВЕДЕНИЕ

Особенности внешнего строения и образа жизни рыб отражают особенности трофической структуры и гидродинамики не только водоемов, но и конкретных биотопов, в которых обитают те или иные виды. Для изучения этих особенностей наиболее благоприятными являются большие водоемы с лотическими и лимническими условиями и разнообразным составом ихтиофауны. Аргазинское водохранилище, расположенное на восточном склоне Южного Урала, характеризуется большой площадью (113 км²), является вторым в каскаде водозаборных водохранилищ и испытывает ряд антропогенных нагрузок, также различающихся локально [1; 2]. Водоемы данного типа часто содержат различные по внешнему строению и образу жизни формы популяций рыб [3; 4]. При этом степень полиморфизма у разных видов значительно отличается [5–9]. Плотва обыкновенная характеризуется значительным многообразием форм, в отдельное время выделяемых в подвиды [3; 10]. Целью нашей работы является изучение у плотвы на различных биотопах Аргазинского водохранилища характеристик роста,

питания и особенностей морфологии, среди которых меристические, пластические и асимметричные признаки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании использовался наиболее массовый вид – плотва обыкновенная (*Rutilus rutilus*), являющаяся ядром ихтиоценоза. Обработка собранных в 2016–2017 гг. рыб производилась в свежем и свежемороженом виде. Рыба в течение каждого сезона на протяжении 2 лет собиралась на трех различных биотопах: глубоководной части водоема – профундаль, литоральном участке с зарослями макрофитов и речном участке. На каждом биотопе исследовалось по 30 экземпляров рыб каждого вида одной возрастной группы. Для исследования морфологии использовались 20 пластических и 5 меристических признаков [10]. При асимметрии изучались лучи в парных плавниках. Так как строение тела рыбы по мере роста и наступления половой зрелости меняется, изучение осуществлялось по сходным возрастным группам, достигшим половой зрелости (2–4 года). Исследования биологии рыб проводилось согласно руководству И. Ф. Правдина (1966) [11]. Изучались следующие биологические характеристики: особенности роста и питания. Определение возраста рыб производилось по годовым кольцам на чешуе. Питание рыб исследовалось согласно общепринятой методике [12]. Размеры съеденных организмов определялись с помощью мерной шкалы бинокля МБС-10. Вес пищевых комков – с помощью торсионных весов. Кормовые объекты определялись до вида и рода. Масса и численность отдельных кормовых объектов рыб определялась по общепринятым методикам [13; 14].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Морфология. Наибольшее число позвонков наблюдалось у плотвы из профундали, наименьшее – из речного русла, что может быть обусловлено пониженными температурами в реке, так как известно, что в более холодной и плотной воде число позвонков у различных видов рыб снижается [15]. Число непарных плавников флуктуировало незначительно (табл. 1). Можно отметить несколько большее число лучей в анальном плавнике у рыб из литорального биотопа и значительно меньшее количество лучей в хвостовом плавнике у рыб из речного биотопа. Последнее обстоятельство может объясняться малой динамикой хвостового плавника в обтекании горизонтальных локомоторных волн, так как в реке хвостовой плавник направлен на вертикальную локомоцию [16]. Число лучей в грудных плавниках было несколько выше у рыб из профундали. Асимметрия признаков в виде лучей в парных плавниках проявлялась в большей мере у рыб из профундали и речного русла. У рыб из мелководных литоральных участков асимметрия не выявилась ни в одном из парных плавников, количество лучей было жестко детерминировано. Это может быть обусловлено высокой конкуренцией в богатых по кормовым условиям литоральных участках, где рыбы, уступающие в динамике вертикальных передвижений, отсеивались средой в виде конкурентов и хищников. Здесь следует отметить, что наименьшим ростом отличалась плотва из

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ОСОБЕННОСТИ ...

речного русла, а наибольшим – из литоральных участков (табл. 2). Изучение пластических признаков выявило следующие особенности. Длины всех плавников были выше у рыб из речного русла, что обусловлено относительно меньшими размерами рыб из данного биотопа. Ширина основания анального плавника была выше у рыб из литорального участка, ширина основания хвостового плавника – у рыб из профундали. Более высокая ширина основания анального плавника у рыб литорали может объясняться частыми вертикальными передвижениями, связанными с питанием и передвижением в места укрытия от хищников. Рыбы из речного биотопа отличались относительно большим размером головы, меньшим размером тела и более длинным хвостовым стеблем по сравнению с рыбами из других биотопов.

Таблица 1.

Меристические признаки плотвы из различных биотопов Аргазинского водохранилища (Челябинская область)

Признаки		Число левых	Число правых
Профундаль			
Грудные	Ветвистые	11	11
	Неветвистые	5	5
Брюшные	Ветвистые	8	6
	Неветвистые	1	3
Анальные	Ветвистые	10	
	Неветвистые	1	
Спинной	Ветвистые	10	
	Неветвистые	1	
Хвостовой	Ветвистые	20	
	Неветвистые	6	
Число позвонков	Без уростиля	43	
Литораль			
Грудные	Ветвистые	8	8
	Неветвистые	7	7
Брюшные	Ветвистые	6	6
	Неветвистые	2	2
Анальные	Ветвистые	11	
	Неветвистые	2	
Спинной	Ветвистые	10	
	Неветвистые	1	
Хвостовой	Ветвистые	20	
	Неветвистые	5	
Число позвонков	Без уростиля	42	

Продолжение таблицы 1

Русло			
Грудные	Ветвистые	12	11
	Неветвистые	3	3
Брюшные	Ветвистые	5	8
	Неветвистые	1	2
Анальные	Ветвистые	10	
	Неветвистые	2	
Спинной	Ветвистые	10	
	Неветвистые	2	
Хвостовой	Ветвистые	18	
	Неветвистые	2	
Число позвонков	Без уростиля	40	

Таблица 2.

Пластические признаки плотвы из различных биотопов Аргазинского водохранилища (Челябинская область)

Показатели	Длина, см			% от длины тела		
	Проф.	Лит.	Русло	Проф.	Лит.	Русло
Длина по Смигу	11.2	14,0	8.5	-	-	-
Полная длина	12.5	15,5	10	-	-	-
Длина грудного плавника	1.6	2,2	1.5	12.8	14,2	15
Длина брюшного плавника	1.7	2,2	1.5	13.6	14,2	15
Длина анального плавника	1.8	2,2	1.3	14.4	14,2	13
Длина спинного плавника	2.3	2,8	2.0	18.4	18,0	20
Длина хвостового плавника	2.6	2,3	-	20.8	21,3	-
Ширина основания грудного плавника	0.6	0,4	0.4	4.8	2,6	4
Ширина основания брюшного плавника	0.5	0,4	0.4	4	2,6	4
Ширина основания анального плавника	1.3	2,1	1.0	10.4	13,5	10
Ширина основания спинного плавника	1.5	2,0	1.3	12	12,9	13
Ширина основания хвостового плавника	1.2	1,2	0.8	9.6	7,7	8
Длина рыла	1.0	1,2	0.8	8	7,7	8
Длина головы	2.2	2,7	2.0	17.6	17,4	20
Наибольшая высота головы	2.4	2,8	1.5	19.2	18,0	15

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ОСОБЕННОСТИ ...

Продолжение таблицы 2

Наибольшая высота тела	3.1	3,7	2.4	24.8	23,9	24
Наименьшая высота тела	1.1	1,3	0.8	8.8	8,4	8
Длина хвостового стебля	1.3	2,0	1.3	10.4	12,9	13
Антедорсальное расстояние	5.6	6,3	2.3	44.8	40,6	23
Антеанальное расстояние	7.4	9,3	4.5	59.2	60,0	45
Пектоцентрального расстояние	2.9	2,9	2.5	23.2	18,7	25
Вентроанальное расстояние	2.2	2,3	2.5	17.6	14,8	25

Примечание: Проф. – профундаль, Лит. – литораль.

Рост. Наибольшим ростом отличались рыбы из литорального участка водохранилища, наименьшим – из речных биотопов (табл. 3). Однако наибольший прирост в более поздние годы наблюдался у рыб из профундали. В речных биотопах наибольший прирост наблюдался в возрасте от двух до трех лет. Возрастные группы возрастом более 5 лет составляли небольшую долю промысла, поэтому в наших исследованиях не учитывались. Сеголетки и однолетки также лимитировались орудиями и лова и в промысле отсутствовали полностью. В целом на различных биотопах рост плотвы значительно колеблется, что не учитывалось в предшествующих исследованиях [17]. Однако если взять средние показатели роста плотвы в Аргазинском водохранилище, то можно констатировать снижение темпов роста и увеличение степени тугорослости вида в водоеме.

Таблица 3.

Рост плотвы из различных биотопов Аргазинского водохранилища

	Длина, см	Экземпляр
Литораль		
2+	14	15
3+	16	17
4+	18	15
Речное русло		
2+	8.5	20
3+	12	20
4+	14	20
Профундаль		
2+	11	20
3+	13	20
4+	16	20

Питание. В течение вегетационного сезона питание плотвы было не очень разнообразным. В его составе обнаружены четыре группы беспозвоночных и

растения (табл. 4). На литорали в пищевом комке плотвы доминировали ракообразные, также обнаружены хирономиды и фрагменты растений. В реке уже доминантами были личинки хирономид и моллюски, также попадались ручейники и фрагменты растений. Основу питания плотвы из профундали составляли ракообразные, личинки хирономид и моллюски. Наибольшая доля растений в питании плотвы наблюдалась на литоральных участках, что объясняется относительно большей долей макрофитов и водорослей на данных биотопах. Ракообразные были представлены планктонными формами. Доминантность планктона в питании плотвы на литорали обусловлена высокой продукцией фито- и зоопланктона на данном биотопе. Известно, что данная группа отличается высокой калорийностью, в противовес которой можно поставить высокую долю растений. Таким образом, набор кормовых объектов демонстрирует всеядность плотвы. Сходный спектр питания плотвы на различных биотопах может быть объяснен ее суточными миграциями, что отмечалось другими исследователями в водоемах Челябинской области [18].

Таблица 4.

Питание плотвы из различных биотопов Аргазинского водохранилища

Компонент пищи	Частота встречаемости, %	Доля по массе, %
Литораль		
Ракообразные	60	40
Личинки хирономид	30	50
Растения	30	10
Речное русло		
Ручейники	20	25
Личинки хирономид	40	45
Моллюски	35	25
Растения	5	5
Профундаль		
Ракообразные	30	30
Личинки хирономид	25	30
Моллюски	35	35
Растения	10	5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение морфологических признаков плотвы из различных биотопов показало четкие морфофункциональные различия, характерные для рыб с различным образом жизни. Данная закономерность была также отражена в темпах роста рыб на соответствующих биотопах. При этом, особенности питания в период выборки были сходны, что может объясняться единым режимом питания рыб из различных биотопов в основной нагульный период и детерминацией стад в межсезонье. Элиминация стад может также быть приурочена к межсезонным периодам отлова

рыб и переходу в верхние трофические звенья в виде активизации хищников – щуки и судака. Данное обстоятельство может следовать из данных по отсутствию асимметрии у рыб из литоральных участков, где в межсезонье особо активны хищники. Пластические признаки также демонстрируют большую функциональную пластичность рыб из литоральных участков, выраженную в размерах непарных плавников. Однако на морфофункциональную пластичность также может влиять фаза эмбрионального развития, приуроченная к тому или иному биотопу, которая будет детерминировать полиморфизм уже взрослых рыб вне зависимости от биотопа [19–21]. В целом полиморфизм плотвы из Аргазинского водохранилища позволяет выявлять особенности экологических факторов отдельных биотопов, влияющих на локальные стада.

Список литературы

1. Нохрин Д. Ю. Химический состав воды ряда водохранилищ Южного Урала / Д. Ю. Нохрин, Ю. Г. Грибовский, Н. А. Давыдова // Вода: химия и экология. – 2011. – № 2. – С. 2–8.
2. Давыдова Н. А. Влияние Карабашского медеплавильного комбината на содержание металлов в рыбе Аргазинского водохранилища / Н. А. Давыдова, Д. Ю. Нохрин, Ю. Г. Грибовский // Вода: химия и экология. – 2012. – № 10. – С. 114–118.
3. Магазов О. А. Морфологическая изменчивость популяций окуня и плотвы в водоёмах Челябинской области / О. А. Магазов // Тезисы докладов XII конференции молодых ученых «Биология внутренних вод: проблемы экологии и биоразнообразия», посвященной 50-летию назначения контр-адмирала, дважды героя Советского Союза И. Д. Папанина директором Института Биологии Внутренних Вод. 23–26 сентября 2002 г. Борок. – 2002. – С. 133.
4. Корляков К. А. Материалы по ихтиофауне озера Смолино, питанию и росту массовых видов рыб / К. А. Корляков, И. А. Ларин, О. А. Магазов // Вестник Челяб. гос. ун-та. Экология. Природопользование. Челябинск. – 2008. – № 17. – С. 121–133.
5. Бочкарев Н. В. Межгодовая изменчивость морфологических признаков у некоторых видов рыб из различных экосистем / Н. В. Бочкарев, В. И. Романов // Вестник северо-восточного научного центра ДВО РАН. – 2009. – № 1. – С. 49–56.
6. Антонов А. Л. Морфо-экологические особенности тупорылого ленка *Brachymystax tumensis* Mori, 1930 из озера Букувского (бассейн р. Онон) / А. Л. Антонов // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. – 2009. – Т. 2., № 1. – С. 62–65.
7. Журавлев В. Б. Изменение популяционной структуры вида и микроэволюции рыб методами многомерного статистического анализа / В. Б. Журавлев // Известия Алтайского государственного университета. – 2011. – № 3. – С. 077–082.
8. Злотник Д. В. Современное состояние стада и морфологическая характеристика леща *Abramis brama* (L.) из р. Чулыма (бассейн р. Оби) / Д. В. Злотник, В. И. Романов // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. – 2015. – № 1(34). – С. 132–137.
9. Алексеева Я. И. О происхождении ряпушки на Соловецких островах: архивные документы в исследовании микроэволюции / Я. И. Алексеева, А. А. Махров // Природа. – 2017. – № 7. – С. 37–46.
10. Атлас пресноводных рыб России / [под ред. Ю. С. Решетникова] – М.: Наука, 2002. – Т. 1–2. – 378 с.
11. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб / И. Ф. Правдин. – М.: Пиш. пром., 1966. – 376 с.
12. Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях. – М.: Наука, 1974. – 254 с.
13. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах: зообентос и его продукция. – Л.: ГосНИОРХ, 1984. – 51 с.
14. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах: зоопланктон и его продукция. – Л.: ГосНИОРХ, 1984. – 33 с.

15. Решетников Ю. С. Экология и систематика сиговых рыб / Ю. С. Решетников. – М.: Наука, 1980. – 300 с.
16. Алев Ю. Г. Функциональные основы внешнего строения рыбы / Ю. Г. Алев. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 247 с.
17. Магазов О. А. Биология и промысловое значение плотвы *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758) Аргазинского водохранилища / О. А. Магазов, К. А. Дубчак // Вестник Челяб. гос. ун-та. Экология. Природопользование. Челябинск. – 2008. – № 17. – С. 121–133.
18. Магазов О. А. Морфо-биологическая характеристика плотвы и окуня водоемов Челябинской области / О. А. Магазов, К. А. Дубчак // Вестник Челябинского государственного университета. Серия «Биология». – 2005. – С. 28–31.
19. Варнавская Т. И. Некоторые особенности морфологии и физиологии рыб в экспериментальных условиях / Т. И. Варнавская, В. П. Кулаченко, Ю. Н. Литвинов // Материалы международной студенческой научной конференции, Белгород, 31 марта – 01 апреля 2015 г. – 2015. – 116 с.
20. Иванков В. Н. Межпопуляционная морфологическая изменчивость у живородящей морской иглы *Syngnathus acusimilis* Gunther, 1873 (Teleostei: Syngnathidae) / В. Н. Иванков, Е. В. Иванкова, Е. Э. Борисовец, Д. И. Вышкварцев // Биология моря. – 2013. – Т. 39., № 5. – С. 339–347.
21. Корляков К. А. Продукционная и паразитологическая характеристика чужеродных короткоцикловых рыб водоемов восточного склона Южного Урала / К. А. Корляков, К. А. Дубчак // Экология. – 2010. – № 4. – С. 312–316.

MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS AND THE BIOLOGY OF ROACH OF DIFFERENT HABITATS ARGAZINSKOE RESERVOIR (CHELYABINSK REGION)

Bostanov R. I., Derkho M. A.

***Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «South Ural State Agrarian University», Troitsk, Russia
E-mail: rasim-bastanov@mail.ru***

Morphological and biological characteristics of roach, are confined to different habitats Argazinskoe reservoir. From meristic signs the number of beams in thoracic, abdominal, anal, spinal, caudal fins and the number of vertebrae were used. Asymmetry of the signs in the number of rays in the thoracic and abdominal fins was also studied. Branched and non-branched rays were counted. Of plastic signs were made for the measurements: the length and width of paired and unpaired fins, the length of the snout and head, the highest head height, maximum and minimum body height, length of caudal peduncle, distance between fins. Because the structure of the fish body growth and puberty changes, the study was carried out on similar age groups, the age of sexual maturity (2–4 years). The following biological characteristics were studied: features of growth and nutrition. The age of the fish was determined by the annual rings on the scales. The food of fishes were studied qualitatively and quantitatively. Sizes eaten by the organisms was determined using the measuring scale of the binocular microscope MBS-10. Weight food lumps with the help of torsion balance. Feed items were determined to the species and genus. Features of morphology and biology were studied at different Limnology and hydrodynamics habitats: Litoral, profundal, riverbed. Myristicaceae and plastic signs have revealed a large polymorphism of the herd of roaches to different habitats. The number of vertebrae and of rays in the pectoral fins was slightly higher in

fish from profoundly. Asymmetry of signs in the form of rays in paired fins are also manifested to a greater extent in fish from profundal and the river bed. Lack of asymmetry was revealed on biotopes with maximal competition. The highest rates of growth were found on biotopes with the highest rates of fodder base – littoral. On the littoral area in the food lump of roach was dominated by crustaceans, chironomid and also discovered fragments of plants. The river is already dominant were larvae of chironomids and molluscs were also caught caddisflies and fragments of plants. The basis of nutrition of roach from profundal were crustaceans, larvae of chironomids and molluscs. The largest share of plants in the diet of the roach was observed in the littoral sites, which is explained by the relatively greater share of macrophytes and algae in these biotopes. At the same time, the peculiarities of feeding in the period of samples were similar, which can be explained by a single regime of feeding fish from different biotopes in the main feeding period and the determination of herds in the off-season. Elimination of herds can also be timed to coincide with off-season periods of catching fish and transition to the upper trophic links in the form of activation of predators – pike and pike perch. This fact may follow from the absence of asymmetry in the fishes of the intertidal areas, where in the offseason, especially active predators. Plastic features also demonstrate greater functional plasticity of fish from the littoral areas, expressed in the size of unpaired fins. However, the morphofunctional plasticity can also be influenced by the embryonic development phase associated with a particular biotope, which will determine the polymorphism of adult fish regardless of the biotope. Polymorphism of roach from Argazinskoe reservoir allows you to identify features of ecological factors of individual habitats that affect local herds. In General, the growth rate of roach in the reservoir is decreasing compared to the previous decades. Similar to the range of food of roach in different habitats indicates food migrations of herds. At the same time, a diverse range of roach nutrition demonstrates optimal characteristics of the diet.

Keywords: roach, perch, bream, morphological features, asymmetry, Argazinskoe reservoir.

References

1. Nokhrin D. Yu., Gribovskaya Yu., Davydova N. The chemical composition of water number of water reservoirs in South Ural, *Water: chemistry and ecology*, **2**, 2 (2011).
2. Davydova N. A. Nokhrin D. Yu., Gribovskay Yu. G. Effect of the Karabash copper-smelting plant on the content of metals in fish Argazinskoe reservoir, *Water: chemistry and ecology*, **10**, 114 (2012).
3. Magazov O. A. Morphological variability of populations of perch and roach in the water bodies of the Chelyabinsk region, *Abstracts of XII conference of young scientists "Biology of inland waters: problems of ecology and biodiversity" dedicated to the 50th anniversary of the appointment of rear Admiral, twice hero of the Soviet Union I. D. Papanin Director of the Institute of Biology of Inland Waters. On 23-26 September 2002*, 133 (Borok, 2002).
4. Korlakov K. A., Larin I. A., Magazov O. A. Materials on the ichthyofauna of the lake Smolino, nutrition and growth of common fish species, *Vestnik Chelyab. state University, Ecology. The use of natural resources*, **17**, 121 (Chelyabinsk. 2008).
5. Bochkarev N. In., Romanov V. I., Interannual variability of morphological characters in some species of fish from different ecosystems, *Vestnik of North-East scientific center DVO ran.*, **1**, 49 (2009).
6. Antonov A. L. Morphological and ecological peculiarities of roundnose lenok *Brachymystax tumensis* Mori, 1930 from the lake Balakovskogo (basin of the river Onon), *News of Irkutsk state University. Series: Biology. Ecology*, **2**, 1, 62 (2009).

7. Zhuravlev V. B. Changes in population structure and microevolution of fishes by methods of multivariate statistical analysis, *News of Altai state University*, **3**, 077 (2011).
8. Zlotnik D. V., Romanov V. I. Modern state of the herd and morphological characteristics of the bream *Abramis brama* (L.) from the river Chulym river (Ob river basin), *Vestnik of Novosibirsk state agrarian University*, **1**, 34, 132 (2015).
9. Alekseeva Y. I., Makhrov A. A., On the origin of vendace on the Solovetsky Islands: archival documents in the study of microevolution, *Nature*, **7**, 37 (2017).
10. *Atlas of freshwater fishes of Russia*, **1-2**, 378 (Moscow: Nauka, 2002).
11. Pravdin I. F. *Manual on fish study*, 376 (M.: Pisz. prom., 1966).
12. Methodological guide for the study of food and food relations of fish under natural conditions, 254 (M.: Nauka, 1974).
13. Methodical recommendations on collection and processing of materials in hydrobiological studies on freshwater bodies: the zoobenthos and its production, 51 (Leningrad: GosNIORKh, 1984).
14. *Methodical recommendations on collection and processing of materials in hydrobiological studies on freshwater bodies: zooplankton and its production*, 33 (Leningrad: GosNIORKh, 1984).
15. Reshetnikov Y. S. *Ecology and taxonomy of white fish*, 300 (M.: Nauka, 1980).
16. Aleev Yu. G. Functional basis of the external structure of the fish. M.: Izd-vo an SSSR, 247 (1963).
17. Magazov O. A., Dubchak C. A. Biology and commercial importance of the roach *Rutilus Rutilus* (Linneaus, 1758) Argazinskoe reservoir, *Vestnik Chelyab. state University, Ecology. The use of natural resources. Chelyabinsk*, **17**, 121 (2008).
18. Magazov O. A., Dubchak C. A. Morpho-biological characteristics of roach and perch reservoirs of the Chelyabinsk region, *Bulletin of the Chelyabinsk state University. Series biology*, 28 (2005).
19. Varnavskay T. I., Kulachenko V. P., Litvinov Y. N. Some features of the morphology and physiology of fish in experimental conditions, *Materials of international student conference, Belgorod*, 31 March-01 April, 116 (2015).
20. Ivankov V. N., Ivankova E., Borisovets E. E., Vyshkvartsev D. I. Interpopulation morphological variation reportaway pipefish *Syngnathus acusimilis* Gunther, 1873 (Teleostei: Syngnathidae), *Sea Biology*, **39**, 5, 339 (2013).
21. Korlakov K. A., Dubchak C. A. Production and parasitological characteristics of the alien swing of fish ponds on the Eastern slope of the southern Urals, *Ecology*, **4**, 312 (2010).

УДК 619:615.357:636.22/.28

ДИНАМИКА ТИРОКСИНА В КРОВИ ТЕЛОЧЕК РАЗНЫХ ПОРОД ПОСЛЕ НАГРУЗКИ НА ЩИТОВИДНУЮ ЖЕЛЕЗУ ТИРЕОТРОПНЫМ ГОРМОНОМ

Еременко В. И.¹, Ротмистровская Е. Г.²

¹*Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И. И. Иванова, Курск, Россия*

²*Курский государственный медицинский университет, Курск, Россия*

E-mail: vic.eriomenko@yandex.ru

Более глубокое изучение функциональных резервов эндокринных желез в ранние периоды онтогенеза позволит выявить животных с высоким и низким потенциалом синтеза гормонов. Особенно важными эти результаты являются для разработки тестов раннего прогнозирования будущей продуктивности крупного рогатого скота разного направления их продуктивности, т. е. молочной или мясной. В связи с этим была поставлена задача изучить функциональные резервы щитовидной железы после нагрузки тиреотропным гормоном у крупного рогатого скота трех пород разного направления продуктивности. Объектом исследования были телочки голштинизированной черно-пестрой породы (молочное направление), симментальской (комбинированное направление), абердин-ангусской (мясное направление) и помеси симментальской и абердин-ангусской пород.

Все подопытные группы телочек были аналогами по возрасту. Условия выращивания телочек были одинаковыми и соответствовали их нормам кормления и условиям содержания.

С целью определения функциональных резервов щитовидной железы телочкам на 3,6 и 12 месяцах внутримышечно вводили тиреотропный гормон (ТТГ) на физрастворе в дозе 0,5 ед./кг живой массы тела. Кровь отбирали из хвостовой вены перед введением ТТГ и через 0,5, 1 и 2 часа. Для количественного определения концентрации тироксина в сыворотке крови использовался метод иммуноферментного анализа. Коэффициент активности тироксина ($K_{\text{атг}}$) рассчитывали по формуле:

$$K_{\text{атг}} = \frac{T_1 - T_0}{T_0}$$

T_0 – базальный уровень тироксина до введения ТТГ;

T_1 – уровень тироксина через 2 часа после введения ТТГ.

Как показали исследования, у голштинизированной черно-пестрой породы $K_{\text{атг}}$ по T_4 в 3, 6 и 12 месяцев составил 0,34; 0,51 и 0,56 соответственно. У симментальской породы этот коэффициент составил 0,37; 0,59 и 0,60 соответственно. У абердин-ангусской породы – 0,22; 0,40 и 0,38. У помесей он составил 0,24; 0,45 и 0,42 соответственно. Таким образом, установлено, что более высокими функциональными резервами щитовидной железы обладают животные голштинизированной черно-пестрой и симментальской пород, у животных абердин-ангусской породы и у помесей этот показатель был ниже.

Ключевые слова: породы, телочки, тиреотропный гормон, тироксин, коэффициенты активности тиреоидных гормонов ($K_{\text{атг}}$) по тироксину.

ВВЕДЕНИЕ

Изучением биохимической изменчивости внутри одного вида у животных в нашей стране и за рубежом начали заниматься относительно недавно [1–6]. Особенно мало изученной является эндокринная система крупного рогатого скота,

которой принадлежит ключевая роль в регуляции обмена веществ и продуктивности животных. Как известно, по уровню гормонов в крови не всегда объективно можно судить о функциональном состоянии эндокринной железы, поэтому в классической эндокринологии используют методы функциональных нагрузок, позволяющие выявить максимально потенциальные возможности железы [6; 7]. Особенно эти резервы эндокринные железы реализуют в напряженные периоды онтогенеза, такие как беременность, лактация, стрессы и т. д. [1].

В связи с этим более глубокое изучение функциональных резервов эндокринных желез в ранние периоды онтогенеза позволит выявить животных с высоким и низким потенциалом синтеза гормонов. Особенно важными эти результаты являются для разработки тестов раннего прогнозирования будущей продуктивности скота разного направления, т.е. молочной или мясной. В связи с этим была поставлена задача изучить функциональные резервы щитовидной железы после нагрузки тиреотропным гормоном у крупного рогатого скота трех пород разного направления продуктивности: голштинизированной черно-пестрой (молочное направление), симментальской (комбинированное направление), абердин-ангусской (мясное направление) и помесей симментальской и абердин-ангусской.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Научно-хозяйственные опыты проводили на молочных комплексах Курской области. Объектом исследований были телочки голштинизированной черно-пестрой породы, симментальской, абердин-ангусской и помесные телочки симментальской и абердин-ангусской.

Все подопытные группы телочек были аналогами по возрасту: от 3-х до 12-месячного возраста. Условия выращивания телочек были одинаковыми и соответствовали их нормам кормления и условиям содержания. С целью определения функциональных резервов щитовидной железы телочкам на 3,6 и 12 месяцах внутримышечно вводили тиреотропный гормон (ТТГ) на физрастворе в дозе 0,5 ед./кг живой массы тела. Кровь отбирали из хвостовой вены перед введением ТТГ и через 0,5, 1 и 2 часа. Для количественного определения концентрации тироксина в сыворотке крови использовался метод иммуноферментного анализа.

Коэффициент активности тиреоидных гормонов ($K_{\text{атг}}$) рассчитывали по формуле:

$$K_{\text{атг}} = \frac{T_1 - T_0}{T_0} \quad [6]$$

T_0 - базальный уровень тироксина до введения ТТГ;

T_1 - уровень тироксина через 2 часа после введения ТТГ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Данные по тироксину, после проведения функциональной нагрузки ТТГ на щитовидную железу у 3-х месячных телочек, представлены на рисунке 1.

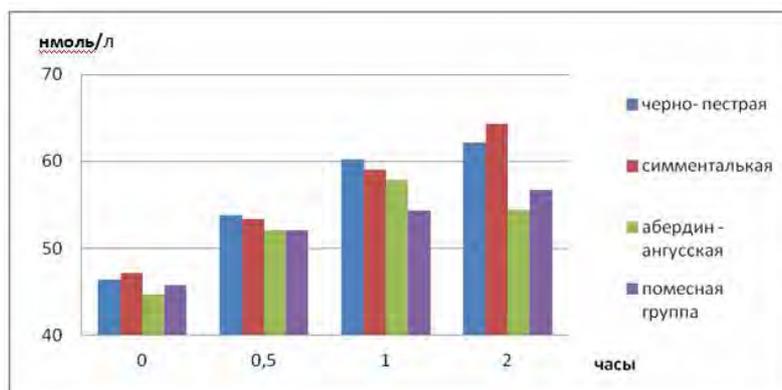


Рис. 1. Динамика тироксина в крови 3-месячных телочек после нагрузки ТТГ

Из данных, приведенных на рисунке 1, мы видим, что базальный уровень тироксина у телочек симментальской породы равен $47,1 \pm 1,7$ нмоль/л. Незначительно ниже этот показатель тироксина был зафиксирован у черно-пестрых телочек и равен $46,4 \pm 1,4$ нмоль/л. У помесных телочек он был на уровне $45,75 \pm 2,5$ нмоль/л, у телочек абердин-ангусской породы – $44,7 \pm 2,3$ нмоль/л. Анализ динамики содержания в крови тироксина по всем группам свидетельствует о том, что уровень тироксина через 2 часа после введения ТТГ у подопытных пород различается. Разница между уровнем тироксина у телочек симментальской породы и абердин-ангусской составила более 15 %. Расчет коэффициента активности тироксина по формуле, приведенной в материалах и методах исследования, свидетельствует о том, что телочки симментальской породы имеют более высокий Катг по T_4 равный 0,37, чем помесные телочки 0,24. Первая группа черно-пестрой породы имела коэффициент 0,34, а третья группа абердин-ангусской породы имела 0,22. С целью проверки сохранения потенциальных резервов щитовидной железы этим же телочкам была проведена повторная нагрузка ТТГ в 6-месячном возрасте. Результаты исследований приведены на рисунке 2.

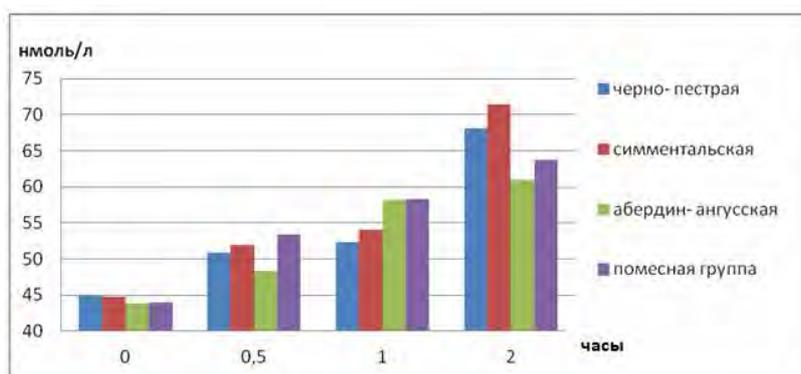


Рис. 2. Динамика тироксина в крови 6-месячных телочек после нагрузки ТТГ

Из приведенных данных видно, что характер изменения тироксина под влиянием ТТГ имеет такую же тенденцию, как и в трехмесячном возрасте.

Через 2 часа после введения ТТГ наиболее высокий уровень тироксина был зафиксирован в группе у симментальских телочек и составлял $71,08 \pm 2,3$ нмоль/л. Расчет $K_{атг}$ показал, что у черно-пестрой породы он составил 0,51, у симментальской породы – 0,59, у абердин-ангусской породы – 0,40, у помесной группы – 0,45.

Из приведенных данных видим, что наиболее высокими коэффициентами активности обладали помесные телочки. Повышение $K_{атг}$ в 6-ти месячном возрасте во всех четырех подопытных группах, видимо, связано с тем, что с возрастом повышаются функциональные резервы щитовидной железы, но в разной степени в зависимости от породной принадлежности животных.

К моменту достижения 12-ти месячного возраста были проведены повторные нагрузки ТТГ на щитовидную железу, такие же, как в 3- и 6-месячном возрасте. Данные приведены на рисунке 3.

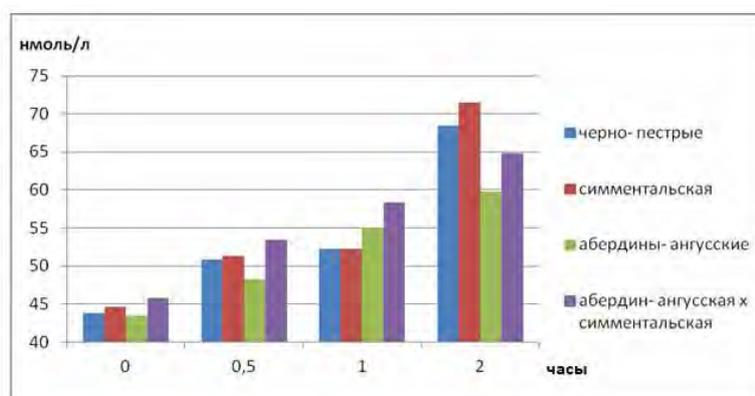


Рис. 3. Динамика тироксина в крови 12-месячных телочек после нагрузки ТТГ

Дальнейшие наблюдения за подопытными животными показали, что базальный уровень тироксина был на примерно одинаковом уровне, как в 3- и 6-месячном возрасте.

Так, через 2 часа после введения ТТГ уровень тироксина у группы симментальских животных был на уровне $71,5 \pm 1,6$ нмоль/л, что на 60,3 % выше базального уровня и на 19,5 % выше, чем у телочек ангусской породы, у которых уровень тироксина в крови был $59,8 \pm 3,6$ нмоль/л.

Расчет $K_{атг}$ у подопытных телочек разных пород составил: у черно-пестрой породы – 0,50, у симментальской породы – 0,60, у абердин-ангусской породы – 0,38, у помесной группы – 0,42. Таким образом, более высокими функциональными резервами щитовидной железы обладают животные симментальской и голштинизированной черно-пестрой породы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Введение тиреотропного гормона в дозе 0,5 ед/кг вызывало гиперфункцию щитовидной железы. При этом максимальный уровень тироксина в крови телочек в 3, 6 и 12-ти месячном возрасте наблюдался через 2 часа после его введения. Абсолютные величины уровня тироксина в крови телочек зависели от их породной принадлежности. Более высокими ответными реакциями на введение ТТГ обладали телочки черно-пестрой голштинизированной и симментальской породы. Относительно менее низкими ответными реакциями обладали животные, принадлежащие к абердин-ангусской породе и помеси. По нашему мнению, выявленные различия связаны с генетическими особенностями изучаемых пород животных.

Список литературы

1. Еременко В. И. Функциональные резервы эндокринной системы в прогнозировании молочной продуктивности / В. И. Еременко. – Курск: Изд-во Курск. Гос. С.-х. ак., 2010. – 194 с.
2. Еременко В. И. Функциональные резервы щитовидной железы и коры надпочечников у лактирующих коров черно-пестрой породы разного генетического происхождения / В. И. Еременко, В. П. Полянский // Вестник Курской сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 2. – С. 94–96.
3. Еременко В. И. Функциональные резервы щитовидной железы и коры надпочечников у телят, полученных от коров черно-пестрой породы разного генетического происхождения / В. И. Еременко, В. П. Полянский // Вестник Курской сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 5. – С. 60–62.
4. Еременко В. И. Гормональный статус у телят, полученных от коров черно-пестрой породы разного генетического происхождения / В. И. Еременко, В. П. Полянский // Вестник Курской сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 3. – С. 62–64.
5. Blum J. W. Thyroid hormones blood metabolites an haematological parameter in relationship to milk yield in dairy cows / Blum J. W. et al. // Anim. Product. – 1983. – Vol. 36, № 1. – S. 43–60.
6. Радченков В. П. Эндокринная регуляция роста и продуктивности сельскохозяйственных животных / В. П. Радченков, В. А. Матвеев, Е. В. Бутров, Е. И. Буркова // М.: Агропромиздат. – 1991. – С. 117–118.
7. Алешин Б. В. Гипоталамус и щитовидная железа / Б. В. Алешин, В. И. Губский. – М.: Медицина, 1983. – 184 с.

DYNAMICS OF THE CONTENT OF THYROXINE IN THE BLOOD OF HEIFERS OF DIFFERENT BREEDS AFTER LOAD ON THE THYROID GLAND THYROID-STIMULATING HORMONE

Eremenko V. I., Rotmistrovska E G.

*Kursk state agricultural Academy named after I. I. Ivanov, Kursk, Russia
Kursk state medical University, Kursk, Russia
E-mail: vic.eriomenko@yandex.ru*

A deeper study of functional reserves of the endocrine glands in the early stages of ontogenesis will help to identify animals with high and low potential for the synthesis of hormones. These are important results are the development of tests for early prediction of

future productivity of cattle in different areas of their productivity, i.e. milk or meat. In this regard, the task was to study the functional reserves of the thyroid after exercise thyroid-stimulating hormone in cattle of three breeds of different productivity. The object of the study was gostinichnoe heifers black-motley breed (dairy), Simmental (combined direction), Aberdeen Angus (beef variety) and hybrids of Simmental and Aberdeen Angus breeds. All experimental groups of heifers were analogues of age. The conditions of the farming heifers were similar and consistent with their standards of feeding and management conditions. To determine functional reserves of the thyroid gland of Chicks at 3, 6 and 12 months intramuscularly injected thyrotropic hormone (TSH) in saline at a dose of 0.5 units/kg of body weight. Blood was sampled from the tail vein before administration of TSH and after 0.5, 1 and 2 hours. For the quantitative determination of the concentration of thyroxine in serum was used the method of enzyme immunoassay. The activity coefficient of thyroxine (KatG) was calculated with the formula:

$$\text{Catg} = (T1 - T0) / T0$$

T0 is the basal level of thyroxine prior to the introduction of TSH.

T1 – the level of thyroxine in 2 hours after administration of TSH.

As shown by studies in gostinichnoe of black-motley breed, KatG at T4 in 3, 6 and 12 months amounted to 0.34; 0,51 and 0,56 respectively. From the Simmental breed, this coefficient was 0.37; and 0,59 0,60 respectively. The Aberdeen – Angus breed - of 0.22, and 0.40 and 0.38. Hybrids it was 0.24; of 0.45 and 0.42, respectively. Thus, it is established that the higher functional reserves of the thyroid gland have gostinichnoe animals of black-motley and Simmental breeds, animals of the Aberdeen – Angus breed and hybrids, the figure was lower.

Keywords: breed, heifers, thyroid stimulating hormone, thyroxine, activity coefficients of thyroid hormones (KatG) thyroxine.

References

1. Eremenko V. I. *The functional reserves of the endocrine system in MO forecast productivity*, 194 (Kursk: publishing house of the Kursk. Gas. S.-H. AK. 2010).
2. Eremenko V. I., Polyansky V. P. The functional reserve of the thyroid gland and adrenal glands in lactating Kors Kors black-and – pastry breed of different genetic origin, *Vest Curse of the agricultural Academy*, **2**, 94 (2012).
3. Eremenko V. I., Polyansky V. P. The functional reserve of the thyroid gland and adrenal glands at the base of the slope obtained from the black-and –pastry Kors breed of different genetic origin, *Vest Curse of the agricultural Academy*, **5**, 60 (2012).
4. Eremenko V. I., Polyansky V. P. Hormonal status of tel, derived from a black-and –pastry Kors breed of different genetic origin, *Vest Curse of the agricultural Academy*, **3**, 62 (2013).
5. Blum J. W. et al. Thyroid hormones bloed metabolites an hacmatological parameter in relationship to milk field in dairy cows, *Anim. Product.*, **36**, **1**, 43 (1983).
6. Radchenkov P. V., Matveev V. A., Butrov E. V., Burkova E. I. *Endocrine regulation of growth and productivity of agricultural animals*, 117 (Moscow : Agronomist, 1991).
7. Aleshin B. V., Gubsky V. I. *Hypothalamus and thyroid gland*, 184 (M. Medicine, 1983).

УДК 581.4

ВНУТРИВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ *CORNUS MAS L.* В ПРЕДГОРНОМ КРЫМУ И ПЕРСПЕКТИВА ВВЕДЕНИЯ РАСТЕНИЙ В КУЛЬТУРУ

Жалдак С. Н., Каширина Н. А., Бугара И. А.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: natalia.kashirina.96@mail.ru*

Проанализированы морфо-биологические особенности, сезонный ритм роста, развития и плодоношения *Cornus mas L.* в условиях Предгорной зоны Крыма. В четырех исследуемых популяциях вида выявлен уровень варьирования морфометрических параметров листа и плода, период их роста и развития, даны рекомендации по введению в культуру наиболее перспективных природных форм *Cornus mas L.*

Ключевые слова: *Cornus mas L.*, популяция, морфометрические параметры, фенология.

ВВЕДЕНИЕ

Растительный мир Крыма довольно разнообразен и содержит большое количество дикорастущих плодовых растений, заслуживающих особого внимания. *Cornus mas L.* (Кизил настоящий) с давних времен известен в культуре как ценный источник лекарственного и пищевого сырья, а также как неотъемлемый компонент садово-парковых композиций [1; 2]. Согласно литературным данным [3; 4], вид в пределах природных популяций отличается большим разнообразием форм, что до сих пор является актуальным и открывает большие возможности для дальнейшей селекционной работы при выведении новых хозяйственно-ценных сортов растений.

Целью данного исследования являлось изучение морфолого-биологических особенности *Cornus mas L.* в условиях Предгорной зоны Крыма для последующего выделения наиболее перспективных форм вида в качестве исходного селекционного материала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В природной Крымской флоре *C. mas* встречается в подлеске буковых, дубово-грабовых и дубово-грабинниковых лесов [5]. Чаще всего это кустарники высотой не более 4–8 м с шаровидной, пирамидальной, овальной, зонтиковидной или развесистой кроной [1]. Листья кизила с перистым жилкованием, простые, с супротивным или очередным листорасположением на черешках, цельнокрайние, без прилистников, овальные, ланцетные, яйцевидные с заостренной верхушкой и клиновидным или закругленным основанием [1; 6]. У природных форм длина листовой пластинки варьирует в диапазоне от 3,5 см до 11,0 см, ширина – от 1,0 см до 6,0 см. Цветки актиноморфные, с двойным околоцветником, около 4–5 мм в

диаметре, обоеполые, в цимозных, метелковидных, щитковидных, зонтиковидных или головчатых соцветиях. Андроцей образован 4 (5) тычинками, которые располагаются по краю надпестичного диска и чередуются с лепестками. Плод – нижняя синкарпная костянка разнообразной формы и окраски. Вид устойчив к засушливым условиям местообитания благодаря своим морфо-биологическим особенностям, которые проявляются в формировании на поверхности листовых пластинок, кроющих трихом, и неглубоко залегающей корневой системы [1; 7].

В 2015 году начаты исследования четырех популяций *C. mas*, произрастающих в различных районах Предгорной зоны Крыма. Изучение популяций растений проводили согласно стандартным методам геоботанических исследований [8]. Каждая исследуемая популяция была представлена особями в генеративном возрастном состоянии. Исследуя внутривидовую изменчивость кизила, в основном обращали внимание на растения с различной жизненной формой и плодами разнообразной формы. Выборка по условиям опыта в пределах популяций составляла в среднем от 15 до 30 особей.

Первая популяция (ПЦ I) (площадью не более 10 га) располагалась в окрестностях г. Белогорска, на территории государственного заказника Кубалач, находящегося в окружении сел Русское, Радостное и Тополевка. Популяция в количестве 35 особей *C. mas* произрастает совместно с *Corylus avellana*.

Вторая популяция (ПЦ II) была взята для наблюдения в районе села Большое Садовое на левом берегу реки Бельбек. Популяция в количестве 153 экземпляров *C. mas* предположительного возраста от 80 до 100 лет занимает площадь примерно 2–3 гектара.

Третья группа растений *C. mas* (ПЦ III) произрастает в окрестностях поселка Научный на высоте 550–600 м н.у.м. и представлена 18 экземплярами растений, между которыми одиночно встречаются представители родов *Malus* и *Rugus*.

Последняя, четвертая группа растений *C. mas* (ПЦ IV), произрастает в 5–6 км от с. Плодового (Бахчисарайский район), на западном макросклоне долины реки Альма. Полого спускаясь к реке, растения в количестве 23 экземпляров образуют несколько рядов с *Corylus avellana* и *Prunus avium*.

Морфологический анализ растений *C. mas* проводили по стандартным методикам [6; 7]. При выявлении степени изменчивости морфометрических параметров растений в качестве уровня изменчивости использовали эмпирическую шкалу, предложенную С. А. Мамаевым [9]. В ходе фенологических наблюдений использовалась схема фенологических наблюдений по общепринятой методике Бейдеман [10]. Наблюдение проводилось в течение вегетационного сезона растений с февраля по октябрь каждый год в течение двух лет (2015 г. и 2016 г.), фиксируя следующие фенологические стадии развития: фаза формирования вегетативных органов (набухание и распускание вегетативных почек, облиственение, рост побегов, листопад) и фаза формирования генеративных органов (цветение, формирование и созревание плодов) с периодичностью раз в 20 дней. Все полученные результаты обрабатывались с использованием стандартных методов математической статистики [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Листовая пластинка растений является одним из пластичных органов, представляющим интерес при изучении морфометрических показателей изменчивости растений. Листья различных популяций вида растений значительно отличаются по своим морфометрическим показателям, что может быть связано как с онтогенетическими особенностями, так и с действием внешних факторов [6; 7]. В результате исследования растений популяций *C. mas*, произрастающих в различных районах Предгорной зоны Крыма, был установлен достаточно широкий диапазон варьирования морфометрических параметров листовой пластинки (табл. 1.). Проведенный морфологический анализ выявил наличие в исследуемых популяциях следующие формы листовой пластинки у растений: форма – А) округло-овальная (популяция I–III); форма – В) яйцевидная (популяция I и II); форма – С) ланцетовидная (популяция I–IV). Причем анализ морфометрических показателей листа выявил изменение размера и формы листовой пластинки не только у растений, произрастающих в различных районах исследования, но и в пределах единой популяции.

Длина листа (L_{cp}) у растений также варьировала в диапазоне от $56,2 \pm 2,6$ мм до $97,8 \pm 0,7$ мм, ширина – от $23,9 \pm 1,5$ мм до $49,8 \pm 0,9$ мм (табл. 1.). Минимальная длина листовой пластинки отмечена у растений популяции I (ПЦ I форма – В) *C. mas* в районе г. Белогорска и составила $56,2 \pm 2,6$ мм. Представители этой популяции имели яйцевидную форму листовой пластинки. Крупным размером отличились ланцетовидные листья с удлинено-заостренной верхушкой и клиновидным основанием в популяции II□ (форма – С) (L_{cp} $97,8 \pm 0,7$ мм).

Наиболее важными показателями роста и сезонного развития растений являются начало и окончание периода вегетации, рост побегов, цветение, формирование и созревание плодов [1; 7]. В ходе исследования были выявлены особенности сезонного ритма и роста *C. mas* в условиях Предгорного Крыма. Результаты фенологических наблюдений сезонного развития растений в исследуемых популяциях *C. mas* показали, что продолжительность вегетационного периода растений за два года наблюдений составила в среднем 220–240 дней.

В условиях Предгорного Крыма по данным фенологических наблюдений было установлено, что цветение кизила наступает в середине февраля и продолжается до конца марта. Наиболее раннее цветение было зарегистрировано во второй декаде февраля в популяции □□□, у особей с округло-овальными листовыми пластинками (форма – А) и продолжалось до первой декады марта, наиболее позднее – в популяции □V и длилось с третьей декады февраля до третьей декады марта. В среднем продолжительность цветения во всех популяциях составила 15–20 дней. Запаздывание в сроках цветения растений популяции III в окрестностях пгт. Научный на 6 дней, возможно, связано с высотой расположения изучаемой популяции над уровнем моря.

Формирование плодов *C. mas* началось с первой декады марта и длилось до третьей декады июля, после чего происходило их созревание. Причем в различных популяциях плоды созревали неодновременно. Общая продолжительность периода формирования плодов составила в среднем 120–130 дней. Наиболее раннее

созревание плодов было зафиксировано в популяциях □-□□□ (форма А) – II декада августа, а наиболее позднее – в популяциях I (форма – С) (19. 09. 2015), II (форма – С) (22. 09. 2015), □□□ (форма – С) (24. 09. 2015), □V (форма – С) (29. 09. 2015–2. 10. 2015). Остальные особи *C. mas* популяции I (форма – В) и II (форма – В) по сроку созревания плодов были отнесены к средней группе (период созревания – третья декада августа – вторая декада сентября). Таким образом, в ходе исследования по срокам созревания плодов было выделено 3 группы: ранние, средние и поздние. Интенсивный листопад практически во всех популяциях наступил в третьей декаде сентября и продолжался до конца октября – первой декады ноября.

Таблица 1.
Морфометрические параметры листа и плода *Cornus mas* L.
в Предгорной зоне в Крыму (2015 г.)

Популяция (ПЦ)	Морфометрические параметры ($X_{cp} \pm m_{cp}$)									
	Лист		Плод			Эндокарпий (косточка)			% доля эндокарпия в плоде	
	Длина (L_{cp}) мм	Ширина (B_{cp}) мм	Длина (L_{cp}) мм	Диаметр (D_{cp}) мм	Масса (m_{cp}) г	Длина (L_{cp}) мм	Диаметр (D_{cp}) мм	Масса (m_{cp}) г		
I	A	73,3±0,7	36,3±1,1	13,0±0,1	10,4±0,1	1,1±0,2	10,5±0,1	6,0±0,1	0,22±0,07	20,0
	B	56,2±2,6	23,9±1,5	15,3±0,1	11,0±0,1	1,49±0,09	11,6±0,1	5,81±0,05	0,27±0,05	19,3
	C	80,3±1,0	29,1±0,7	18,1±0,1	12,2±0,3	1,7±0,6	11,5±0,1	5,72±0,03	0,23±0,05	13,5
II	A	63,3±1,3	31,9±1,8	17,2±0,2	11,8±0,1	1,70±0,06	14,5±0,1	5,8±0,1	0,33±0,01	19,8
	B	73,2±2,0	40,1±1,1	14,8±0,2	9,7±0,1	1,08±0,03	12,6±0,1	4,8±0,1	0,25±0,01	23,1
	C	66,4±1,5	26,7±0,9	23,9±0,4	13,6±0,2	2,83±0,01	15,3±0,2	6,3±0,1	0,41±0,01	14,4
III	A	77,4±0,4	49,8±0,9	15,4±0,3	10,9±0,1	1,1±0,4	13,2±0,1	5,7±0,2	0,32±0,03	29,0
	C	97,8±0,7	48,0±1,2	28,8±0,4	15,4±0,4	3,7±0,2	20,01±0,14	8,39±0,09	0,7±0,1	18,9
IV	C	72,2±0,9	38,53±1,09	29,3±0,5	17,1±0,2	4,7±0,6	19,37±0,03	8,33±0,07	0,74±0,04	15,7

В ходе проведения морфологического анализа плодов *C. mas* было установлено варьирование таких морфометрических показателей, как масса плода, форма, размер, доля эндокарпия в % и содержание мякоти. Максимальное значение массы плода отмечено у растений популяции □V (форма – С) и составило $4,7 \pm 0,6$ г

при длине $29,3 \pm 0,5$ мм, минимальное – у представителей популяции II (форма – С) – $1,08 \pm 0,03$ г при длине $14,8 \pm 0,2$ мм (табл.1). На основании проведенного морфологического исследования в популяциях *Cornus mas* было выделено три формы плодов – овальная, бочонкообразная, грушевидная. Растения с плодами овальной формы были найдены в популяциях I–III у растений с округло-овальными листьями (форма – А) и имели ярко-красную окраску. Самые крупные плоды овальной формы со средней массой $1,70 \pm 0,06$ г были встречены у растений в популяции II (форма – А). Процентная доля эндокарпия составила 19,8 % от общей массы плода. Растения раннего срока созревания плодов – середина августа.

Следующая форма плодов – бочонкообразная – была найдена только в двух популяциях – I и II, у растений, имеющих яйцевидную листовую пластинку (форма – В), при созревании приобретающая красно-черную окраску. Средняя масса их составила $1,49 \pm 0,09$ г и $1,08 \pm 0,03$ г, с процентной долей эндокарпия 19,3 % и 23,1 % соответственно. Все особи, независимо от места произрастания *C. mas*, оказались среднего срока созревания плодов (конец августа – середина сентября).

Самые крупные плоды – грушевидной формы – были найдены в популяции IV со средней массой $4,7 \pm 0,6$ г, имели плотный экзокарпий темно-красного цвета. Процентная доля эндокарпия по сравнению с предыдущими представителями была наименьшей при достаточной высокой массе плода и составила 15,7 % от массы плода. Все растения данной группы были позднего срока созревания плодов – конец сентября. Анализируя полученные данные, необходимо отметить, что содержание мякоти в плоде наиболее высокое у растений, произрастающих в районе с. Плодовое и имеющих грушевидную форму плода при достаточно низкой процентной доли косточки в плоде. Выявленная особенность наиболее важна в промышленной переработке кизила и данная форма – С может быть рекомендована для дальнейшего введения в культуру при создании промышленных насаждений вида в Крыму. Вместе с тем плоды достаточно долго держатся на деревьях до полного созревания и осыпаются в малом количестве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В условиях Предгорной зоны Крыма изменчивость морфологических параметров листа и плода установлена не только у растений различных районов исследования, но и в пределах единой популяции *Cornus mas*.
2. На основании морфометрического анализа строения листовой пластинки в исследуемых популяциях *Cornus mas* выявлено три ее формы: округло-овальная, яйцевидная и ланцетовидная. Длины листовой пластинки в популяциях *Cornus mas* варьируют в диапазоне от $56,2 \pm 2,6$ мм (популяция I) до $97,8 \pm 0,7$ мм (популяция III).
3. В исследуемых популяциях *Cornus mas* в Предгорной зоне Крыма по срокам созревания плодов было выделено три группы растений: ранние (II декада августа), средние (III декада августа – II декада сентября) и поздние (III декада сентября).
4. Максимальное значение массы плода отмечено у растений *Cornus mas* популяции IV ($m_{cp} = 4,7 \pm 0,6$ г) с грушевидной формой плодов, позднего срока

созревания (третья декада сентября). Установленная особенность позволяет рекомендовать данную природную форму *Cornus mas* для дальнейшего культивирования и селекционной работы в условиях Предгорной зоны Крыма.

Список литературы

1. Клименко С. В. Кизил на Украине / С. В. Клименко. – К.: Наук. думка, 1990. – 176 с.
2. Рубцов Н. И. Дикорастущие полезные растения Крыма / Н. И. Рубцов // Тр. Никит. бот. сада. – 1971. – 278 с.
3. Тигиева И. Ф. Кизил в условиях естественного произрастания и культуре в Республике Северная Осетия-Алания: диссертация... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.01.07 / И. Ф. Тигиева. – Владикавказ, 2005. – 152 с.
4. Уджуху М. И. Плодоношение, возобновление и селекции кизила в горных лесах Адыгеи: автореферат дис. кандидата сельскохозяйственных наук. Майкоп. гос. технол. ин-т Респ. Адыгея – 06.03.01 / М. И. Уджуху. – Майкоп, 2007. – 163 с.
5. Мишнев В. Г. Учебная практика по геоботанике / В. Г. Мишнев, Л. П. Вахрушева, С. Ф. Котов. – Киев: УМК ВО, 1988. – 93 с.
6. Луговой И. С. Морфолого-анатомическое исследование стебля и почек кизила обыкновенного *Cornus mas* L. семейства Кизиловые / И. С. Луговой и др. // Фармация и фармакология. – 2014. – Вып. 6, № 7. – С. 18–21.
7. Клименко С. В. Кизил в Україні: біологія, вирощування, сорти / С. В. Клименко. – К.: Фітосоціоцентр, 2000. – 92 с.
8. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов; [учеб. пособие 5-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
9. Марковская Е. Ф. Математические методы определения некоторых биометрических показателей у растений: учебник / Е. Ф. Марковская. – Петрозаводск: Ин-т биологии, 1988. – 35 с.
10. Витковский В. Л. Плодовые растения мира / В. Л. Витковский. – СПб.: Лань, 2003. – С. 246–248.
11. Плохинский Н. А. Биометрия / Н. А. Плохинский. – М.: МГУ, 1970. – 367 с.

INTRAVID DIVERSITY *CORNUS MAS* L. IN THE PIEDMONT CRIMEA AND PERSPECTIVE OF ENTERING PLANTS IN CULTURE

Zhaldak S. N., Kashirina N. A., Bugara I. A.

***V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia
E-mail: natalia.kashirina.96@mail.ru***

In the course of the studies, four populations of *Cornus mas* L. were grown, which grow in different regions of the Crimean foothill zone. Morphological and biological features, seasonal rhythm of growth, development, flowering and fruiting of plants in various habitats were analyzed during the research. Morphometric analysis of leaf characteristics revealed a change in the size and shape of the leaf blade in plants, not only from different areas of research, but also growing within a single population. The range of variation in the length of leaf blade in plants was quite wide and varied from $56,2 \pm 2,6$ mm to $97,8 \pm 0,7$ mm, the leaf width varied from $23,9 \pm 1,5$ mm to $49,8 \pm 0,9$ mm. The morphological analysis revealed the presence of the following forms of leaf blade in the

studied populations: shape – A) round-oval (population I-III); form – B) ovoid (population I and II); form – C) lanceolate (population I – IV).

According to the results of phenological observations, a phenospectrum of the seasonal rhythm of plant development was compiled with fixation of all stages of phenological development (the phase of the formation of vegetative and generative organs). The results of phenological studies in *C. mas* populations showed that the vegetative period of plants in two years of observations averaged 220–240 days. Cornflower bloom occurs in the middle of February and lasts until the end of March. Formation of *C. mas* fruit was recorded from the first decade of March and lasted until the third decade of July, after which their maturation took place. And in different populations the fruits ripened non-simultaneously. The total duration of the fruit formation period averaged 120–130 days. In the studied populations of *C. mas*, three groups of plants were distinguished by the maturation of the fruits: early (second decade of August), medium (early September) and late (third decade of September).

In the course of the morphological analysis of the fruits of *C. mas* plants, the morphometric parameters such as the weight of the fetus, the shape, the size, the percentage of the bone and the content of the pulp were varied. The maximum value of fetal mass was noted in plants of population □V (form-C) and amounted to $4,7 \pm 0,6$ g at a length of $29,3 \pm 0,5$ mm, minimal - in representatives of population II (form-C) – $1,08 \pm 0,03$ g at a length of $14,8 \pm 0,2$ mm. On the basis of the morphological study carried out in the populations of *C. mas*, three forms of fruits were identified: oval, barrel-shaped, pear-shaped. The revealed feature is most important in the industrial processing of dogwood and this form – C can be recommended for further introduction into the culture when creating industrial plantations of the species in the Crimea.

Keywords: *Cornus mas* L., population, morphometric parameters, phenology.

References

1. Klimenko S. V. *Kizil na Ukraine [Cornel on Ukraine]*, 176 p. (Kiev, 1990).
2. Rubtsov N. I. Wild plants of Crimea. *Trudy Nikitskogo botanicheskogo sada*, 278 (1971).
3. Tigieva I. F. *Kizil v usloviyakh estestvennogo proizrastaniya i kulture v Respublike Severnaya Osetiya Alaniya* : avtoref. dis. na soisk. uchen. stepeni kandidata boil. nauk, 152 (Vladikavkaz, 2005).
4. Udzhuhu M. I. *Plodonoshenie, vozobnovleniye i seleksii kizila v gornyykh lesakh Adygei* : avtoref. dis. na soisk. uchen. stepeni kandidata boil. nauk, 163 (Maykop, 2007).
5. Mishnev V. G., Kotov S. F., Vakhrusheva L. P. *Uchebnaya praktika po geobotanike*, 33 (1988).
6. Lugovoi I. S. Morphological-anatomical research of the stem and bud of the cornell *Cornus mas* L. Family Cornaceae. *Farmaciya i farmakologiya*, **6** (7), 18-21 (2014).
7. Klimenko S. V. *Kyzyl v Ukraini: biologiya, vyroshchuyannyya, sorty*, 92 (Kyiv, 2000).
8. Dospekhov B. A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezlytatov issledovaniy)*, 351 (Moscow, 1985).
9. Markovskaya E. F. *Matematicheskie metody opredeleniya nekotorykh biometrycheskih pokazateley u rasteniy*, 35 (Petrozavodsk, 1988).
10. Vitkovskiy V. L. *Fruit plants of the world*, 246-248 (2003).
11. Plokhinskiy N. A. *Biometriya*, 367 (Moscow, 1970).

УДК 577. 112:612

**ПРОЦЕССЫ ПЕРОКСИДАЦИИ ЛИПИДОВ И АКТИВНОСТЬ
АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ В ЭРИТРОЦИТАХ В УСЛОВИЯХ
МОДЕЛИРОВАНИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА IN VITRO**

Коношенко С. В.¹, Кухарик О. Н.¹, Елкина Н. М.², Мирмуминова З. М.³

¹*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия*

²*Медицинская академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия*

³*ГБУЗ РК «Центр крови», Симферополь, Республика Крым, Россия*
E-mail: nataleiolkina@gmail.com

Показано, что в условиях моделирования окислительного стресса in vitro (среда Фентона) в эритроцитах усиливаются реакции пероксидации липидов, что подтверждается снижением содержания общих липидов и повышением уровня первичных и вторичных продуктов перекисного окисления липидов как в мембранах, так и в гемолизате эритроцитов. Вместе с этим, в гемолизате эритроцитов снижается активность каталазы и возрастает активность глутатионредуктазы. Рассматривается возможность развития в эритроцитах адаптивно-компенсаторных процессов в ответ на инициирование окислительных реакций с участием активных форм кислорода.

Ключевые слова: эритроциты, окислительный стресс, среда Фентона, пероксидация липидов, антиоксидантные ферменты: каталаза, глутатионредуктаза.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблема окислительного стресса, сопровождающего многие заболевания внутреннего характера, является одной из наиболее важных в современной биологии и медицине [1–3]. До сих пор остается до конца нерешенным вопрос о роли окислительного стресса в развитии патологии и о тех деструктивных процессах, которые осуществляются на клеточном и молекулярном уровнях под действием активных форм кислорода (АФК) как радикальной, так и нерадикальной природы.

Мишенью действия АФК являются различные органические соединения, в частности липидные компоненты клеток [4]. Усиленное генерирование АФК – характерная особенность окислительного стресса, причина развития которого, по имеющемуся в литературе представлению, – нарушение прооксидантно-антиоксидантного равновесия [4].

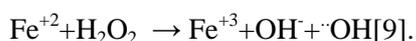
Вместе с этим накопилось достаточно много данных, свидетельствующих о вовлечении в патологический процесс эритроцитов при сердечно-сосудистых, гематологических и других заболеваниях [5–8].

Представляется важным понять, какие молекулярные механизмы реализуются в эритроцитах в ответ на окислительный стресс, могут ли они иметь адаптивный характер и быть направлены на поддержание структурного и функционального состояния эритроцитов.

В связи с этим целью настоящей работы было изучение процессов перекисного окисления липидов и активности отдельных антиоксидантных ферментов в эритроцитах в условиях моделирования окислительного стресса *in vitro*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследований служили эритроциты практически здоровых людей (15 человек в возрасте от 35 до 40 лет). Моделирование окислительного стресса осуществляли, используя среду Фентона, содержащую 10мМ FeSO₄ * 7H₂O и 3мМ H₂O₂. Эритроциты помещали в среду Фентона (в соотношении 1:1) и инкубировали в течение 4 часов при 4°C. Среда Фентона характеризуется способностью активно генерировать АФК радикальной природы. Реакция Фентона является пусковой в этом процессе:



Контролем служили эритроциты, которые не были инкубированы в данных условиях.

Кровь практически здоровых людей брали на базе ГБУЗ РК «Центр крови» (г. Симферополь).

Эритроциты гемолизировали, добавляя равный объем дистиллированной воды [10]. Мембраны отделяли от гемолизата последовательным центрифугированием при 3000 об/мин. В мембранах и гемолизате эритроцитов определяли содержание общих липидов [11], а также первичных [4] и вторичных (ТБК-активных) продуктов перекисаии липидов (ПОЛ) [12]. В гемолизате эритроцитов определяли также активность каталазы [13] и глутатион-редуктазы [14]. Все исследования проводили с использованием спектрофотометрических методов биохимического анализа. Полученные данные обрабатывали статистически с применением t-критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали результаты исследований, при инкубации эритроцитов в среде Фентона, продуцирующей активные формы кислорода, в эритроцитах практически здоровых людей наблюдается снижение содержания общих липидов: на 31 % в мембранах и в 2,0 раза – в гемолизате (табл. 1). В этих условиях снижение содержания общих липидов сопровождается существенным повышением уровня как первичных, так и вторичных продуктов ПОЛ (табл. 2, 3). Так, в мембранах эритроцитов содержание первичных продуктов ПОЛ повышалось в 26,5 раза, а в гемолизате – в 12,9 раза по сравнению с контролем. Содержание вторичных (ТБК-активных) продуктов повышалось в 3,2 раза в мембранах и в 7,7 раза в гемолизате эритроцитов.

Таблица 1
Содержание общих липидов в мембранах и гемолизате эритроцитов в условиях моделирования окислительного стресса (M±m)

Объект исследования	Мембраны	Гемолизат
	Содержание общих липидов, мг/мл	Содержание общих липидов, мг/мл
Контроль (эритроциты до инкубации в среде Фентона)	1,09±0,15	1,57±0,19
Эритроциты после инкубации в среде Фентона (4 часа)	0,75±0,07*	0,77±0,07*

Примечание: * – достоверность различия показателя по сравнению с контролем (p<0,05).

Таблица 2
Содержание первичных продуктов пероксидации липидов в мембранах и гемолизате эритроцитов в условиях моделирования окислительного стресса (M±m)

Объект исследования	Мембраны	Гемолизат
	Первичные продукты ПОЛ, усл.ед/мг липидов	Первичные продукты ПОЛ, усл.ед/мг липидов
Контроль (эритроциты до инкубации в среде Фентона)	0,30±0,02	0,33±0,02
Эритроциты после инкубации в среде Фентона (4 часа)	7,94±1,02*	4,25±0,43*

Примечание: * – достоверность различия показателя по сравнению с контролем (p<0,05).

Таблица 3
Содержание вторичных продуктов пероксидации липидов в мембранах и гемолизате эритроцитов в условиях моделирования окислительного стресса (M±m)

Объект исследования	Мембраны	Гемолизат
	ТБК- активне продукты ПОЛ, усл.ед/мг липидов	ТБК- активне продукты ПОЛ, усл.ед/мг липидов
Контроль (эритроциты до инкубации в среде Фентона)	0,19±0,05	0,043±0,003
Эритроциты после инкубации в среде Фентона (4 часа)	0,61±0,1*	0,33±0,06*

Примечание: * – достоверность различия показателя по сравнению с контролем (p<0,05).

Наиболее выраженные изменения показаны для первичных продуктов ПОЛ, что прослеживается как в мембранах, так и в гемолизате эритроцитов. Этот факт заслуживает определенного внимания и позволяет сделать предположения о возможности реализации в эритроцитах некоторого механизма, направленного на сдерживание превращения первичных продуктов ПОЛ во вторичные, которые, как известно из литературы [9], представляют гораздо большую опасность для клеток, взаимодействуя с молекулами протеинов и влияя на их структуру и функции.

Обращает на себя внимание и другой факт, связанный с изменением содержания общих липидов в мембранах и гемолизате эритроцитов. Из полученных данных следует, что изменения в содержании общих липидов и продуктов ПОЛ в мембранах и гемолизате эритроцитов имеют реципрокный характер. Это позволяет сделать предположение, что в условиях окислительного стресса в мембранах активируются процессы репаративного характера за счет липидных компонентов цитозоля, чем и можно объяснить более выраженное снижение содержания общих липидов в гемолизате по сравнению с мембранами эритроцитов. В целом в условиях моделирования окислительного стресса *in vitro* в мембранах эритроцитов процессы пероксидации липидов осуществляются более активно, чем в цитозоле, что объясняется непосредственным контактом мембран со средой, продуцирующей АФК.

При изменении активности ферментов антиоксидантной системы были получены данные, представленные в табл. 4. Как показали результаты исследований, при инкубации эритроцитов в среде Фентона в гемолизате эритроцитов снижается активность каталазы (в 1,7 раза по сравнению с контролем) и, вместе с этим, повышается активность глутатионредуктазы (в 1,4 раза). Уменьшение активности каталазы в эритроцитах в условиях окислительного стресса является отрицательным фактором, так как снижает возможности разложения пероксида водорода – проводника большинства реакций генерирования АФК [9].

Таблица 4

Активность каталазы и глутатионредуктазы в гемолизате эритроцитов в условиях моделирования окислительного стресса ($M \pm m$)

Объект исследования	Активность каталазы, $\text{ммоль} \times \text{с}^{-1} \times \text{л}^{-1}$	Активность глутатионредуктазы, $\text{нмоль} \times \text{мин}^{-1} \times \text{мл}^{-1}$
Контроль (эритроциты до инкубации в среде Фентона)	$0,065 \pm 0,006$	$0,590 \pm 0,026$
Эритроциты после инкубации в среде Фентона (4 часа)	$0,038 \pm 0,002^*$	$0,800 \pm 0,017^*$

Примечание: * – достоверность различия показателя по сравнению с контролем ($p < 0,05$).

Повышение активности глутатионредуктазы также представляется достаточно важным фактом, поскольку данный фермент антиоксидантной системы занимает центральное место в так называемой глутатионовой системе клеток, обеспечивая поддержание оптимального уровня восстановленного глутатиона и восстановительного потенциала в целом [14]. Повышение активности эритроцитарной глутатионредуктазы в условиях окислительного стресса можно рассматривать как проявление реализации адаптивно-компенаторных процессов, направленных на стабилизацию клеточного метаболизма и, в конечном итоге, на поддержание функциональной активности эритроцитов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основании результатов исследований можно сделать следующие выводы:

1. в условиях моделирования окислительного стресса *in vitro* (среда Фентона) в эритроцитах усиливаются процессы перекисидации липидов, о чем свидетельствуют снижение содержания общих липидов и повышение уровня первичных и вторичных продуктов ПОЛ как в мембранах, так и в гемолизате эритроцитов;
2. при инкубации эритроцитов в среде Фентона в гемолизате эритроцитов изменяется активность ферментов антиоксидантной системы: снижается активность каталазы и повышается активность глутатионредуктазы. Повышение активности глутатионредуктазы в эритроцитах в этих условиях может иметь адаптивно-компенсаторное значение.

Список литературы

1. Азизова О. А. Взаимосвязь маркеров окислительного стресса с клиническим течением хронической ишемии мозга / О. А. Азизова // Журн. неврологии и психиатрии им. С. С. Корскова. – 2013. – № 9. – С. 21–27.
2. Курашова Н. А. Особенности окислительного стресса при различных патологических состояниях у мужчин репродуктивного возраста / Н. А. Курашова // Бюлл. Восточно-Сибирского научного центра СО РАМН. – 2012. – № 2 (2). – С. 31–35.
3. Луцкий М. А. Формирование окислительного стресса как одного из звеньев сложного патогенеза социально значимых заболеваний нервной системы – инсульта и рассеянного склероза / М. А. Луцкий, А. М. Земсков, М. А. Смелянец и др. // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 10. – С. 27–32.
4. Гаврилов В. Б. Измерение диеновых конъюгатов в плазме крови по УФ-поглощению гептановых и изопропанольных экстрактов / В. Б. Гаврилов, А. Р. Гаврилова, Н. Ф. Хмара // Лаб. дело. – 1988. – № 2. – С. 60–64.
5. Novgorodtseva T. P. Modifications of the fatty acid composition of the erythrocyte membrane in patients with chronic respiratory diseases / T. P. Novgorodtseva, Y. K. Denisenko, N. N. Zhukova et al. // Lipids Health Dis. – 2013. – N 12. – P. 117–121.
6. Елкина Н. М. Липидный состав и перекисидация липидов в эритроцитах при железодефицитной анемии / Н. М. Елкина, С. В. Коношенко // Уч. записки Крымского федерального ун-та им. В. И. Вернадского. – 2015. – Т. 1(67), № 1. – С. 25–29.
7. Елкина Н. М. Процессы перекисидации липидов и генерирования активных форм кислорода в эритроцитах больных кардиомиопатией / Н. М. Елкина, С. В. Коношенко // Уч. записки Крымского федерального ун-та им. В. И. Вернадского. – 2015. – Т. 1(67), № 1. – С. 30–35.

8. Елкина Н. М. Состояние антиоксидантной системы в эритроцитах при отдельных гематологических и сердечно-сосудистых заболеваниях / Н. М. Елкина, С. В. Коношенко // Уч. записки Крымского федерального ун-та им. В. И. Вернадского. – 2015. – Т. 1(67), № 3. – С. 14–20.
9. Дубинина Е. Е. Окислительная модификация белков: окисление триптофана и образование битирозина в очищенных белках с использованием системы Фентона / Е. Е. Дубинина, С. В. Гавровская, Е. В. Кузьмич и др. // Биохимия. – 2002 – Т. 67, вып. 3. – С. 413–421.
10. Drabkin D. A simplified technique for large scale crystallization myoglobin and haemoglobin in the crystalline / D. Drabkin // Arch. Biochem. – 1959. – V. 21. – P. 224–226.
11. Биохимические методы исследования в клинике / Под. ред. А. А. Покровского. – М.: Медицина, 1969. – С. 28–30.
12. Ohkawa H. Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction / H. Ohkawa, N. Ohishi, K. Yogi // Analit. Biochem. – 1979. – N 2. – P. 351–358.
13. Королюк М. А. Метод определения активности каталазы / М. А. Королюк, Л. И. Иванова, И. Г. Майорова и др. // Лаб. дело. – 1988. – № 1. – С. 16–19.
14. Агабели Р. А. Антиоксиданты и антиоксидантные ферменты / Р. А. Агабели. – Баку, 1989. – 120 с.

**PROCESSES OF LIPIDS PEROXIDATION AND ACTIVITY OF
ANTIOXIDATIVE ENZYMES IN ERYTHROCYTES UNDER OXIDATIVE
STRESS IN VITRO**

Konoshenko S. V¹., Kycharik O. N¹., Yolkina N. M¹., Mirmuminova Z. M².

¹V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia

²GBUZ «Centre of blood», Simferopol, Crimea, Russia

E-mail: nataleiolkina@gmail.com

It is known, that under different diseases the oxidative stress is developed [1, 2]. These processes are connected with generation of oxygen active forms [1]. Today we have much dates about that under some diseases erythrocytes are involved in pathological process as demonstrated by biochemical changes occurring in them [3, 4]. In this regard, it is interest to examine the state of processes of lipids peroxidation and antioxidative system in erythrocytes under oxidative stress in vitro.

The materials for the study were the erythrocytes of healthy subjects. Erythrocytes were incubated in Fenton system, containing 10,0 mM FeSO₄ * 7H₂O and 3,0mM H₂O₂ during 4 hours at 4°C.

Fenton system have ability for production of radical oxygen active forms, in particular, superoxideanion [5]. The control was the erythrocytes, which didn't incubated in Fenton system. The erythrocytes were hemolysated by distilled water. The membranes of erythrocytes were separated from hemolysate by centrifugation. In membranes and hemolysate of erythrocytes the content of total lipids [6] and lipids peroxidation products (LPP) [7, 8] was determined. The activity of catalase [9] and glutation-reductase [10] was determined in hemolysates. All indexes were studied by spectrophotometric methods of biochemical analyses.

It has been shown, that under oxidative stress the level of total lipids in membranes, and hemolysate of erythrocytes was lowed: at 31,0 percents and at 2,0 times, accordingly, as compared with control. The level of primary and secondary products of lipids peroxidation (LP) in membranes and hemolysates was rised. The content of primary

products of LP was risen at 26,5 times in membranes and at 12,9 times in hemolysate of erythrocytes. The content of secondary products of LP was risen at 3,2 times in membranes and at 7,7 times in hemolysate.

At the same, the activity of antioxidative enzymes in hemolysates was changed also. The activity of catalase was lowed at 1,7 times as compared with control and activity of glutation-reductase was risen at 1,4 times.

The obtained dates evidence about that under oxidative stress in vitro the intensification of lipids peroxidation reactions in erythrocytes is accompaned with mobilization of adaptative reactions that is important for stabilization of redox potencial in red cells.

Keywords: erythrocytes, oxidative stress, Fenton system, lipids peroxidation, antioxidative enzymes: catalase, glutation-reductase.

References

1. Azizova O. A., Connection of oxidative stress markers with clinical properties of chronic ischemic of brain, *S. S. Korsakov J. of nevrology and psichiatty*, **9**, 21(2013).
2. Luzki M. A., Zemskov A. M., Smeljanets M. A. et al, Formation of oxidative stress - one of the total pathogenesis of sosial deseases of nerve system, *Fundamental investigations*, **10**, 27 (2014).
3. Yolkina N. M., Processes of lipids peroxidation, methemoglobin formation and oxygen active forms generation in erythrocytes of patients with erythraemia, *Sc. notes of V. I. Vernadsky Taurida university, Biology and Chemistry*, **20 (65)**,4, 39 (2013).
4. Konoshenko S. V., Yolkina N. M., Peculiarities of proteins oxidative modification in erythrocytes of patients with cardiomyopathies, ischemic heart desease, erythroemia and aplastic anemia, *Experimental and clinical physiology and biochemistry*, **2**, 40 (2013).
5. Dubinina E. E. Gavrovskaja S. V., Kuzmich E. V. et al, Proteins oxidative modification: oxidation of tryptofhan and formation of bityrisine in proteins with appleing of Fenton system, *Biochemistry*, **67**, **3**, 413 (2002).
6. Pokrovsky A. A. *Biochemical methods of investigation in clinic*, 28 (Moscow, Medicine, 1969).
7. Gavrilow V. B., Gavrilova A. R., Chmara N. F., The measureing of dien conjugates in blood plasma by UF-absorbtion of heptane and isopropanole extractions, *Lab. delo*, **2**, 60 (1988).
8. Ohkawa H., Yogi K., Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction, *Analit. Biochem.*, **2**, 351 (1979).
9. Koroljuk M. A., Ivanova A. I., Majorova I. G., et al, Method of studing of catalase activity, *Lab. delo*, **1**, 16 (1988).
10. Agabeli R. A., *Antioxidants and antioxidative enzymes*, 120 (Bacu, 1989).

УДК 577.112:612

ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПРОТЕИНОВ И МЕТГЕМОГЛОБИНОБРАЗОВАНИЕ В ЭРИТРОЦИТАХ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА IN VITRO

Коношенко С. В.¹, Мартоян М. М.¹, Елкина Н. М.², Мирмунинова З. М.³

¹Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия

²Медицинская академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия

³ГБУЗ РК «Центр крови», Симферополь, Россия, Республика Крым, Россия

E-mail: nataleiolkina@gmail.com

Показано, что в условиях моделирования окислительного стресса in vitro (среда Фентона) в мембранах и гемолизате эритроцитов интенсифицируются процессы окислительной модификации протеинов, что подтверждается увеличением содержания продуктов окислительной модификации нейтрального и основного характера. Прослеживается преобладание уровня продуктов окислительной модификации основного характера. Вместе с этим в мембранах и гемолизате эритроцитов снижается содержание среднемолекулярных олигопептидов. Отмеченные изменения сопровождаются увеличением содержания метгемоглобина.

Ключевые слова: эритроциты, окислительный стресс, среда Фентона, окислительная модификация протеинов, среднемолекулярные олигопептиды, метгемоглобин.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема окислительного стресса является одной из наиболее актуальных в современной биологии и медицине [1–3]. В настоящее время известно, что развитие окислительного стресса сопровождается многими заболеваниями и связано с усиленным генерированием активных форм кислорода (АФК) как радикальной, так и нерадикальной природы [4]. Вместе с этим накопилось достаточно большое количество данных, свидетельствующих о вовлечении в патологический процесс эритроцитов при гематологических, сердечно-сосудистых и других заболеваниях [4–7].

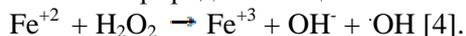
Учитывая данное обстоятельство, представляется важным понять, какие молекулярные механизмы реализуются в эритроцитах в ответ на окислительный стресс, могут ли они иметь адаптивный характер или осуществляются биохимические изменения, имеющие необратимый деструктивный характер.

Поскольку мишенью действия АФК являются не только липиды, но и белковые компоненты клеток [4], целью настоящей работы было изучение окислительной модификации протеинов и метгемоглобинообразования в эритроцитах в условиях моделирования окислительного стресса in vitro.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования служили эритроциты практически здоровых людей (15 человек в возрасте от 35 до 40 лет).

Моделирование окислительного стресса осуществляли, используя среду Фентона, содержащую 10mM FeSO₄ · 7H₂O и 3mM H₂O₂. Эритроциты помещали в среду Фентона (в соотношении 1:1) и инкубировали в течение 4 часов при 4°C. Среда Фентона характеризуется способностью активно генерировать АФК радикальной природы. Реакция Фентона является пусковой в этом процессе:



Контролем служили эритроциты, которые не были инкубированы в данных условиях.

Кровь практически здоровых людей брали на базе ГБУЗ «Центр крови» (г. Симферополь).

Эритроциты гемолизировали, добавляя равный объём дистиллированной воды [9]. Мембраны отделяли от гемолизата центрифугированием при 3000 об/мин. В мембранах и гемолизате эритроцитов определяли содержание продуктов окислительной модификации протеинов, используя спектрофотометрический метод [10]. Альдегидные и кетонные продукты нейтральной природы идентифицировали при 356 нм и 370 нм, альдегидные и кетонные продукты основной природы – при 430 нм и 530 нм соответственно. Содержание среднемолекулярных олигопептидов в мембранах и гемолизате эритроцитов определяли спектрофотометрически при 254 нм, 272 нм и 280 нм [11]. В гемолизате эритроцитов определяли также содержание метгемоглобина [12].

Полученные данные обрабатывали статистическим методом с применением t-критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении содержания продуктов окислительной модификации протеинов (ОМП) в мембранах и гемолизате эритроцитов до и после инкубации в среде Фентона были получены данные, представленные в табл. 1 и 2.

Из полученных данных следует, что при инкубации эритроцитов в среде Фентона, продуцирующей АФК, в мембранах эритроцитов достоверно изменяется содержание альдегидных продуктов основного характера (430 нм). Показано увеличение содержания альдегидных продуктов основного характера на 26,9 % по сравнению с контролем и вместе с этим прослеживается тенденция к увеличению содержания альдегидных и кетонных продуктов нейтрального характера и к снижению содержания кетонных продуктов основного характера.

В гемолизате эритроцитов наблюдается достоверное увеличение содержания альдегидных продуктов нейтрального характера (на 19,0 % по сравнению с контролем), а также альдегидных и кетонных продуктов основного характера (на 16 % и в 1,8 раза соответственно). В целом в этих условиях в эритроцитах преобладает образование продуктов окислительной модификации основной природы.

Таблица 1

Содержание продуктов окислительной модификации протеинов в мембранах эритроцитов в условиях моделирования окислительного стресса (M±m)

Объект исследования	Продукты нейтрального характера, ед. опт. пл.		Продукты основного характера ед. опт. пл.	
	Альдегидные 356 нм	Кетонные 370 нм	Альдегидные 430нм	Кетонные 530 нм
Контроль (эритроциты до инкубации в среде Фентона)	0,220±0,060	0,222±0,060	0,206±0,03	0,151±0,04
Эритроциты после инкубации в среде Фентона (4 часа)	0,232±0,021	0,277±0,010	0,267±0,026*	0,127±0,040

Примечание: * – достоверность различия показателя по сравнению с контролем (p < 0,05).

Таблица 2

Содержание продуктов окислительной модификации протеинов в гемолизате эритроцитов в условиях моделирования окислительного стресса (M±m)

Объект исследования	Продукты нейтрального характера, ед. опт. пл.		Продукты основного характера, ед. опт. пл.	
	Альдегидные 356 нм	Кетонные 370 нм	Альдегидные 430 нм	Кетонные 530 нм
Контроль (эритроциты до инкубации в среде Фентона)	1,373±0,114	1,574±0,18	1,408±0,06	0,347±0,018
Эритроциты после инкубации в среде Фентона (4 часа)	1,63±0,10*	1,71±0,07	1,634±0,105*	0,650±0,04*

Примечание: * – достоверность различия показателя по сравнению с контролем (p < 0,05).

Полученные данные позволяют предположить, что не все участки белковых молекул доступны для АФК. Вероятно, что окислительная модификация протеинов в эритроцитах осуществляется в основном на периферических участках белковых

глобул и в этот процесс вовлекаются преимущественно полярные аминокислотные остатки, образуя под действием АФК альдегидные и кетонные производные основной природы.

Одним из показателей деструктивных процессов, направленных, в частности, на белковые компоненты клеток, является уровень содержания среднемолекулярных олигопептидов (СМО). Как свидетельствуют результаты наших исследований, при инкубации эритроцитов в среде Фентона наблюдается достоверное снижение содержания СМО по сравнению с контролем, что прослеживается как в мембранах, так и в гемолизате эритроцитов (табл. 3 и 4). Так, в мембранах эритроцитов отмечено снижение данного показателя в среднем в 1,7 раза по сравнению с контролем (при идентификации СМО при 254 нм, 272 нм и 280 нм). В гемолизате эритроцитов снижение содержания СМО по сравнению с контролем было более выраженным (в среднем в 3,0 раза).

Таблица 3

Содержание среднемолекулярных олигопептидов (СМО) в мембранах эритроцитов в условиях моделирования окислительного стресса (M±m)

Объект исследования	Содержание СМО, ед. опт. пл.		
	254 нм	272 нм	280 нм
Контроль (эритроциты до инкубации в среде Фентона)	0,645±0,033	0,159±0,011	0,124±0,01
Эритроциты после инкубации в среде Фентона (4 часа)	0,385±0,019*	0,079±0,009*	0,089±0,012*

Примечание: * – достоверность различия показателя по сравнению с контролем (p<0,05).

Таблица 4

Содержание среднемолекулярных олигопептидов (СМО) в гемолизате эритроцитов в условиях моделирования окислительного стресса (M±m)

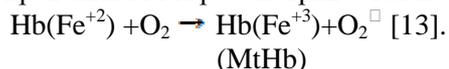
Объект исследования	Содержание СМО, ед. опт. пл.		
	254 нм	272 нм	280 нм
Контроль (эритроциты до инкубации в среде Фентона)	0,886±0,068	0,245±0,018	0,185±0,019
Эритроциты после инкубации в среде Фентона (4 часа)	0,380±0,015*	0,052±0,006*	0,079±0,005*

Примечание: * – достоверность различия показателя по сравнению с контролем (p<0,05).

Снижение содержания СМО в эритроцитах в условиях окислительного стресса может быть обусловлено значительными деструктивными процессами,

связанными, в частности, с окислительной модификацией протеинов. Возможно, что часть белковых молекул, претерпевших наиболее существенные структурные изменения, или их фрагменты при достижении определенной критической массы начинают агрегировать и в дальнейшем удаляются в процессе центрифугирования, предусмотренного методикой по изучению СМО, что делает затруднительным их полную идентификацию.

Поскольку основным белковым компонентом эритроцитов является гемоглобин, вполне очевидно, что именно этот белок представляет собой наиболее вероятную мишень для действия АФК. Как известно из литературы, одним из путей генерирования АФК рассматривается метгемоглобинообразование:



При этом двухвалентное железо гема окисляется (образуется метгемоглобин), а молекула кислорода, приняв электрон, превращается в супероксиданион.

Учитывая это, представляло интерес оценить уровень метгемоглобина в эритроцитах в условиях интенсификации процессов окислительной модификации протеинов.

Как показали результаты исследований, при инкубации эритроцитов в среде Фентона содержание в гемолизате эритроцитов метгемоглобина увеличивается по сравнению с контролем на 34 % (в контроле – $2,5 \pm 0,03$ %, после инкубации в среде Фентона – $3,35 \pm 0,04$ %).

Вполне вероятно, что генерирование супероксиданиона при переходе гемоглобина в метгемоглобин способствует окислительной модификации белковой компоненты гемоглобина и в целом метгемоглобинообразование можно рассматривать как один из факторов, стимулирующих окислительную модификацию протеинов, усиливая тем самым деструктивные процессы в клетке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основании результатов исследований можно сделать следующие выводы.

1. В условиях моделирования окислительного стресса *in vitro* (среда Фентона) в эритроцитах интенсифицируются процессы окислительной модификации протеинов, о чем свидетельствует достоверное увеличение содержания продуктов окислительной модификации протеинов нейтрального и основного характера. Показано преобладание образования продуктов окислительной модификации основной природы.
2. Усиление процессов окислительной модификации протеинов в эритроцитах сопровождается снижением уровня среднемолекулярных олигопептидов, что может быть связано с агрегацией некоторой части этих компонентов с последующим их извлечением из регистрации.
3. В условиях окислительного стресса *in vitro* в эритроцитах усиливается метгемоглобинообразование, что может быть одним из факторов,

стимулирующих генерирование АФК и деструктивные процессы, связанные со структурными изменениями протеинов.

Список литературы

1. Азизова О. А. Взаимосвязь маркеров окислительного стресса с клиническим течением хронической ишемии мозга / О. А. Азизова // Журн. неврологии и психиатрии им С. С. Корсакова. – 2013. – № 9. – С. 21–27.
2. Курашова Н. А. Особенности окислительного стресса при различных патологических состояниях у мужчин репродуктивного возраста / Н. А. Курашова // Бюлл. Восточно-Сибирского научного центра СО РАМН. – 2012. – № 2(2). – С. 31–35.
3. Луцкий М. А. Формирование окислительного стресса как одного из звеньев сложного патогенеза социально-значимых заболеваний нервной системы □ инсульта и рассеянного склероза / М. А. Луцкий, А. М. Земсков, М. А. Смелянец и др. // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 10. – С. 27–32.
4. Дубинина Е. Е. Окислительная модификация белков : окисление триптофана и образование битирозина в очищенных белках с использованием системы Фентона / Е. Е. Дубинина, С. В. Гавровская, Е. В. Кузьмич и др. // Биохимия. – 2002. – Т. 67, вып. 3. – С. 413–421.
5. Novgorodtseva T. P. Modifications of the fatty acid composition of the erythrocyte membrane in patients with chronic respiratory diseases / T. P. Novgorodtseva, Y. K. Denisenko, N. N. Zhukova et al. // Lipids Health Dis. – 2013. – N 12. – P.117–121.
6. Елкина Н. М. Липидный состав и пероксидация липидов в эритроцитах при железодефицитной анемии / Н. М. Елкина, С. В. Коношенко // Уч.записки Крымского федерального ун-та им. В. И. Вернадского. – 2015. – Т. 1(67), № 1. – С. 25–29.
7. Елкина Н. М. Процессы пероксидации липидов и генерирования активных форм кислорода в эритроцитах больных кардиомиопатией / Н. М. Елкина, С. В. Коношенко // Уч.записки Крымского федерального ун-та им. В. И. Вернадского. – 2015. – Т. 1(67), № 1. – С. 30–35.
8. Елкина Н. М. Состояние антиоксидантной системы в эритроцитах при отдельных гематологических и сердечно-сосудистых заболеваниях / Н. М. Елкина, С. В. Коношенко // Уч.записки Крымского федерального ун-та им. В. И. Вернадского. – 2015. – Т. 1(67), № 3. – С.14–20.
9. Drabkin D. A simplified technique for large scale crystallization myoglobin and haemoglobin in the crystalline / D. Drabkin // Arch.Biochem. – 1959. – V. 21. – P. 224–226.
10. Дубинина Е. Е. Окислительная модификация белков сыворотки крови человека, метод её определения / Е. Е. Дубинина, С. О. Бурмистров, Д. А. Ходов и др. // Вопросы медицинской химии. – 1996. – Т. 41, № 1. – С. 24–26.
11. Габриэлян Н. И. Опыт использования показателя средних молекул в крови для диагностики нефрологических заболеваний у детей / Н. И. Габриэлян, В. И. Липатова // Лаб. дело. – 1984 – № 3. – С. 138–140.
12. Кушаковский М. С. Метгемоглобинемии. Справочник по функциональной диагностике / М. С. Кушаковский. – М.: Медицина, 1970. – С. 423–427.
13. Дубинина Е. Е. Активность супероксиддисмугазы и содержание метгемоглобина в эритроцитах человека и животных / Е. Е. Дубинина, Л. А. Данилова, Л. Ф. Ефимова, А. П. Соловьев, А. М. Бейн // Журн. эволюционной биохим. и физиол. – 1988. – Т. 24, вып. 4. – С. 548–562.

OXIDATIVE MODIFICATION OF PROTEINS AND METHEMOGLOBIN FORMATION IN ERYTHROCYTES UNDER OXIDATIVE STRESS IN VITRO

Konoshenko S. V.¹, Martojan M. M.¹, Yolkina N. M.¹, Mirmuminova Z. M.²

¹*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia*

²*GBUZ RC «Centre of blood», Simferopol, Crimea, Russia*

E-mail: nataleiolkina@gmail.com

It is known, that under different diseases the balance in prooxidative and antioxidative processes is destroyed and oxidative stress is realized. These processes are connected with productive of oxygen active forms, that leads to changed of molecular and cellular structures [1–3]. Today we have much dates about that under some diseases with oxidative stress erythrocytes are involved in pathological process as demonstrated by biochemical changes occurring in them [4–6]. In this regard, it is interest to examine the state of the processes of proteins oxidative modification and methemoglobin formation in erythrocytes under oxidative stress in vitro.

The materials for the study were the erythrocytes of healthy subjects. Erythrocytes were incubated in the Fenton system [7] (10mM FeSO₄ · 7H₂O and 3,0 mM H₂O) during 4 hours at 4°C. The control were erythrocytes didn't incubated in Fenton system. The erythrocytes were hemolysated by distilled water. Membranes of erythrocytes were separated from hemolysate by method of centrifugation. In membranes and hemolysates of erythrocytes the contents of proteins oxidative modification products [8] and oligopeptides [9] were determined. All indexes were studied by spectrophotometric methods of biochemical analyses.

It has been shown, that under oxidative stress in vitro in membranes and hemolysate of erythrocytes the content of proteins oxidative modification products is changed. So, the content of basic aldehyde productes in membranes was rised at 26,9 % as compared with control. The contents of neutral aldehyde products and basic aldehyde and cetons products in hemolysates were rised at 19,0 % and 16,0 %, and at 1,8 times , accordingly as compared with control. In total, under oxidative stress in vitro the formation of basic proteins oxidative modification products in erythrocytes is more prevailed.

At the same time, the content of oligopeptides in membranes and hemolysates of erythrocytes was lowed: in middle, at 1,7% times in membranes and at 3,0 times in hemolysates. These dates maybe connected with considerable destructive processes, formation of a agrigative complexes of structure-changed protein molecules and their removing by centrifugation.

Also, it has been shown, that under oxidative stress the content of methemoglobin in hemolysates of erythrocytes was rised (at 34 % as compared with control).

The obtained dates evidence about intensification of destructive processes in erythrocytes under oxidative stress in vitro that connected with oxidative modification of proteins by oxygen active forms and with activization of methemoglobin formation.

Keywords: erythrocytes, oxidative stress, Fenton system, proteins oxidative modification, oligopeptides, methemoglobin.

References

1. Azizova O. A., Interaction of markers of oxidative stress with clinical proceed of chronic brain ischemia, *J. Neurology and psychiatry*, **9**, 21 (2013).
2. Kurashova N. A., Peculiarities of oxidative stress under different state of man in reproductive age, *Bull. East-Siberian scientific centre SD RAMN*, **2(2)**, 31 (2012).
3. Lutskij M. A., Zemskov A. M., Smeljanets M. A., Formation of oxidative stress as one from links of difficult pathogenesis of social diseases of nervous system-insult and diffuse cerebral sclerosis, *Fundam.researches*, **10**, 27 (2014).
4. Yolkina N. M., Processes of lipids peroxidation, methemoglobin formation and oxygen active forms generation in erythrocytes of patients with erythraemia, *Sc.notes of V. I. Vernadsky Taurida university, Biology and Chemistry*, **26(65), 4**, 39 (2013).
5. Konoshenko S. V., Yolkina N. M., Peculiarities of proteins oxidative modification in erythrocytes of patients with cardiomyopathy, ischemic heart disease, erythraemia and aplastic anemia, *Experimental and clinical physiology and biochemisrty*, **2**, 40 (2013).
6. Novgorotseva T. P., Denisenko Y. K., Zhukova N. N., Modifications of the fatty acid composition of the erythrocyte membrane in patients with chronic respiratory diseases, *Lipids Health Dis.*, **12**, 117 (2013).
7. Dubinina E. E., Govrovskaja S. V., Kuzmich E. V. et al, Oxidative modification of proteins : oxidative of tryptophane and formation bityrosine in purified proteins with using Fenton system, *Biochemistry*, **67, 3**, 413 (2002).
8. Dubinina E. E., Burmistro S. O., Hodov D. A. et al, Oxidative modification of proteins of human blood searum, the method of their determined, *Voprosi medical chem.*, **41, 1**, 24 (1996).
9. Gabrieljan N. I., Lipatova V. I., Experience of using of blood middle molecules index for diagnosese of children nephrology deseases, *Lab.delo*, **3**, 138 (1984).

УДК 612.821+57.087.1

ИЗМЕНЕНИЕ КОГЕРЕНТНОСТИ ЭЭГ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОХОЖДЕНИЯ КУРСА НЕЙРОТЕРАПИИ ДЕТЬМИ 5–11 ЛЕТ

Куличенко А. М., Эйсмонт Е. В., Павленко В. Б.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: alexander.kulichenko@gmail.com*

Изучались изменения когерентности ЭЭГ под влиянием нейротерапии, направленной на увеличение мощности альфа-ритма и снижение – тета-ритма. В исследованиях приняли участие 10 детей в возрасте от 5 до 11 лет с повышенной тревожностью и сниженными показателями произвольного внимания. Проводился анализ когерентности ЭЭГ близлежащих и удаленных областей мозга в пределах каждого из полушарий и для одноименных областей мозга правого и левого полушарий, что позволяло характеризовать короткие и длинные внутри- и межполушарные связи соответственно. В результате проведенного тренинга из 10 сеансов, наряду с оптимизацией психофизиологического состояния детей, наблюдается значимое увеличение коэффициентов когерентности ряда ритмов, регистрируемых в лобных и теменно-затылочных отделах левого полушария. Результаты свидетельствуют о целесообразности применения показателей когерентности для оценки характера изменений пространственно-временного паттерна ЭЭГ.

Ключевые слова: нейротерапия, ЭЭГ, когерентность, дети, тревожность, внимание.

ВВЕДЕНИЕ

В показателях мощности и когерентности ЭЭГ находят отражение различные аспекты деятельности мозга. При этом мощность потенциалов различных диапазонов ЭЭГ рассматривают как характеристику локальной активности нейронных ансамблей в той или иной области коры, а когерентность – как показатель степени связанности и согласованной работы нейронных ансамблей различных отделов коры головного мозга [1; 2]. В частности, анализ когерентности ЭЭГ сигналов в парах корковых зон позволяет оценить степень их функциональной связанности (functional connectivity), которая определяется как корреляция пространственно удаленных нейрофизиологических событий [3], в данном случае частотных составляющих ЭЭГ [4]. В литературе можно найти значительное количество исследований, в которых рассматривается связь разных ритмических и пространственно-временных параметров ЭЭГ с составляющими интеллектуальной деятельности, такими как восприятие [5–7], внимание [8–10], память [11–13]. Также имеется ряд работ, связывающих определенные параметры ЭЭГ с успешностью выполнения интеллектуальной деятельности [14–17].

При исследовании взаимосвязи частотно-пространственных параметров ЭЭГ с уровнем интеллекта и креативности было показано, что индивидуальная вариабельность в мыслительных способностях в большей степени отражается в

особенностях когерентности, а не в мощности потенциалов основных диапазонов ЭЭГ [15]. Показатели когерентности оказались более информативными, чем относительная или абсолютная спектральная мощность ЭЭГ, при классификации индивидов по группам с высоким или низким интеллектом [18]. По характеру когерентности можно косвенно оценить степень профессионализма испытуемых, по крайней мере, в некоторых областях творческой деятельности [19].

Ранее показано, что низкий уровень развития внимания и высокий уровень тревожности у детей объективно отражаются в параметрах ЭЭГ [20–23]. Для коррекции психофизиологического состояния человека, в частности когнитивных функций и эмоционального состояния, включая дефицит внимания и повышенную тревожность, разработаны протоколы сеансов биологической обратной связи по электроэнцефалограмме (ЭЭГ-БОС, нейротерапия). В частности, для этого используется нейробиоуправление, направленное на подавление активности в тета- и увеличение активности в альфа-диапазонах [20–23]. С целью повышения эффективности методики ЭЭГ-БОС сотрудниками лаборатории нейроэтологии и психофизиологии разработан ряд оригинальных компьютерных игр, в которых скорость движения или сила главного игрового персонажа изменяется в зависимости от соотношения мощности основных ритмов ЭЭГ. В результате проведения курса нейротерапии у детей и подростков наблюдается положительная динамика изменений показателей внимания, снижения тревожности [20–23]. При этом остается неизученным вопрос о том, как в пространственно-временных параметрах ЭЭГ отражаются механизмы воздействия сеансов ЭЭГ-БОС.

Поэтому использование спектрально-когерентного анализа в изучении эффектов нейробиоуправления возможно позволит решить следующие задачи: оценить изменения взаимоотношений ритмической активности регионов неокортекса, более детально проанализировать успешность данного метода, создать новые протоколы, направленные на коррекцию пространственно-временных параметров ЭЭГ, выявить нейрофизиологические механизмы изменений корково-корковых функциональных взаимодействий во время воздействия сеансов нейротерапии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Оценку эффективности разработанных новых методов коррекции психофизиологического состояния с применением цветовой и звуковой ЭЭГ-БОС проводили в серии экспериментов, в которых приняли участие десять практически здоровых испытуемых от пяти до одиннадцати лет (средний возраст – $7,10 \pm 1,52$). Дети отличались повышенным уровнем тревожности и сниженными показателями произвольного внимания. С детьми проводились тренинги, состоящие из 10 сеансов ЭЭГ-БОС. До и после прохождения тренинга регистрировали ЭЭГ при закрытых и открытых глазах и проводили психологическое тестирование.

Регистрация и анализ ЭЭГ осуществлялись по общепринятой методике с помощью компьютерного телеметрического электроэнцефалографа (фирма «Тредекс», Украина). В качестве рабочей программы использовалась EEG Mapping 3 (программист Е. Н. Зинченко). ЭЭГ-потенциалы отводили монополярно от

локусов Fp1, Fp2, F7, F8, F3, F4, T3, T4, C3, C4, T5, T6, P3, P4, O1 и O2 в соответствии с международной системой «10-20». Частота оцифровки сигнала составляла 200 Гц.

В качестве референтного электрода в каждом случае использовали все электроды, кроме активного, объединенные вместе. Обработка ЭЭГ во время проведения сеансов ЭЭГ-БОС основывалась на использовании цифровых фильтров Баттерворта четвертого порядка. Проводился спектральный анализ ЭЭГ с расчетом амплитуды в диапазонах: дельта-ритма (1–4 Гц), тета-ритма (4–8 Гц), альфа-ритма (8–13 Гц), бета-ритма (14–30 Гц), гамма-ритма (30–48 Гц).

Сеансы ЭЭГ-БОС проводились два раза в неделю. Длительность одного сеанса составляла 30 мин. Сеанс включал в себя несколько (шесть–восемь) эпизодов записей ЭЭГ с использованием различных протоколов нейротерапии, чередующихся в случайном порядке. Во время проведения сеанса испытуемый располагался в удобном кресле. В случае применения акустических протоколов испытуемый сидел с закрытыми глазами и звуковой сигнал обратной связи (ОС) подавался через колонки. При использовании визуальных протоколов испытуемый располагался перед экраном монитора, на котором предъявлялись различные варианты зрительных сигналов ОС. Во всех протоколах сигнал ОС менялся в зависимости от характеристик тренируемых ритмов в локусе С4. Перед тренингом испытуемому предоставляли необходимые сведения о процедуре и объясняли зависимость параметров сигнала ОС от психоэмоционального состояния.

При использовании визуального протокола на экране монитора предъявлялись картинки, представляющие собой изображения природы. Яркость цветов определенных элементов картинки (например, плодов на дереве, солнца, цветов) менялась в прямой зависимости от величины амплитуды альфа-ритма: чем больше данная величина, тем ярче становились цвета.

Акустические протоколы были представлены тремя вариантами:

1. регуляция громкости «белого шума» – интенсивность «белого шума» изменялась в обратной зависимости от величины отношения амплитуды альфа-ритма к амплитуде тета-ритма: чем больше данное отношение, тем меньшую громкость имел «белый шум»;

2. регуляция громкости «белого шума» на фоне музыки – интенсивность «белого шума» изменялась на фоне музыки, имеющей постоянную громкость, в обратной зависимости от величины отношения амплитуды альфа-ритма к амплитуде тета-ритма: чем больше данное отношение, тем меньшую громкость имел «белый шум»;

3. регуляция громкости музыки – громкость музыки изменялась в прямой зависимости от величины отношения амплитуды альфа-ритма к амплитуде тета-ритма: чем больше данное отношение, тем громче звучала музыка.

Игровой протокол предполагал изменение скорости движения или силы главного игрового персонажа, зависящей от величины отношения амплитуды альфа-к амплитуде тета-ритма: чем больше данная величина, тем больше становится скорость или сила игрового персонажа.

Остальные подробности проведения тренингов описаны ранее [20–23].

По окончании сеансов спектры ЭЭГ вычислялись следующим образом. Весь интервал записи ЭЭГ разбивался на отрезки (эпохи анализа) по 2,0 с (перекрывание эпох – 50 %). Сигналы обрабатывали с помощью быстрых преобразований Фурье; применялось сглаживание по методу Блекмена. Подавление просачивания энергии через боковые максимумы проводилось с помощью сглаживания каждого из отрезков временным окном Ханна. Если амплитуда сигнала хотя бы в одном из обрабатываемых каналов была больше 100 мкВ, данный отрезок ЭЭГ считался артефактным и удалялся. Спектры ЭЭГ были рассчитаны: для записей «Глаза закрыты», до первого и перед десятым сеансами курса нейротерапии.

С помощью оригинальной программы EEG Mapping 5 (программист – Луцок Н. В.) вычисляли показатели когерентности между активными электродами по следующей формуле (1):

$$C^2_{xy}(f) = \frac{(S_{xy}(f))^2}{(S_{xx}(f) \times S_{yy}(f))} \quad (1)$$

где $C_{xy}(f)$ – значение кросс-спектра, $S_{xx}(f)$, $S_{yy}(f)$ – значения автоспектра биопотенциалов сравниваемых точек X и Y на частоте f [1].

Проведение когерентного анализа для близлежащих и удаленных областей мозга в пределах каждого из полушарий и для одноименных областей мозга правого и левого полушарий позволяет характеризовать короткие и длинные внутри- и межполушарные связи соответственно. Определялись меры центральной тенденции, включая средние значения и медианы, а также меры разброса – стандартные отклонения и квартили когерентности до первого и перед десятым сеансами курса нейротерапии. Для сравнительного анализа использовали критерий Вилкоксона. Статистически значимыми считали изменения показателей при уровне $p < 0,05$. При $0,05 < p < 0,10$ изменения рассматривали как статистическую тенденцию.

Настоящее исследование соответствовало этическим принципам Хельсинкской декларации 1964 г. и было одобрено этическим комитетом Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученных данных позволил выявить, что сеансы нейротерапии, направленные на увеличение мощности сигнала ЭЭГ в диапазоне альфа-ритма и снижение – в диапазоне тета-ритма в локусе С4, сопровождались широко распределенными изменениями спектров мощности ЭЭГ. В целом величины амплитуд тренируемых ритмов изменялись в желаемом направлении. При этом у детей отмечен ряд позитивных перестроек психофизиологического состояния, включая снижение тревожности и улучшение показателей произвольного внимания, подобных изменениям, наблюдаемым в предыдущих работах [20–23].

С целью оценки эффективности биоуправления нами проведен анализ когерентности записей ЭЭГ во время первого и десятого сеансов нейротерапии. При

этом выявлен ряд статистически значимых изменений функциональных связей суммарной активности мозговых структур в рамках анализируемых ритмов (рис. 1).

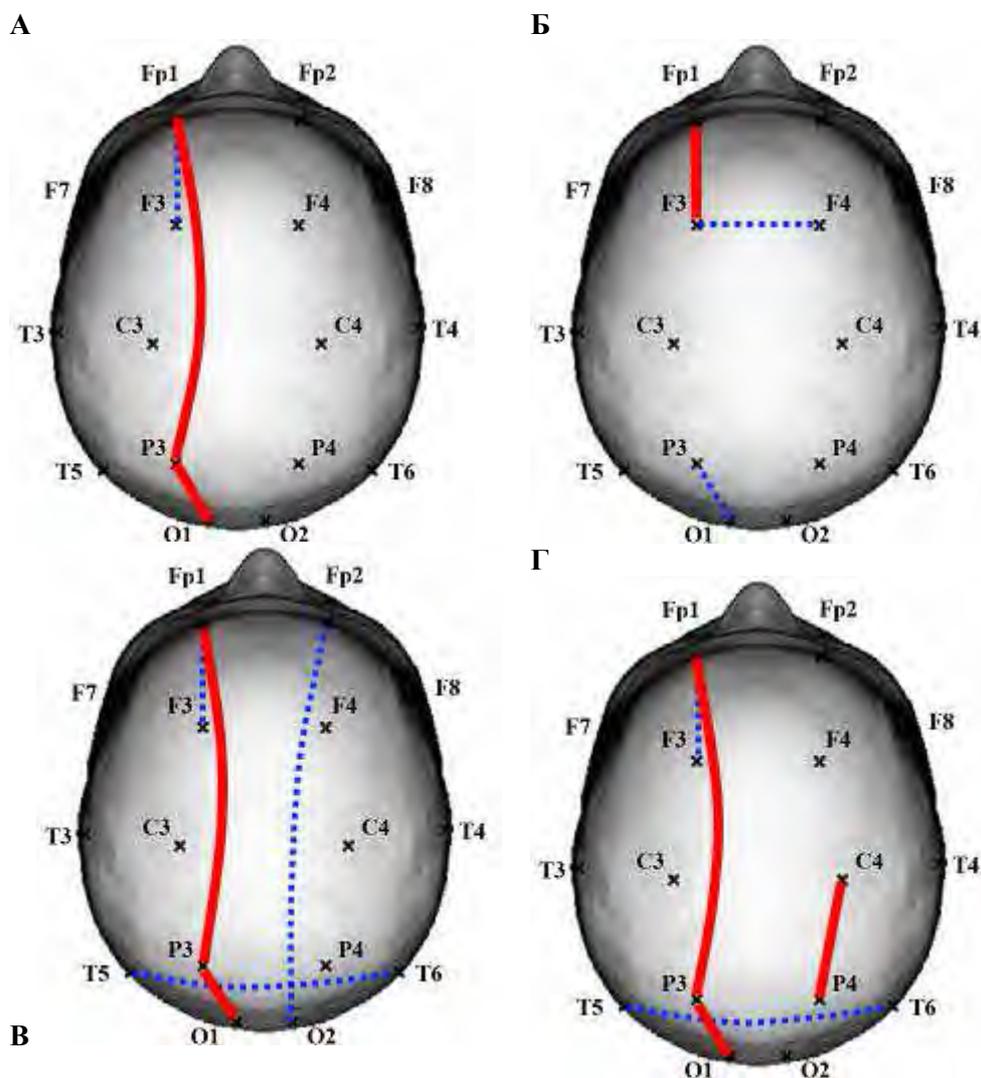


Рис. 1. Топография изменений когерентности тета- (А), альфа- (Б), бета- (В), и гамма- (Г) ритмов ЭЭГ.

Сплошными линиями обозначены связи между отведениями, продемонстрировавшими статистически значимые изменения по сравнению с исходным уровнем, пунктиром – тенденции.

В диапазоне тета-ритма ЭЭГ когерентность между отведениями Fp1 и F3 имела тенденцию ($p=0,09$) к значимому росту (рис. 1, А). Статистически значимое ($p<0,05$)

увеличение когерентности наблюдалось исключительно в левом полушарии между отведениями О1 и Р3 (на 15,9 %), а также между локусами Р3 и Fp1 (на 9,8 %).

Увеличение когерентности в альфа-диапазоне в паре О1-Р3, а также между локусами F3 и F4 имело одинаковую по величине статистической значимости тенденцию ($p=0,07$) (рис. 1, Б). В этом диапазоне ЭЭГ статистически значимое увеличение когерентности на 34,9 % наблюдалось между фронтальными отведениями Fp1 и F3.

Обращает на себя внимание эффект курса нейротерапии, который проявляется в изменении функциональной связи значительного числа активности мозговых структур в диапазоне бета-ритма ЭЭГ (рис. 1, В). В этом диапазоне ЭЭГ когерентность между отведениями Fp1 и F3, T5 и T6, а также О2 и Fp2 имела тенденцию к значимому росту ($p=0,07$, $p=0,06$, $p=0,09$ соответственно). Статистически значимое увеличение когерентности в левом полушарии наблюдалось между отведениями О1 и Р3 (на 14,3 %), а также между локусами Р3 и Fp1 (15,1 %). В правом полушарии статистически значимое увеличение когерентности наблюдалось между отведениями Р4 и С4 (на 20,4 %).

Увеличение когерентности в гамма-диапазоне между отведениями Fp1 и F3, T5 и T6 имело тенденцию ($p=0,09$, $p=0,06$, соответственно) к значимому росту (рис. 1, Г). Статистически значимое увеличение когерентности в левом полушарии наблюдалось между отведениями О1 и Р3 (на 17,3 %), а также между локусами Р3 и Fp1 (на 17,6 %). В правом полушарии статистически значимое увеличение когерентности наблюдалось между отведениями Р4 и С4 (на 16,7 %).

Следует напомнить, что в настоящем исследовании у испытуемых отмечался повышенный уровень тревожности. Ввиду присутствия в головном мозге человека множественных активирующих систем, участвующих в организации эмоциональных состояний, А. М. Прихожан предполагает, что, возможно, на фоне высокой тревожности могут формироваться специфические функциональные системы, представляющие различные комбинации ритмической активности ЭЭГ [24]. Несмотря на немногочисленность экспериментальной выборки, наличие статистически значимых изменений когерентности ритмов ЭЭГ указывает на существенные перестройки функциональных связей мозговых структур. Предполагается, что наблюдаемое в результате десятикратного курса ЭЭГ-БОС значимое увеличение когерентности ритмов ЭЭГ является отражением перестроек изначально негативных комбинаций ритмической активности мозга. Возможно, что формирование новых пространственно-временных паттернов активности обуславливает наблюдаемые позитивные изменения психофизиологического состояния детей после прохождения сеансов ЭЭГ-БОС.

При анализе когерентности ЭЭГ нами зафиксировано изменение ее структуры после курса биоуправления, заключающееся в перестройках внутрислоушарной когерентности между лобными и теменно-затылочными отделами. Аналогичные результаты были получены при исследовании когерентности при выполнении задачи, вовлекающей процессы зрительного восприятия и запуска ответных реакций [25].

В контексте анализа наблюдаемых изменений когерентности ЭЭГ детей следует рассмотреть перестройки, происходящие в данном возрасте. Возраст детей, принявших участие в исследованиях, был, как указано в разделе, в пределах от 5 до 11 лет. Основные тенденции в формировании ЭЭГ у детей можно описать как незначительное увеличение альфа- и бета-ритмов и скачкообразное – тета-ритма [26]. По крайней мере, в одном исследовании было показано, что ЭЭГ детей соответствующего возраста оставалась стабильной, надежность значения абсолютных спектров составляла 0,71 [27]. Продолжительность курса биоуправления составляет в среднем два месяца, поэтому зарегистрированные нами изменения можно с определенной степенью уверенности связать с воздействием курса ЭЭГ-БОС, нежели с возрастными изменениями.

По исторически сложившейся классификации, разработанной с учетом миелоархитектоники, онтогенетического развития, а также функциональной роли, лобные доли коры больших полушарий рассматриваются многими авторами как передняя или лобная ассоциативная зона. Этот регион играет ведущую роль в организации сложных форм поведения и, вероятно, интеллектуальной деятельности человека [1; 7]. Естественно, что она имеет тесные взаимосвязи с моторными центрами коры. В настоящее время лобная кора рассматривается как одна из частей системы контроля управления (executive control system). Эта система координирует нейронные процессы, направленные на контроль поведения, определение цели поведения, вовлечения и подавления ментальных операций, определение порядка в сложных ответных реакциях с учетом состояния организма [28; 29]. Считается, что лобные доли головного мозга играют главную роль в процессе регулирования настроения и произвольного внимания [30].

Таким образом, результаты проведенного исследования свидетельствуют об эффективности когерентного анализа в качестве инструмента для оценки формирования новых пространственно-временных паттернов ЭЭГ-активности при коррекции психоэмоционального состояния и внимания детей методом нейротерапии.

На основании полученных результатов можно полагать, что когерентный анализ ЭЭГ, отражающий взаимосвязи между определенными зонами коры в интегративной деятельности мозга, является информативным для исследования механизмов нейротерапии. Курс ЭЭГ-БОС, включающий 10 сеансов, приводит к долговременным позитивным изменениям функционального состояния мозга, что отражается в изменении не только спектров мощности [20–23], но и когерентности ЭЭГ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Курс ЭЭГ-БОС с участием детей в возрасте от 5 до 11 лет с повышенной тревожностью и сниженным вниманием, включающий 10 сеансов, приводит к долговременным позитивным изменениям функционального состояния мозга, что отражается в изменении не только спектров мощности, но и в статистически значимом изменении когерентности ритмов ЭЭГ.

2. Выявлено, что в результате проведенного курса сеансов ЭЭГ-БОС наблюдается статистически значимое увеличение коэффициентов когерентности основных ритмов преимущественно между лобными и теменно-затылочными отделами левого полушария.
3. Рекомендуются использование когерентного анализа в качестве инструмента для оценки результативности коррекции психофизиологического состояния детей методом обратной связи по характеристикам ЭЭГ.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках инициативной части государственного задания № 6.5452.2017/8.9 Минобрнауки России в сфере научной деятельности темы «Временная организация физиологических систем человека и животных: феноменология и механизмы генерации и регуляции микро- и мезоритмов».

Работа выполнена на оборудовании КП ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского» «Экспериментальная физиология и биофизика».

Список литературы

1. Ливанов М. Н. Пространственная организация процессов головного мозга / М. Н. Ливанов. – М.: Наука, 1972. – 182 с.
2. Бехтерева Н. П. Динамика когерентности ЭЭГ при выполнении заданий на невербальную (образную) креативность / Н. П. Бехтерева, Ж. В. Нагорнова // Физиология человека. – 2007. – № 5. – С. 5–13.
3. Fingelkurts An. A. Functional connectivity in the brain – is it an elusive concept? / An. A. Fingelkurts, Al. A. Fingelkurts, S. A. Kähkönen // Neuroscience & Biobehavioral Reviews. – 2005. – Vol. 28, No 8. – P. 827–836.
4. Мачинская Р. И. Сравнительное электрофизиологическое исследование регуляторных компонентов рабочей памяти у взрослых и детей 7–8 лет. Анализ когерентности ритмов ЭЭГ / Р. И. Мачинская, А. В. Курганский // Физиология человека. – 2012. – Т. 38, № 1. – С. 5–19.
5. Aoki F. Changes in power and coherence of brain activity in human sensorimotor cortex during performance of visuomotor tasks / F. Aoki, E. E. Fetz, L. Shupe, G. A. Ojemann // Biosystems. – 2001. – Vol. 63, No 1–3. – P. 89–99.
6. Hanslmayr S. Prestimulus oscillations predict visual perception performance between and within subjects / S. Hanslmayr, A. Aslan, T. Staudigl, W. Klimesch et al. // Neuroimage. – 2007. – Vol. 37, No 4. – P. 1465–1473.
7. Zhang Y. Prestimulus cortical activity is correlated with speed of visuomotor processing / Y. Zhang, X. Wang, S. Bressler, Y. Chen, M. Ding // J. Cogn. Neurosci. – 2008. – Vol. 20, No 10. – P. 1915–1925.
8. Pulvermüller F. High-frequency brain activity: Its possible role in attention, perception and language processing / F. Pulvermüller, N. Birbaumer, W. Lutzenberger, B. Mohr // Progress Neurobiol. – 1997. – Vol. 52, No 5. – P. 427–445.
9. Fries P. Modulation of oscillatory neuronal synchronization by selective visual attention / P. Fries, J. H. Reynolds, A. E. Rorie, R. Desimone // Science. – 2001. – Vol. 291, No 5508. – P. 1560–1563.
10. Hanslmayr S. The role of alpha oscillations in temporal attention / S. Hanslmayr, J. Gross, W. Klimesch, K. L. Shapiro // Brain Res. Rev. – 2011. – Vol. 67, No 1. – P. 331–343.
11. Sarnthein J. Synchronization between prefrontal and posterior association cortex during human working memory / J. Sarnthein, H. Petsche, P. Rappelsberger, G. L. Shaw et al. // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 1998. – Vol. 95, No 12. – P. 7092–7096.
12. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis / W. Klimesch // Brain research reviews. – 1999. – Vol. 29, No 2–3. – P. 169–195.

13. Klimesch W. The functional significance of theta and upper alpha oscillations / W. Klimesch, B. Schack, P. Sauseng // *Exp. Psychol.* – 2005. – Vol. 52, No 2. – P. 99–108.
14. Hummel F. Larger interregional synchrony is associated with greater behavioral success in a complex sensory integration task in humans / F. Hummel, C. Gerloff // *Cereb. Cortex.* – 2005. – Vol. 15, No 5. – P. 670–678.
15. Разумникова О. М. Индивидуальные особенности полушарной активности, определяющие успешность решения эвристической задачи / О. М. Разумникова // *Асимметрия.* – 2009. – Т. 3, № 1. – С. 37–50.
16. Rilk A. J. Alpha coherence predicts accuracy during a visuomotor tracking task / A. J. Rilk, S. R. Soekadar, P. Sauseng, C. Plewnia // *Neuropsychologia.* – 2011. – Vol. 49, No 13. – P. 3704–3709.
17. Farber D. A. Functional organization of the brain during preparation for recognition of image fragments / D. A. Farber, R. I. Machinskaya, A. V. Kurganskii, N. E. Petrenko // *Neuroscience and Behavioral Physiology.* – 2015. – Vol. 45, No 9. – P. 1055–1062.
18. Thacher R. W. EEG and intelligence: relations between EEG coherence, EEG phase delay and power / R. W. Thacher, D. North, C. Biver // *Clin. Neurophysiol.* – 2005. – Vol. 116, No 9. – P. 2129–2141.
19. Свидерская Н. Е. Влияние информационного перенасыщения на качество творческой деятельности и пространственную организацию электроэнцефалограммы / Н. Е. Свидерская // *Физиология человека.* – 2011. – Т. 37, № 6. – С. 28–34.
20. Луцок Н. В. Модуляция внимания у здоровых детей с помощью курса сеансов обратной связи по характеристикам ЭЭГ / Н. В. Луцок, Е. В. Эйсмонт, В. Б. Павленко // *Нейрофизиология.* – 2006. – Т. 38, № 5/6. – С. 458–465.
21. Эйсмонт Е. В. Коррекция тревожности у детей и подростков с помощью курса сеансов обратной связи по характеристикам электроэнцефалограммы / Е. В. Эйсмонт, Т. А. Алиева, Н. В. Луцок, В. Б. Павленко // *Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия».* – 2009. – Т. 22 (61), № 4. – С. 286–294.
22. Эйсмонт Е. В. Снижение повышенной тревожности у детей и подростков с помощью нейротерапии: оценка эффективности / Е. В. Эйсмонт, Н. В. Луцок, В. Б. Павленко // *Нейрофизиология / Neuropsychology.* – 2011. – Т. 43, № 1. – С. 63–72.
23. Эйсмонт Е. В. Применение технологии ЭЭГ-биоуправления для коррекции психоэмоционального состояния детей / Е. В. Эйсмонт, Т. А. Алиева, Н. В. Луцок, В. Б. Павленко // *Бюллетень сибирской медицины.* – 2013. – Т. 12, № 2. – С. 175–181.
24. Прихожан А. М. Психология сиротства. 2-е изд. / А. М. Прихожан, Н. Н. Толстых. – СПб.: Питер, 2005. – 400 с.
25. Tremblay M. Brain activation with a maze test: an EEG coherence analysis study in healthy subjects / M. Tremblay, D. Lacroix, Y. Chaput, V. Fraile [et al.] // *Neuroreport.* – 1994. – Vol. 5, No 18. – P. 2449–2453.
26. Somsen R. J. Growth spurts in brain maturation during middle childhood as indexed by EEG power spectra / R. J. Somsen, B. J. van't Klooster, M. W. van der Molen [et al.] // *Biol. Psychol.* – 1997. – Vol. 44, No 3. – P. 187–209.
27. Fein G. EEG spectra in 9-13-year-old boys are stable over 1-3 years / G. Fein, D. Galin, C. D. Yingling [et al.] // *EEG and Clin. Neurophysiol.* – 1984. – Vol. 58, No 6. – P. 517–518.
28. Андреева Н. Г. Структурно-функциональная организация нервной системы / Н. Г. Андреева. – СПб.: Изд-во СПбГУ., 2003. – 262 с.
29. Posner M. I. The attention system of the human brain / M. I. Posner, S. E. Peterson. // *Ann. Rev. Neurosci.* – 1990. – Vol. 13. – P. 25–42.
30. Stuss D. T. No longer gage: Frontal lobe dysfunction and emotional changes / D. T. Stuss, C. A. Gow, C. R. Hetherington // *Journal of Consulting and Clinical Psychology.* – 1992. – No 60. – P. 349–359. doi:10.1037/0022-006X.60.3.349.

**CHANGE OF EEG COHERENCE AFTER RESULTS OF THE COURSE OF
NEUROTHERAPY BY CHILDREN 5-11 YEARS**

Kulichenko A. M., Eismont E. V., Pavlenko V. B.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia

E-mail: alexander.kulichenko@gmail.com

EEG coherence changes were studied as a result of a ten-fold training course aimed at increasing the power of the EEG signal in the alpha-rhythm range and decreasing in the theta-wave range. 10 children with increased anxiety and reduced indices of voluntary attention took part in the studies. EEG from 16 scalp electrodes was recorded before and after the course of biofeedback sessions. For comparative analysis, the Wilcoxon test was used. Statistically significant changes in the indices at the level $p < 0,05$ were considered. At $0,05 < p < 0,10$, the changes were considered as a statistical trend.

It was revealed that a statistically significant ($p < 0,05$) increase in the coherence coefficients of the wide spectrum of patients correlated with the improvement of the patients' state was observed as a result of the tenfold rate of alpha/theta training of the EEG of the sensorimotor zone of the right hemisphere (C4) of the brain aged 5–11 years rhythms between the frontal and parietal-temporal divisions of the left hemisphere. Among the most pronounced changes in the EEG coherence detected by comparing the EEG recordings before the last and first biofeedback sessions when the children were still (eyes closed), attention should be paid to the statistically significant increase in medians of this indicator in the beta and gamma bands in the short the right hemisphere pair P4-C4 – by 20,4 % ($p = 0,017$) and 16,7 % ($p = 0,047$), respectively. In the short pairs of the left hemisphere, there was also a significant increase in coherence. Thus, in the pair O1-P3, an increase in coherence in the theta range was observed at 15,9 % ($p = 0,047$); in the alpha range, coherence growth of 14,8 % was manifested in the trend ($p = 0,074$), in beta and gamma- the ranges of coherence values increased by 14,3 % ($p = 0,022$) and 17,3 % ($p = 0,013$), respectively. In the pair F3-Fp1, there was a tendency for a significant increase in the studied parameter in the theta range by 4,1 % ($p = 0,093$), in the alpha range the increase was 34,9 % ($p = 0,028$), in the beta and gamma ranges the increase in coherence by 17,0 % and 12,0 % did not reach statistical significance and manifested itself in the trend ($p = 0,074$ and $p = 0,093$, respectively).

Long intra-hemispheric connections also showed a number of changes. Thus, in the right-hand hemisphere pair O2-FP2, there was a tendency to decrease coherence in the beta band by 12,6 % ($p = 0,093$). In the left hemisphere, the P3-Fp1 pair showed statistically significant increases in coherence in the theta range by 9,8 % ($p = 0,037$), in beta and gamma-by 15,1 % ($p = 0,028$) and 17,6 % ($p = 0,047$), respectively.

Analysis of interhemispheric connections allowed to reveal a tendency to increase in coherence for the F4-F3 pair in the alpha range by 2,7 % ($p = 0,074$); in the T6-T5 pair, the coherence was reduced in the beta and gamma bands by 9,0 % ($p = 0,059$) and 10,0 % ($p = 0,059$), respectively.

The EEG-BOS course, which includes 10 sessions, leads to long-term positive changes in the functional state of the brain, which is reflected in a change in not only the

power spectra, but also the coherence of the EEG rhythms. The results indicate the advisability of applying coherence to assess the nature of the changes in the spatio-temporal pattern of the EEG.

Keywords: neurotherapy, EEG, coherence, children, anxiety, attention.

References

1. Livanov M. N., *Prostranstvennaya organizaciya processov golovnogogo mozga* (Moskva, Nauka, 1972).
2. Bekhtereva N. P., Nagornova Zh. V., Changes in EEG coherence during tests for nonverbal (figurative) creativity, *Fiziol. cheloveka*, **5**, 5 (2007).
3. Fingelkurts An. A., Functional connectivity in the brain – is it an elusive concept? *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, **28**, 827 (2005).
4. Machinskaya R. I., Kurganskiĭ A. V., A comparative electrophysiological study of regulatory components of working memory in adults and children of 7–8 years old. An analysis of coherence of EEG rhythms, *Fiziol. cheloveka*, **38**, 5 (2012).
5. Aoki F., F. Aoki, Fetz E. E., Shupe L., Ojemann G. A., Changes in power and coherence of brain activity in human sensorimotor cortex during performance of visuomotor tasks, *Biosystems*, **63**, 89 (2001).
6. Hanslmayr S., Aslan A., Staudigl T., Klimesch W. [et al.], Prestimulus oscillations predict visual perception performance between and within subjects, *Neuroimage*, **37**, 1465 (2007).
7. Zhang Y., Wang X., Bressler S., Chen Y., Ding M., Prestimulus cortical activity is correlated with speed of visuomotor processing, *J. Cogn. Neurosci.*, **20**, 1915 (2008).
8. Pulvermüller F., Birbaumer N., Lutzenberger W., Mohr B., High-frequency brain activity: Its possible role in attention, perception and language processing, *Progress Neurobiol.*, **52**, 427 (1997).
9. Fries P., Reynolds J. H., Rorie A. E., Desimone R. Modulation of oscillatory neuronal synchronization by selective visual attention, *Science*, **291**, 1560 (2001).
10. Hanslmayr S., Gross J., Klimesch W., Shapiro K. L., The role of alpha oscillations in temporal attention. *Brain Res. Rev.*; **67**, 331 (2011).
11. Sarnthein J., Petsche H., Rappelsberger P., Shaw G. L. [et al.], Synchronization between prefrontal and posterior association cortex during human working memory, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **95**, 7092 (1998).
12. Klimesch W., EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis, *Brain research reviews*, **29**, 169 (1999).
13. Klimesch W., Schack B., Sauseng P., The functional significance of theta and upper alpha oscillations, *Exp. Psychol.*, **52**, 99 (2005).
14. Hummel F., Gerloff C., Larger interregional synchrony is associated with greater behavioral success in a complex sensory integration task in humans, *Cereb. Cortex*, **15**, 670 (2005).
15. Razumnikova O. M., Individual'nye osobennosti polusharnoj aktivnosti, opredelyayushchie uspešnost' resheniya ehvristicheskoy zadachi, *Asimetriya*, **3**, 37 (2009).
16. Rilk A. J., Soekadar S. R., Sauseng P., Plewnia C., Alpha coherence predicts accuracy during a visuomotor tracking task, *Neuropsychologia*, **49**, 3704 (2011).
17. Farber D. A., Machinskaya R. I., Kurganskiĭ A. V., Petrenko N. E., Functional organization of the brain during preparation for recognition of image fragments, *Neuroscience and Behavioral Physiology*, **45**, 1055 (2015).
18. Thacher R. W., North D., Biver C., EEG and intelligence: relations between EEG coherence, EEG phase delay and power, *Clin. Neurophysiol*, **116**, 2129 (2005).
19. Sviderskaia N. E., Influence of information over saturation on quality of creative activity and EEG spatial organization, *Fiziol. Cheloveka*, **37**, 28 (2011).
20. Lutsyuk N. V., Eismont E. V., Pavlenko V. B., Modulation of attention in healthy children using a course of EEG-feedback sessions, *Neirofiziologiya/Neurophysiology*, **38**, 458 (2006).
21. Eysmont E. V., Alieva T. A., Lutsyuk N. V., Pavlenko V. B., Correction of anxiety in children and adolescents through the course of feedback sessions on the characteristics of the electroencephalogram, *Scientific Notes of Taurida V. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry*, **22** (61), 286 (2009).

22. Eismont E. V., Lutsyuk N. V., Pavlenko V. B., Moderation of increased anxiety in children and teenagers with the use of neurotherapy: estimation of the efficacy, *Neurophysiology*, **43**, 63 (2011).
23. Eismont Y. V., Aliyeva T. A., Lutsyuk N. V., Pavlenko V. B., Application of EEG feedback for the correction of psychoemotional state of children, *Bulletin of Siberian Medicine*, **12**, 175 (2013) DOI:10.20538/1682-0363-2013-2-175-181.
24. Prihozhan A. M., Tolstyh N. N. *Psihologiya sirotstva*. 2-e izd. (SPb.: Piter, 2005).
25. Tremblay M., Lacroix D., Chaput Y., Fraile V. [et al.], Brain activation with a maze test: an EEG coherence analysis study in healthy subjects, *Neuroreport*, **5**, 2449 (1994).
26. Somsen R. J., van't Klooster B. J., van der Molen M. W. [et al.], Growth spurts in brain maturation during middle childhood as indexed by EEG power spectra, *Biol. Psychol*, **44**, 187 (1997).
27. Fein G., Galin D., Yingling C. D. [et al.], EEG spectra in 9-13-year-old boys are stable over 1–3 years, *EEG and Clin. Neurophysiol.*, **58**, 517 (1984).
28. Andreeva N. G., *Strukturno-funkcional'naya organizatsiya nervnoj sistemy* (SPb., Izd-vo SPbGU, 2003).
29. Posner M. I., Peterson S. E., The attention system of the human brain, *Ann. Rev. Neurosci.*, **13**, 25 (1990).
30. Stuss D. T., Gow C. A., Hetherington C. R., No longer gage: Frontal lobe dysfunction and emotional changes, *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, **60**, 349 (1992) doi:10.1037/0022-006X.60.3.349.

УДК 594:574.586(262.5)

MOLLUSCA НА ИСКУССТВЕННЫХ ТВЕРДЫХ СУБСТРАТАХ ВДОЛЬ ПОБЕРЕЖЬЯ КРЫМА (ЧЕРНОЕ МОРЕ)

Макаров М. В.

*Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь,
Республика Крым, Россия*

E-mail: mihaliksevast@inbox.ru

Обобщены собственные данные (с 2002 по 2017 гг.) по видовому составу, численности, биомассе и трофической структуре Mollusca, обитающих на твердых искусственных субстратах вдоль черноморского побережья Крыма: в районах Севастополя, Южного берега Крыма и Карадага. Показано, что данный тип субстратов обильно заселен моллюсками.

Ключевые слова: искусственные твердые субстраты, обрастания, Mollusca, побережье Крыма, Черное море.

ВВЕДЕНИЕ

К неподвижным твёрдым искусственным субстратам относятся поверхности антропогенного происхождения: молы, волнорезы и тетраподы. Данный тип субстратов представлен у побережья Крыма весьма широко и характеризуется гладкой, преимущественно вертикальной поверхностью, кроме тетрапод, имеющих также наклонные и горизонтальные плоскости. Помимо различных гидротехнических функций, они являются субстратом для многих видов гидробионтов. Однако обрастания моллов, волнорезов и тетрапод изучены недостаточно. Данных по видовому составу, численности и биомассе моллюсков на искусственных рифах в прибрежье Крыма до XXI века было мало. Имеются только эпизодические сведения, в основном из района Севастополя [1; 2]. Начиная с 2000-х гг. нами накоплен большой массив данных по моллюскам искусственных твердых субстратов прибрежных акваторий Крымского полуострова [3–6].

Целью настоящей работы является обобщение данных по видовой и трофической структуре, численности и биомассе таксоцена Mollusca в обрастаниях неподвижных искусственных твердых субстратов у черноморского побережья Крыма.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор проб осуществляли с помощью рамки или скребков, обшитых мельничным газом, площадью 0,04, 0,06 и 0,1 м² и диаметром ячеей 0,5 мм. Материал собирали на волнорезах и молах (в акватории Карадагского природного заповедника, 2002–2003 гг.; в бухте Ласпи, 2003–2004 гг.; у побережья Алупки, 2015 г.; в Севастопольской бухте (Инкерман и Радиогорка), 2010 г.; в Артиллерийской бухте,

2015–2016 гг.; у открытого побережья Севастополя (парк Победы), 2011 г.; в Мартыновой бухте, 2015 г.; в Карантинной бухте, 2003–2004, 2011, 2014 гг.), а также на тетраподах в Карантинной бухте в 2016–2017 гг. (рис. 1, 2).

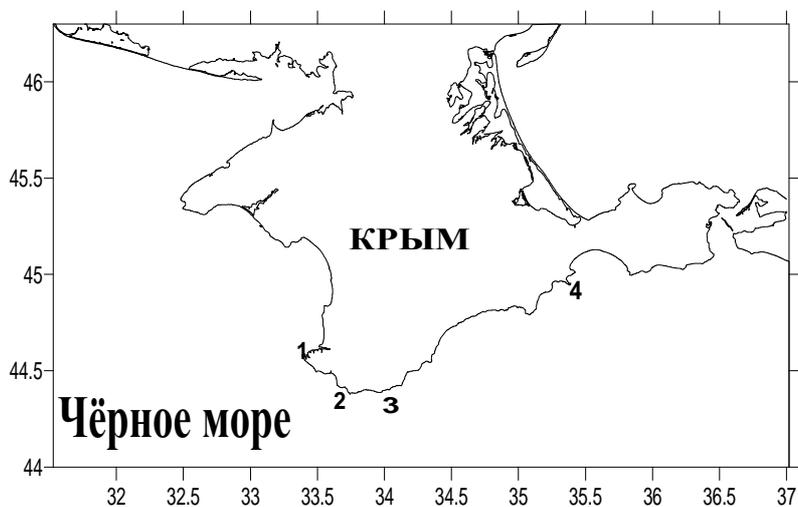


Рис. 1. Схема районов отбора проб на твердых искусственных субстратах у побережья Крыма (1 – район Севастополя; 2 – бухта Ласпи; 3 – побережье Алупки; 4 – Карадагский природный заповедник)

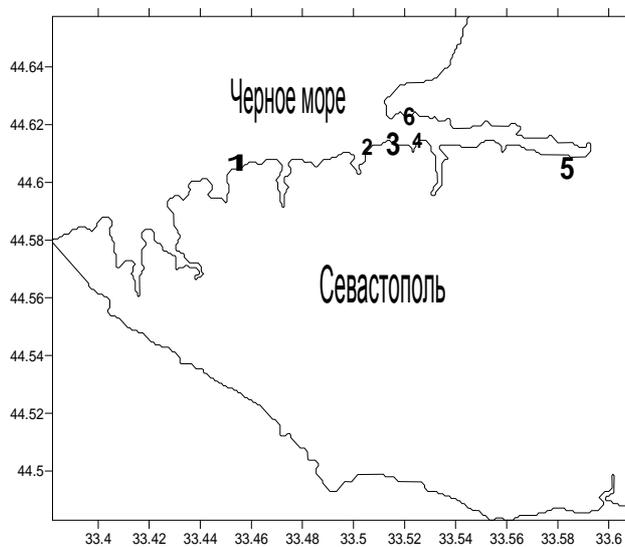


Рис. 2. Схема мест отбора проб на твердых искусственных субстратах в районе Севастополя (1 – Парк Победы, 2 – Карантинная бухта, 3 – Мартынова бухта, 4 – Артиллерийская бухта, 5 – Инкерман, 6 – Радиогорка)

Пробы брали на глубинах 0–3 м во все сезоны. Всего было взято 300 количественных проб. В камеральных условиях определяли видовой состав моллюсков, подсчитывали их количество (экз.), взвешивали на торсионных весах с точностью до 0,001 г, затем рассчитывали среднюю численность (экз.) и среднюю биомассу (г) каждого вида на единицу площади (m^2), а также доверительный интервал (\pm). Помимо этого, выявили трофическую структуру моллюсков.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Всего у побережья Крыма обнаружено 24 вида Mollusca, из них 1 вид относится к классу Polyplacophora, 4 вида – к классу Bivalvia и 16 видов – к классу Gastropoda (табл. 1).

Видовой состав достаточно богатый, с явным преобладанием гастропод. Такая таксономическая структура характерна и для моллюсковестественных твердых субстратов у крымского побережья [7]. Средняя численность Mollusca вдоль побережья Крыма составила 4834 ± 378 экз./ m^2 . Явно преобладает двустворчатый моллюск *M. lineatus*. Его доля в численности всех Mollusca около 90 %. Данный вид является доминирующим во всех районах у побережья Крыма не только на искусственных, но и на естественных твердых субстратах, образуя на них одноименные сообщества [7]. Численность скаловой формы мидии *M. galloprovincialis* в настоящее время относительно невысока, хотя этот вид также типичен для твердых субстратов, как и митилястер, но в последнее время уступает ему как на естественных, так и на искусственных жестких поверхностях. Моллюски *Parvicardium* sp. и *A. segmentum* не характерны для эпифауны жестких поверхностей и поэтому в наших пробах они встречены лишь в единичных экземплярах. Эти виды предпочитают в основном рыхлые грунты [8].

Среди Gastropoda доминируют массовые и эвритопные виды – *T. pullus*, *R. splendida* и *B. reticulatum*. Однако следует отметить и представителей семейства Ruyamidellidae (4 вида), которые являются стенотопными и предпочитают твердые субстраты. Среди них преобладает *O. eulimoides* – наиболее массовый вид из данного семейства. Отдельно можно выделить *G. adriatica*. Её распространение имеет мозаичный характер. Так, на молу в Карантинной бухте этот вид представлен в большом количестве, тогда как на тетраподах в данной бухте и других районах побережья Крыма на молах и волнорезах гиббула встречалась в очень малом количестве или отсутствовала. Такой характер распространения этого вида отмечен и на твердых естественных субстратах [7]. В единичных экземплярах в бухте Ласпи встречена *R. venosa*. Обнаружение этого вида в столь малом количестве и лишь в одном районе связано с тем, что он обитает преимущественно на других глубинах и в основном на рыхлых грунтах [9–12].

Таблица 1

Видовой состав, средняя численность и средняя биомасса Mollusca вдоль побережья Крыма

Вид	Средняя численность, экз./м ²	Средняя биомасса, г/м ²
<i>Lepidochitona cinerea</i> (Linnaeus, 1767)	14	0,279
<i>Abra segmentum</i> (Recluz, 1843)	<1	0,001
<i>Mytilaster lineatus</i> Gmelin, 1791	4341	348,706
<i>Mytilus galloprovincialis</i> Lamarck, 1819	216	291,249
<i>Parvicardium</i> sp.	<1	<0,001
<i>Bela nebula</i> (Montagu, 1803)	<1	<0,001
<i>Bitium reticulatum</i> (Da Costa, 1778)	54	0,729
<i>Cerithiopsis minima</i> (Brusina, 1865)	<1	<0,001
<i>Cerithiopsis tubercularis</i> (Montagu, 1803)	<1	0,001
<i>Gibbula adriatica</i> (Linnaeus, 1758)	35	2,663
<i>Limapontia capitata</i> (O. F. Müller, 1774)	<1	<0,001
<i>Marshallora adversa</i> (Montagu, 1803)	<1	<0,001
<i>Odostomia eulimoides</i> Hanley, 1844	10	0,014
<i>Omalogyra atomus</i> Philippi, 1841	<1	<0,001
<i>Parthenina indistincta</i> (Montagu, 1808)	<1	0,002
<i>Parthenina interstincta</i> (J. Adams, 1797)	<1	<0,001
<i>Rapana venosa</i> (Valenciennes, 1846)	<1	0,739
<i>Rissoa membranacea</i> J. Adams, 1800	<1	0,001
<i>Rissoa parva</i> (Da Costa, 1778)	2	0,003
<i>Rissoa splendid</i> (Eichwald, 1830)	74	1,614
<i>Setia turriculata</i> Monterosato, 1884	<1	0,002
<i>Spiralinella incerta</i> (Milaschewich, 1916)	<1	<0,001
<i>Tritia pellucida</i> (Risso, 1826)	<1	0,013
<i>Tricolia pullus</i> (Linnaeus, 1758)	89	1,08

Средняя биомасса Mollusca составила 647 ± 36 г/м². По биомассе, как и по численности, доминирует *M. lineatus*, однако его доля не столь значительная (около 50 %). Это связано с большой биомассой крупных по размерам *M. galloprovincialis*, которые в основном отмечены в Севастопольской бухте и ее частях – Мартыновой и Артиллерийской, что вероятно связано с благоприятными условиями для питания моллюска-фильтратора из-за повышенного содержания органики в данной акватории [13]. В Мартыновой бухте обнаружено полноценное разно-размерное поселение мидий [6].

Среди Gastropoda по биомассе преобладает *G. adriatica*. Это достаточно крупный брюхоногий моллюск. Массовые и эвритопные виды уступают по биомассе другим моллюскам вследствие их относительно небольших размеров.

В трофической структуре моллюсков на данном типе субстрата можно выделить 6 групп. По количеству видов преобладают фитофаги – 8 видов, что составляет 33 % от их общего числа (рис. 3).



Рис. 3. Трофическая структура Mollusca на твердых искусственных субстратах у черноморского побережья Крыма

Вероятно, это связано с наличием в большом количестве макрофитов и диатомового оброста на твердых искусственных субстратах на малой глубине. Также много отмечено хищников и эктопаразитов, что может говорить о большой представленности других групп и видов макрозообентоса, являющихся для них пищей. По численности и биомассе явно преобладают сестонофаги благодаря высокой численности и биомассе мидий и митилястеров, относящихся к этой трофической группе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таксоцен Mollusa на твердых искусственных субстратах у побережья Крыма от Севастополя до Карадага разнообразен в качественном и количественном отношении. Обнаружено 24 вида моллюсков. Средняя численность составила 4834 ± 378 экз./м², средняя биомасса 647 ± 36 г/м². Доминирующим по численности и биомассе видом является *Mytilaster lineatus*. Трофическая структура Mollusca весьма разнообразна и включает в себя 6 групп.

Статья выполнена в рамках госзадания по теме «Эколого-филогенетические аспекты формирования и антропогенная трансформация биоразнообразия и биоресурсного потенциала экосистем Азово-Черноморского бассейна и других районов Мирового океана» (№ 0828-2018-0002).

Список литературы

1. Брайко В. Д. Обрастание в Черном море / В. Д. Брайко – К.: Наукова думка, 1985. – 124 с.
2. Миронов О. Г. Формирование бентосных сообществ на новосозданных молочных сооружениях / О. Г. Миронов, Н. Ю. Миловидова, И. М. Цимбал // Гидробиологический журнал. – 1983. – Т. 19, № 1 – С. 48–53.
3. Гринцов В. А., Сообщество обрастания на искусственном рифе в п. Курортное (Карадаг) / Гринцов В. А., Мурина Г-В. В., Евстигнеева И. К., Макаров М. В. // Карадаг: гидробиологические исследования: Сб. научных трудов, посв. 90-летию Карадагской научной станции и 25-летию Карадаг. природ. заповедника НАНУ. – Симферополь: СОНАТ, 2004, кн. 2. – С. 152–165.
4. Макаров М. В. Сезонная динамика Gastropoda на жестких искусственных рифах (молах) в акватории Севастополя (Черное море) / М. В. Макаров // Наук. зап. ТНПУ. Сер. Биология. – Спец. выпуск гидроэкология, – 2005. – № 4 (27). – С. 146–148.
5. Макаров М. В. Моллюски в перифитоне твёрдых искусственных субстратов побережья Севастополя (юго-западный Крым, Чёрное море) / М. В. Макаров // Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Сер. Біологія. – 2012. – № 2 (51). – С. 168–172.
6. Макаров М. В. Макрозообентос гидротехнических сооружений в районах, различающихся по экологическим условиям у побережья Крыма (Чёрное море) / М. В. Макаров, Л. В. Бондаренко, В. Г. Копий, М. А. Ковалева // Экологический мониторинг и биоразнообразие. – № 1 (11). – 2016. – С. 76–80.
7. Макаров М. В. Структура таксоцены Mollusca на естественных твёрдых субстратах в акваториях охраняемых районов Крыма / М. В. Макаров, М. А. Ковалева // Экосистемы. – 2017. Вып. 9. – С. 20–24.
8. Киселева М. И. Бентос рыхлых грунтов Черного моря. / М. И. Киселева – К., Наукова думка, 1981. – 165 с.
9. Бондарев И. П. Состояние популяций рапаны (*Rapana venosa*) в крымской части ареала // Промысловые биоресурсы Чёрного и Азовского морей / И. П. Бондарев / Ред. В. Н. Еремеев, А. В. Гаевская, Г. Е. Шульман, Ю. А. Загородняя; НАН Украины, Институт биологии южных морей НАН Украины. – Севастополь, ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. – С. 177–189.
10. Макаров М. В. Размерная структура популяции *Rapana venosa* в акватории Керченского пролива летом 2013 г. / М. В. Макаров // Экологические проблемы Азово-Черноморского региона и комплексное управление прибрежной зоной. Материалы научно-практической молодежной конференции – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. – С. 75–77.
11. Макаров М. В. Размерно-весовая структура *Rapana venosa* (Mollusca, Gastropoda) у побережья Крыма в 2008 г. / М. В. Макаров // Биологическое разнообразие Кавказа и юга России. Материалы XVIII Межд. науч. конф. – Грозный, Академия наук ЧР. 2016. – С. 368–371.
12. Чухчин В. Д. Экология брюхоногих моллюсков Чёрного моря. / В. Д. Чухчин – К.: Наукова думка, 1984. – 176 с.

13. Миронов О. Г. Санитарно-биологические аспекты экологии севастопольских бухт в 20 веке / О. Г. Миронов, Л. Н. Кирюхина, С. В. Алемов. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – 185 с.

MOLLUSCA ON ARTIFICIAL HARD SUBSTRATES ALONG THE CRIMEAN COAST (THE BLACK SEA)

Makarov M. V.

*Institute of marine biological researches RAS, Sevastopol, Crimea, Russia
E-mail: mihaliksevast@inbox.ru*

Coastal zone is most dynamically and influence of antropogenic impact area. Besides natural surfaces in coastal zone, so hard artificial substrates are presented in it, in particular, along the Black sea coast of Crimea very widely. To immobile hard artificial substrates relative the surfaces of anthropogenic origin behave: breakwaters (malls), cutwaters, tetrapods. They are characterized a smooth, mainly vertical surface, except tetrapods, having sloping and horizontal surfaces also. Besides different hydrotechnical functions, they are surface for many species of benthic animals and plants. However, fouling of hard artificial substrates studied not enough yet. Data on specific composition, abundance and biomass of molluscs on artificial reefs along the crimean coast was very little to XXI century. Only episodic data, mainly from the region of Sevastopol was presented before. But since 2002 to 2017 years we are accumulated the large array of data on species composition, abundance and biomass of molluscs on artificial hard substrates along the Crimean peninsula from Sevastopol coast in south-west to Karadag nature reserve in south-east. In most areas we took samples in all seasons. Many species of mollusks were found in this biotope. So, the high abundance and biomass of molluscs on hard artificial substrates were found, especially of bivalves. Some species of Mollusca are widely spreading in all biotops, but some species are typically for hard surfaces only. The trophic structure of mollusks in this biotope has high diversity too. So, animals, including Mollusca as very important and mass benthic taxon, in fouling of artificial hard surfaces are very interesting and perspective for further researches.

The aim of this paper is generalization of our modern data on a specific and trophic structure, abundance and biomass of molluscs in fouling of hard artificial reefs along the Black sea Crimean coast.

Keywords: artificial hard substrates, foulings, Mollusca, Crimean coast, the Black sea.

References

1. Brayko V. D. *The fouling in the Black sea*, 224 (Naukova dumka, Kiev, 1985).
2. Mironov O. G., Milovidova N. Yu., Tsimbal I. M. Forming of benthic communities on newly created malls buildings, *Hydrobiological journal*, **19**, (1), 48 (1983).
3. Grintcov V. A., Murina G.-V. V., Evstigneeva I. K., Makarov M. V. *The community of fouling on hard artificial near village Kurortnoe (Karadag)*, Karadag: hydrobiological researches: proceedings of papers, dedicated 90-anniversary of Karadag scientific station and 25-years Karadag nature reserve NASU, **2**, 152 (SONAT, Simferopol, 2004).

4. Makarov M. V. The Seasonal dynamics of Gastropoda on hard artificial reefs (breakwaters) in the aquatorium of Sevastopol (the Black sea), *Proceedings of TNPU. Biology. Hydroecology*, **4 (27)**, 146 (2005).
5. Makarov M. V. Molluscs of hard artificial substrates of coast of Sevastopol (south-west Crimea, the Black sea), *Proceedings of TNPU. Biology*, **2 (51)**, 168 (2012).
6. Makarov M. V., Bondarenko L. V., Kopyy V. G., Kovaleva M. A. Macrozoobenthos of biofouling of hydraulic engineering structures in areas which are different in ecological conditions near the crimean coast (the Black sea), *Ecological monitoring and biodiversity*, **1 (11)**, 76 (2016).
7. Makarov M. V., Kovalyova M. A. The structure of taxon of molluscs on natural hard substrates in aquatorium of Crimean reserve areas, *Ekosystemy*, **9 (39)**, 20 (2017).
8. Kiseleva M. I. *The benthos of soft sediments of the Black sea*, 165 (Naukova dumka, Kiev, 1965).
9. Bondarev I. P. State of populations of *Rapanavenosa* in Crimean part of natural habitat, *The commercial bioresources Black and Azov seas*, of Red. V. N. Eremeev, A. V. Gaevskaya, G. E. Sulman, Yu. A. Zagorodnyaya; NAS of Ukraine, Institute of biology of south seas of NAS of Ukraine, 177 (Ekosi-hydrophysics, Sevastopol, 2011).
10. Makarov M. V. The size structure of population of *Rapana venosa* in the aquatorium of the Kerch strait in summer 2013, *Materials of scientific and practice youth conference «Ecological problems of the Azov-Black seas region and complex management by coastal zone»*, Sevastopol: Ecosi-hydrophysics, 75 (Sevastopol, 2014).
11. Makarov M. V. Size-weight structure of *Rapana venosa* (Mollusca, Gastropoda) near Crimean coast in 2008 // *Biodiversity of Caucasus and South of Russia. Proceeding of XVIII international conference*, 368 (Grozniy, 2016).
12. Chukhchin V. D. *The ecology of gastropods of the Black sea*, 176 (Naukova dumka, Kiev, 1984).
13. Mironov O. G., Kiryuhina L. N., Alemov S. V. *Medical-biological aspects of ecology of Sevastopol bays in XX centure*, 185 (ECOSI-Hydrophisc, Sevastopol, 2003).

УДК 796.015.686:616.12-008.1-072.7

ВЛИЯНИЕ СОРЕВНОВАТЕЛЬНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ПОКАЗАТЕЛИ РЕГУЛЯЦИИ РИТМА СЕРДЦА У СПОРТСМЕНОВ- ГИРЕВИКОВ

Мишин Н. П., Нагаева Е. И., Черный С. В., Кузьменко Т. Н.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: mishinnick@yandex.ru*

В статье рассмотрены изменения в регуляции сердечно-сосудистой системы спортсменов-гиревиков под влиянием соревновательных нагрузок, выявленные с помощью анализа вариабельности сердечного ритма. Исследование показало, что у спортсменов-гиревиков массовых разрядов имеются типологические различия в регуляции сердечного ритма до и после соревновательных нагрузок.

Ключевые слова: гиревой спорт, соревновательные нагрузки, вариабельность сердечного ритма, вегетативная нервная система, функциональная готовность.

ВВЕДЕНИЕ

Гиревой спорт – это один из видов единоборств, суть которого состоит в поднятии гирь с определенного веса максимальное количество раз с реализацией определенного технического комплекса.

Гиревой спорт способствует формированию у молодежи потребности в здоровом образе жизни, осуществлению гармоничного развития личности, воспитанию ответственности и профессионального самоопределения в соответствии с индивидуальными способностями. Гиревой спорт развивает такие физические качества, как сила, общая и силовая выносливость, ловкость (координация движений), гибкость, а также способствует формированию морально-волевых качеств занимающихся – целеустремленности, настойчивости, решительности.

Упражнения с гирями эффективно влияют на гармоничное развитие сердечно-сосудистой и дыхательной систем, а также опорно-двигательного аппарата [1].

Современный гиревой спорт предъявляет высокие требования к функциональной готовности сердечно-сосудистой системы спортсменов в процессе тренировок и соревнований, для чего рекомендуется проводить контроль частоты сердечных сокращений, являющийся наиболее доступным физиологическим параметром. Детальный анализ частоты сокращений миокарда позволяет выявлять динамические характеристики сердечного ритма (СР), отражающие выраженность сдвигов вагосимпатической регуляции при изменении функционального состояния сердечно-сосудистой системы (ССС) человека [2].

Данные variability ритма сердца (BCP) могут быть полезными при оценке адаптации организма спортсменов к соревновательным нагрузкам, могут отражать уровень функциональной готовности спортсменов, предупреждая появление перетренированности [3].

Однако изменения, происходящие в регуляции работы сердечно-сосудистой системы у спортсменов-гиревиков массовых разрядов в процессе соревновательной деятельности, изучены недостаточно хорошо. В связи с этим целью нашего исследования было выявление особенностей регуляции сердечно-сосудистой системы спортсменов, занимающихся гиревым спортом, под влиянием соревновательных нагрузок.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на базе кафедры медико-биологических основ физической культуры факультета физической культуры и спорта Таврической академии Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского.

В исследовании принимали участие 20 спортсменов-гиревиков массовых разрядов в возрасте от 18 до 30 лет ($22,3 \pm 1,02$ года), весом от 63 до 89 кг ($76,9 \pm 2,4$ кг) и ростом от 168 до 185 см ($177,7 \pm 1,8$ см). Стаж занятий гиревым спортом на момент обследования составлял от 2 до 8 лет.

Исследование проводили в 2 этапа. На первом этапе проводилась регистрация функциональных показателей сердечно-сосудистой системы спортсменов в предсоревновательном периоде (в последний день перед соревнованиями), на втором этапе – регистрация аналогичных показателей в постсоревновательном периоде (на второй день после соревнований). Запись показателей проводили в условиях относительного покоя, испытуемые лежали.

Регистрацию показателей variability сердечного ритма проводили с помощью электрокардиографического комплекса «КАРДИОЛАБ» производства фирмы «ХАИ-МЕДИКА» (Украина, г. Харьков) согласно рекомендациям рабочей группы Европейского кардиологического общества и Североамериканского общества электрофизиологии, длительность записи составила 5 мин в положении лежа [4].

При анализе результатов учитывались следующие показатели: частота сердечных сокращений (HR, уд/мин), стандартное отклонение величин нормальных RR-интервалов (SDNN, мс), квадратный корень среднего значения квадратов разностей длительностей последовательных NN-интервалов (RMSSD, мс), процент NN50 от общего количества последовательных пар интервалов, различающихся более, чем на 50 миллисекунд, полученное за весь период записи (pNN50, %), коэффициент вариации NN-интервалов (CV, %), показатель суммарной мощности спектра сердечного ритма (TP, мс²), мощность спектра в диапазоне высоких частот (HF, мс²), мощность спектра в диапазоне низких частот (LF, мс²), мощность спектра в диапазоне очень низких частот (VLF, мс²), вариационный размах (BAP, с.), амплитуда моды (AMo, %), индекс напряжения регуляторных систем или стресс-индекс (ИН или SI, у. е.), отношение мощности низких частот к мощности высоких (LF/HF, мс²) показатель активности регуляторных систем (ПАРС, у. е.) [5; 6].

В результате проведения первого этапа исследования спортсмены-гиревики были разделены на 2 группы на основании типа вегетативной регуляции ритма сердца по показателям индекса напряжения регуляторных систем согласно Р. М. Баевскому [6]. Первую группу (10 человек) составили спортсмены с преобладанием тонуса симпатического отдела вегетативной нервной системы – симпатикотонией (ИН > 200 у. е.), вторую группу (10 человек) – спортсмены с эйтонией (ИН от 50 до 200 у. е.) [7].

Полученные результаты обрабатывали с использованием пакета программ «Microsoft Office Excel 2003» и «Statistica 6.0» методами описательной и непараметрической статистики. Межгрупповые различия оценивали по критерию Манна – Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований под влиянием соревновательных физических нагрузок нами выявлены разнонаправленные изменения у спортсменов-гиревиков с различным исходным тономусом вегетативной регуляции.

У спортсменов-гиревиков первой группы (рис. 1) с повышенным исходным тономусом симпатического отдела ВНС после соревновательных нагрузок статистически значимо изменились значения показателей SDNN на 46,3 %, с $32,4 \pm 1,12$ мс до $47,4 \pm 4,46$ мс ($p < 0,05$).

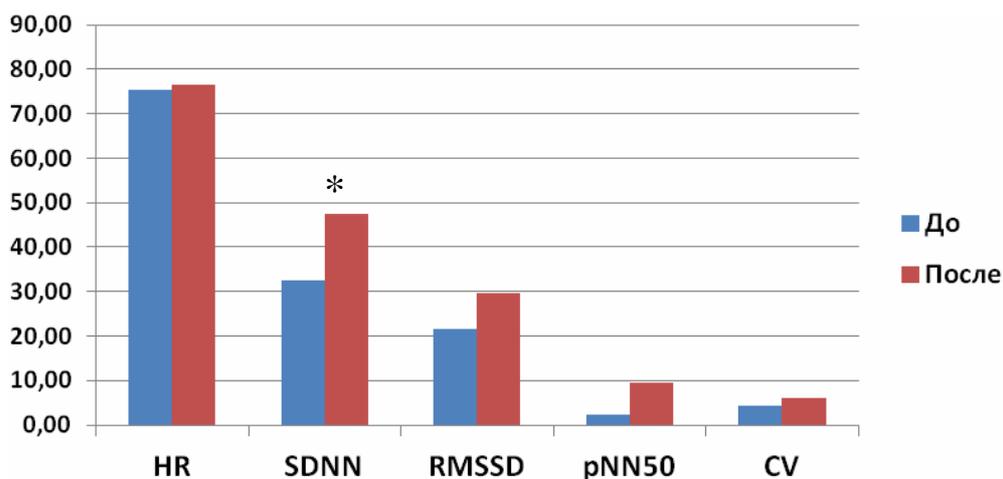


Рис. 1. Сравнительная характеристика статистических показателей variability ритма сердца у спортсменов-гиревиков первой группы до и после соревнований.

По оси абсцисс – абсолютные значения анализируемых показателей (пояснения в тексте), по оси ординат – функциональные характеристики сердечно-сосудистой системы. * – статистические различия достоверны при $p < 0,05$

SDNN является интегральным показателем влияния симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы (ВНС) на синусовый ритм, его увеличение свидетельствует о возрастании вагусных влияний в регуляции работы сердца [8].

Анализ спектральной плотности сердечного ритма позволяет количественно оценить различные частотные составляющие колебаний ритма сердца и представить соотношения разных компонентов СР, отражающих активность определенных звеньев регуляторного механизма [8]. Изменение спектральные характеристик регуляции сердечного ритма у спортсменов-гиревиков первой группы выражались в увеличении общего спектра мощности ритма (рис. 2.) в регуляции работы сердца на 121,5 %, с $1029,6 \pm 64,85 \text{ мс}^2$ до $2281,0 \pm 430,21 \text{ мс}^2$ ($p < 0,05$).

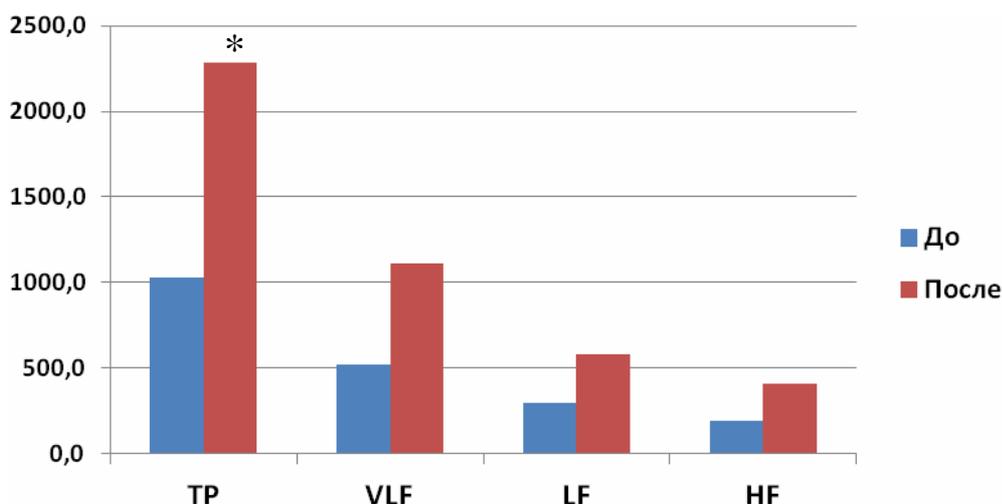


Рис. 2. Сравнительная характеристика спектральных показателей variability ритма сердца у спортсменов-гиревиков первой группы до и после соревнований.

Обозначения – как на рис.1.

Данные изменения свидетельствуют об увеличении влияний автономного контура регуляции в управлении ритмом сердца и усилении вагусных влияний на сердечно-сосудистую систему [9]. Увеличение вклада парасимпатических влияний на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы может свидетельствовать об усилении анаболических процессов в миокарде вследствие активизации восстановительных процессов [10].

Геометрические показатели регуляции ритма сердца в результате соревновательных нагрузок у спортсменов первой группы изменились следующим образом (рис. 3). Так, показатели вариационного размаха выросли на 28,6 %, с $173,6 \pm 9,31 \text{ мс}$ до $223,2 \pm 14,91 \text{ мс}$ ($p < 0,05$), показатели АМо снизились на 21,8 % с $53,2 \pm 1,07 \%$ до $41,6 \pm 2,46 \%$ ($p < 0,05$), показатели индекса напряжения миокарда

снизились на 32,5 % с $203,6 \pm 13,06$ усл. ед. до $127,2 \pm 18,01$ усл. ед. ($p < 0,05$). Наблюдаемые изменения данных показателей свидетельствуют о снижении симпатических влияний после окончания соревнований и активизации процессов восстановления.

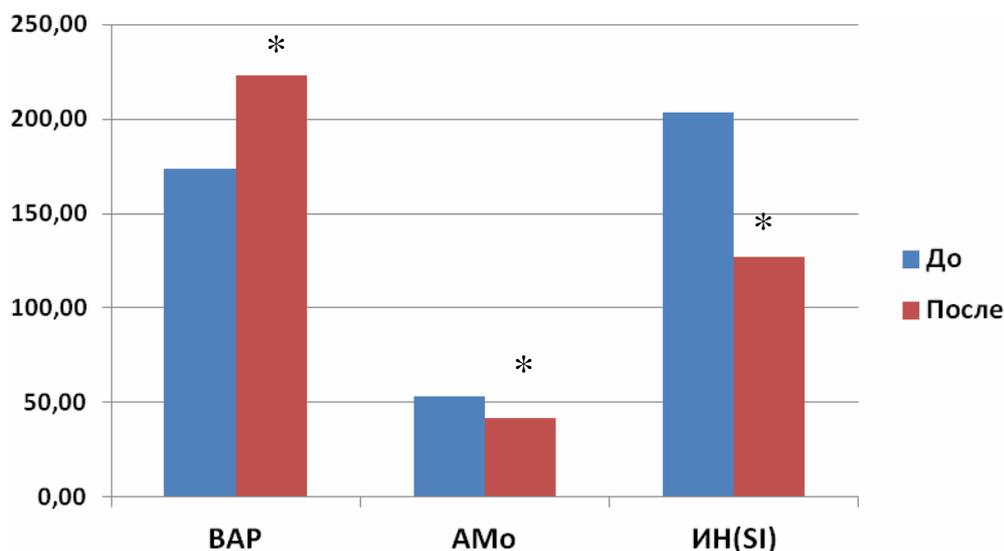


Рис. 3. Сравнительная характеристика спектральных показателей variability ритма сердца у спортсменов-гиревиков первой группы до и после соревнований.

Обозначения как на рис. 1.

У спортсменов-гиревиков первой группы под влиянием соревновательных нагрузок отмечено снижение показателей ПАРС (рис. 4.) на 61,3 %, с $6,2 \pm 0,20$ у. е. до $2,4 \pm 0,87$ у. е. ($p < 0,05$).

В общем наблюдаемые нами изменения функциональных показателей работы сердца свидетельствуют о смещении ваго-симпатического баланса в сторону усиления активности парасимпатического отдела ВНС и увеличении доминирования автономного контура в регуляции ритма сердца у спортсменов-гиревиков первой группы [11]. Можно отметить, что после соревнований ваго-симпатический баланс в регуляции ритма сердца спортсменов данной группы сместился в сторону усиления активности парасимпатического отдела ВНС и тип регуляции изменился с симпатикотонического на эйтонический.

У спортсменов-гиревиков второй группы функциональные изменения работы сердца под влиянием соревновательного стресса привели к незначительным изменениям в регуляции ритма сердца, которые не нашли статистического подтверждения. В целом тип вегетативной регуляции у спортсменов второй группы остался эйтоническим, а большинство изменений можно качественно характеризовать умеренной степенью утомления после соревновательных нагрузок [5].

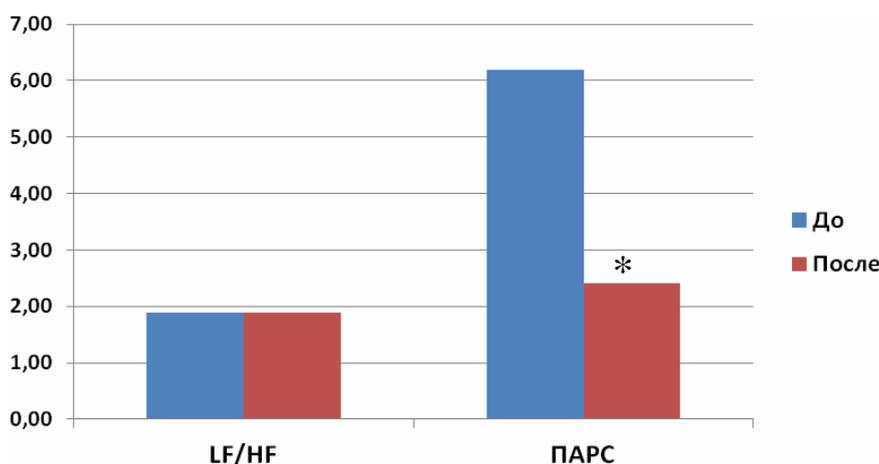


Рис. 4. Сравнительная характеристика спектральных показателей variability ритма сердца у спортсменов-гиревиков первой группы до и после соревнований. Обозначения – как на рис. 1.

Из представленных выше данных можно заключить, что предсоревновательный этап у спортсменов первой группы вызывает более существенные функциональные сдвиги со стороны работы сердца. Указанные изменения обусловлены высоким уровнем активации симпато-адреналовой системы, напряжением регуляторных систем и централизацией сердечного ритма. Наблюдаемые изменения можно охарактеризовать как состояние предстартовой лихорадки, которое может оказывать негативное влияние на конечный соревновательный результат. По окончании соревнований функциональное состояние спортсменов данной группы характеризовалось усилением парасимпатических влияний и увеличением вклада автономной регуляции в работу сердца, переходом из симпатикотонического типа регуляции в эйтонический тип.

Спортсмены второй группы до соревнований характеризовались функциональным состоянием сердечно-сосудистой системы, близким к оптимальному, сбалансированным (эйтоническим) типом регуляции работы сердца, умеренным, рабочим напряжением регуляторных систем. Указанные особенности характеризуют адекватную мобилизацию сердечно-сосудистой системы к предстоящим стартам [8]. В постсоревновательный период у спортсменов данной группы отмечалось умеренное напряжение регуляторных систем, выразившееся в незначительном росте вклада центральных механизмов в регуляцию работы сердца.

Таким образом, определение исходного типа регуляции позволяет оценить у спортсменов уровень подготовленности сердечно-сосудистой системы к выполнению соревновательных упражнений, а также выявить функциональные, адаптивные и резервные возможности организма. В целом знание индивидуально-типологических особенностей регуляторных систем позволяет прогнозировать характер адаптивных реакций у спортсменов при выполнении нагрузок и тем самым помогает избежать перетренированности [12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изменения функциональных показателей работы сердца под влиянием соревновательных нагрузок свидетельствуют о смещении ваго-симпатического баланса в сторону усиления активности парасимпатического отдела ВНС и увеличении доминирования автономного контура в регуляции ритма сердца у спортсменов-гиревиков первой группы.
2. У спортсменов-гиревиков второй группы не выявлено существенных изменений в функциональном состоянии работы сердечно-сосудистой системы после прошедших соревнований, отмечено незначительное утомление согласно показателям ПАРС и снижению общего спектра регуляции сердечного ритма.

Список литературы

1. Баранов В. В. Гиревой спорт в физическом воспитании студентов / В. В. Баранов, С. П. Павлов, Н. Н. Фунтиков // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры материалы Всероссийской научно-методической конференции. Оренбургский государственный университет. – 2017. – С. 4144–4148.
2. Тарабрина Н. Ю. Роль активной тракционно-ротационной миорелаксации в рефлекторной коррекции вестибулярных реакций спортсменов с учетом исходного вегетативного тонуса / Н. Ю. Тарабрина, Е. Ю. Грабовская, Т. Д. Лялина // Физическая культура, спорт и здоровье в современном обществе сборник научных статей Всероссийской с международным участием очно-заочной научно-практической конференции. Воронежский государственный институт физической культуры. – 2016. – С. 225–229.
3. Орешников Е. В. Вариабельность сердечного ритма у спортсменов-гиревиков / Е. В. Орешников, В. Ф. Тихонов, Т. В. Агафонкина // Физиология человека. – 2009. – Т. 35. – № 4. – С. 139–141.
4. Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use // Eur. Heart J. – 1996. – V. 17. – P. 354–381.
5. Михайлов В. М. Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения. / В. М. Михайлов. – Иваново, 2002. – 290 с.
6. Баевский Р. М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р. М. Баевский, А. П. Берсенева. – М.: Медицина, 1997. – 236 с.
7. Индивидуальный профиль функционального состояния организма студентов с различным типом вегетативной регуляции / Е. Н. Чуян, Е. А. Бирюкова, М. Ю. Раваева, И. Р. Никифоров // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Сер. «Биология, химия». – 2009. – Т. 22 (61), № 2. – С.152–165.
8. Питкевич Ю. Э. Вариабельность сердечного ритма у спортсменов / Ю. Э. Питкевич // Проблемы здоровья и экологии, 2010. – № 4 (26). – С. 101–106.
9. Гаврилова Е. А. Спорт, стресс, вариабельность: монография. / Е. А. Гаврилова. – М.: Спорт, 2015. – 168 с.
10. Дубровский В. И. Спортивная медицина: учеб. для студентов вузов, обучающихся по педагогическим специальностям / В. И. Дубровский. – М.: Гуманитар. изд. центр ВАЛДОС, 2005. – 528 с.
11. Кожевников В. С. Индивидуальный портрет ВСР в покое и при ортостатическом тестировании у спортсмена-ходока в подготовительном тренировочном периоде / В. С. Кожевников, Н. И. Шлык // Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение: тез. докл. IV Всерос. симпози. с междунар. участием. Ижевск, 2008. – С. 140–141.
12. Комплексная оценка функционального состояния спортсменов восточных боевых единоборств в период предсоревновательной подготовки / Л. В. Сорокина, С. А. Королев, С. Н. Минаев и др. // Вестник спортивной науки, 2012. – № 3. – С. 65–70.

INFLUENCE OF THE COMPETITIVE PHYSICAL LOAD ON THE INDICATORS OF THE HEART RHYTHM REGULATION IN KETTLEBELL LIFTERS

Mishin N. P., Nagaeva E. I., Cherniy S. V., Kuzmenko T. N.

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

The kettlebell lifting contributes to the formation of young people's need for a healthy lifestyle, the implementation of harmonious development of the individual, the education of responsibility and professional self-determination in accordance with individual abilities.

Modern kettlebell lifting makes high demands on the functional readiness of athletes in the process of training and competitions, for which it is recommended to monitor the heart rate indices, which is the easiest to measure physiological parameter. A detailed analysis of the frequency of myocardial contractions makes it possible to detect the dynamic characteristics of the heart rhythm (HR) reflecting the shifts in the vagosympathetic regulation when the functional state of the cardiovascular system (CVS) of a person changes.

The purpose of the study is to discover the characteristics of regulation of the cardiovascular system of athletes engaged in kettlebell-lifting, under the influence of competitive loads.

Twenty kettlebell lifters aged from 18 to 30 years were divided into 2 groups based on the type of vegetative regulation of the heart rhythm according to the indices of the regulatory system stress index by R. M. Bayevsky. The registration of heart rate variability was performed with the help of an electrocardiographic complex "KARDIOLAB" ("XAI-MEDICA" company, Ukraine, Kharkov). In compliance with the recommendations of the working group of the European Cardiological Society and the North American Society of Electrophysiology, the recording time was 5 minutes in the prone position.

The study showed that under the influence of competitive loads, changes in the functional performance of the heart indicate a shift in the vago-sympathetic balance towards increased activity of the parasympathetic department of the autonomic nervous system and an increase in the dominance of the autonomic contour in the regulation of the heart rhythm in the first group of weightlifters. There were no significant changes in the functional state of the cardiovascular system in the second group of kettlebell lifters after the past competitions, the slight fatigue was present, judging by the PARS indices and a decrease in the overall spectrum of heart rate regulation.

Keywords: kettlebell-lifting, competitive loads, heart rate variability, autonomic nervous system, functional readiness.

References

1. Baranov V. V., Pavlov S. P., Funtikov N. N., Girevoy sport v fizicheskom vospitanii studentov, *Universitetskiy kompleks kak regionalnyy tsentr obrazovaniya. nauki i kultury materialy Vserossiyskoy nauchno-metodicheskoy konferentsii. Orenburgskiy gosudarstvennyy universitet*, 4144 (2017).
2. Tarabrina N. Yu. Grabovskaya E. Yu., Lyalina T. D., Rol aktivnoy traksionno-rotatsionnoy miorelaksatsii v reflektornoy korrektsii vestibulyarnykh reaktsiy sportsmenov s uchetom iskhodnogo vegetativnogo tonusa, *Fizicheskaya kultura. sport i zdorovye v sovremennom obshchestve sbornik nauchnykh statey Vserossiyskoy s mezhdunarodnym uchastiyem ochno-zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Voronezhskiy gosudarstvennyy institut fizicheskoy kultury*, 225 (2016).
3. Oreshnikov E. V., Tikhonov V. F., Agafonkina T. V., Variabelnost serdechnogo ritma u sportsmenov-girevikov, *Fiziologiya cheloveka*, **4**, **35**, 139 (2009).
4. Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use, *Eur. Heart J.*, **17**, 354 (1996).
5. Mikhajlov V. M., *Variabel'nost' ritma serdtsa. Opyt prakticheskogo primeneniya metoda*, 290. (Ivanovo, 2002).
6. Baevskij R. M., Berseneva A. P., *Otsenka adaptatsionnykh vozmozhnostej organizma i risk razvitiya zabolevanij*, 236. (Meditsina, Moskva, 1997).
7. Chuyan E. N., Biryukova E. A., Ravaeva M. YU., Nikiforov I. R., Individual'nyj profil' funktsional'nogo sostoyaniya organizma studentov s razlichnym tipom vegetativnoj regulyatsii, *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Ser. «Biologiya, khimiya»*. **22(61)**, **2**, 152 (2009).
8. Pitkevich Yu. E. Variabelnost serdechnogo ritma u sportsmenov, *Problemy zdorovia i ekologii*, **4** (**26**) 101 (2010).
9. Gavrilova E. A., *Sport. stress. variabelnost: monografiya*, 168 (Sport, Moskva, 2015).
10. Dubrovskiy V. I., *Sportivnaya meditsina: ucheb. dlya studentov vuzov, obuchayushchikhsya po pedagogicheskim spetsialnostyam*, 528 (Gumanitar. izd. tsentr VALDOS, Moskva, 2005).
11. Kozhevnikov V. S., Shlyk N. I., Individualnyy portret VSR v pokoye i pri ortostaticheskom testirovanii u sportsmena-khodoka v podgotovitelnom trenirovochnom periode, *Variabelnost serdechnogo ritma: teoreticheskiye aspekty i prakticheskoye primeneniye: tez. dokl. IV Vseros. simpoz. s mezhdunar. uchastiyem. Izhevsk*, 140 (2008).
12. Sorokina L. V., Korolev S. A. Minayev S. N. i dr., Kompleksnaya otsenka funktsionalnogo sostoyaniya sportsmenov vostochnykh boyevykh edinoborstv v period predsorevnovatelnoy podgotovki, *Vestnik sportivnoy nauki*, **3**, 65 (2012).

УДК 577.112.3:591.1:57.021: 57.023

ВЛИЯНИЕ КУРСОВОГО ИНТРАНАЗАЛЬНОГО ВВЕДЕНИЯ МАЛЫХ ДОЗ ДАЛАРГИНА НА ДИНАМИКУ УРОВНЯ МОЛЕКУЛ СРЕДНЕЙ МАССЫ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ ЛАБОРАТОРНЫХ КРЫС, ПОДВЕРГНУТЫХ СТРЕССОРНОМУ УЛЬЦЕРОГЕНЕЗУ

Никольская В. А.^{1,2}, Черетаев И. В.¹, Минина Е. Н.¹

¹*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия*

²*Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь, Россия
E-mail: ladyvictoria_nikol@mail.ru*

В работе изучали влияние курсового интраназального введения малых доз даларгина на динамику содержания молекул средней массы в сыворотке крови лабораторных крыс при стрессорном ulcerogenezе. Эксперименты выполнены на 32 беспородных крысах-самцах массой 180–220 г. Было показано, что превентивное курсовое 28-дневное интраназальное введение даларгина (0,2 мг/кг) в условиях воздействия стрессорного ulcerogenezа приводило к возвращению к уровню нормы индекса распределения (ИР_{280/254}) молекул средней массы, регистрируемых при λ 254 и 280 нм, оказывая стресс-протекторное действие. ИР_{280/254} является показателем, отражающим протекание регуляторных процессов в организме с вовлечением стресс-лимитирующих систем ($\lambda = 280$ нм) и патологических, стресс-реализующего характера ($\lambda = 254$ нм).

Ключевые слова: молекулы средней массы, стрессорный ulcerogenez, даларгин, малые дозы, интраназальное введение, лабораторные крысы, сыворотка крови.

ВВЕДЕНИЕ

Интраназальное применение биологически активных веществ является перспективной областью медико-биологических исследований, так как этот способ введения обеспечивает наиболее быструю доставку лекарственных средств [1]. Основными преимуществами интраназального пути введения лекарственных веществ является наличие центрального действия лекарственных веществ (ЛВ) за счет того, что оболочки обонятельных нервов лишены гематоэнцефалического барьера (ГЭБ), ЛВ из носовой полости могут сразу же поступать в головной мозг; высокая биодоступность (отсутствие эффекта первого прохождения через печень и связанных с этим неблагоприятных реакций); удобство и легкость применения; быстрота развития системного эффекта (5–10 мин после применения) [1; 2].

Особое место среди препаратов, для которых этот способ доставки наиболее предпочтителен, занимают нейропептиды энкефалины, эндорфины и их аналоги, участвующие в регуляции функций нервной системы и оказывающие антистрессорное и протекторное действие, поскольку многие из них не способны

проникать через ГЭБ [1; 2]. К одним из таких нейропептидов, который является аналогом мет-энкефалина, относится даларгин. Традиционно даларгин считается препаратом периферического действия, реализующим свои эффекты через активацию периферических μ - и δ -опиоидных рецепторов, поскольку его проникновение через ГЭБ затруднено [3]. Вместе с тем даларгин всё же способен преодолевать ГЭБ при введении его в дозах от 500 до 1000 мкг/кг и выше [4], а значит активировать и центральные опиатные рецепторы. Известно [3–5], что в различных дозах при пероральном введении обладает выраженным гастропротекторным, антиоксидантным, стресс-протекторным и противоболевым действием. Существуют убедительные доказательства выраженной биологической эффективности интраназально вводимого даларгина в малых дозах (10^{-9} – 10^{-11} М) в предотвращении различных последствий физиологического стресса в организме. В частности, показано, что в малых дозах даларгин при курсовом введении обладает противоболевым и антидепрессантным действием [5–7], однако физиологические и биохимические механизмы этих эффектов пока не выяснены. Не исключено, что в их раскрытие значительный вклад может внести изучение динамики специфических маркёров, сопровождающих развитие патологических и стрессорных реакций в организме.

На сегодняшний день интегральным маркёром физиологического и биохимического статуса организма при различных патологиях является определение молекул средней массы (МСМ) [8]. Возможности этого метода для идентификации интоксикационных процессов в различном биологическом материале весьма органично вписались и реализуются в скрининговой диагностике общего состояния организма, а также стали неотъемлемой частью идентификации значительного уровня отклонений при различных патологиях [8; 9]. Следует отметить, что, как правило, полиэтиологичность в определении МСМ проявляется в неспецифическом возрастании данного пула соединений в организме. Это было отмечено как при различного рода патологических состояниях, так и при окислительном стрессе [8–12]. Например, увеличение МСМ наблюдалось в модели ulcerogenezа, вызванного индометацином [12]. Известно [13], что состояние стресса приводит к напряжению всех систем организма, что, вероятно, должно сказаться и на уровне МСМ. Общие сведения о МСМ сводятся к тому, что это гетерогенная полифункциональная группа, включающая в себя вещества различной химической структуры, отличающиеся природой происхождения [9]. Возможно, что именно эти свойства и характеристики способствуют реализации их участия, в том числе в качестве биорегуляторов [9; 12; 14], во всех рассмотренных в литературе процессах, сопровождающихся тем или иным родом отклонений в организме.

Цель работы – изучить влияние курсового интраназального введения малых доз даларгина на динамику содержания молекул средней массы в сыворотке крови лабораторных крыс при стрессорном ulcerogenezе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили с соблюдением принципов, изложенных в Конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других целей (Страсбург, Франция, 1986).

Эксперимент выполнен в течение 28 дней на 32 половозрелых беспородных крысах-самцах массой 180–220 г., разделённых на 4 группы по 8 особей, которым вводили интраназально вещества в объеме 0,1 мл согласно табл. 1. Введение веществ на 28-й день эксперимента опытным группам № 2 и № 3 осуществляли за 30 минут до проведения стрессорного ульцерогенеза. Даларгин («Фармсинтез», Украина) растворяли в физиологическом растворе. Нами выбрана наиболее эффективная малая доза этого препарата при интраназальном введении на основании предыдущих исследований его биологической активности в тесте Порсолта [6].

Стресс-реакцию «стрессорный ульцерогенез» моделировали на экспериментальных животных в модели вынужденного плавания [15] в бассейне в течение 60 мин. Животные, которые не подвергались стрессорному ульцерогенезу согласно плану эксперимента (контрольная группа и опытная группа № 1, см. табл. 1), в это время оставались в своих клетках. За 24 ч до стрессорного воздействия животных всех групп не кормили, оставляя свободный доступ к воде. Бассейн представлял керамическую ёмкость размерами 80 x 80 x 130 см. Уровень воды в нём составлял 30 см, а температура воды – + 20°C. Забой экспериментальных животных осуществляли через 30 мин. после стрессорного ульцерогенеза (через 2 часа с момента введения веществ) путём декапитации на гильотине («НПК Открытая наука, Россия»). Кровь отбирали в вакуумные пробирки с разделительным гелем для сыворотки BD Vacutainer® (BD Vacutainer® SST™ II Advance).

Таблица 1

Характеристика групп крыс-самцов, используемых в эксперименте

Группа	Характеристика группы и вводимых ей веществ
Контроль	Интактные крысы (n=8) после интраназального курсового 28-дневного введения 0,1 мл физиологического раствора (0,9 % NaCl)
Опытная № 1	Крысы (n=8), не подвергавшиеся стрессорному ульцерогенезу, после 28-дневного интраназального введения 0,1 мл даларгина в дозе 0,2 мкг/кг
Опытная № 2	Крысы (n=8), подвергнутые на 28-й день стрессорному ульцерогенезу, после интраназального курсового 28-дневного введения 0,1 мл физиологического раствора (0,9 % NaCl)
Опытная № 3	Крысы (n=8), подвергнутые на 28-й день стрессорному ульцерогенезу, после 28-дневного интраназального введения 0,1 мл даларгина в дозе 0,2 мкг/кг

Материалом для исследований служила сыворотка крови, полученная двукратным центрифугированием по 10 минут при 1300 g (центрифуга ПЭ 6926, Россия) при 25°C [16]. Изучение уровня МСМ в сыворотке крови с помощью метода Габриэлян [17] путем её депротеинизации 20-% трихлоруксусной кислотой («Компонент-Реактив», Россия), центрифугирования при 3000 g в течение 20 минут и дальнейшем проведении измерений экстинкций супернатанта в ультрафиолетовой области спектра при длинах волн (λ) 254 и 280 нм на спектрофотометре 5400-УФ («Экрос-аналитика», Россия). Также определяли индекс распределения МСМ при длинах волн регистрации 280 и 254 нм ($IP_{280/254}$), который вычисляли как отношение экстинкций МСМ при длинах волн регистрации 280 и 254 нм [18].

Статистическую обработку результатов эксперимента осуществляли с помощью параметрического t-критерия Стьюдента, так как экспериментальные данные подчинялись закону нормального распределения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 2 представлены нативные данные (в е. о. п.) уровня МСМ в сыворотке крови лабораторных крыс при воздействии препарата даларгин (0,2 мкг/кг), стрессорного ulcerogenezа и при сочетанном воздействии стрессорного ulcerogenezа и даларгина (0,2 мкг/кг), а также динамика этого показателя в процентах. Анализ полученных данных показал (табл. 2), что прием даларгина достоверно понижал уровень МСМ в сыворотке крови лабораторных животных на 54,38 % при λ 254 нм ($n = 8$; $p \leq 0,01$) и на 78,98 % ($n = 8$; $p \leq 0,01$) при λ 280 нм.

Таблица 2

Уровень молекул средней массы (в е. о. п. и %) в сыворотке крови лабораторных крыс после приема препарата даларгин (0,2 мкг/кг), стрессорного ulcerogenezа и при сочетанном воздействии стрессорного ulcerogenezа и даларгина (0,2 мкг/кг)

Сыворотка крови лабораторных крыс	Длина волны регистрации, нм	
	254	280
контроль (n=8)	0,331±0,013 100 %	0,452±0,017 100 %
после воздействия препарата даларгин (n=8)	0,151±0,03** 45,62 %	0,095±0,019** 21,02 %
под влиянием стрессорного ulcerogenezа (n=8)	0,245±0,049* 74,02 %	0,205±0,041** 45,35 %
при сочетанном воздействии стрессорного ulcerogenezа и даларгина (n=8)	0,064±0,049** 19,34 %	0,098±0,041** 21,68 %

Примечание: *, ** – достоверность различий показателей по сравнению с контрольной группой при $p < 0,05$ и $p < 0,01$ соответственно; е. о. п – единицы оптической плотности.

Стрессорный ульцерогенез приводил к достоверному снижению в сыворотке крови лабораторных животных содержания МСМ (табл. 2) на 26 % при λ регистрации 254 нм ($n = 8$; $p \leq 0,05$) и на 54,65 % при λ 280 нм ($n = 8$; $p \leq 0,01$).

Вероятно, наблюдаемые изменения МСМ могут связаны с тем, что некоторые из них могут образовывать агрегаты, вклад которых при всех длинах волн в эксперименте не регистрируется, т. к. они представляют собой крупные образования, молекулярная масса которых превышает 5000 Да. Известно [19–21], что при патологических состояниях, многие из которых так или иначе сопровождаются накоплением продуктов окислительной модификации белков и перекисного окисления липидов, может происходить агрегация пептидов при конъюгации с продуктами окисления, а значит и тех МСМ, которые имеют пептидную природу.

Из приведенных данных также следует, что даларгин в большей степени снижал МСМ, содержащие нуклеиновые кислоты, аминокислоту тирозин и её производные (λ 280 нм), чем пул МСМ, в который входят промежуточные продукты интенсивного протеолиза белков и пептидов, эндотоксины, продукты нормального и патологического метаболизма, пептиды, содержащие аминокислоту фенилаланин и её производные (λ 254 нм).

Сходная направленность динамики МСМ, но значительно более выраженная, наблюдалась и в условиях стрессорного ульцерогенеза (табл. 2). Возможно, что наблюдаемые менее выраженные изменения МСМ в сторону снижения при воздействии стрессорного ульцерогенеза (λ 254 нм), чем при других длинах волн, связаны с тем, что практически при любом неблагоприятном и стрессорном воздействии на организм активируются процессы свободнорадикального окисления, а это приводит к накоплению токсических веществ, относящихся к эндотоксинам [21; 22]. К ним принадлежит большая группа химических веществ, включающая недоокисленные продукты обмена, кинины, катехоламины, альдегиды, кетоны, биогенные амины и другие. Молекулярная масса эндогенных патогенов колеблется в широких пределах [14; 23; 24]. Однако следует учитывать и тот факт, что и инсулин, также относящийся к пулу МСМ, снижается в условиях транзиторного функционального диабета, развивающегося при стрессе, что является важным моментом в реализации липидомобилизующей функции и усилении глюконеогенеза глюкокортикоидами [25–27].

Из литературных данных известно, что даларгин не влияет на базовый уровень МСМ, но предотвращает их рост при стрессе, а также предотвращает активацию процессов перекисного окисления липидов при стрессе [12]. Полученные результаты могут служить отражением реализации в организме принципа обратной связи. Являясь аналогом мет-энкефалина, даларгин запускает процессы снижения синтеза и секреции эндогенных опиоидных пептидов (энкефалинов), что предотвращает их избыточное накопление в организме. Известно, что опиоидные пептиды в норме продуцируются нейронами опиоидергической системы гипоталамуса и секреторных клеток гипофиза [28]. Опиоидергическая система относится к основным центральным стресс-лимитирующим системам организма, поэтому снижение уровня МСМ может свидетельствовать о перестройке

функциональной активности данной системы в условиях стрессорного ulcerогенеза. При этом сам даларгин (Tyr-D-Ala-Gly-Phe-Leu-Arg) в сыворотке крови может быть отнесён к пулу МСМ (молекулярная масса – 733,92 Да), с одним из пиков поглощения в ультрафиолетовой области спектра при λ 257 нм, близкому к регистрируемой нами λ 254 нм, так как он содержит аминокислоту фенилаланин.

При сочетанном воздействии стрессорного ulcerогенеза и даларгина (0,2 мкг/кг) по сравнению с контролем наблюдалось достоверное уменьшение уровня МСМ в сыворотке крови лабораторных животных при всех длинах волн регистрации (табл. 2) на величину приблизительно равную 80 % (при λ 254 нм снижение показателя составило 80,66 %, $n = 8$, $p \leq 0,01$; а при λ 280 нм – 78,32 %, $n = 8$, $p \leq 0,01$). Это свидетельствует о проявлении нивелирующего эффекта воздействия двух факторов по отношению к разнице показателей при разных длинах волн регистрации, которое выражается в неспецифическом снижении МСМ. Оно указывает на общее замедление скорости протекания как патологических, так и регулируемых физиологических процессов.

Для получения более полной картины изменений и для того, чтобы более детально проследить динамику различных по биологическому эффекту соединений МСМ, вычисляли ИР_{280/254} (табл. 3). Данный индекс в целом позволяет оценить направленность наблюдаемых изменений физиолого-биохимических регуляторных процессов в сторону патологии либо нормы и их соотношение между собой.

Таблица 3

Индекс распределения молекул средней массы при длинах волн 280 и 254 нм (ИР_{280/254}) в сыворотке крови лабораторных крыс после препарата даларгин (0,2 мкг/кг), стрессорного ulcerогенеза и при сочетанном воздействии стрессорного ulcerогенеза и даларгина (0,2 мкг/кг)

Сыворотка крови лабораторных крыс	ИР _{280/254}
контроль (n=8)	1,366 ± 0,015 у. е. 100 %
после воздействия даларгина (n=8)	0,629 ± 0,025 у. е. ** 46,04 %
под влиянием стрессорного ulcerогенеза (n=8)	0,837 ± 0,045 у. е. ** 61,27 %
при сочетанном воздействии стрессорного ulcerогенеза и даларгина (n=8)	1,531 ± 0,045 у. е. ** 112,07 %

Примечание: ** – достоверность различий ИР_{280/254} по сравнению с контрольной группой при $p < 0,01$. За 100 % принят ИР_{280/254} в сыворотке крови контрольной группы крыс, у. е. – условные единицы.

ИР_{280/254} определяет интенсивность участия в протекающих в организме процессах фракций МСМ, регистрируемых при длинах волн 280 и 254 нм. При

λ 280 нм регистрируются фракции МСМ, содержащие нуклеиновые кислоты и ароматические аминокислоты, в основном производные триптофана, а при λ 254 нм – промежуточные продукты интенсивного протеолиза белков и пептидов, эндотоксины, продукты нормального и патологического метаболизма и производные фенилаланина [29]. Триптофановые производные при дальнейшей фрагментации и протеолизе пептидов могут служить источником этой аминокислоты в биосинтезе такого важного нейротрансмиттера как серотонин, а фениланиновые производные могут быть использованы в организме в качестве источника тирозина, являющегося предшественником в биосинтезе катехоламинов (дофамин, адреналин, норадреналин) и тиреоидных гормонов (тироксин, трийодтиронин) [30–32]. При этом серотонинергическая нейромедиаторная система является одной из ведущих стресс-лимитирующих систем организма, а катехоламины – основной компонент симпато-адреналовой стресс-реализующей системы [30].

Таким образом, биологический смысл $IP_{280/254}$, с одной стороны, заключается в том, что этот индекс в основном показывает соотношение между содержанием маркеров патологических, токсических и интенсивных метаболических реакций в организме (МСМ при 254 нм) и маркеров физиологических регуляторных процессов, принимающих участие в каскаде сложных реакций организма, возникающих в ответ на стресс (λ 280 нм); с другой стороны, этот индекс может показывать интенсивность участия в ответной реакции организма на стресс некоторых основных стресс-реализующих (λ 254 нм) и стресс-лимитирующих систем организма (λ 280 нм).

Анализ данных $IP_{280/254}$ показал (табл. 3), что по сравнению с контролем после воздействия препарата даларгин данный показатель достоверно снижался на 54 % ($n = 8$; $p \leq 0,01$), а под влиянием стрессорного ulcerогенеза – на 38,7 % ($n = 8$; $p \leq 0,01$). При сочетанном воздействии стрессорного ulcerогенеза и даларгина $IP_{280/254}$ практически возвращался к значениям контрольной группы и несколько превышал их (112 %, $n = 8$; $p \leq 0,01$, табл. 3). Поэтому можно сказать, что превентивное курсовое 28-дневное интраназальное введение даларгина в дозе 0,2 мг/кг в условиях воздействия стрессорного ulcerогенеза приводило к возвращению близкому к контрольной группе соотношений МСМ, отражающих протекание регуляторных ($\lambda = 280$ нм) и патологических процессов в организме ($\lambda = 254$ нм) и МСМ, показывающих активность стресс-реализующих ($\lambda = 254$ нм) и стресс-лимитирующих систем организма ($\lambda = 280$ нм).

По результатам данного исследования можно говорить о стресс-протекторном действии даларгина, который способствует сохранению естественного соотношения физиологически значимых фракций МСМ в организме в условиях стресса, что проявлялось в динамике $IP_{280/254}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе изучено влияние курсового интраназального введения малой дозы даларгина (0,2 мкг/кг) на динамику содержания молекул средней массы в сыворотке крови лабораторных крыс в норме и при стрессорном ulcerогенезе.

1. Показано, что после 28-дневного курсового интраназального введения даларгина (0,2 мг/кг) в сыворотке крови крыс ($n = 8$) происходит достоверное снижение уровня молекул средней массы (на 54,38 % при $\lambda = 254$ нм, $p \leq 0,01$; на 79 % при $\lambda = 280$ нм, $p \leq 0,01$) по сравнению с контрольной группой ($n = 8$).
2. Установлено, что в группе крыс ($n = 8$), подвергнутых стрессорному ulcerогенезу, после предварительного интраназального курсового 28-дневного введения 0,1 мл физиологического раствора (0,9 % NaCl) наблюдалось достоверное снижение уровня молекул средней массы (на 26 % при $\lambda = 254$ нм, $p \leq 0,05$; на 54,65 % при $\lambda = 280$ нм, $p \leq 0,01$) по сравнению с контрольной группой ($n = 8$).
3. Отмечено, что в группе крыс ($n = 8$), подвергнутых стрессорному ulcerогенезу, после предварительного курсового интраназального 28-дневного введения даларгина в дозе 0,2 мг/кг происходило неспецифическое достоверное снижение уровня молекул средней массы практически на одном уровне при всех длинах волн регистрации (на 80,66 % при $\lambda = 254$ нм, $p \leq 0,01$; на 78,32 % при $\lambda = 280$ нм, $p \leq 0,01$) по сравнению с контрольной группой ($n = 8$).
4. Показано, что в сыворотке крови лабораторных крыс после воздействия даларгина ИР_{280/254} достоверно снижался на 54 % ($n = 8$; $p \leq 0,01$) по сравнению с контролем, под влиянием стрессорного ulcerогенеза ($n = 8$; $p \leq 0,01$) – на 38,73 %. При сочетанном воздействии стрессорного ulcerогенеза и даларгина данный индекс практически возвращался к значениям контрольной группы и несколько превышал их, составляя 112 % ($n = 8$; $p \leq 0,01$). Обнаруженная динамика ИР_{280/254} позволяет говорить о стресс-протекторном действии даларгина, так как длительное превентивное интраназальное введение этого препарата способствует сохранению естественного соотношения физиологически значимых фракций молекул средней массы в организме в условиях стресса.

Работа выполнена на оборудовании КП ФГАОУ ВО КФУ им. В. И. Вернадского» «Экспериментальная физиология и биофизика».

Список литературы

1. Гуревич К. Г. Разработка систем интраназальной доставки лекарственных средств. / Гуревич К. Г. // Качественная клиническая практика. – 2002 – № 1. – С. 3–5.
2. Metder B. Kinetics of peptide uptake and tissue distribution following a single dose of peptide / B. Metder, S. Anderton, S. P. Manickasingham [et al.]. // Immunol. Invest. – 2000. – Vol. 29, No 1. – P. 61–70.
3. Титов М. И. Даларгин – пептидный препарат с цитопротективным действием / М. И. Титов, В. А. Виноградов, Ж. Д. Беспалова // Бюллетень ВКНЦ. – 1985. – № 2. – С. 72–76.
4. Полонский В. М. Место приложения (центральное или периферическое) противоязвенного действия синтетического аналога эндогенных опиоидов даларгина в экспериментальной модели цистеаминовых дуоденальных язв у крыс / В. М. Полонский, К. Н. Ярыгин, К. Н. Кривошеев // Бюл. экспер. биол. мед. – 1987. – № 4. – С. 433–434.
5. Коренюк И. И. Влияние даларгина в малых дозах на болевую чувствительность у крыс / И. И. Коренюк, Е. Н. Минина, Ю. В. Белоусова [и др.] // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология, химия. – 2014. – Т. 27, № 4 (66). – С. 43–51.

6. Минина Е. Н. Влияние малых доз даларгина при интраназальном введении на поведение крыс в тесте Порсолта / Е. Н. Минина, И. В. Черетаев // Крымский журнал экспериментальной и клинической медицины. – 2016. – Т. 6, № 4. – С. 22–26.
7. Минина Е. Н. Влияние малых доз даларгина на болевую чувствительность крыс при однократном и интраназальном курсовом введении / Е. Н. Минина, И. В. Черетаев // Успехи современной науки. – 2016. – Т. 1, № 8. – С. 202–207.
8. Никольская В. А. Влияние экспериментальной гиперинсулиемии на уровень молекул средней массы в сыворотке крови лабораторных крыс / В. А. Никольская // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2012. – Т. 25, № 1 (64). – С. 172–176.
9. Никольская В. А. Биохимический аспект рассмотрения молекул средней массы в организме / В. А. Никольская, Ю. В. Данильченко, З. Н. Меметова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2013. – Т. 26, № 1 (65). – С. 139–145.
10. Никольская В. А. Влияние окислительного стресса *in vitro* на уровень молекул средней массы в сыворотке крови и гемолизате эритроцитов *Sus scrofa* / В. А. Никольская // Экосистемы. – 2011. – № 4. – С. 123–126.
11. Никольская В. А. Влияние окислительного стресса *in vitro* на показатели сыворотки крови и эритроцитов представителей *Amphibia*, *Aves* и *Mammalia* / В. А. Никольская, И. В. Черетаев // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 6 (48), Ч. 5. – С. 19–24.
12. Мосина Л. М. Ульцерогенез и эндогенная интоксикация / Л. М. Мосина, О. И. Авдейкина // Экспериментальная клиническая гастроэнтерология. – 2008. – № 6. – С. 36–40.
13. Меерсон Ф. З. Адаптация к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам / Ф. З. Меерсон, М. Г. Пшенникова. – М.: Медицина, 1988. – 256 с.
14. Громашевская Л. Л. «Средние молекулы» как один из показателей «метаболической интоксикации» в организме / Л. Л. Громашевская // Лабораторная диагностика. – 1997. – № 1. – С. 11–16.
15. Porsolt R. D. Psychotropic screening procedures / R. D. Porsolt, R. A. McArthur, A. Lenegre // *Methods in Behavioral Pharmacology*. – 1993. – Vol. 10. – P. 23–51.
16. Lewis S. M. Dacie and Lewis Practical Haematology / S. M. Lewis, B. G. Bain, I. Bates. – Elsevier. – 2006. – 722 p.
17. Габриэлян Н. И. Скрининговый метод определения средних молекул в биологических жидкостях: метод. рекомендации / Н. И. Габриэлян, Э. Р. Левицкий, А. А. Дмитриев [и др.]. – М.: Медицина, 1985. – 34 с.
18. Габриэлян Н. И. Ориентировочный тест для диагностики гнойно-септических процессов / Н. И. Габриэлян, О. А. Савостьянова // Лабораторное дело. – 1987. – № 2. – С. 79–80.
19. Дубинина Е. Е. Окислительная модификация белков / Дубинина Е. Е., Шугалей И. В. // Успехи современной биологии. – 1993. – № 1. – С. 71–79.
20. Зенков Н. К. Активированные кислородные метаболиты в биологических системах / Н. К. Зенков, Е. Б. Меньшикова // Успехи современной биологии. – 1993. – № 3. – С. 286–296.
21. Дубинина Е. Е. Продукты метаболизма кислорода в функциональной активности клеток (жизнь и смерть, созидание и разрушение). Физиологические и клинико-биохимические аспекты / Е. Е. Дубинина. – СПб.: Издательство «Медицинская пресса», 2006. – 400 с.
22. Глебов А. Н. Роль кислородсвязывающих свойств крови в развитии окислительного стресса, индуцированного липополисахаридом / А. Н. Глебов, Е. В. Шульга, В. В. Зинчук; под ред. Зинчука В. В. – Гродно: ГрГМУ, 2011. – 216 с.
23. Галактионов С. Г. Пептиды группы «средних молекул» / С. Г. Галактионов, В. М. Цейтин, В. И. Леонова [и др.] // Биоорганическая химия. – 1984. – Т. 10, № 1. – С. 5–17.
24. Владыко А. С. Средние молекулы и проблемы эндогенной интоксикации при критических состояниях / А. С. Владыко, Э. Р. Левицкий, Л. П. Поддубная [и др.] // Анестезиология и реаниматология. – 1987. – № 2. – С. 37–42.
25. Фелиг Ф. Эндокринология и метаболизм: в 2-х т. / Под ред. Ф. Фелига, Д. Б. Бакстера, Ф. У. Бродуса, Л. А. Фромена. – М.: Медицина, 1985. – 517 с.

26. Иванов В. В. Гипоинсулинемия и перекисное окисление липидов при эмоционально-болевым стрессе / В. В. Иванов, И. В. Луста, Т. Н. Сатрихина [и др.] // Проблемы эндокринологии. – 1990. – Т. 6, № 2. – С. 77–80.
27. Иванов В. В. Окислительный стресс: влияние на секрецию инсулина, рецепцию гормона адипоцитами и липолиз в жировой ткани / В. В. Иванов, Е. В. Шахристова, Е. А. Степовая [и др.] // Бюллетень сибирской медицины. – 2014. – Т. 13, № 3. – С. 32–39.
28. Губанова Е. И. Неспецифические механизмы развития болезней / Е. И. Губанова, Л. Н. Рогова, Н. Ю. Дзюбенко. – Волгоград: Изд-во ВолГМУ, 2011. – 76 с.
29. Аксенова В. М. Биохимические методы диагностики эндогенной интоксикации: метод. Рекоменд / В. М. Аксенова, В. Ф. Кузнецов, Ю. Н. Маслов [и др.] – Пермь: ПГМА, 2005. – 48 с.
30. Kvetnansky R. Catecholaminergic Systems in Stress: Structural and Molecular Genetic Approaches / R. Kvetnansky, E. L. Sabban, M. Palkovits // *Physiol. Rev.* – 2009. – Vol. 89. – P. 535–606.
31. Марри Р. Биохимия человека: в 2 т. Т. 2 / Р. Марри, Д. Греннер, П. Мейес [и др.]. – М.: Мир, 1993. – 415 с.
32. Северин Е. С. Биохимия: учебник. / Е. С. Северин, Т. Л. Алейникова, Л. В. Авдеева [и др.]; под ред. Е. С. Северина. – М.: ГЭОТАР-МЕД, 2004. – 784 с.

THE IMPACT COURSE INTRANASAL ADMINISTRATION LOW DOSES OF DALARGIN ON THE DYNAMICS OF THE LEVEL OF AVERAGE WEIGHT MOLECULES IN BLOOD SERUM LABORATORY RATS SUBJECTED TO STRESS ULCEROGENESIS

Nikolskaya V. A., Cheretaev I. V., Minina E. N.

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

The work studied the impact course intranasal application low doses of dalargin on the dynamics of the content of average weight molecules in blood serum laboratory rats in normal and stress-induced ulcerogenesis.

The experiments were performed on 32 male rats weighing 180–220 g, which were divided into 4 groups. Rats in the control group (n=8) and in group II (n=8) was administrated within 28 days intranasally 0.1 ml of physiological solution (0.9-% NaCl). Animals of groups I (n=8) and III (n=8) received intranasally 0.1 ml of Dalargin (0.2mg/kg) within 28 days. On day 28 the animals of groups II (n=8) and III (n=8) were subjected to stress ulcerogenesis. Stress reaction "stress ulcerogenesis" was modeled on experimental animals in the model of forced swimming in the pool for 60 min. the Animals that were not exposed to stress ulcerogenesis in accordance with the plan of the experiment (control group and experimental group I) at this time remained in their cages. For 24 h before stress exposure in animals of all groups were not fed, leaving free access to water. Pool was represented by a ceramic tank with dimensions 80 x 80 x 130 cm water Level in it was 30 cm and the water temperature is + 20 ° C. The slaughter of experimental animals was carried out after 30 min. after stress-induced ulcerogenesis (2 hours since the introduction of the substances) by decapitation on the guillotine. Blood was collected in vacutainer tubes with a separator gel for serum BD Vacutainer®.

Material for the study was blood serum, obtained by centrifugation twice for 10

minutes at 1300 g at 25°C. Examine the levels of average weight molecules (AWM) in the blood serum using the method Gabrielian by deproteinization of 20 % trichloroacetic acid, centrifugation at 3000 g for 20 minutes and further measurements of extinction of the supernatant in the ultraviolet region of the spectrum at wavelengths (λ) of 254 and 280 nm on a spectrophotometer 5400-UV ("Ekros-Analitika", Russia). Also determined the index of distribution of AWM at the wavelengths registration of 254 and 280 nm ($ID_{280/254}$), which was calculated as the ratio of AWM extinction at the wavelengths of 254 and registration 280 nm.

Statistical processing of experimental results was performed using parametric student's t-test as the experimental data obeyed the normal distribution. Graphical visualization of data performed in the software package GraphPad Prism 6. The adopted level of significance of intergroup differences was 5 %.

It is shown that after a 28-day course intranasal administration of dalargin (0.2 mkg/kg) in blood serum of rats ($n = 8$) there was a significant decrease in the level of AWM (54,38 % at $\lambda = 254$ nm, $p \leq 0.01$; 79 % at $\lambda = 280$ nm, $p \leq 0.01$) compared with the control group ($n = 8$).

Established that in the group of rats ($n = 8$), subjected to stress ulcerogenesis after intranasal pre-course 28-day administration of 0.1 ml saline (0.9 % NaCl) showed a significant reduction in the AWM (26 % at $\lambda = 254$ nm, $p \leq 0.05$; 54,65 % at $\lambda = 280$ nm, $p \leq 0.01$) compared with the control group ($n = 8$).

It is noted that in the group of rats ($n = 8$), subjected to stress ulcerogenesis, after a preliminary course of intranasal 28-day administration of dalargin in a dose of 0.2 mkg/kg was non-specific decrease a level of AWM almost at the same level at all wavelengths registration (80,66 % at $\lambda = 254$ nm, $p \leq 0.01$; 78,32 % at $\lambda = 280$ nm, $p \leq 0.01$) compared with the control group ($n = 8$).

It is shown that in the blood serum of laboratory rats after exposure to $ID_{280/254}$ dalargin was significantly reduced by 54 % ($n = 8$; $p \leq 0.01$) compared to control, under the influence of stress ulcerogenesis ($n = 8$; $p \leq 0.01$) – 38,73 %. With the combined effects of stress ulcerogenesis and dalargin the index almost back to the values of the control group and slightly higher, amounting to 112 % ($n = 8$; $p \leq 0.01$). These results showed that a preventive course of 28-day intranasal introduction of dalargin (0.2 mkg/kg) in conditions of exposure to stress ulcerogenesis led to a return to normal ratios of the AWM, reflecting the regulatory flow ($\lambda = 280$ nm) and pathological processes in the organism ($\lambda = 254$ nm) and AWM, showing the activity of stress-realizing ($\lambda = 254$ nm) and stress-limiting systems of the organism ($\lambda = 280$ nm), providing a stress-protective effect.

Keywords: average weight molecules, stress ulcerogenesis, dalargin, low doses, intranasal administration, laboratory rats, blood serum.

References

1. Gurevich K. G., Development of systems for intranasal drug delivery, *Kachestvennaya klinicheskaya praktika*, **1**, 3. (2002).
2. Metder B., Anderton S., Manickasingham S. P., Wraith C. Kinetics of peptide uptake and tissue distribution following a single dose of peptide, *Immunol. Invest.*, **29**, **1**, 61. (2000).
3. Titov M. I., Vinogradov V. A., Bepalova J. D., Dalargin and peptide drug with cytoprotective action, *Byulleten' VKNC*, **2**, 76 (1985).
4. Polonskij V. M., Yarygin K. N., Krivosheev K. N., Place of application (central or peripheral) antiulcer action of a synthetic analogue of endogenous opioids dalargin in experimental models cysteamine duodenal ulcers in rats, *Byul. ehksper. biol. med.*, **4**, 433 (1987).
5. Korenyuk I. I., Minina E. N., Belousova YU. V., Cheretaev I. V., The effect of dalargin in small doses on pain sensitivity in rats, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **27**, **4** (66), 43 (2014).
6. Minina E. N., Cheretaev I. V., Influence of small doses of dalargin, when administered intranasally on the behavior of rats in the test of Porsolt, *Krymskij zhurnal ehksperimental'noj i klinicheskoy mediciny*, **6**, **4**, 22 (2016).
7. Minina E. N., Cheretaev I. V., Influence of small doses of dalargin on pain sensitivity in rats under single and intranasal course administration, *Uspekhi sovremennoj nauki*, **1**, **8**, 202 (2016).
8. Nikol'skaya V. A., Effect of experimental hyperinsulinemia on the level of average weight molecules in blood serum of laboratory rats, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **25**, **1** (64), 172 (2012).
9. Nikol'skaya V. A., Danil'chenko YU. V., Memetova Z. N. Biochemical aspect of consideration of the average weight molecules in the body, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, **26**, **1** (65), 139 (2013).
10. Nikol'skaya V. A., The influence of oxidative stress in vitro on the level of average weight molecules in blood serum and hemolysate of erythrocytes *Sus scrofa*, *Ekosistemy*, **4**, 123 (2011).
11. Nikol'skaya V. A., Cheretaev I. V., The effect of oxidative stress on the in vitro parameters of blood serum and erythrocytes of representatives of the Amphibia, Aves and Mammalia, *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*, **6** (48), 19 (2016).
12. Mosina L. M., Avdejkina O. I., The ulcerogenesis and endogenous intoxication, *Ekspierimentalnaya klinicheskaya gastroehnterologiya*, **6**, 36 (2008).
13. Meerson F. Z., Pshennikova M. G., *Adaptation to stress situations and physical loads*, 256 p. (Medicine, Moscow, 1988).
14. Gromashevskaya L. L., "Middle molecules" as one of the indicators of "metabolic intoxication" in the body, *Laboratornaya diagnostika*, **1**, 11. (1997).
15. Porsolt R. D., McArthur R. A., Lenegre A. Psychotropic screening procedures, *Methods in Behavioral Pharmacology*, **10**, 23 (1993).
16. Lewis S. M., Bain B. G., Bates I., *Dacie and Lewis Practical Haematology*, 722 p. (Elsevier, 2006).
17. Gabriehlyan N. I., Levickij E. R., Dmitriev A. A. i dr., *Screening method for determination of middle molecules in biological fluids: guidelines*, 34 p. (Medicina, Moscow, 1985).
18. Gabriehlyan N. I., Savost'yanova O. A. Tentative test for the diagnosis of purulent-septic processes, *Laboratornoe delo*, **2**, 79. (1987).
19. Dubinina E. E., Shugalej I. V. Oxidative modification of proteins, *Uspekhi sovremennoj biologii*, **1**, 71 (1993).
20. Zenkov N. K., Men'shikova E. B., Activated oxygen metabolites in biological systems, *Uspekhi sovremennoj biologii*, **3**, 286 (1993).
21. Dubinina E. E., *Products of oxygen metabolism in the functional activity of cells (life and death, creation and destruction). Physiological and clinical-biochemical aspects*, 400 p. (Saint Petersburg: publishing house of the "Medical press", 2006).
22. Glebov A. N., SHul'ga E. V., Zinchuk V. V., *The role oxygen-containing properties of blood in the development of oxidative stress induced by lipopolysaccharide*, 216 p. (Hrodna, GMU, 2011).
23. Galaktionov S. G., Cejtin V. M., Leonova V. I., Nikolajchik V. V., Mihneva V. M., The peptides of the group of "middle molecules", *Bioorganicheskaya himiya*, **10**, **1**, 5 (1984).

24. Vladyko A. S., Levickij E. R., Poddubnaya L. P., Gabrielyan N. I. Middle molecules and the problem of endogenous intoxication in critical conditions, *Anesteziologiya i reanimatologiya*, **2**, 37 (1987).
25. Felig F., Baxter J. B., Broadus W. F., Fromen L. A. *Endocrinology and metabolism: in 2 vol.*, 517 p. (Medicina, Moscow, 1985).
26. Ivanov V. V., Lusta I. V., Satrihina T. N., Udincev N. A., Hypoinsulinemia and lipid peroxidation under emotional-pain stress, *Problemy ehndokrinologii*, **6**, **2**, 77. (1990).
27. Ivanov V. V., Shahristova E. V., Stepovaya E. A., Nosareva O. L., Fyodorova T. S., Ryazanceva N. V., Novickij V. V., Oxidative stress: influence on insulin secretion, hormone reception by adipocytes and lipolysis in adipose tissue, *Byulleten' sibirskoj mediciny*, **13**, **3**, 32 (2014).
28. Gubanova E. I., Rogova L. N., Dzyubenko N. Y. Nonspecific mechanisms of disease development, 76 p. (Volgograd: Izd-vo VolgMU, 2011).
29. Aksenova V. M., Kuznecov V. F., Maslov Y. N., Shchekotov V. V., Shchekotova A. P. *Biochemical diagnostics of endogenous intoxication: guidelines*, 48 p. (Perm, PGMA, 2005).
30. Kvetnansky R., Sabban E. L., Palkovits M. Catecholaminergic Systems in Stress: Structural and Molecular Genetic Approaches, *Physiol. Rev.*, **89**, 535. (2009).
31. Marri R., Grenner D., Mejes P., Roduehl V. *Human biochemistry: in 2 vol.*, **2**, 415 p. (Moscow, Mir, 1993).
32. Severin E. S., Alejnikova T. L., Avdeeva L. V., Andrianova L. E., Belushkina N. N., Volkova N. P., Golenchenko V. A., Vorob'yova S. A., Gubareva A. E., Korlyakova O. V., Lihachyova N. V., Pavlova N. A., Rubcova G. V., Silaeva S. A., Siluyanova S. N., Titova T. A. *Biochemistry: a textbook*. 784 p. (Moscow, GEOTAR-MED, 2004).

УДК 5.57.576

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГУМАТА К НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ ЯЧМЕНЯ ОБЫКНОВЕННОГО СОРТА ГЕЛИОС УА

Придатко А. И., Теплицкая Л. М.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: Alenka.fursova.95@mail.ru*

Ячмень обыкновенный широко используется во многих странах мира как одна из основных и экономически выгодных сельскохозяйственных культур. Гуматы являются неспецифическими активаторами иммунной системы. Проведены исследования влияния гумата К на энергию прорастания и лабораторную всхожесть ячменя, а также изучена митотическая активность корневых меристем при различных концентрациях и экспозиции. Были использованы различные концентрации препарата гумата К: 0,013 мг/л, 0,025 мг/л, 0,05 мг/л, 0,075 мг/л, 0,1 мг/л. В качестве контроля была использована вода. Экспозиция замачивания: 4, 8 и 12 часов. Стимулирующий эффект оказали все концентрации, однако лучшие результаты были получены при использовании 0,05 мг/л и 0,025 мг/л. Оптимальной экспозицией для замачивания семян ячменя сорта Гелиос УА: энергия прорастания составила – 68,7 %; всхожесть – 70,0 %. Замачивание семян в растворе гумата К (0,05 мг/л) значительно стимулировало митотическую активность корневых меристем и активный рост корней ячменя сорта Гелиос УА

Ключевые слова: ячмень, гумат К, энергия прорастания, всхожесть митотический индекс.

ВВЕДЕНИЕ

Ячмень обыкновенный широко используется во многих странах мира как одна из основных и экономически выгодных сельскохозяйственных культур.

Ячмень – культура более устойчивая к действию неблагоприятных факторов среды, чем пшеница и рис. В то же время в период прорастания в значительной степени растения чувствительны к недостатку влаги, изменению температуры, образованию почвенной корки, избыточному увлажнению. Процесс налива зерна может быть нарушен засухой, высокой температурой и заморозками. Ежегодно теряется под воздействием лимитирующих факторов до 15–20 % урожая.

Главным результатом применения современных и перспективных биотехнологических методов многие специалисты считают стабилизацию сельскохозяйственного производства [1]. В качестве современного способа активизировать жизненные процессы в испытывающих стресс растениях используются стимуляторы роста и развития. Изучение путей повышения продуктивности ячменя за счет оптимизации минерального питания и применения различных современных препаратов, регуляторов роста, в том числе и гумата калия,

имеет большое значение. Гумат калия (гумат К), помимо гуминовых кислот, включает в себя пептиды, естественные стимуляторы роста, антибиотики, ферменты, аминокислоты. Гуминовые препараты широко применяют для увеличения эффективности использования питательных веществ из удобрений и почвы, укрепления иммунитета растений к неблагоприятным факторам среды и повышения качества получаемой продукции. Их применяют различными способами: при обработке посевного материала, в виде некорневой подкормки и путем внесения в почву в виде растворов [2, с. 19–24].

Гуминовые кислоты, будучи полимерными молекулами с большим количеством полярных групп, способствуют более равномерному поступлению воды и питательных веществ в ризосферу растения [3].

Гуматы являются неспецифическими активаторами иммунной системы. В результате обработки гуматами значительно повышается устойчивость растений к различным заболеваниям. Чрезвычайно эффективным является замачивание семян в растворах гуматов с целью профилактики семенных инфекций и, в особенности, корневых гнилей. Наряду с этим при обработке гуматами повышается устойчивость растений к неблагоприятным факторам внешней среды – экстремальным температурам, переувлажнению, сильному ветру.

Объект исследований – семена ячменя обыкновенного сорта Гелиос УА (*Hordeum vulgare* CV / Гелиос УА).

Цель – изучить особенности влияния биостимулятора гумат калия на энергию прорастания, всхожесть и митотическую активность корневых меристем растений ячменя обыкновенного на ранних этапах онтогенеза.

В задачи исследований входило:

- 1) изучить влияние препарата гумата калия на энергию прорастания и лабораторную всхожесть семян ячменя обыкновенного;
- 2) установить оптимальную концентрацию биостимулятора для предпосевной обработки ячменя обыкновенного сортов Гелиос УА;
- 3) изучить влияние гумата К на митотическую активность корневой меристемы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методы исследования, используемые в работе: митотический, физиологический, статистический.

Обработка семян препаратом проводилась путем замачивания в различных концентрациях: 0,013 мг/л, 0,025 мг/л, 0,05 мг/л, 0,075 мг/л, 0,1 мг/л. В качестве контроля была использована вода. Экспозиция замачивания: 4, 8 и 12 часов.

Далее чашки Петри помещали в термостат ТС-80-М-2 с постоянной температурой +25 °С на 7 суток (ГОСТ 12038-84). На третьи сутки определяется энергия прорастания, а всхожесть – на 7 сутки.

Цитологические исследования проводили по общепринятым методикам [5, с. 97, 137]. От проростков ячменя, которые были самыми многочисленными, отрезали корень (4–5 мм). После этого погружали его в раствор фиксатора (уксусный алкоголь: 3 ч. 96 % спирта + 1 ч. ледяной уксусной кислоты) на 1 сутки.

Далее фиксированные кончики корней переносили в раствор 70° спирта и таким образом сохраняли в холодильнике.

Окраску корешков проводили ацетокармином (1 г кармина растворяли в 45 мл ледяной уксусной кислоты и 55 мл дистиллированной воды, подогревали на водяной бане около 3 ч и фильтровали). Материал переносили в пенициллиновые пузырьки, которые на 1/2 заполняли красителем. Пенициллиновые пузырьки с материалом оставляли на некоторое время для окрашивания хромосом (1–2 суток). После этого готовили временные микропрепараты.

Для получения давленных препаратов окрашенный фрагмент корня доставали из красителя и капали на него несколько капель 45 % уксусной кислоты, далее несколько секунд нагревали кончик над пламенем спиртовки. Контроль изготовления препарата осуществили под увеличением микроскопа ×100, а его исследование – под увеличением ×400. Каждый опыт проводили в трехкратной повторности. По каждому варианту эксперимента анализировали кончики корней 3 проростков, в каждом кончике корня – не менее 1000 клеток.

Митотический индекс рассчитывали по формуле:

$$MI = \frac{(P + M + A + T)}{N} * 100 \%$$

где (P + M + A + T) – сумма клеток, находящихся на стадии профазы, метафазы, анафазы и телофазы, N – общее число проанализированных клеток. Полученные данные обрабатывались с помощью математической статистики [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования, проанализировав полученные данные, можно сделать вывод, что обработка семян ячменя сорта Гелиос УА исследуемыми концентрациями регулятора роста гумат К оказала различное влияние на показатели энергии прорастания. Концентрация 0,013 мг/л повлияла незначительно на исследуемый параметр независимо от времени замачивания (табл. 1). Под действием препарата в концентрации 0,025 мг/л наблюдался стимулирующий эффект.

Таблица 1
Влияние гумата К на энергию прорастания семян ячменя обыкновенного сорта Гелиос УА

Варианты опыта		Энергия прорастания, % ($\bar{x} \pm S_x$)		
		Время замачивания семян		
		4 часа	8 часов	12 часов
Контроль		40,2 ± 1,0	43,0 ± 1,4	45,3 ± 1,1
I	Гумат К 0,013 мг/л	40,3 ± 1,1	44,3 ± 0,9	46,5 ± 1,1
II	Гумат К 0,025 мг/л	47,3 ± 1,0	50,3 ± 1,3	52,4 ± 1,1
III	Гумат К 0,05 мг/л	54,7 ± 1,5	56,1 ± 1,7	57,3 ± 1,3
IV	Гумат К 0,075 мг/л	53,0 ± 1,3	50,6 ± 1,1	53,6 ± 1,4
V	Гумат К 0,1 мг/л	39,7 ± 1,2	40,7 ± 1,5	41,2 ± 1,1

Однако предпосевная обработка семян Гуматом К в дозе 0,05 мг/л увеличила энергию прорастания независимо от экспозиции, при замачивании в течении 4 часов энергия прорастания увеличилась на 26,5 % по сравнению с контролем, а при замачивании на 8 и 12 часов этот показатель вырос на 23,3 % и 21,0 % соответственно.

При использовании регулятора роста в концентрации 0,075 мг/л наибольшее влияние препарат оказал только при замачивании в течение 4 часов, увеличив энергию прорастания опытных растений на 24,1 %. При экспозиции 8 и 12 часов показатели не превысили 15,0 %.

Дальнейшее повышение концентраций препарата вызывало ингибирование процессов прорастания семян. Таким образом, высокий показатель энергии прорастания был получен при использовании концентрации 0,05 мг/л при экспозиции 4 часа.

Влияние предпосевной обработки стимулятором роста различных концентраций на всхожесть семян ячменя сорта Гелиос УА, представлена в табл. 2.

Таблица 2

Влияние препарата гумат К на всхожесть семян ячменя сорта Гелиос УА

Варианты опыта		Всхожесть, % ($\bar{x} \pm S_x$)		
		Время замачивания семян		
		4 часа	8 часов	12 часов
Контроль		50,2 ± 1,4	54,2 ± 1,2	50,3 ± 1,5
I	Гумат К 0,013 мг/л	57,3 ± 1,1	55,3 ± 1,0	54,5 ± 1,1
II	Гумат К 0,025 мг/л	64,5 ± 1,3	61,3 ± 1,7	60,3 ± 1,4
III	Гумат К 0,05 мг/л	68,3 ± 1,0	67,8 ± 1,3	67,2 ± 1,1
IV	Гумат К 0,075 мг/л	54,0 ± 1,0	56,6 ± 1,1	51,6 ± 1,4
V	Гумат К 0,1 мг/л	52,3 ± 1,0	53,3 ± 1,1	50,5 ± 0,9

Полученные данные показали, что обработка семян регулятором роста повышает их всхожесть. При обработке раствором Гумат К в концентрации 0,013 мг/л существенных отличий между растениями в контроле и опыте не наблюдалось, за исключением вариантов с замачиванием на 4 часа. Разница по сравнению с контролем составляла 14,1 %, в то время как различия между величинами параметра в вариантах с экспозицией препарата в течение 8 и 12 составила 2,4 % и 8,3 % соответственно.

Величина параметров под действием концентрации 0,025 мг/л и замачивании на 4 часа возросла на 28,4 %. При обработке семян в течение 8 и 12 часов показатели увеличилась на 13,5 % и 19,8 % соответственно.

Наилучшие результаты были получены под воздействием на растения препарата в концентрации 0,05 мг/л. При замачивании на 4, 8 и 12 часов всхожесть возросла на 36,0 %, 25,5 % и 33,5 % по сравнению с контролем. Дальнейшее повышение концентрации исследуемого регулятора роста повлекло снижение

стимулирующего эффекта препарата на всхожесть семян ячменя сорта Гелиос УА. Так, под воздействием концентрации 0,075 мг/л препарата величина показателя превышала значение в контроле на 2,5–1,8 %. А под действием концентрации 0,01 мг/л показатели колебались от 0,4 %–4,1 %. Таким образом, исследование процессов прорастания семян под влиянием гумата К показало стимулирующий эффект препарата в концентрациях 0,05 мг/л и 0,025 г/л при замачивании в течение 4 часов.

Следующий этап исследования заключался в изучении митотической активности корневых меристем под действием гумата К. Митотический индекс показывает интенсивность деления клеток в профазе.

Таблица 3.

Изучение влияния препарата гумат К на митотическую активность корневых меристем ячменя обыкновенного сорта Гелиос УА

Варианты опыта	Объем выборок и полей зрения	Величина митотического индекса, %		
		Время замачивания семян		
		4 часа	8 часов	12 часов
Контроль	30	8,9±0,2	9,2±0,2	8,5±0,2
Гумат К 0,013 мг/л	30	9,1±0,4	9,3±0,2	8,6±0,3
Гумат К 0,025 мг/л	30	10,8±0,3	10,9±0,2	9,6±0,1
Гумат К 0,05 мг/л	30	15,7±0,3	13,5±0,2	11,8±0,3
Гумат К 0,075 мг/л	30	10,4±0,1	10,2±0,3	10,1±0,4
Гумат К 0,01 мг/л	30	9,3±0,1	9,5±0,3	9,8±0,4

В ходе эксперимента было установлено, что обработка семян ячменя обыкновенного препаратом гумат К. приводит к значительному увеличению митотической активности. Применение концентрации 0,05 мг/л при замачивании в течение 4 часов увеличило митотическую активность на 15,7 % по сравнению с контролем. При экспозиции в 8 и 12 часов митотический индекс составил 14 % и 12 % по сравнению с контролем. Обработка семян концентрацией 0,025 мг/л повышала митотическую активность на 11 % при замачивании в течение 4 часов, на 9,6 % – в течение 8 часов по сравнению с контролем. При экспозиции 12 часов показатель составил 10,3 %. Все исследуемые концентрации при различной экспозиции положительно влияли на митотическую активность корневых меристем ячменя обыкновенного. И активизировали рост корней.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определена оптимальная концентрация препарата гумат К (0,05 мг/л), стимулирующая процесс прорастания семян ячменя сорта Гелиос УА: энергия прорастания составила – 68,7 %; всхожесть – 70,0 %.

2. Изучено влияние предпосевной обработки семян ячменя различными концентрациями гумата К и выявлено оптимальное время замачивания (4 часа) и концентрация препарата (0,05мг/л), значительно стимулирующие рост корней
3. Изучено положительное влияние гумата К во всех вариантах опыта (0,025мг/л, 0,05мг/л и 0,075мг/л 0,1 мг/л) на митотическую активность. Замачивание семян в растворе гумата К (0,05мг/л) значительно стимулировало митотическую активность корневых меристем и активный рост корней ячменя сорта Гелиос УА

Список литературы

1. Мамонтова Т. В. Современные тенденции развития мирового и российского рынка биотехнологий в животноводстве / Т. В. Мамонтова, А. М. Айбазов, О. С. Русакова // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. – Ставрополь, 2014. – Т. 2, № 7. – С. 292–300.
2. Гармаш Н. Ю. Методические подходы к оценке качества гуминовых препаратов / Н. Ю. Гармаш, Г. А. Гармаш // Агрехимический вестник. – 2012. – № 4. – С. 17–19.
3. Дудкин Д. Н. Влияние продуктов искусственной гумификации на рост и урожайность озимой пшеницы, возделываемой в условиях лесостепной зоны / Д. Н. Дудкин, А. С. Змановская, П. А. Литвинцев // Вестник Югорского государственного университета. – Ханты-Мансийск, 2013. – С. 19–24.
4. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1980. – 350 с.
5. Паушева З. П. Практикум по цитологии растений / З. П. Паушева. – М.: Агропромиздат, 1988. – 271 с.

THE STUDY OF THE INFLUENCE OF HUMATE TO THE PHYSIOLOGICAL AND CYTOLOGICAL INDICATORS OF BARLEY PLANTS OF ORDINARY VARIETIES HELIOS UA

Pridatko A. I., Teplitskaya L. M.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation
E-mail: Alenka.fursova.95@mail.ru*

Barley is widely used in many countries of the world. One of the main and economically profitable crops. The main result of the use of modern and promising biotechnological methods, many experts believe the stabilization of agricultural production [1]. As a modern way to activate life processes. In stressed plants used stimulants of growth and development. To explore ways of improving the productivity of barley through the optimization of mineral nutrition. And the use of various modern drugs, growth regulators, including potassium humate K is of great importance. Humate K are non-specific activators of the immune system. Extremely effective is soaking seeds in humate K solutions to prevent seed infections and, in particular, root rot. The aim of this work was to study the features of influence of bio-stimulator potassium humate K on germination energy, germination. And mitotic activity of root meristems of barley plants in the early stages of ontogenesis. From barley sprouts cut the root (4–5 mm). After that, it was immersed in a

fixator solution for 1 day. Further transferred to a solution of 70° of alcohol and thus kept in the refrigerator. Coloring roots were acetocarmine Prepared temporary micropreparations. Presowing treatment of seeds with humate K to a dose of 0.05 mg/l increased germination energy. When soaking within 4 hours, the germination energy increased by 26.5 % compared to the control. And when soaking for 8 and 12 hours, this figure rose by 23.3 % and 21.0 % respectively. When using a growth regulator at a concentration of 0.075 mg/l. The greatest impact the drug had only when soaking for 4 hours. She increased the energy of germination of the test plants by 24.1 %. At the exposure of 8 and 12 hours, the figures did not exceed 15.0 %. The best germination was obtained under the influence of the drug on plants at a concentration of 0.05 mg/l. when soaked for 4, 8 and 12 hours, the germination increased by 36.0 %, 25.5 % and 33.5 % compared to the control. Further increase in the concentration of the studied growth regulator resulted in a decrease in the stimulating effect of the drug on germination seeds of the barley varieties of Helios UA. During the experiment, it was found that the treatment of barley seeds with humate K leads to a significant increase in mitotic activity. Application of 0.05 mg/l concentration during soaking for 4 hours increased mitotic activity by 15.7 %. At 8 and 12 o'clock, the mitotic index was 14 % and 12 % compared to the control. Seed treatment with a concentration of 0.025 mg/l increased mitotic activity by 11 % when soaked for 4 hours on 9,6 % – within 8 hours compared with the control. At an exposure of 12 hours the rate was 10.3 %. The researches about the influence of humate K on germination energy and laboratory germination was studied, and mitotic activity of root meristems at different concentrations and exposures was studied. Was used different concentrations of the drug humate K To: 0,013 mg/l 0.025 mg/l 0.05 mg/l 0.075 mg/l 0.1 mg/l. as control was used the water. The exhibition soak: 4, 8, and 12 hours. Stimulating effect had all the concentrations. It however, the best results were obtained using 0.05 mg/l and 0.025 mg/l. soaking. The optimal exposure was 4 hours. The optimal concentration of the drug humate K (0.05 mg/l) stimulate the process of germination of seeds of the barley varieties of Helios UA: the energy of germination amounted to 68,7 %; germination rate – 70.0 %. Soaking seeds in a solution of humate K (0.05 mg / l) significantly stimulated mitotic activity of root meristems and active growth of barley varieties Helios UA.

Keywords: barley, humate K, germination energy, germination mitotic index.

References

1. Mamontova T., Aibazov A., Rusakova O., *Sovremennye tendentsii razvitiya mirovogo i rossiiskogo rynka biotekhnologii v zhitovnovodstve, Sbornik nauchnykh trudov Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta ovtsevodstva i kozovodstva*, **2, 7**, 292 (Stavropol', 2014).
2. Garmash N., Garmash G., *Metodicheskie podkhody k otsenke kachestva guminovykh preparatov, Agrokhimicheskii vestnik*, **4**, 17 (2012).
3. Dudkin D. N. *Vliyanie produktov isskustvennoi gumifikatsii na rost i urozhainost' ozimoi pshenitsy, vozdeleyvaemoi v usloviyakh lesostepnoi zony, Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta*, 19 (Khanty-Mansiisk, 2013).
4. Lakin G., *Biometriya*, 350 (M. : Vysshaya shkola, 1980).
5. Pausheva Z. *Praktikum po tsitologii rastenii*, 271 (M.: Agropromizdat, 1988).

УДК 612.146:796.082.1

ВЫРАЖЕННОСТЬ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ КАРДИОГЕМОДИНАМИКИ У БОРЦОВ РАЗЛИЧНОЙ КВАЛИФИКАЦИИ

Тарабрина Н. Ю.¹, Грабовская Е. Ю.¹, Тарабрина В. А.², Абдураманов А. Р.¹

¹Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия

*²Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: nata-tarabrina@mail.ru*

Для выявления диапазона гемодинамических изменений у спортсменов различной квалификации было обследовано 46 юношей, занимающихся вольной борьбой, на разных этапах спортивной подготовки. Показано, что у борцов высокой квалификации в большей степени выражено доминирование парасимпатического тонуса вегетативной нервной системы, чем у спортсменов с более низкой квалификацией. Обнаружены также различия целого ряда показателей ($p < 0,001 - 0,05$), характеризующих центральную кардиогемодинамику у спортсменов различной квалификации. Выявленные различия могут быть обусловлены степенью тренированности спортсменов и, соответственно, различными компенсаторными механизмами центральной кардиогемодинамики у борцов различной квалификации.

Ключевые слова: центральная кардиогемодинамика, вегетативная нервная система, борцы.

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития вольной борьбы четко прослеживается рост уровня профессионализма, что повышает зрелищность соревновательных поединков. Одним из перспективных направлений популяризации этого вида спорта является повышение уровня привлекательности соревнований за счет увеличения количества выполнения сложнейших элементов, захватов, перекатов, бросков с высокой амплитудой, которые в спортивной борьбе являются ведущими структурными элементами технико-тактических действий [1–4]. Вследствие постоянного роста конкуренции возрастают требования к проявлению физических качеств спортсменов [5; 6]. Это обстоятельство требует от борцов высокого уровня как общей, так и специальной работоспособности, позволяющей выполнять эффективные приемы в условиях соревновательной деятельности [3; 6].

Несмотря на то, что проблема повышения качества и эффективности подготовленности спортсменов высокой квалификации всегда была актуальной и привлекала внимание многих специалистов по борьбе [1–3; 6; 7], сегодня сложилась ситуация, которая, с одной стороны, требует повышения качества формирования технического мастерства спортсменов, с другой – характеризуется отсутствием эффективного контроля за функциональным состоянием и его динамикой у спортсменов [3; 7].

Известно, что физическая работоспособность зависит от целого ряда факторов, определяющих и лимитирующих ее [1; 2], но роль этих факторов различна в зависимости от спортивной специализации и квалификации, возраста и др. [5; 7; 9]. В то же время адекватное функциональное состояние висцеральных систем и высокий уровень работоспособности спортсменов обеспечивает вегетативная нервная система. Коррекция вегетативного статуса организма, заключающаяся в снижении симпатикотонии или усилении парасимпатикотонии, позволяет оптимизировать баланс между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы (ВНС), а, следовательно, и адаптацию к физическим нагрузкам [9; 10].

Следует отметить, что особенности показателей вегетативной регуляции и ее влияние на обеспечение функционального состояния и высокой работоспособности борцов изучено недостаточно. Под вегетативным обеспечением подразумевается способность поддержания оптимального уровня функционирования ВНС, обуславливающего адекватную физическим нагрузкам деятельность сердечно-сосудистой системы.

Именно потому все большую актуальность приобретают новые подходы, ориентированные на необходимость учёта индивидуально-типологических особенностей и физиологических функций на всех этапах обучения спортсмена и особенно в периоды подготовки участия в спортивных соревнованиях [7; 8].

Недостаточное количество научных разработок, которые связаны с рассматриваемыми вопросами, и важность проблемы для медико-биологического контроля функционального состояния борцов вольного стиля определили выбор направления и темы исследования.

Цель работы – оценка гемодинамических показателей и тонуса ВНС борцов вольного стиля различной квалификации.

Работа выполнена в соответствии с планом научно-исследовательской работы кафедры медико-биологических основ физической культуры факультета физической культуры и спорта Таврической академии ФГАОУ ВО «КФУ имени В. И. Вернадского».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании принимали участие 46 юношей 19–23-летнего возраста, занимающихся вольной борьбой в ГБПОУ «Крымское среднее профессиональное училище (техникум) олимпийского резерва» и в ДЮСШ № 1. Все обследуемые были разделены на две функциональные группы: контрольную группу (КГ) составили 10 спортсменов, имеющих первый взрослый разряд, со стажем спортивной тренировки до 6 лет. В основную группу (ОГ) вошли 36 спортсменов, со стажем спортивной тренировки не менее 8–10 лет и имеющих спортивную квалификацию кандидата в мастера спорта и мастера спорта (в категории до 76 кг). Все обследуемые дали добровольное согласие на участие в эксперименте. Обследования проводились в первой половине дня, с 9.00 до 11.00 часов, температура воздуха в помещении колебалась в диапазоне от 19 до 22 °С. Для всех спортсменов за день до проведения обследований и в день проведения обследований тренировочные занятия не проводились.

У всех обследуемых регистрировали показатели антропометрии и ряд показателей, отражающих функциональное состояние центральной гемодинамики. Артериальное давление измерялось в состоянии покоя, сидя, по стандартной методике (непрямым методом Короткова). Фиксировалось систолическое (АДс, мм рт.ст.) и диастолическое (АДд, мм рт.ст.) артериальное давление. Затем по стандартным формулам рассчитывались показатели: среднее артериальное давление (САД, мм рт.ст.) и пульсовое давление (ПД, мм рт.ст.).

Как известно, ударный объем сердца (УОС) характеризует непосредственную насосную функцию сердца и определяет доставку кислорода тканям. Кроме того, определение УОС позволяет вычислить и другие параметры гемодинамики (минутный объем сердца, общее периферическое сосудистое сопротивление и др.), отражающие более полную картину функционирования системы кровообращения.

В 1954 году Старр на основе экспериментального материала и клинических наблюдений предложил расчетный способ определения ударного объема сердца по формуле:

$$УОС = 90,97 + 0,54 \times ПД - 0,57 \times АДд - 0,61 \times В \quad (1)$$

где УОС – ударный объем сердца, ПД – пульсовое давление, АДд – диастолическое давление, В – возраст в годах (Stair, 1954).

Результаты, полученные с помощью формулы Старра, неоднократно подвергались сравнению с таковыми, установленными другими методами исследования (методами Грольмана, Фика). При этом отмечалось, что хотя и существует высокая корреляционная связь между показателями, определенными данным способом с таковыми, найденными другими способами, показатели гемодинамики отличались между собой в абсолютных значениях. Также указывалось, что применение поправочного коэффициента в формуле Старра без учета состояния тонуса и эластичности сосудов может приводить к значительным ошибкам [12].

В связи с этим с целью повышения точности показателей УОС, полученных расчетным способом Старра, мы использовали предложенный авторами Заболотских И. Б. и др. (Патент на изобретение № 2186520 от 04.12.2000 г.) способ определения данного показателя, учитывающий возраст и исходный тонус вегетативной нервной системы [13].

Данный способ разработан на основании проведенного сравнительного и корреляционного кластерного анализов показателей ударного объема сердца, полученных с помощью расчетного способа Старра с показателями, полученными инвазивным способом термодилуции при катетеризации полостей сердца и легочной артерии (разведение термического индикатора). В результате был предложен согласующий коэффициент, вводимый в модифицированную формулу Старра и зависящий от текущих величин частоты сердечных сокращений (ЧСС) и пульсового артериального давления (ПД):

- при ЧСС от 60 до 90 уд/мин и при ПД=25–49 мм рт.ст. $k=1,64$;
- при ЧСС от 60 до 90 уд/мин и при ПД=50–74 мм рт.ст. $k=1,75$;
- при ЧСС от 60 до 90 уд/мин и при ПД=75–100 мм рт.ст. $k=1,4$;
- при ЧСС=91–130 мин⁻¹ $k=1$.

В результате модифицированная формула Старра приобрела следующий вид:

ВЫРАЖЕННОСТЬ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ...

$$УОС = (90,97 + 0,54 \times ПД - 0,57 \times АДд - 0,61 \times В) \times k \quad (2)$$

где ПД – пульсовое давление, АДд – диастолическое артериальное давление, В – возраст в годах, k – согласующий коэффициент, зависящий от текущих величин частоты сердечных сокращений и пульсового артериального давления.

На основании этих данных производили расчеты коэффициентов и индексов, характеризующих системное кровообращение. Формулы расчетов и нормируемые величины представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Показатели центральной кардиогемодинамики, определяемые у обследуемых основной и контрольной групп

Показатели (единицы измерения)	Формулы для расчета	Параметры здорового человека
Показатели артериального давления		
Систолическое артериальное давление (АДс, мм рт. ст.)		100–130
Диастолическое артериальное давление (АДд, мм рт. ст.)		60–90
Пульсовое давление (ПД, мм рт. ст.)	$ПД = АДс - АДд$	30–50
Среднее артериальное давление (САД, мм рт. ст.)	$САД = (АДс - АДд) / 3 + АДд$	70–100
Показатели сердечной деятельности		
Частота сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин)		60–90
Ударный объем сердца (УОС, мл)	$УОС = (90,97 + 0,54 \times ПД - 0,57 \times АДд - 0,61 \times В) \times k.$	50–75
Мощность сокращения левого желудочка (РБТ, Вт)	$РБТ = 14,35 \times 10 \times САД$	2–4,5
Сердечный индекс (СИ, л/мин/м ²)	$СИ = МОК / S$	2,5–4,5
Минутный объем кровообращения (МОК, л/мин)	$МОК = УОС \times ЧСС / 1000$	3,5–5,5
Сосудистые показатели		
Общее периферическое сосудистое сопротивление (ОПСС, дин*с/см ⁵)	$ОПСС = СрАД / МОК \times 80$	900–2500
Двойное произведение (ДП, отн. ед.)	$ДП = ЧСС \times САД / 100$	70–90
Вегетативный индекс Кердо (ВИК) у. е.	$ВИ = АДд / ЧСС$	более 1,05 – ПСт, 1,05–0,95 – Нт, менее 0,95 – Ст

Вегетативный индекс рассчитывали по формуле I. Kérdö (1953):

$$ВИ = \frac{АДд}{ЧСС}, \text{ где}$$

ВИ – вегетативный индекс (ед.); АДд – диастолическое артериальное давление (мм рт. ст.); ЧСС – частота сердечных сокращений (уд./мин.).

Выявленная I. Kérdö (1953) закономерность заключается в следующем: при сдвиге вегетативного тонуса в сторону симпатикотонии (Ст) диастолическое давление падает, число ударов пульса возрастает, соотношение АДд/ЧСС становится меньше 1; при парасимпатикотонии (ПСт) возрастает диастолическое давление, уменьшается число ударов пульса, соотношение АДд/ЧСС становится больше 1 [14]. В соответствии с этой закономерностью процентные значения вегетативного индекса (ВИ), полученные относительно исходного уровня выше ста единиц, могут рассматриваться как усиление парасимпатического тонуса и, наоборот, меньше 100 % – рост симпатического влияния. Такие относительные значения, в отличие от предложенного позже автором [15] одноименного индекса, который может принимать как положительные, так и отрицательные значения, удобны для получения приростов и их сравнения. Смещение ВИ в ту или иную сторону на 10 % и более свидетельствует о вегетативном сдвиге [16] (рис. 1).

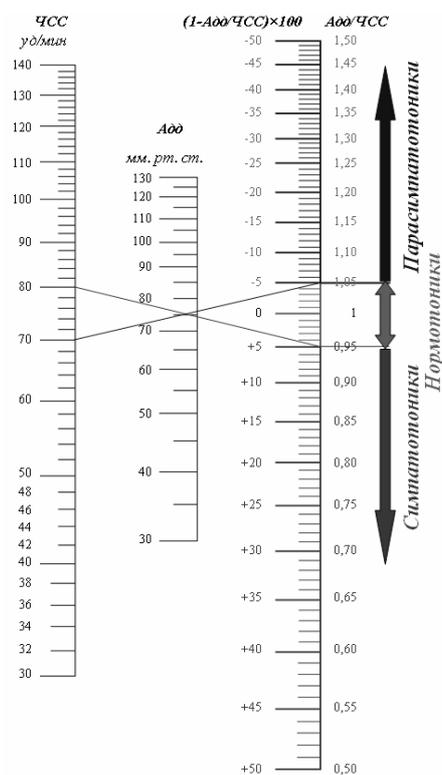


Рис. 1. Номограмма для вычисления вегетативного индекса по I. Kérdö.

Расчеты и графическое оформление полученных в работе данных проводились с использованием программы Microsoft Excel и программного пакета «STATISTICA – 10.0». Для проверки нулевой гипотезы об отсутствии различий связанных групп с отличными от нормального распределения вначале использовали процедуры непараметрического дисперсионного анализа по Фридмену. Затем проводили парное сравнение групп с использованием непараметрического критерия Вилкоксона. В качестве меры центральной тенденции использовали медиану (Me), а в качестве мер рассеяния – нижний (Q1) и верхний (Q3) квартили (25 и 75 процентиля). Для проверки нулевой гипотезы об отсутствии различий связанных групп с нормально распределенным признаком вначале использовали процедуры однофакторного дисперсионного анализа (Repeated Measures ANOVA). Далее проверяли нормальность распределения разности между значениями признака для парного критерия Стьюдента. Затем проводили парное сравнение групп с использованием параметрического теста Стьюдента. В данном случае в качестве меры центральной тенденции использовали среднее арифметическое (M), а в качестве меры рассеяния – стандартную ошибку среднего арифметического (m) [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о некоторых различиях в показателях сердечно-сосудистой системы спортсменов в зависимости от уровня спортивной квалификации.

Как показано в таблице 2, у спортсменов обеих групп преобладает парасимпатический тонус ВНС – ВИ составляет $1,37 \pm 0,10$ отн. ед. в основной группе и $1,29 \pm 0,11$ отн. ед. в контрольной. Разница показателей в сравниваемых группах достоверна и соответствует 5,8 % ($p \leq 0,01$). Такие данные вполне объяснимы с позиции спортивной кардиогемодинамики. Установлено, что спортсмены более высокой квалификации имеют более выраженную приобретенную ваготонию [2; 4].

Наряду с этим ЧСС в основной группе составила 55,31 (55,0–57,0) уд./мин, а в контрольной группе данный показатель на 6,92 % ($p \leq 0,001$) выше и соответствует 59,14 (54,5–62,5) уд./мин. Систолическое артериальное давление в основной группе выше на 3,76 % ($p \leq 0,001$), чем в контрольной группе. При этом уровень диастолического давления в обеих группах был практически одинаков, а пульсовое давление на 9,32 % ($p \leq 0,001$) выше в основной группе и соответствует $49,75 \pm 0,8$ мм рт. ст. По всей вероятности, у спортсменов более высокой квалификации такой уровень давления подчёркивает наличие более выраженной компенсаторной реакции на снижение ЧСС по сравнению с контрольной группой. Известно, что уменьшение ЧСС (отрицательный хронотропный эффект) снижает потребность миокарда в кислороде вследствие уменьшения величины его работы, а также увеличивает диастолу [2]. Брадикардия возникает в результате изменений уровней нейровегетативной регуляции в покое, когда наряду с повышением тонуса парасимпатической нервной системы снижается активность симпатико-адреналовой системы [2; 4; 5].

У обследованных спортсменов минутный объем крови находится практически на одном уровне, а вот ударный объем у спортсменов более высокой квалификации (ОГ) выше на 6,22 % ($p \leq 0,001$) и составляет в контрольной группе $59,48 \pm 1,10$ мл, а в основной $63,43 \pm 1,07$ мл. Это обстоятельство можно рассматривать как тенденцию к проявлению феномена экономизации функций, наступающего в результате многократного действия на организм спортсменов интенсивных нагрузок, и согласуется с мнением ряда авторов [4; 9].

Таблица 2.
Показатели центральной кардиогемодинамики у борцов основной (ОГ, n=36) и контрольной (КГ, n=10) групп

Показатели	ОГ	КГ	P
АДс (мм рт. ст.)	$125,56 \pm 0,46$	$120,83 \pm 0,48$	$\leq 0,001^{***}$
АДд (мм рт. ст.)	75,81 (73,0–79,0)	75,72 (73,0–80,0)	$> 0,05$
ПД (мм рт. ст.)	$49,75 \pm 0,8$	$45,11 \pm 0,92$	$\leq 0,001^{***}$
САД (мм рт. ст.)	92,39 (91,0–94,67)	91,0 (89,83–93,67)	$\leq 0,001^{◆◆◆}$
РБТ (Вт)	1,59 (1,56–1,63)	1,56 (1,54–1,60)	$\leq 0,001^{◆◆◆}$
ЧСС (уд./мин)	55,31 (55,0–57,0)	59,14 (54,5–62,5)	$\leq 0,01^{◆◆}$
УОС (мл)	$63,43 \pm 1,07$	$59,48 \pm 1,10$	$\leq 0,001^{***}$
МОК (л/мин)	$3,5 \pm 0,49$	$3,49 \pm 0,58$	$> 0,05$
СИ (л/мин/м ²)	$3,51 \pm 0,06$	$3,50 \pm 0,05$	$> 0,05$
ОПСС (дин×с×см ⁻⁵)	2134,73(1904,8–2299,8)	2065,95(1822,8–2145,6)	$\leq 0,05^{◆}$
ДП (отн. ед.)	$69,44 \pm 0,57$	$71,45 \pm 1,22$	$> 0,05$
ВИ (отн. ед.)	$1,37 \pm 0,01$	$1,29 \pm 0,01$	$\leq 0,01^{**}$

Примечания: p – достоверность различий показателей при сравнении ОГ и КГ;
*, **, *** – достоверность различий $p < 0,05, 0,01, 0,001$ соответственно, Т-критерий Стьюдента;
◆, ◆◆, ◆◆◆ – достоверность различий $p < 0,05, 0,01, 0,001$ соответственно, W-критерий Вилкоксона;

Однако вопрос о влиянии спортивной тренировки на величину ударного объема сердца и минутного объема крови у спортсменов трактуется неоднозначно. Одни исследователи [2] не находят существенных различий в величинах главных гемодинамических показателей, другие, наоборот, отмечают снижение или повышение этих показателей у спортсменов различных специализаций и уровня квалификации [4; 8–11]. Кроме того, на величину этих показателей влияют и такие

факторы, как биологический возраст, степень полового созревания, конституциональные особенности, и главное – мощность, длительность и периодичность нагрузок.

Дальнейший анализ изменений показателей гемодинамики выявил достоверное ($p \leq 0,05$) различие по показателю ОПСС, составившее 3,24 %. Данное отличие указывает, скорее всего, на усиление работы миокарда спортсменов основной группы, что также проявляется в увеличении показателя ПД. Очевидно, данные различия обусловлены степенью тренированности спортсменов и, соответственно, компенсаторными механизмами центральной кардиогемодинамики спортсменов с более высокой квалификацией.

Следует отметить, что у спортсменов высокой квалификации происходит перераспределение кровотока в пользу центральных сосудов на фоне снижения их эластичности. Это обусловлено более высоким ОПСС, характеризующим резистивный тип кровообращения. Мощность сокращения левого желудочка, которая отражает экономизацию работы сердца, у них достоверно выше, что способствует обеспечению более высокого САД. В целом можно заключить, что для спортсменов как контрольной, так и основной группы характерно состояние напряжения нейрогуморальных механизмов саморегуляции, сопровождающееся мобилизацией функциональных ресурсов и некоторой нестабильностью показателей гомеостаза, которое приводит к снижению запаса функциональных резервов и существенно сужает диапазон возможных адаптивных реакций. При этом отмеченная закономерность носит более выраженный характер у спортсменов высокой квалификации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. У всех обследуемых спортсменов преобладает парасимпатический тонус ВНС. У спортсменов более высокой квалификации и ранней специализации ВИК составляет $1,37 \pm 0,10$ отн. ед., в то время как у спортсменов контрольной группы равен $1,29 \pm 0,11$ отн. ед. Разница между этим показателем соответствует 5,8 % ($p \leq 0,01$).
2. Обнаружены различия в функциональном состоянии сердечно-сосудистой системы единоборцев в зависимости от уровня спортивной квалификации и стажа спортивной тренировки. У высококвалифицированных спортсменов по сравнению со спортсменами более низкой квалификации зафиксирована более выраженная брадикардия покоя – 55,31 уд./мин ($p \leq 0,01$), более высокие показатели АДс и ПД (на 3,76 % и 9,76 % соответственно, $p \leq 0,001$), больший УОС (на 6,22 %, $p \leq 0,001$), большее ОПСС (на 3,24 %, $p \leq 0,05$).
3. Параметры артериальной системы борцов отражают динамику трансформации сосудистого русла в процессе многолетних тренировок.

Список литературы

1. Korobeynikov G. V. Connection of boxers' combat styles with psycho-physiological characteristics / G. V. Korobeynikov, V. V. Aksutin, I. I. Smoliar // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. – 2015. – № 9. – С. 33–37.
2. Коробейников Г. В. Вегетативная регуляция ритма сердца у спортсменов с различным уровнем сенсомоторного реагирования / Г. В. Коробейников, Л. Г. Коробейникова, В. В. Шацких [и др.] // Вопросы функциональной подготовки в спорте высших достижений. – 2013. – Т. 1, № 1. – С. 60–69.
3. Приймаков А. А. Контроль функциональной подготовленности борцов высшей квалификации на предсоревновательном этапе подготовки / А. А. Приймаков, А. А. Осипенко, А. В. Коленков [и др.] // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. – 2004. – № 20. – С. 96–102.
4. Орджоникидзе З. Г. Выраженная синусовая брадикардия у спортсменов-подростков: норма или патология? / З. Г. Орджоникидзе, В. И. Павлов, Е. М. Цветкова // Педиатрия. Журнал имени Г. Н. Сперанского. – 2009. – Т. 87, № 3. – С. 35–38.
5. Назаренко Л. Д. Физиология физического воспитания и спорта / Л. Д. Назаренко. – Ульяновск, 2000. – 144 с.
6. Данько Т. Г. Характеристика структуры функциональной подготовленности борцов высокой квалификации на предсоревновательном этапе подготовки / Т. Г. Данько // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. – 2008. – № 3. – С. 72–78.
7. Исаев А. П. Прогнозирование ранга спортивного мастерства дзюдоистов на основании адаптивных изменений показателей гомеостаза / А. П. Исаев. // Теория и практика физической культуры. – 1998. – № 11. – С.32–35.
8. Малинский И. Й. Индивидуальные особенности функциональной подготовленности квалифицированных борцов вольного стиля (включая возрастные отличия) : автореф. дис. на соиск. науч. степени канд. наук по физ. восп. и спорту : спец. 24.00.01 «Олимпийский и профессиональный спорт» / И. Й. Малинский – К., 2002. – 22 с.
9. Системные гемодинамические изменения при изометрических ритмических сокращениях различных мышц в зависимости от характера выполняемой работы / О. Л. Виноградова, А. С. Боровик, С. Ю. Кузнецов [и др.] // Системные и клеточные механизмы в физиологии двигательной системы и мышечной деятельности: школа-конференция по физиологии мышц и мышечной деятельности «Новые подходы к изучению классических проблем», Москва, 29 января – 1 февраля 2013 г. – М.: Графика-Сервис, 2013. – С. 26–27.
10. Тарабрина Н. Ю. Характеристика психофизиологических возможностей спортсменов-единоборцев различной квалификации / Н. Ю. Тарабрина, Е. Ю. Грабовская, В. А. Иванов // Боевые искусства и спортивные единоборства: наука, практика, воспитание. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – 2016. – С. 243–246.
11. Яхонтов С. В. Физиология. Методы оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы: Учебно-методическое пособие / С. В. Яхонтов, Т. В. Ласукова – Томск: Издательство Томского государственного университета, 2007. – 38 с.
12. Лищук В. А. Еще раз о типичных ошибках при обработке данных клинического и мониторингового контроля. / В. А. Лищук // Бюлл. НЦССХ РАМН. – 2001. – Т. 2, № 6. – С. 183.
13. Пат. 2186520 Российская Федерация, МПК А61В5/029 Способ определения ударного объема сердца / Заболотских И. Б., Станченко И. А., Скопец А. А.; заявитель и патентообладатель Заболотских И. Б., Станченко И. А., Скопец А. А. – № 2000130456/14; заявл. 04.12.2000; опубл. 04.12.2000.
14. Kérdő I. Orv. hétél. / Kérdő I. – Budapest, XCIV, 1953. – 319 p.
15. Kérdő I. Statistical analysis of vegetative reactions under various meteorological conditions. / I. Kérdő // Vortrag, gehalten am 5.IX.1963 zu Pau anlässlich des III. Internat. Kongresses d. Intern. Ges. f. Biometeorologie (künftige Publikation in den Proceedings des Kongresses, Pergamon Press, London).

16. Минвалеев Р. С. Вегетативный индекс Кердо: индекс для оценки вегетативного тонуса, вычисляемый из данных кровообращения / Р. С. Минвалеев // Спортивная медицина. – 2009. – № 1–2. – С. 33–44.
17. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. / А. И. Кобзарь. – М.: Физматлит, 2006. – 238 с.

MANIFESTATION OF THE MAIN INDICATORS OF THE CENTRAL CARDIOHEMODYNAMICS IN WRESTLERS OF DIFFERENT QUALIFICATION

Tarabrina N. Yu.¹, Grabovskaya E. Yu.¹, Tarabrina V. A.², Abduramamov A. R.¹

¹*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation*

²*S.M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia*

E-mail: nata-tarabrina@mail.ru

The increase of the physical working capacity in the Olympics is a very keen interdisciplinary problem which involves medicine, sport physiology and sport rehabilitation. The control of the functional condition of the athletes is impossible without systemic approach based on the analysis of individual vegetative profile which in its turn determines typological traits of adaptation towards specific physical loads.

It is known that physical working capacity is dependent on a number of factors determining and limiting its, but the role of these factors is different depending on sports specialization and qualification, age, etc. At the same time adequate to the functional state of the visceral systems and a high level of performance of athletes provides the vegetative nervous system. Correction of the vegetative status of the organism, which consists in reducing the gain of sympathicotonia or parasympathicotonia allows to optimize the balance between the sympathetic and parasympathetic departments of the autonomic nervous system and, consequently, adaptation to physical loads.

It should be noted that the specific features of the indices of vegetative regulation and its impact on the ensuring of a functional status and high performance of wrestlers have not been adequately studied. Vegetative regulation means the ability to maintain the optimal level of functioning of the vegetative nervous system which determines the activity of the cardiovascular system adequate to physical load.

This accounts for the increasing topicality of new approaches oriented towards the need to take into account individual-typological features and physiological functions at all stages of the athlete's training and especially during the periods of preparation and participation in sports competitions.

Twenty-six young male freestyle wrestlers were examined at different stages of sports training. All of those examined were divided into two functional groups: the control group consisted of 10 persons who achieved the first adult category in wrestling, with an experience of sports training of up to 6 years. The second group (experimental) consisted of 16 persons also going in for freestyle wrestling, with at least 8 to 10 years of sports

training who had the sports qualifications of Candidate Master of Sports and Master of Sports.

The results of the studies conducted testify to the fundamental differences in some parameters of the cardiovascular system of the athletes depending on the level of their sports qualification. It is shown that prevailing in the experimental group athletes is the parasympathetic tone of the VNS (with the vegetative index making up 2.10 ± 0.24 conventional units), while the control group athletes have mainly a sympathetic tone, with the vegetative index making up 1.71 ± 0.06 c.u.. The difference between these indicators corresponds to 18.57 % and is significantly different ($p < 0.001$). In terms of heart rate, the difference was 14.66 % ($p < 0.001$), with PD 12.7 % ($p < 0.001$) lower in the control group, and the MV significant difference of 13.42 % ($p < 0.01$). At the same time, in the experimental group there was a significant increase in the average systolic blood pressure values by 4.43 % ($p < 0.01$), which is a compensatory response to a decrease in heart rate, as compared with the control group. Obviously, these differences are explained by the athletes' level of training and, accordingly, better compensatory mechanisms of central cardiohemodynamics. In general, the parameters of the arterial system of wrestlers reflect the dynamics of transformation of the vascular bed during the training process.

Keywords: central cardiohemodynamics, vegetative nervous system, athletes.

References

1. Korobeynikov G. V. Aksutin V. V. Smoliar I. I. Connection of boxers' combat styles with psychophysiological characteristics, *Pedagogika, psixologiya i mediko-biologicheskie problemy' fizicheskogo vospitaniya i sporta*, **9**, 33, (2015).
2. Korobejnikov G. V. Korobejnikova L. G. Shackix V. V. [i dr.] Vegetativnaya regulyaciya ritma serdca u sportsmenov s razlichny'm urovnem sensomotornogo reagirovaniya, *Voprosy' funkcional'noj podgotovki v sporte vy'sshix dostizhenij*, **1**, 60, (2013).
3. Prijmakov A. A., Osipenko A. A., Kolenkov A. V. [i dr.] Kontrol' funkcional'noj podgotovlennosti borcov vy'sshej kvalifikacii na predsovevnovatel'nom e'tape podgotovki, *Pedagogika, psixologiya i mediko-biologicheskie problemy' fizicheskij kul'tury' i sporta*, **20**, 96, (2004).
4. Ordzhonikidze Z. G., Pavlov V. I., Cvetkova E. M. Vy'razhennaya sinusovaya bradikardiya u sportsmenov-podrostkov: norma ili patologiya? *Pediatrics. Zhurnal imeni G.N. Speranskogo*, **87**, 3, 35 (2009).
5. Nazarenko L. D. *Fiziologiya fizicheskogo vospitaniya i sporta*, 144. (Ulyanovsk, 2000).
6. Dan'ko T. G. Charakteristika struktury' funkcional'noj podgotovlennosti borcov vy'ssoj kvalifikacii na predsovevnovatel'nom e'tape podgotovki, *Pedagogika, psixologiya i mediko-biologicheskie problemy' fizicheskij kul'tury' i sporta*, **3**, 72, (2008).
7. Isaev A. P. Prognozirovanie ranga sportivnogo masterstva dzyudoistov na osnovanii adaptivny'x izmenenij pokazatelej gomeostaza. *Teoriya i praktika fizicheskij kul'tury'*, **11**, 32, (1998).
8. Malinskij I. J. *Individual'nye osobennosti funkcional'noj podgotovlennosti kvalificirovanny'x borcov vol'nogo stilya (vkl'yuchaya vozrastny'e otlichiya)* : avtoref. dis. na soisk. nauch. stepeni kand. nauk po fiz. vosp. i sportu : spec. 24.00.01 «Olimpijskij i professional'ny'j sport», 22. (NUFVSU, Kiev, 2002).
9. Vinogradova O. L., Borovik A. S., Kuznecov S. Yu. [i dr.] *Sistemny'e gemodinamicheskie izmeneniya pri izometricheskix ritmicheskix sokrashheniyax razlichny'x my'shc v zavisimosti ot xaraktora vy'polnyaemoj raboty'*. Sistemny'e i kletochny'e mexanizmy' v fiziologii dvigatel'noj sistemy' i my'shechnoj deyatel'nosti : shkola-konferenciya po fiziologii my'shc i my'shechnoj deyatel'nosti «Novy'e podxody' k izucheniyu klassicheskix problem, 26. (Grafika-Servis, Moskva, 2013).
10. Tarabrina N. Yu., Grabovskaya E. Yu., Ivanov V. A. Charakteristika psixofiziologicheskix vozmozhnostej sportsmenov-edinoborcev razlichnoj kvalifikacii. V sbornike: Boevy'e iskusstva i sportivny'e

- edinoborstva: nauka, praktika, vospitanie. *Materialy' Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodny'm uchastiem*, 243. (RGUFKSMiT, Moskva, 2016).
11. Yaxontov S. V., Lasukova T. V. *Fiziologiya. Metody' ocenki funkcional'nogo sostoyaniya serdechno-sosudistoj sistemy': Uchebno-metodicheskoe posobie*, 38. (Izdatel'stvo Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, Tomsk, 2007).
 12. Lishhuk V. A. Eshhe raz o tipichny'x oshibkax pri obrabotke danny'x klinicheskogo i monitornogo kontrolya. *Byull. NCSSX RAMN*, **2(6)**, 183, (2001).
 13. Pat. 2186520 Russian Federation, IPC A61B5/029 Method of determining stroke volume of the heart / Zabolotskikh I. B., Starchenko I. A., Skopets A. A.; applicant and patentee zabolotskikh I. B., Starchenko I. A., Skopets A. A. No. 2000130456/14; Appl. 04.12.2000; publ. 04.12.2000
 14. Kérdö I. *Orv. hétil*, 319 (Budapest, XCIV, 1953).
 15. Kérdö I. Statistical analysis of vegetative reactions under various meteorological conditions. Vortrag, gehalten am 5.IX.1963 zu Pau anlässlich des III. Internat. Kongresses d. Intern. Ges. f. Biometeorologie (künftige Publikation in den Proceedings des Kongresses, Pergamon Press, London).
 16. Minvaleev R. S. Vegetativnyj indeks Kerdo: indeks dlya ocenki vegetativnogo tonusa, vychislyaemyj iz dannyh krovoobrashcheniya, *Sportivnaya medicina*, **1(2)**, 33, (2009).
 17. Kobzar' A. I. *Prikladnaya matematicheskaya statistika*, 238. (Fizmatlit, Moskva, 2006).

УДК 577:537.868:595.123

**ВЛИЯНИЕ СЛАБОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ
НА ОКОЛОГОДОВУЮ РИТМИКУ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПЛАНАРИЙ
*DUGESIA TIGRINA***

Темурьянц Н. А., Ярмолюк Н. С., Туманянц К. Н.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: nat_yarm@mail.com*

Обнаружено, что в условиях умеренного ослабления геомагнитного поля Земли, вызванного электромагнитным экранированием, наблюдается изменение инфраничных ритмов скорости движения планарий *Dugesia tigrina*. На протяжении двух лет нами выявлены определенные отличия, которые выразались в изменении спектров выделяемых периодов и определенных амплитудно-фазовых перестройках, при этом следует заметить, что планарии реагируют на влияние полей в различные годы наблюдений по-разному.

Ключевые слова: электромагнитное экранирование, планарии, скорость движения, десинхроноз, инфраничная ритмика.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных проблем экологической физиологии является изучение временной организации биологических систем [1–5]. Её адекватной характеристикой является спектр в широком диапазоне периодов [6], причем ритмы различной продолжительности построены по иерархическому признаку. Однако такая иерархичность изучена лишь для единичных показателей [7], а влияние различных экологических факторов на ритмические процессы обычно определяется по изменению ритмики одного диапазона [8–10]. Между тем изучение как иерархической организации ритмической деятельности организма, так и выяснение её изменений под влиянием экологических факторов имеет важное значение не только для понимания взаимосвязи ритмов различной продолжительности, но и для выяснения механизмов их формирования.

Особое значение исследование этой проблемы имеет для изучения механизмов действия слабых электромагнитных (ЭМ) факторов, которые могут выступать как датчики времени в широком диапазоне периодов [11]. Между тем эти вопросы изучены совершенно недостаточно.

Так, в нашей лаборатории изучено влияние слабого электромагнитного экранирования (ЭМЭ) на ритмику различных диапазонов, когда диагностировано нарушение ритмики регистрируемых процессов – десинхроноз. Однако изменение окологодовой ритмики под влиянием ЭМ факторов изучено недостаточно. В связи с

изложенным целью исследования явилось изучение влияния слабого ЭМЭ на окологодовую ритмику скорости движения (СД) планарий *Dugesia tigrina*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использовали лабораторную бесполоую расу планарий *Dugesia tigrina*, любезно предоставленную Институтом биофизики клетки РАН, а в настоящее время успешно культивируемую в Таврической академии КФУ имени В. И. Вернадского. Условия культивирования полностью соответствуют таковым в Институте биофизики клетки РАН [12].

Для экспериментов отбирали животных длиной $\approx 9 \pm 1$ мм, у которых движение осуществляется за счет ресничек, а не мускулатуры [13].

Планарий отбирали для опыта через три–четыре дня после кормления. Каждое животное помещалось в отдельный флакон с 20 мл воды, что позволило регистрировать скорость движения (СД) каждой отдельно взятой планарии. Для эксперимента было выделено две группы животных по 25 особей в каждой. Первая группа содержалась в обычных условиях лаборатории (контрольные животные), вторую содержали в экранирующей камере в течение шестнадцати дней по 21 часу в сутки.

О реакции планарий на действие электромагнитных факторов судили по изменению их СД. Выбор этого параметра функционального состояния для исследований обусловлен тем, что электромагнитные факторы различных параметров изменяют аппарат движения – реснички, жгутики [14], а также структуру основного белка ресничек – тубулина [15].

Для анализа поведенческих реакций планарий необходимо получить их исходные изображения с достаточно высоким качеством. Для этого применяли комплекс оборудования, включающий видеокамеру Sun Kwang (модель SK-2046, размер датчика 1/3 дюйма, 570 телевизионных линий), смонтированную на окуляре бинокулярного микроскопа «МБС-10». Через видеотюнер Kworld (разрешение 640 × 480) изображение передавали на персональный компьютер. Обработку и анализ результатов осуществляли с помощью пакета программного обеспечения «Image-Pro».

Видеоизображения движущихся в воде червей регистрировались с частотой 30 кадров в одну секунду. СД планарии вычислялась отношением пройденного ею пути (мм) ко времени в одну секунду. Путь измерялся наложением двух участков одного видеоряда с соответствующей разницей во времени. Контрастирование проводилось при помощи стандартной операции «вычитания» для двух изображений [16].

Ослабление фонового электромагнитного поля (ЭМП) достигалось применением экранирующей камеры размером 2х3х2 м, изготовленной из двухслойного железа «Динамо». Коэффициент экранирования ВДС, измеренный с помощью феррозондового магнитометра, составляет для вертикальной составляющей 4,4, для горизонтальной – 20. Измерялась также спектральная плотность магнитного шума в камере как в области ультранизких (от 2×10-4Гц до 0,2 Гц), так и в области радиочастот (от 15 Гц до 100 кГц). В области сверхнизких

частот измерения производились с помощью феррозондового магнитометра в паре со спектроанализатором, в области радиочастот – индукционным методом. Внутри камеры для частот выше 170 Гц и в области частот от 2×10^{-3} до 0,2 Гц уровень спектральной плотности магнитного шума ниже 10 нТл/Гц^{0.5}. Коэффициент экранирования камеры на частотах 50 и 150 Гц порядка трех. В области частот от 150 Гц до 100 кГц происходит слабое экранирование, тогда как на частотах больше 1 МГц имело место полное экранирование.

Таким образом, в нашем исследовании имело место умеренное ослабление как постоянной, так и переменной компонент магнитного поля Земли, в отличие от значительных (100 и более раз) уменьшений таковых, применяемых в подавляющем большинстве исследований [17–19].

В качестве метода нахождения спектральных характеристик изучаемых показателей для каждой планарии отдельно использовали косинор-анализ [20], который применяется в исследованиях ритмики различной продолжительности. Этот анализ заключается в том, что вначале методом наименьших квадратов вычисляются значения амплитуды для каждой индивидуальной хронограммы, а затем для исследуемой выборки животных находят средние значения спектральных параметров и их ошибки средних.

Оценку достоверности наблюдаемых изменений проводили с помощью t-критерия Стьюдента. За достоверную принимали разность средних при $p < 0,05$. Расчеты и графическое оформление полученных в работе данных проводились с использованием программы Microsoft Excel [21].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализируя ИР СД интактных нерегенерирующих планарий на протяжении двух лет, нами были выявлены определенные изменения. Так, спектр ИР у интактных нерегенерирующих животных в 2009 году состоял из семи периодов: $\approx 2^d, 3-2^d, 4$; $\approx 2^d, 7$, $\approx 3^d, 2-3^d, 3$; $\approx 3^d, 7$; $\approx 4^d, 3$; $\approx 5^d, 8$ и $\approx 9^d, 1$. Амплитуды выделенных ритмов колебались от $0,021 \pm 0,003$ усл. ед. до $0,030 \pm 0,003$ усл. ед. и возрастали с увеличением длины периода. Доминирующим был ритм $\approx 9^d, 1$ с амплитудой $0,030 \pm 0,003$ усл. ед. (рис. 1).

Спектральный анализ динамики СД нерегенерирующих интактных планарий в 2010 году выявил следующие периоды: $\approx 2^d, 3-2^d, 4$; $\approx 2^d, 7$; $\approx 3^d, 2-3^d, 3$ и $\approx 8^d, 0$. В изучаемом спектре доминирующим периодом был $\approx 8^d, 0$ с амплитудой $0,023 \pm 0,003$ усл. ед. Амплитуды ритмов исследуемого спектра возрастали с увеличением длины периода (рис. 1).

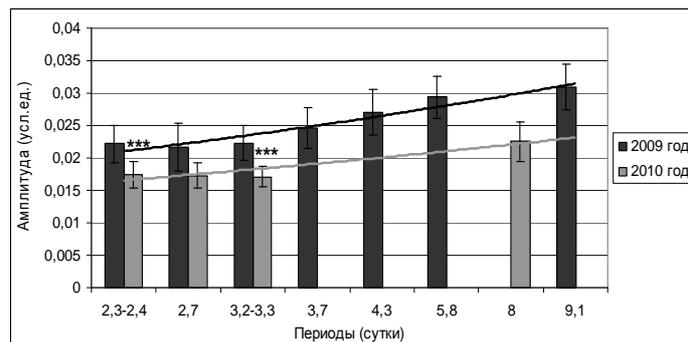


Рис. 1. Спектры периодов инфрадианных ритмов скорости движения интактных нерегенерирующих планарий в 2009 и 2010 году.

Примечание: * – достоверность различий сравниваемых групп животных: *** – ($p < 0,05$)

Косинор-анализ позволил выявить определенные межфазные соотношения у интактных нерегенерирующих планарий в 2009 и 2010 году. В высокочастотном периоде $\approx 2^d,7$ наблюдался достоверный сдвиг фаз – $160,4^\circ$ ($p_1 < 0,05$). Тогда как в периодах $\approx 2^d,3-2^d,4$ и $\approx 3^d,2-3^d,3$ отмечены только тенденции к их сдвигу, которые составили $146,5^\circ$ и $96,31^\circ$ соответственно (рис. 2).

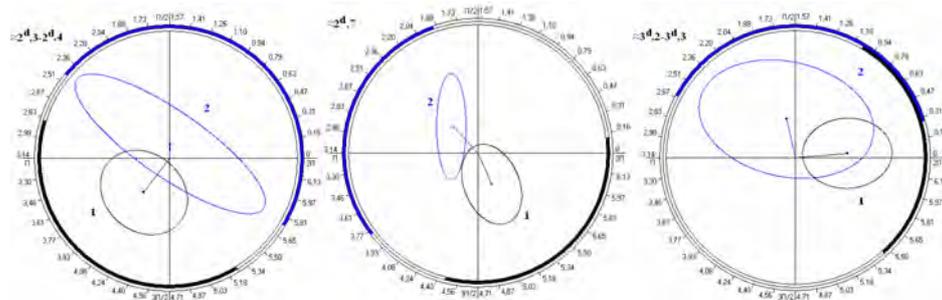


Рис. 2. Косинорограммы периодов – $\approx 2^d,3-2^d,4$; $\approx 2^d,7$ и $\approx 3^d,2-3^d,3$ (радианы) скорости движения нерегенерирующих животных контрольных групп 2009 года (1) и 2010 года (2).

Как показали результаты проведенных исследований, ЭМЭ приводит к изменениям ИР СД планарий.

В группе животных, подвергавшихся влиянию ЭМЭ, в 2009 году выделялись такие периоды: $\approx 2^d,4$; $\approx 2^d,7$; $\approx 3^d,2$; $\approx 4^d,3$ и $\approx 5^d,8$. То есть не выявлялись периоды $\approx 3^d,7$ и $\approx 9^d,1$, характерные для контрольной группы животных (рис. 3).

Амплитуды выделенных ритмов колебались от $0,020 \pm 0,002$ усл. ед. до $0,035 \pm 0,002$ усл. ед. Доминирующий был период $\approx 5^d,8$ с амплитудой $0,035 \pm 0,002$ усл. ед. При этом амплитуды выделенных ритмов исследуемого спектра планарий, содержащихся в условиях ЭМЭ, также возрастали с увеличением длины периода, как и в интактной группе животных (рис. 3.).

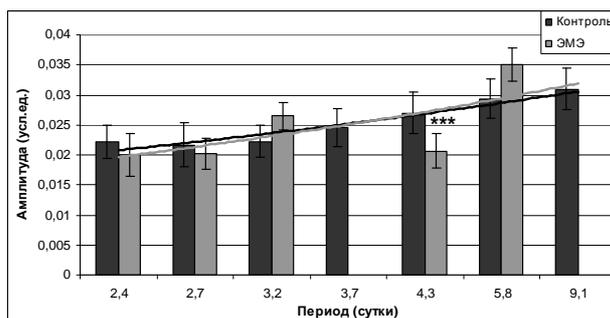


Рис. 4. Спектры мощности средней скорости движения контрольной и экспериментальной групп животных в 2009 году.

Примечание: * – достоверность различий относительно значений контрольной группы: *** – ($p < 0,05$)

Косинор-анализ позволил выявить во всех выделенных периодах определенные фазовые соотношения между данными контрольной и экспериментальной групп. Выявлено, что в периодах $\approx 2^d,7$ и $\approx 4^d,3$ наблюдался достоверный сдвиг фаз на $262,44^\circ$ ($p_1 < 0,01$) и $219,07^\circ$ ($p_1 < 0,01$) соответственно. Тогда как во всех остальных выделенных периодах наблюдается только тенденция к сдвигу: $\approx 2^d,4$ на $48,63^\circ$ и $\approx 5^d,8$ на $17,58^\circ$ (рис. 4).

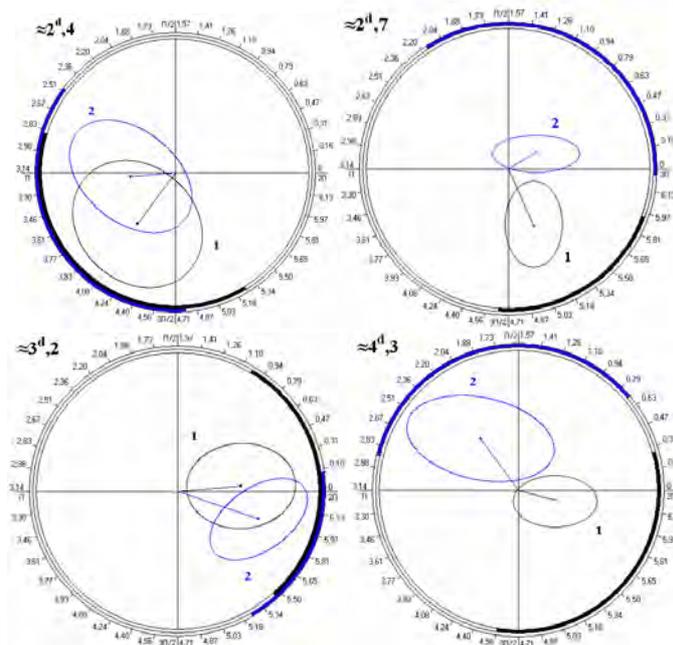


Рис. 4. Косинорограммы периодов – $\approx 2^d,4$; $\approx 2^d,7$; $\approx 3^d,2$; $\approx 4^d,3$ и $\approx 5^d,8$ (радианы) скорости движения нерегенерирующих животных контрольной группы (1) и в условиях ЭМЭ (2).

При сравнении спектров ИР интактных нерегенерирующих планарий и животных, подвергавшихся воздействию ЭМЭ, в июне 2009 года выявлено, что в контрольной группе характерно наличие семи периодов, тогда как в группе планарий, содержащихся в условиях ЭМЭ, было выявлено всего пять периодов, то есть в условиях ЭМЭ спектр становится менее насыщенным. Периоды $\approx 3^d,7$ и $\approx 9^d,1$ характерны лишь для интактных животных. Не совпадали и доминирующие ритмы: $9^d,1$ отмечен в контрольной группе нерегенерирующих планарий, когда в экспериментальной группе доминирующий ритм смещался в сторону более высокочастотных ритмов и составил – $\approx 5^d,8$. При этом амплитуды выделенных ритмов исследуемых спектров нерегенерирующих планарий возрастали с увеличением длины периода, причем выраженность этого явления совпадала (рис. 3.). Кроме того, периоды $\approx 2^d,7$ и $\approx 4^d,3$ характеризовались значительными фазовыми сдвигами – на $262,44^\circ$ ($p_1 < 0,01$) и $219,07^\circ$ ($p_1 < 0,01$) соответственно (рис. 4.).

Таким образом, длительное ЭМЭ приводит к значительным изменениям временной организации планарий *Dugesia tigrina*. А именно наблюдается изменение спектров мощности и определенные сдвиги фаз.

Однако представляет интерес проследить влияние ЭМЭ на ритмическую составляющую СД. Спектральный анализ динамики СД нерегенерирующих планарий, содержащихся в условиях ЭМЭ, позволил выявить следующие периоды: $\approx 2^d,3$; $\approx 2^d,7$; $\approx 3^d,8$ и $\approx 4^d,7$. В исследуемом спектре доминирующим периодом отмечен – $\approx 4^d,7$ с амплитудой $0,019 \pm 0,002$ усл. ед. При этом амплитуды выделенных ритмов исследуемого спектра нерегенерирующих планарий также возрастали с увеличением длины периода (рис. 5.).

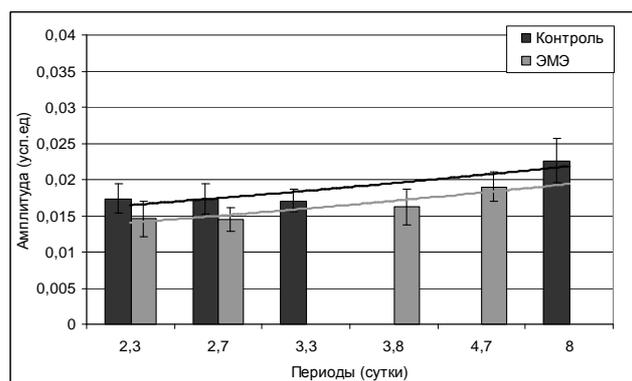


Рис. 5. Спектры периодов инфрадианных ритмов скорости движения нерегенерирующих планарий, содержащихся в условиях ЭМЭ (июнь 2010 года).

Косинор-анализ позволил выявить определенные межфазные соотношения у нерегенерирующих планарий контрольной группы и животных, содержащихся в условиях ЭМЭ. В высокочастотных периодах ИР исследуемых животных $\approx 2^d,3$ и $\approx 2^d,7$ наблюдался сдвиг фаз на $208,7^\circ$ ($p_1 < 0,01$) и 163° ($p_1 < 0,05$) соответственно (рис. 6.).

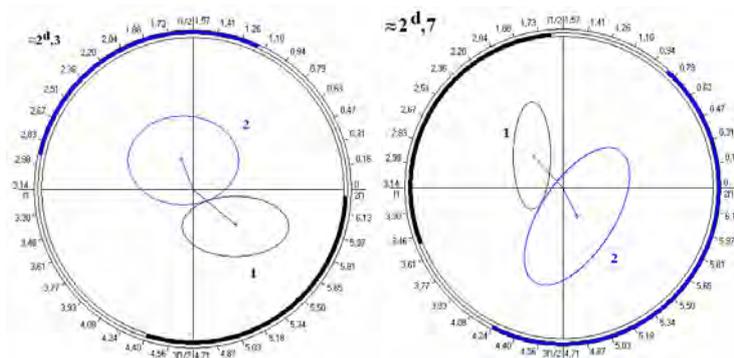


Рис. 6. Косинорограммы периодов – $\approx 2^d,3$ и $\approx 2^d,7$ (радианы) скорости движения нерегенерирующих животных контрольной группы (1) и в условиях ЭМЭ (2).

Анализируя проведенный эксперимент в 2010 году можно отметить, что как в контрольной группе, так и в экспериментальной группе нерегенерирующих планарий выявляется четыре периода. Однако в условиях ЭМЭ не выявляются такие периоды: $\approx 3^d,3$ и $\approx 8^d,0$, которые характерны для контрольной группы, но и появляются новые ритмы, не характерные для интактных животных – $\approx 3^d,8$ и $\approx 4^d,7$. Под действием ЭМЭ доминирующий ритм сместился в сторону высокочастотных периодов и составил – $\approx 4^d,7$ с амплитудой $0,019 \pm 0,002$ усл. ед., тогда как в изучаемом спектре контрольной группы доминирующим периодом был $\approx 8^d,0$ с амплитудой $0,023 \pm 0,003$ усл. ед. Анализируя амплитудные значения отмечено, что в группе интактных планарий их величина изменялась от $0,017 \pm 0,002$ до $0,023 \pm 0,003$ усл. ед., тогда как в группе животных, подвергавшихся воздействию ЭМЭ, значения амплитуд были несколько ниже и варьировались от $0,014 \pm 0,001$ до $0,019 \pm 0,002$ усл. ед. Однако достоверных различий в амплитудах выделенных ритмов не обнаружено (рис. 5.).

Таким образом, нами выявлены различия в ИР нерегенерирующих планарий, подвергавшихся влиянию ЭМЭ. Учитывая то, что повторные эксперименты проводились на протяжении двух лет, то представляет интерес проследить изменения ИР СД нерегенерирующих планарий в условиях того же ЭМЭ ровно через год.

При анализе изменений спектров периодов животных, содержащихся в условиях ЭМЭ, в течение двух лет отмечены некоторые различия. Так, в 2009 году в спектре ИР у нерегенерирующих в условиях ЭМЭ животных было выявлено пять периодов: $\approx 2^d,3$ - $2^d,4$; $\approx 2^d,7$, $\approx 3^d,2$; $\approx 4^d,3$ и $\approx 5^d,8$. Доминирующим был ритм $\approx 5^d,8$ с амплитудой $0,035 \pm 0,002$ усл. ед. Амплитуды ритмов исследуемого спектра возрастали с увеличением длины периода (рис. 7.).

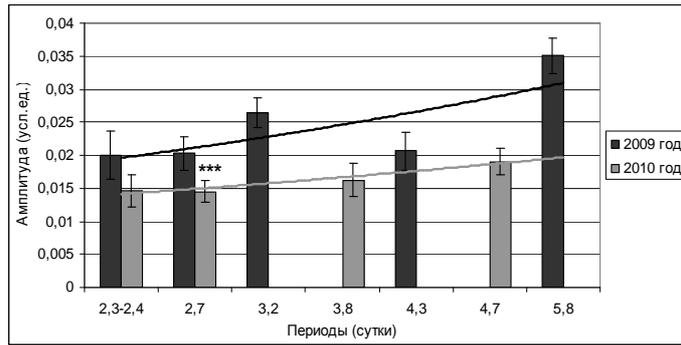


Рис. 7. Спектры периодов инфрадианных ритмов скорости движения нерегенерирующих планарий, содержащихся в условиях ЭМЭ в 2009 и 2010 году.
Примечание: * – достоверность различий сравниваемых групп животных: *** – ($p < 0,05$)

В динамике СД нерегенерирующих планарий в условиях ЭМЭ в 2010 году были выявлены следующие периоды: $\approx 2^d,3-2^d,4$; $\approx 2^d,7$; $\approx 3^d,8$ и $\approx 4^d,7$. В исследуемом спектре доминирующим периодом отмечен – $\approx 4^d,7$ с амплитудой $0,019 \pm 0,002$ усл. ед. В совпадающем с 2009 годом периоде $\approx 2^d,7$ отмечено снижение амплитуды в 1,2 раза ($p_1 < 0,05$). При этом амплитуды выделенных ритмов исследуемого спектра нерегенерирующих планарий также возрастали с увеличением длины периода, однако это явление было менее выражено, чем в группе нерегенерирующих животных в 2009 году (рис. 7.).

Косинор-анализ позволил выявить определенные межфазные соотношения у интактных нерегенерирующих планарий в 2009 и 2010 году. В высокочастотном периоде $\approx 2^d,7$ наблюдался значительный сдвиг фаз – $265,1^\circ$, однако эти данные были не достоверны (рис. 8.).

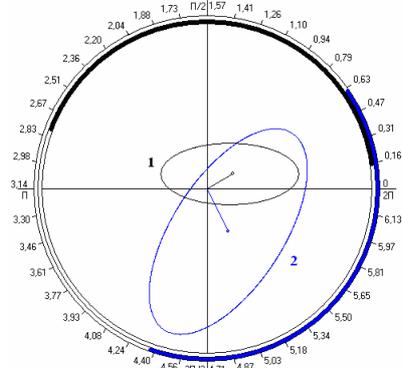


Рис. 8. Косинорограмма выделенного периода $\approx 2^d,7$ (радианы) скорости движения нерегенерирующих животных, содержащихся в условиях ЭМЭ в 2009 году (1) и 2010 году (2).

Таким образом, характеризуя изменения ИР СД нерегенерирующих планарий, содержащихся в условиях ЭМЭ, на протяжении двух лет нами выявлены определенные отличия, которые выражались в изменении спектров выделяемых периодов и определенных амплитудно-фазовых перестройках, при этом следует заметить, что планарии реагируют на влияние полей в различные годы наблюдений по-разному. А именно, в 2009 году отмечается пять периодов, тогда как в 2010 году их количество сокращается до четырех, следовательно, под влиянием ЭМЭ менее насыщенным становится спектр 2010 года. Так, в 2010 году не выявляется ритм $\approx 3^d,2$, который был характерен годом ранее. К тому же следует отметить, что периоды $\approx 3^d,8$ и $\approx 4^d,7$ в 2010 году сместились в сторону высокочастотных ритмов относительно периодов $\approx 4^d,3$ и $\approx 5^d,8$, выявленных в 2009 году. При анализе амплитудных значений отмечено, что в группе нерегенерирующих планарий в условиях ЭМЭ в 2009 году их величина изменялась от $0,020 \pm 0,003$ до $0,035 \pm 0,002$ усл. ед., тогда как в 2010 году значения амплитуд были значительно ниже и варьировались от $0,014 \pm 0,001$ до $0,019 \pm 0,002$ усл. ед. При этом в 2009 году наблюдалась более выраженная тенденция к увеличению амплитуд выделенных ритмов с увеличением длины периодов в условиях ЭМЭ. Кроме того, сопоставляя данные двух лет можно отметить, что ЭМЭ приводит к определенному фазовому сдвигу в совпадающем периоде $\approx 2^d,7$ на $265,1^\circ$. Следовательно, нами обнаружены изменения в ИР СД нерегенерирующих планарий, содержащихся в условиях ЭМЭ.

Как показали проведенные исследования, с окологодовой ритмикой локомоторной активности червей тесно связана и их многодневная ритмика. Так, в 2009 году при применении спектрального и косинор-анализов в динамике СД выявлены следующие периоды: $\approx 2,4$; $\approx 2,7$; $\approx 3,2$; $\approx 3,7$; $\approx 4,3$; $\approx 5,8$; $\approx 9,1$ суток. Ритмы такой продолжительности выявлены в деятельности различных систем у позвоночных [9; 22; 23], а также у беспозвоночных – регенерирующих планарий [24] и наземных моллюсков [25]. Спектры ИР СД, определенные в 2010 году, включали периоды $\approx 2,3$; $\approx 2,7$; $\approx 3,3$ и $\approx 8,0$ суток. Таким образом, состав спектров ИР СД, определенных с интервалом в один год, существенно меняется: в 2010 году спектр менее насыщен, в нем не определяются периоды $\approx 3,7$; $\approx 4,3$; $\approx 5,8$ суток, выявленные в 2009 году, и значительно укорачивается самый длинный в 2009 году $\approx 9,1$ -суточный период до ≈ 8 -суточного. Амплитуды выделенных ритмов гораздо ниже в 2010 году. Так, амплитуда доминирующего периода $\approx 8^d,0$ составила $0,023 \pm 0,003$ усл. ед., тогда как в 2009 году она достигала $0,031 \pm 0,002$ усл. ед. ($p_1 < 0,05$).

Таким образом, значения и ИР СД планарий в различные годы неодинакова. Сравнение с данными литературы показывает, что ИР параметров регенерации планарий [24], а также ноцицепции моллюсков [26], имеют отличия в разные сезоны года. В исследованиях Т. К. Бреус с соавтр. также было установлено, что в течение 11-летнего цикла солнечной активности изменяются абсолютные значения показателей функции сердца и перестраивается сезонная периодичность функциональной активности сердечнососудистой системы [27; 28].

В физиологических показателях организма человека найдены также некоторые многолетние циклы. Околодвухлетний цикл найден в статистике высших

спортивных достижений. Рецидивы туберкулеза, характер реакции Пирке обнаруживают цикл около трех лет. Заболеваемость и обострение шизофрении содержат циклы 5 и 11 лет. 11-тилетний цикл найден также в изменениях системы крови, офтальмологической заболеваемости, акушерской патологии, некоторых других показателях. Принципиальная возможность гелиоэпидемических связей была показана еще А. Л. Чижевским [29; 30].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования выявлено, что в условиях слабого электромагнитного экранирования наблюдается изменение инфранианной ритмики скорости движения планарий *Dugesia tigrina*. На протяжении двух лет нами выявлены определенные отличия, которые выражались в изменении спектров выделяемых периодов и определенных амплитудно-фазовых перестройках, при этом следует заметить, что планарии реагируют на влияние полей в различные годы наблюдений по-разному. Состав спектров ИР СД, определенных с интервалом в один год, существенно меняется. Для распространения полученных выводов на других животных необходимы дальнейшие исследования.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках инициативной части государственного задания № 6.5452.2017/8.9 Минобрнауки России в сфере научной деятельности темы «Временная организация физиологических систем человека и животных: феноменология и механизмы генерации и регуляции микро- и мезоритмов».

Работа выполнена на оборудовании КП ФГАОУ ВО КФУ им. В. И. Вернадского» «Экспериментальная физиология и биофизика».

Список литературы

1. Агаджанян Н. А. Биоритмы, спорт, здоровье / Н. А. Агаджанян, Н. Н. Шабатура – М.: Физкультура и спорт, 1989. – 208 с.
2. Алякринский Б. С. Адаптация в аспекте биоритмологии / Б. С. Алякринский // Проблемы временной организации живых систем (под ред. А. М. Генина). – М., 1979. – С. 8–36.
3. Алякринский Б. С. Биологические ритмы и организация жизни человека в космосе / Алякринский Б. С. – М.: Наука, 1983. – 246 с.
4. Aschoff J. Circadian systems / J. Aschoff // Pflugers Arch. – 1985. – Vol. 403. – P. 1.
5. Halberg F. Organisms as circadian systems; temporal analysis of their physiologic and pathologic responses; including injury and death / F. Halberg // Symp. med. aspects stress milit. climate. – Wash. (D. C.). – 1993. – P. 1–36.
6. Владимирский Б. М. Солнечно-земные связи в биологии и явление «захвата» частоты / Б. М. Владимирский // Проблемы космич. биологии. – 1982. – Т. 43. – С. 166–173.
7. Архангельская Е. В. Динамика высшей нервной деятельности крыс на фоне гелиогеофизических флуктуаций : автореф. дисс. на соискание научн. степени канд. биол. наук : спец. 03.00.13 «Физиология человека и животных» / Е. В. Архангельская – Симферополь, 1992. – 19 с.
8. Григорьев П. Е. Связь инфранианной ритмики физиологических процессов у животных с вариациями гелиогеофизических факторов: дис. ... кандидата биол. наук : 03.00.02 / Григорьев Павел Евгеньевич. – Симферополь, 2005. – 141 с.

9. Темурьянц Н. А. Влияние слабых переменных магнитных полей крайне низких частот на инфранианную ритмику симпато-адреналовой системы крыс / Н. А. Темурьянц, В. Б. Макеев, В. И. Малыгина // Биофизика. – 1992. – Т. 37, № 4. – С. 653–655.
10. Чуян О. М. Нейроімуноендокринні механізми адаптації до дії низько інтенсивного електромагнітного випромінювання надто високої частоти : автореф. дис. на здобуття наук. ступеню докт. біол. наук : спец. 03.00.13. «Фізіологія людини та тварин» / О. М. Чуян – Київ, 2004. – 40 с.
11. Владимирский Б. М. Секторная структура межпланетного магнитного поля и химические тесты Пиккарди / Б. М. Владимирский // Пробл. Космич. Биологии. – 1989. – Т. 65. – С. 210–221.
12. Демцун Н. А. Динамика скорости движения планарий, регенерирующих в условиях электромагнитного экранирования / Н. А. Демцун, Н. А. Темурьянц, М. М. Баранова // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2009. – Т. 22 (61), № 2. – С. 24–32.
13. Шмидт-Нильсен К. Физиология животных: приспособление и среда / К. Шмидт-Нильсен. – М: «Мир», 1982. – Т.2. – С. 555–643.
14. Денисенкова И. В. Стимулированная локомоторная активность планарии *Dugesia tigrina* в естественном магнитном поле и при его компенсации / И. В. Денисенкова, Г. М. Пискунова, Н. К. Чемерис // Вестник новых медицинских технологий – 1997. – Т. 4, № 4. – С. 56–60
15. Tubulin assembly is disordered in a hypogeomagnetic field / Dong Liang Wang, Xing Sheng Wang, Rong Xiao [et al.] // Biochemical and Biophysical Research Communications. – 2008. – Vol. 376. – P. 363–368.
16. Патент № 98095 Украины МПК51 А 01 К 61/00. Способ определения скорости движения интактных и регенерирующих планарий / Темурьянц Н. А., Баранова М. М., Демцун Н. А.; заявитель и правообладатель Таврический национальный университет им. В. И.Вернадского. – № U 200908540; заявл.: 13.08.2009; опубл. 10.03.2010, Бюл. № 5.
17. Дубров А. П. Геомагнитное поле и жизнь. / А. П. Дубров. – Л.: Гидрометеиздат. – 1974.
18. Asashima M. Magnetic shielding induces early developmental abnormalities in the newt, *Cynops pyrrhogaster*. / M. Asashima, K. Shimada, C. J. Pfeiffer // Bioelectromagnetics. – 1991 – 12 (4) – P. 215–224.
19. Mo Wei-Chuan. A biological perspective of the hypomagnetic field: from definition towards mechanism. / Mo Wei-Chuan, Liu Ying, He Rong-Qiao // Progress in Biochemistry and Biophysics. – 2012 – 39 (9) – P. 835–842.
20. Емельянов И. П. Формы колебания в биоритмологии / Емельянов И. П. – Новосибирск: Наука, 1976. – 127 с.
21. Лапач С. Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel / С. Н. Лапач, А. В. Чубенко, П. Н. Бабич. – К.: Модмон, 2000. – 319 с.
22. Период инфранианых ритмов интенсивности физиологических процессов в организме человека / Н. Н. Шабатура, В. Г. Ткачук, В. А. Федько [и др.] // Физиол. журн. УССР. – 1987. – Т. 33, № 2. – С. 10–16.
23. Шабатура Н. Н. Механизм происхождения инфранианых биологических ритмов / Н. Н. Шабатура // Успехи физиол. наук. – 1989. – Т. 20, №3. – С. 83–103.
24. Демцун Н. А. Сезонные различия регенерации планарий *Dugesia tigrina* при электромагнитном экранировании : автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. биол. наук : спец. 03.00.13 «Физиология человека и животных» / Н. А. Демцун – Симферополь, 2010. – 20 с.
25. Костюк А. С. Динамика и инфранианная ритмика болевой чувствительности моллюсков *Helix albescens* при электромагнитном экранировании / А. С. Костюк, Н. А. Темурьянц // IX ежегодная молодежная конференция ИБХФ РАН-ВУЗы «Биохимическая физика» 9–11 ноября 2009 г.: труды конференции – Москва, 2009. – С. 115–121.
26. Костюк А. С. Ноцицепция моллюском *Helix albescens* при слабом многодневном электромагнитном экранировании : автореф. дис. на соискание научн. степени канд. биол. наук : спец. 03.00.13 «Физиология человека и животных» / А. С. Костюк – Симферополь, 2011. – 20 с.
27. Бреус Т. К. Влияние солнечной активности на физиологические ритмы биологических систем / Т. К. Бреус, Ф. Халберг, С. Ж. Корнелиссен // Биофизика.– 1995. – Т. 40, № 4. – С. 737–747.
28. Влияние геомагнитной и солнечной активности на сердечно-сосудистые и другие хроноэпидемиологии / Т. К. Бреус, С. Ж. Корнелиссен, С. Бинхам [и др.] // Хронобиология и

- хрономедицина и влияние гелиогеофизических факторов на организм человека. – М., 1992. – С. 146–191.
29. Владимирский Б. М. Влияние солнечной активности на биосферу – ноосферу (Гелиобиология от А. Л. Чижевского до наших дней). / Б. М. Владимирский, Н. А. Темурьянц– М.: Изд-во МНЭПУ, 2000. – 374 с.
30. Чижевский А. Л. Земное эхо солнечных бурь. / Чижевский А. Л. – М.: Мысль, 1976. – 387 с.

THE WEAK ELECTROMAGNETIC SHIELDING INFLUENCES ON THE ANNUAL RHYTHMICITY OF THE SPEED OF MOVEMENT IN PLANARIANS *DUGESIA TIGRINA*

Temuryants N. A., Yarmolyuk N. S., Tumanyants K. N.

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

One of the topical problems of ecological physiology is the study of the temporal organization of biological systems. Its adequate characteristic is the spectrum over a wide range of periods, and rhythms of different duration are built on a hierarchical basis. However, such a hierarchy has been studied only for single indicators, and the influence of various environmental factors on rhythmic processes is usually determined by changing the rhythm of one range. Meanwhile, the study of both the hierarchical organization of the rhythmic activity of the organism and the elucidation of its changes under the influence of environmental factors is important not only for understanding the interrelation between rhythms of different duration, but also for elucidating the mechanisms of their formation.

Of particular importance is the study of this problem for studying the mechanisms of action of weak electromagnetic factors, which can act as time sensors in a wide range of periods. Meanwhile, these issues are not fully understood.

Thus, in our laboratory, the effect of weak electromagnetic shielding on the rhythm of various ranges was studied, when a violation of the rhythm of the recorded processes-desynchronosis-was diagnosed. However, the change in the ekologodovoy rhythmicity under the influence of electromagnetic factors has not been studied enough. In connection with the foregoing, the aim of the study was to study the effect of weak electromagnetic shielding on the near-rhythmic rhythm of the speed of movement of the *Dugesia tigrina* planaria.

Characterizing the changes in the infradian rhythm of the velocity of the planarians contained in the conditions of electromagnetic screening, over the course of two years we have revealed certain differences that were expressed in the change in the spectra of the periods and certain amplitude-phase reconstructions, while it should be noted that the planarians react to the influence of the fields in various years of observations in different ways. Namely, in 2009 there are five periods, whereas in 2010 their number is reduced to four, therefore, under the influence of electromagnetic shielding, the spectrum of 2010 becomes less saturated. So, in 2010, the rhythm $\approx 3^d,2$, which was characteristic a year earlier, does not appear. In addition, it should be noted that the periods $\approx 3^d,8$ and $\approx 4^d,7$ in

2010 shifted towards high-frequency rhythms with respect to the periods $\approx 4^d,3$ and $\approx 5^d,8$ detected in 2009. At the same time, in 2009 there was a more pronounced tendency to increase the amplitudes of the isolated rhythms with an increase in the length of the periods under conditions of electromagnetic shielding. In addition, comparing the data of two years, it can be noted that electromagnetic shielding leads to a certain phase shift in the coinciding period $\approx 2^d,7$ to 265.1° . Consequently, we detected changes in the infradian rhythm of the velocity of the planarians contained in the conditions of electromagnetic shielding.

Keywords: electromagnetic screening, planarians, speed of movement, desynchronization, infradian rhythm.

References

1. Agadzhanyan N. A., Shabatura N. N. *Biorhythms, sport, health*, 208 (M.: Physical Culture and Sports, 1989).
2. Alyakrinsky B. S. Adaptation in the aspect of biorhythmology, *Problems of the temporary organization of living systems (under the editorship of AM Genin)*, 8 (M., 1979).
3. Alyakrinsky B. S. *Biological rhythms and the organization of human life in space*, 246 (Moscow: Nauka, 1983).
4. Aschoff J. Circadian systems, *Pflugers Arch.*, **403**, 1 (1985).
5. Halberg F. Organisms as circadian systems; temporal analysis of their physiologic and pathologic responses; including injury and death, *Symp. med. aspects stress milit. Climate*, 1 (Wash. (D.C.), 1993).
6. Vladimirsky B. M. Solar-terrestrial connections in biology and the phenomenon of "capture" of frequency, *Problems of cosmic. Biology*, **43**, 166 (1982).
7. Arkhangelskaya E. V. *Dynamics of higher nervous activity in rats against the background of heliogeophysical fluctuations*: author's abstract. diss. for scientific research. degree of Cand. Biol. Sciences: spec. 03.00.13 "Physiology of man and animals", 19 (Simferopol, 1992).
8. Grigoryev P. E. *Relationship between the infradian rhythm of physiological processes in animals with variations of heliogeophysical factors*: dis. ... candidate Biol. Sciences: 03.00.02, 141 (Simferopol, 2005).
9. Temur'yants N. A., Makeev V. B., Malygina V. I. Influence of weak variable magnetic fields of extremely low frequencies on the infradian rhythm of the sympathetic-adrenal system of rats, *Biophysics*, **37**, **4**, 653 (1992).
10. Chuyan O. M. *Neuroimmunodecrine mechanisms of adaptation to the action of low-intensity electromagnetic radiation of too high frequency*: author's abstract. dis for obtaining sciences. degree doc. biology Sciences: special 03.00.13. "Physiology of man and animals", 40 (Kyiv, 2004).
11. Vladimirsky B. M. Sector structure of the interplanetary magnetic field and chemical tests of Piccardi, *Probl. Cosmic. Biology*, **65**, 210 (1989).
12. Demtsun N. A., Temuryants N. A., Baranova M. M. Dynamic speed planarians regenerated under electromagnetic shielding, *Scientific notes of Taurida National V. I. Vernadsky University. Series «Biology, chemistry»*, **22** (**61**), 2, 24 (2009).
13. Schmidt-Nielsen K. *Animal physiology: adaptation and the environment*, 2, 555 (M: "Mir", 1982).
14. Denisenkova I. V., Piskunov G. M., Chemeris N. Stimulated locomotor activity planarian *Dugesia tigrina* in the natural magnetic field and its compensation, *Bulletin of new medical technologies*, **4**, **4**, 56 (1997).
15. Dong Liang Wang, Xing Sheng Wang, Rong Xiao [et al.] Tubulin assembly is disordered in a hypogeomagnetic field, *Biochemical and Biophysical Research Communications*, **376**, 363 (2008).
16. Patent number 98095 Ukraine MPK51 A 01 K 61/00. A method of determining the speed of intact and regenerating planarians, Temuryants N. A., Baranova M. M., Demtsun N. A.; the applicant and the right holder Tauride National University. Vernadsky, № U 200908540; appl. : 13.08.2009; publ. 10.03.2010, Byul.№5.
17. Dubrov A. P. *The geomagnetic field and the life*. (L. Gidrometeoizdat. 1974).
18. Asashima M., Shimada K., Pfeiffer C. J. Magnetic shielding induces early developmental abnormalities in the newt, *Cynops pyrrhogaster*, *Bioelectromagnetics*, **12** (**4**), 215 (1991).

19. Mo Wei-Chuan, Liu Ying, He Rong-Qiao. A biological perspective of the hypomagnetic field: from definition towards mechanism, *Progress in Biochemistry and Biophysics*, **39** (9), 835 (2012).
20. Emelyanov I. P. *Waveforms in biorhythmology*, 127 (Nauka, Novosibirsk, 1976).
21. Lapach S. N., Chubenko A. V., Babich P. N. *Statistical methods in biomedical research using Excel*, 319 (By: Modmon, 2000).
22. Shabaturo N. N., Tkachuk V. G., Fedko V. A. [and others] Period of infradian rhythms of intensity of physiological processes in the human body, *Fiziol. journal. USSR*, **33**, 2, 10 (1987).
23. Shabaturo N. N. The mechanism of origin of infradian biological rhythms, *Uspekhi fiziol. Sciences*, **20**, 3, 83 (1989).
24. Demtsun N. A. *Seasonal differences in the regeneration of Dugesia tigrina planarians in electromagnetic shielding*: diss. for academic competition. degree of Cand. Biol. Sciences: spec. 03.00.13 "Physiology of man and animals", 20 (Simferopol, 2010).
25. Kostyuk A. S., Temurjants N. A. Dynamica and infradian rhythm of pain sensitivity of mollusks *Helix albescens* in electromagnetic shielding, *IX annual youth conference IBChF RAS-VUZY "Biochemical physics" November 9-11, 2009: Proceedings of the conference*, 115 (Moscow, 2009).
26. Kostyuk A. S. *Nociception with Helix albescens mollusk under weak multi-day electromagnetic shielding*: author's abstract. dis. for scientific research. degree of Cand. Biol. Sciences: spec. 03.00.13 "Physiology of man and animals", 20 (Simferopol, 2011).
27. Breus T. K., Halberg F., Cornelissen S. Zh. Influence of solar activity on the physiological rhythms of biological systems, *Biophysics*, **40**, 4, 737 (1995).
28. Breus T. K., Cornelissen S. Zh., Binham S. [and others] The influence of geomagnetic and solar activity on cardiovascular and other chronoepidemiology, *Chronobiology and chronomedicine and the influence of heliogeophysical factors on the human body*, 146 (M., 1992).
29. Vladimirsky B. M., Temur'yants N. A. Influence of solar activity on the biosphere-noosphere (Heliobiology from A. L. Chizhevsky to the present day), 374 (M: MNEPU Publishing House, 2000).
30. Chizhevsky A. L. *Earth echo of solar storms*, 387 (Moscow: Thought, 1976).

УДК 591.175: 577.175.5

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНО ВВОДИМОГО
АДРЕНАЛИНА И СЕЛЕКТИВНОГО β_2 -АДРЕНОАГОНИСТА ФОРМОТЕРОЛА
НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ БЕЛЫХ
КРЫС**

Труш В. В.¹, Соболев В. И.²

¹*ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», Донецк, Украина*

²*Гуманитарно-педагогическая академия (филиал) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Ялта, Республика Крым, Россия*
E-mail: v.sobolev@mail.ru

В экспериментах на половозрелых крысах с помощью электрофизиологических методов исследовали влияние длительно вводимых (на протяжении 10, 30 и 60 дней) адrenomиметиков (АМ) – адреналина (А, 0,2 мг/кг/сутки) и селективного β_2 -адреноагониста формотерола (Ф, 1,5 мкг/кг/сутки) – на функциональные параметры передней большеберцовой мышцы. Установлено, что адренергическая стимуляция сопровождалась уже спустя первые 10 дней применения А или Ф укорочением латентного периода М-ответа мышцы (на 14–18 %) и увеличением его амплитуды (на 38–82 %) на фоне неизменной длительности; эти изменения сохранялись на протяжении всего дальнейшего 2-х месячного периода введения АМ. На протяжении всего периода введения АМ (от 10 до 60 дней) имело место существенное увеличение скорости тетанического сокращения (до 229–566 % у крыс А- и Ф-групп соответственно) и удлинение периодов максимальной (до 69–82 % в А- и Ф-группах соответственно) и субмаксимальной (до 84–87 % в А- и Ф-группах соответственно) работоспособности мышцы, а также повышение ее устойчивости к утомлению. По окончании 2-х месячного периода введения А или Ф наблюдалось значимое укорочение латентного периода (на 15–16 %) и фазы укорочения (на 19–16 %) одиночного сокращения, а также увеличение амплитуды тетанического сокращения (на 33–35 %) мышцы. Вместе с тем уже спустя первые 10 дней введения АМ имело место значимое увеличение температурной стоимости мышечной работы (на 25–36 % у животных 10А- и 10Ф-групп), сохранявшееся вплоть до окончания 2-х месячного периода их введения (на 41–47 % у крыс 60А- и 60Ф-групп) и указывающее в пользу снижения КПД мышечного сокращения. Селективный β_2 -адреноагонист Ф обусловил более выраженное в сравнении с эффектом А повышение амплитуды М-волны, скорости тетанического сокращения мышцы и ее устойчивости к утомлению.

Ключевые слова: скелетная мышца, катехоламины, адреналин, формотерол, крысы.

ВВЕДЕНИЕ

Уже достаточно давно установлены положительные эффекты физиологических и умеренно повышенных доз катехоламинов (КА) на скелетную мускулатуру. В частности, доказана их способность как опосредованно (через повышение и перераспределение кровотока в организме) [1], так и непосредственно через β -адренорецепторы (β -АР) стимулировать энергообмен в мышечных волокнах, улучшать их энергообеспечение, эффективность электромеханического сопряжения, состояние синаптической передачи [2–8]. Кроме того, сравнительно недавно

доказана способность КА при длительном их введении в организм вызывать не только кратковременные функциональные перестройки в клетках-мишенях, но и через мембранные рецепторы и разнообразные внутриклеточные посредники (протеинкиназу А, С, кальмодулинзависимую протеинкиназу, MAP-киназы, GREB и другие) активировать матричный синтез [9], что должно позитивно сказываться на их функциональном состоянии. При этом не исключена и возможность анаболического влияния длительно вводимых КА на скелетные мышечные волокна, тем более, наличие в них собственных AP β -типа доказано [10; 11]. В более ранних наших исследованиях [12] показана способность однократно вводимого в период острого опыта адреналина улучшать электрофизиологические и сократительные параметры работающей скелетной мышцы и повышать ее устойчивость к утомлению.

Несмотря на имеющиеся в литературе многочисленные данные относительно позитивных эффектов КА на функциональное состояние скелетной мускулатуры, влияние длительного введения адrenoагонистов в фармакологических дозах на нервно-мышечный аппарат остается малоизученным. Учитывая преимущественное преобладание в скелетных мышечных волокнах AP β_2 -типа, представляет интерес сравнительное исследование в модельных экспериментах на животных влияния длительно вводимых адреналина (А) и селективного β_2 -адrenoагониста формотерола (Ф) на функциональные параметры скелетной мышцы смешанного типа (*m. tibial anterior*), что и послужило целью настоящей работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Все эксперименты выполнены в соответствии с «Руководством по проведению доклинических исследований лекарственных средств» [13]. Исследования проводились на 40 половозрелых крысах-самках 4-5-ти месячного возраста с исходной массой тела 190-200 г. Животные были изначально случайным образом разделены на 3 группы: контрольную (интактная, не подвергались никаким воздействиям, n=10, К-группа) и две опытные (n=30), крысы которых подвергались длительному введению адrenoагонистов. При этом животные I опытной группы (А-группа) ежедневно подкожно получали адреналина гидрохлорид («Здоровье», Украина), тогда как II опытной группы (Ф-группа) – селективный β_2 -адrenoагонист формотерол (Форадил, «Novartis», Швейцария). Адrenoагонисты вводили в дозах, адекватных терапевтическим для человека – 0,2 мг/кг/сутки для адреналина и 1,5 мкг/кг/сутки для формотерола – на протяжении 10, 30 и 60 дней. Таким образом, животные каждой опытной группы были в последующем разделены на 3 подгруппы (n=10 в каждой), получившие разное количество инъекций адrenoагонистов: 10 (группы 10А и 10Ф), 30 (группы 30А и 30Ф) и 60 (группы 60А и 60Ф).

По окончании сроков введения адrenoагонистов на наркотизированных животных (тиопентал натрия, 100 мг/кг, внутривенно) проводили острый опыт, в ходе которого изучали электрофизиологические, эргометрические и энергетические параметры передней большеберцовой мышцы с помощью экспериментальной установки, включающей 4 канала: канал электростимулятора

(использовался для электрического раздражения малоберцового нерва), *электромиографический* (предназначался для регистрации М-ответов мышцы), *эргометрический* (служил для измерения высоты, на которую поднимается груз во время сокращения мышцы с грузом) и *термометрический* (служил для измерения температурного эффекта мышечного сокращения).

Канал электростимулятора представлен собственно электростимулятором (построен на основе функционального генератора ICL8038CCDP), оптронной гальванической развязкой и биполярными игольчатыми стальными электродами с межэлектродным расстоянием 1 мм. *Электромиографический канал* представлен отводящими биполярными игольчатыми стальными электродами (с межэлектродным расстоянием 1 мм) и электромиографическим биоусилителем (построен на основе измерительного усилителя INA118). *Эргометрический канал* включал потенциометрический датчик ПТП-1 с усилителем. *Термометрический канал* представлен медь-константановой термопарой (выполнялась из тонкой проволоки диаметром 50 мкМ и прошивалась через исследуемую переднюю большеберцовую мышцу) и фотокомпенсационным усилителем Ф-116. Разрешающая способность термометрического канала устанавливалась на уровне 0,01°C. Все каналы были связаны с регистрирующим устройством – запоминающим цифровым осциллографом Tektronix (TDS2004C).

Ход опыта был следующим. У наркотизированного животного в области бедра препаровали малоберцовый нерв и на расстоянии 1 см проксимальнее коленного сустава подвели под него раздражающие электроды. Стопу задней лапки животного крепили зажимом, на уровне большого пальца затягивали лигатуру, соединенную с потенциометрическим датчиком, среднюю часть передней большеберцовой мышцы (*m. tibialis anterior*) прошивали медь-константановой термопарой и вводили отводящие игольчатые электроды.

Вначале регистрировали одиночный М-ответ мышцы, индуцированный раздражением малоберцового нерва одиночными сверхпороговыми электрическими импульсами (длительность – 150 мкс каждый, частота – 0,2 имп/с, сила тока – 500 мкА). На основании записей одиночных М-ответов мышцы определяли их латентный период, амплитуду и длительность.

Затем путем плавного (в течение 4 с) увеличения силы электрического раздражения от подпороговой до сверхпороговой (от 0,01 до 2 В) при частоте 10 имп/с записывали серию из сорока М-ответов мышцы. На основании процентного изменения амплитуды максимального М-ответа относительно амплитуды минимального определяли приблизительное количество активируемых двигательных единиц мышцы (методика Galea V. [14]).

После этого, раздражая малоберцовый нерв с частотой 4 имп/с сверхпороговыми электрическими импульсами (длительность – 150 мкс каждый, сила тока – 500 мкА), регистрировали в течение 5 с серию одиночных сокращений мышцы с внешней нагрузкой 20 г. На основании полученных записей определяли некоторые параметры одиночного сокращения мышцы: амплитуду, латентный период, длительность фаз укорочения и расслабления.

Затем проводилась регистрация кривых 6-ти секундного тетанического

сокращения мышцы (эргограмма) и соответствующего ему прироста ее температуры после сокращения (термограмма) при работе с внешней нагрузкой 70 г. Тетаническое сокращение мышцы вызвали путем раздражения сверхпороговым электрическим током малоберцового нерва (частота 70 имп/с при длительности импульсов 0,5 мс и силе тока 1000 мкА, в течение 6 с). На основании полученных эргограмм определяли высоту, на которую поднимался груз, и рассчитывали выполненную мышцей внешнюю работу. На основании термограммы измеряли величину прироста температуры мышцы при ее сокращении (температурный эффект мышечного сокращения). Это позволяло в дальнейшем рассчитать отношение прироста температуры мышцы при ее сокращении к величине выполненной работы. Расчетный показатель получил название «температурной стоимости мышечной работы – ТСМР» [15], отражающей энергетическую «цену» единицы выполненной мышцей внешней работы.

На следующем этапе мышца выполняла утомляющую работу в режиме гладкого тетануса с внешней нагрузкой 70 г вплоть до полного расслабления на фоне продолжающейся электрической стимуляции. Тетаническое сокращение мышцы, как и в предыдущем случае, индуцировали путем раздражения сверхпороговым электрическим током малоберцового нерва (70 имп/с, длительность импульсов – 0,5 мс, сила тока – 1000 мкА). На основании полученных записей определяли максимальную амплитуду тетанического сокращения мышцы, скорость сокращения, продолжительность удержания амплитуды сокращения на максимальном уровне (период максимальной работоспособности) и до момента полурасслабления (период субмаксимальной работоспособности).

После выполнения мышцей утомляющей работы вновь регистрировали серию одиночных сокращений мышцы при раздражении малоберцового нерва с частотой 4 имп/с, серию М-ответов при раздражении малоберцового нерва стимулами нарастающей амплитуды (от 0,01 до 2 В) и одиночный М-ответ мышцы при раздражении малоберцового нерва с частотой 0,2 имп/с. На основании изменения параметров М-ответа и одиночных сокращений мышцы после выполнения утомляющей работы относительно соответствующих исходных значений судили об утомляемости нервно-мышечного аппарата у животных разных групп.

По окончании острого опыта в условиях глубокого наркоза проводили эвтаназию животных путем введения летальной дозы (300 мг/кг) тиопентала натрия.

Полученные экспериментальные данные обрабатывали с использованием t-критерия Стьюдента, предварительно убедившись в том, что распределение значений в исследуемых вариационных рядах близко к нормальному (W-тест Шапиро-Уилка, Statistica, 7.0), и F-статистики на основании проверки нулевой и альтернативной гипотез. Значения $p < 0,05$ рассматривали как статистически достоверные. Исследуемые параметры выражали в виде «среднее \pm стандартная ошибка».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние длительного введения аденоагонистов на параметры М-ответа передней большеберцовой мышцы крыс. Длительное применение аденоагонистов в целом позитивно сказывалось на электрофизиологических

параметрах мышцы. Так, уже спустя первые 10 дней введения А или Ф наблюдалось значимое относительно контроля ($p < 0,05$) укорочение латентного периода М-ответа (на 14–18 % у животных 10А- и 10Ф-групп) и существенное увеличение его амплитуды (на 38–82 % у крыс 10А- и 10Ф-групп) на фоне неизменной длительности (табл. 1). Отмеченные изменения латентного периода и амплитуды М-ответов сохранялись и в дальнейшем, на протяжении всего 2-х месячного периода введения адреноагонистов. Причем у крыс 30Ф- и 60Ф-групп увеличение амплитуды М-ответа носило более выраженный характер в сравнении с животными, получившими соответствующее количество инъекций А ($p < 0,05$, см. табл. 1).

Таблица 1

Средние значения ($\bar{X} \pm m$) некоторых параметров М-ответа передней большеберцовой мышцы у крыс контрольной группы и животных, получивших адреналин (А) и формотерол (Ф) на протяжении 10–60 дней

Группа животных	Параметры М-ответа					
	Латентный период, мс		Амплитуда, мВ		Длительность, мс	
	исходный	после утомляющей работы	исходная	после утомляющей работы	исходная	после утомляющей работы
К-группа	1,2±0,05	1,3±0,06	2,6±0,22	1,7±0,25 (-36±8,4•)	5,5±0,51	7,6±0,62 (+39±3,9•)
10 А	1,1±0,04 [-14*]	1,2±0,06 [-14*]	3,6±0,31 [+38*]	2,6±0,32 (-28±8,1•) [+56*]	5,7±0,45	6,9±0,57
10 Ф	1,0±0,04 [-18*]	1,1±0,05 [-17*]	4,8±0,56 [+82*]	3,8±0,41 [+128*], +46°	6,6±0,67	7,4±0,80
30 А	1,0±0,04 [-16*]	1,1±0,05 [-17*]	3,8±0,33 [+46*]	2,7±0,34 (-30±5,6•) [+62*]	5,9±0,55	7,3±0,67
30 Ф	1,0±0,03 [-17*]	1,1±0,04 [-17*]	5,1±0,38 [+95*], +34°	4,1±0,50 [+144*], +51°	6,5±0,53	7,6±0,54
60 А	1,0±0,05 [-18*]	1,1±0,07 [-17*]	4,2±0,43 [+61*]	3,0±0,32 (-29±4,3•) [+80*]	6,4±0,59	7,9±0,78
60 Ф	1,0±0,03 [-18*]	1,1±0,03 [-19*]	6,2±0,72 [+137*], +47°	5,2±0,66 [+209*], +72°	6,8±0,50	7,1±0,53

Примечание: * – в квадратных скобках указана статистически значимая ($P < 0,05$) разница показателя относительно контрольной группы; ° – указана статистически значимая ($P < 0,05$) разница показателя относительно группы животных, получивших такое же количество инъекций А; • – в круглых скобках указана статистически значимая ($P < 0,05$) разница показателя относительно исходного значения соответствующей группы.

Наблюдаемое нами укорочение латентного периода и увеличение амплитуды М-ответов под действием длительно вводимых адреноагонистов может быть

связано с облегчением и ускорением синаптической передачи, повышением возбудимости мышечных волокон и, возможно, некоторой их гипертрофией, а также увеличением степени синхронизации возбуждения в мышце [16; 17]. Согласно литературным данным, КА могут вызывать многие из перечисленных эффектов. Так, в литературе имеются сведения относительно способности А активировать Na^+/K^+ -насос в мембране мышечных волокон [6], что обуславливает некоторое повышение трансмембранного градиента для калия, гиперполяризацию мембран мышечных волокон и, как следствие, генерацию ими более высокоамплитудных потенциалов действия, что должно позитивно отражаться на общей амплитуде М-ответов мышцы [16]. Кроме того, некоторыми исследователями получены факты в пользу способности КА увеличивать амплитуду токов концевой пластинки и степень их синхронизации, на пресинаптическом уровне повышать эффективность Ca^{2+} -активируемого экзоцитоза медиатора [18], в том числе путем цАМФзависимой активации электровозбудимых Ca^{2+} -каналов [19], увеличивать синхронность секреции ацетилхолина [20], повышать входное сопротивление мышечных волокон [21; 22], что предопределяет рост амплитуды потенциалов концевой пластинки.

Наконец, еще одной причиной более высокоамплитудных, чем у контроля М-ответов мышцы животных, подвергавшихся длительному введению аденоагонистов, может служить некоторая гипертрофия мышечных волокон. В пользу возможной гипертрофии мышцы под действием длительно вводимых аденоагонистов свидетельствует значимое относительно контроля ($p < 0,05$) увеличение ее массы (на 15–23 % у крыс 30А- и 60А-групп и 20–27 % у животных 30Ф- и 60Ф-групп, табл. 2). Кроме того, в исследованиях других авторов [19; 23] установлена способность КА при длительном их введении вызывать гипертрофию сердца и скелетных мышц, тем более, в настоящее время является доказанной способность КА, действуя через мембранные рецепторы и вторичные внутриклеточные посредники (протеинкиназу А и С, кальмодулинзависимую протеинкиназу, MAP-комплекс, GREB и некоторые другие), усиливать общий белковый синтез во многих клетках-мишенях, особенно при длительном введении [9].

Наконец, у крыс 60Ф-группы наряду с гораздо более выраженным, чем у животных 60А-группы повышением амплитуды М-волны наблюдалось и значимое относительно контроля ($p < 0,05$) увеличение количества активируемых двигательных единиц мышцы (на 121 %, см. табл. 2), которое, вероятнее всего, обусловлено генерацией мышцей высокоамплитудных потенциалов действия и также косвенно свидетельствует в пользу гипертрофии мышечных волокон.

Таким образом, длительное введение А или Ф обусловило некоторое улучшение параметров М-ответа мышцы, косвенно свидетельствующее в пользу ускорения нервно-мышечной передачи, повышения возбудимости мышечных волокон, увеличения степени синхронизации возбуждения и возможной гипертрофии мышцы. Увеличение амплитуды М-ответов носило более выраженный характер у животных, получавших селективный β_2 -аденоагонист Ф.

Наряду с позитивным влиянием на исходные параметры М-ответа, длительная аднергическая стимуляция уменьшила степень их ухудшения после выполнения

утомляющей работы в сравнении с контролем, что свидетельствует в пользу более высокой устойчивости мышцы крыс А- и Ф-групп к утомлению. Так, выполнение утомляющей работы мышцей контрольных животных сопровождалось значимым относительно исходного уровня ($p < 0,05$) уменьшением амплитуды М-ответа (на 36 %) и увеличением его длительности (на 39 %), свидетельствующими в пользу десинхронизации возбуждения в мышце и возможного выключения части мышечных волокон из возбуждения (см. табл. 1). В пользу возможного выключения части мышечных волокон из возбуждения у животных К-группы указывает значимое уменьшение относительно исходного уровня ($p < 0,05$) количества активируемых двигательных единиц мышцы после выполнения утомляющей работы (на 26 %, см. табл. 2).

Таблица 2

Средние значения ($\bar{X} \pm m$) массы передней большеберцовой мышцы и количества активируемых ее двигательных единиц у контрольных животных и крыс, получавших адреналин (А) и формотерол (Ф) на протяжении 10–60 дней

Группа животных	Масса мышцы, мг	Количество активируемых двигательных единиц	
		исходное	после утомляющей работы
Контроль	399,8±6,81	14,1±1,21	10,4±0,91 (-26,4±2,04●)
10 А	418,5±7,77	13,6±0,95	12,7±0,92
10 Ф	411,5±7,09	16,5±1,48	16,3±1,68 [+57*]
30 А	458,5±14,30 [+15*]	14,2±0,98	13,0±1,02
30 Ф	480,1±15,54 [+20*]	18,8±2,36	18,5±2,65 [+78*]
60 А	489,7±16,97 [+23*]	13,5±0,92	12,6±1,08
60 Ф	508,5±15,64 [+27*]	31,3±6,76 [+121*], +132°	30,9±7,60 [+197*], +145°

Примечание: * – в квадратных скобках указана статистически значимая ($P < 0,05$) разница показателя относительно контрольной группы; ° – указана статистически значимая ($P < 0,05$) разница показателя относительно группы животных, получивших такое же количество инъекций А.

У животных 10А-60А-групп исходно повышенная амплитуда М-ответов после выполнения утомляющей работы уменьшалась на 28–29 % относительно первоначального уровня ($p < 0,05$) и оставалась выше соответствующих контрольных значений (на 56–80 %, $p < 0,05$, см. табл. 1). Длительность М-ответов у крыс 10А-60А-групп лишь имела тенденцию к удлинению, но при этом значимо не отличалась ни от исходных значений, ни от контрольного уровня после выполнения утомляющей работы (см. табл. 1). Количество активируемых двигательных единиц мышцы животных 10А-60А-групп после выполнения утомляющей работы не претерпевало значимых изменений относительно исходного уровня и лишь имело некоторую тенденцию к уменьшению (см. табл. 2). Все эти факты указывают в

пользу более высокой устойчивости к утомлению мышцы животных, подвергавшихся длительному введению А.

Применение селективного β_2 -адреноагониста Ф обусловило еще большую в сравнении с животными А-групп устойчивость мышцы к утомлению. Так, у крыс 10Ф-60Ф-групп амплитуда М-ответов после выполнения утомляющей работы значимо не изменялась относительно исходного уровня и превышала не только контрольный уровень после утомления (на 128–209 %, $p < 0,05$), но и значения животных, получивших аналогичное количество инъекций А (на 46–72 %, $p < 0,05$, см. табл. 1). Количество активируемых двигательных единиц мышцы значимо не изменялось относительно исходного уровня после выполнения утомляющей работы и превосходило соответствующее контрольное значение (на 57–197 % у животных 10Ф и 60Ф-групп, $p < 0,05$, см. табл. 2).

Более высокая устойчивость мышцы животных, подвергавшихся длительной адренергической стимуляции, к утомлению отчасти может быть связана со способностью КА улучшать энергообмен как в организме в целом, так и в мышечных волокнах в частности [24], что обуславливает повышение содержания и доступности макроэргов и энергетических субстратов в мышце. Подтверждением высказанного предположения служат результаты исследований других авторов, установивших способность умеренно повышенных доз А увеличивать содержание макроэргов в мышечных волокнах [7; 25; 26], что должно позитивно сказываться на их работоспособности. Причем, как показали результаты наших исследований, селективный β_2 -адреноагонист Ф обусловил более высокую устойчивость мышцы к утомлению по сравнению с А, что отчасти может быть связано с преимущественным преобладанием в скелетных мышечных волокнах β_2 -АР и реализацией КА своих метаботропных эффектов именно через АР этого типа.

Влияние длительно вводимых адреноагонистов на параметры одиночного сокращения скелетной мышцы крыс. В связи с выявленной нами способностью длительно вводимых А или Ф повышать амплитуду М-ответа на следующем этапе представляло интерес оценить, насколько это улучшение отразится на сократительных параметрах мышцы. Анализ полученных данных показал, что ни А, ни Ф существенно не повлияли на амплитуду исходных одиночных сокращений мышцы, но спустя 2 месяца ежедневного введения привели к значимому ($p < 0,05$) укорочению относительно контроля их латентного периода (на 15–16 % у животных 60А- и 60Ф-групп) и ускорению фазы укорочения (на 19–16 % у крыс 60А- и 60Ф-групп, табл. 3), отражающему некоторое увеличение скорости сокращения.

Кроме того, длительная адренергическая стимуляция модулировала характер изменения параметров одиночного сокращения мышцы после выполнения утомляющей работы. Так, выполнение утомляющей работы мышцей контрольных крыс приводило к значимому относительно исходного уровня ($p < 0,05$) снижению амплитуды одиночных сокращений (на 24 %) и удлинению их латентного периода (на 43 %, см. табл. 3). У животных 10А-60А-групп амплитуда одиночных сокращений после утомляющей работы изменялась примерно в такой же степени, как и у контроля (на 20–23 % относительно исходных значений, $p < 0,05$), тогда как

латентный их период удлинялся в гораздо меньшей степени, чем у животных К-группы (всего на 23–25 % относительно исходных значений, $p < 0,05$, см. табл. 3).

Ухудшение после выполнения утомляющей работы параметров одиночного сокращения мышцы животных Ф-групп было выражено в еще меньшей степени, в сравнении с А-группами. Так, у крыс 10Ф-60Ф-групп вообще не наблюдалось значимого уменьшения амплитуды одиночных сокращений относительно исходного уровня после выполнения утомляющей работы, в связи с чем данный параметр в 30Ф-60Ф-группах превышал ($p < 0,05$) значения не только контрольных крыс (на 30–39 %), но и животных, получивших аналогичное количество инъекций А (на 36–33 %). Латентный период одиночных сокращений у крыс 10Ф-60Ф-групп после выполнения утомляющей работы удлинялся аналогично таковому в А-группах (на 24–25 % относительно исходных значений, $p < 0,05$) и в гораздо меньшей мере, чем у контрольных особей (см. табл. 3).

Таблица 3

Средние значения ($\bar{X} \pm m$) некоторых параметров одиночного сокращения мышцы контрольных животных и крыс, получавших адреналин (А) и формотерол (Ф) на протяжении 10–60 дней

Группа животных	Амплитуда сокращения, мм		Латентный период, мс		Фаза укорочения, мс		Фаза расслабления, мс	
	1	2	1	2	1	2	1	2
К-группа	3,0±0,22	2,3±0,21 (-24±2,2●)	11,2±0,57	16,0±0,83 (+43±7,5●)	29,1±1,22	25,5±1,85	55,1±3,08	53,6±3,04
10 А	3,0±0,19	2,4±0,18 (-20±2,0●)	11,5±0,47	14,1±0,89 (+23±4,3●)	28,6±1,37	28,0±1,96	49,9±2,32	47,8±4,18
10 Ф	2,7±0,21	2,5±0,19	11,8±0,55	14,6±0,99 (+24±4,2●)	28,8±1,47	28,2±1,94	51,8±3,06	53,8±3,28
30 А	2,9±0,22	2,2±0,16 (-24±2,1●)	11,2±0,51	13,7±0,71 (+22±3,9●)	29,2±1,23	28,0±2,11	54,2±2,72	49,8±4,38
30 Ф	3,2±0,24	3,0±0,21 [+30*],+36°	11,4±0,48	13,9±0,61 (+22±4,1●)	30,1±1,31	30,8±2,16	58,4±2,15	59,2±3,18
60 А	3,1±0,26	2,4±0,18 (-23±2,8●)	9,5±0,28 [-15*]	11,9±0,90 (+25±2,9●) [-26*]	23,5±1,13 [-19*]	22,7±1,01	55,4±3,72	52,3±4,79
60 Ф	3,4±0,19	3,2±0,21 [+39*],+33°	9,3±0,26 [-16*]	11,6±0,92 (+25±3,1●) [-27*]	24,3±1,28 [-16*]	26,0±1,64	56,7±1,31	55,5±1,25

Примечание: в столбцах под номером 1 приведены исходные значения параметров, под номером 2 – значения параметров после выполнения утомляющей работы; * – в квадратных скобках указана статистически значимая ($P < 0,05$) разница показателя относительно контрольной группы; ● – в круглых скобках указана статистически значимая ($P < 0,05$) разница показателя относительно исходного значения соответствующей группы; ° – указана статистически значимая ($P < 0,05$) разница показателя относительно группы животных, получивших такое же количество инъекций А.

Таким образом, длительная адренергическая стимуляция обусловила некоторое укорочение латентного периода одиночного сокращения и ускорение фазы укорочения, отмеченные спустя 2 месяца ежедневного применения А или Ф.

Наблюдаемое нами улучшение параметров одиночного сокращения мышцы у животных 60А- и 60Ф-групп может быть обусловлено улучшением степени электромеханического сопряжения в мышечных волокнах и скорости актомиозинового взаимодействия. В частности, КА, оказывая влияние на мышечные волокна аденилатциклазным путем через посредство β_2 -АР [10], способны инициировать не только повышение метаболизма в мышечном волокне, но и усиливать кальциевый залп из боковых цистерн саркоплазматического ретикулума (СР) при возбуждении мышечного волокна, а также повышать активность АТФазы миозина, что должно сопровождаться увеличением скорости его укорочения, а также активировать Ca^{2+} -АТФазу СР, что должно ускорять мышечное расслабление.

Менее выраженное в сравнении с контролем ухудшение параметров одиночного сокращения мышцы животных А- и Ф-групп после выполнения утомляющей работы, равно как и менее выраженное ухудшение параметров М-ответа, свидетельствует в пользу более высокой устойчивости мышцы опытных животных к утомлению и может быть следствием улучшения энергообеспечения и доступности макроэргов в мышечных волокнах. Причем, как и в случае изменения параметров М-ответа после выполнения утомляющей работы, параметры одиночного сокращения мышцы претерпевали наименее выраженные изменения у крыс Ф-групп, что свидетельствует в пользу большей эффективности позитивного влияния селективного β_2 -адреноагонста Ф в сравнении с А на устойчивость скелетной мышцы к утомлению.

Влияние длительного введения адреноагонистов на энергетические параметры и работоспособность скелетной мышцы крыс при тетаническом сокращении. Несмотря на отсутствие значимых изменений амплитуды одиночного сокращения мышцы животных А- и Ф-групп, амплитуда тетанического ее сокращения спустя 2-х месячный период введения адреноагонистов значительно повышалась относительно контроля: на 31–36 % у крыс 60А- и 60Ф-групп соответственно ($p < 0,05$, табл. 4). Кроме того, на протяжении всего периода введения адреноагонистов наблюдался более выраженный, чем у контроля ($p < 0,05$), прирост температуры мышцы после ее сокращения, особенно выраженный у крыс 60А- и 60Ф-групп (на 85–99 % более высокий в сравнении К-группой), что очевидно связано с увеличением у этих животных внешней работы мышцы (на 31–36 %, см. табл. 4). В связи с тем, что прирост температуры мышцы после тетанического сокращения у животных всех опытных групп превышал уровень контроля, температурная стоимость мышечного сокращения также превышала контрольный уровень (на 25–36 % у крыс 10А-10Ф-групп и 41–47 % у крыс 60А-60Ф-групп).

Наблюдаемое нами увеличение температурной стоимости мышечной работы под влиянием адреноагонистов свидетельствует в пользу снижения КПД мышечного сокращения, которое может быть обусловлено способностью КА уменьшать КПД биологического окисления в периферических тканях (в том числе в мышечной ткани) [6; 10; 27–30].

Таким образом, длительная адренергическая стимуляция обуславливала некоторое улучшение амплитудных параметров тетанического сокращения мышцы спустя 2-месячный период введения адреноагонистов, но при этом приводила к

некоторому снижению КПД мышечной работы, отмеченному уже после первых 10-ти дней введения А или Ф и сохранявшемуся на протяжении всего 2-месячного периода введения препаратов.

Таблица 4
Средние значения ($\bar{X} \pm m$) энергетических параметров гладкого тетанического сокращения мышцы контрольных животных и крыс, получавших адреналин (А) и формотерол (Ф) на протяжении 10–60 дней

Группа животных	Амплитуда тетанического сокращения, мм	Внешняя работа мышцы, мДж	Прирост температуры мышцы после сокращения, °С	ТСМР, (°С/мДж)·10 ⁻³
Контроль	13,2±1,15	9,1±0,79	0,28±0,012	30,5±2,14
10 А	14,5±1,28	10,0±0,88	0,38±0,029 [+38*]	38,2±2,50 [+25*]
10 Ф	14,1±1,29	9,7±0,89	0,40±0,031 [+45*]	41,3±3,00 [+36*]
30 А	15,1±1,12	10,4±0,77	0,42±0,037 [+52*]	40,5±3,70 [+33*]
30 Ф	15,2±0,91	10,4±0,62	0,44±0,04 [+59*]	42,2±4,10 [+38*]
60 А	17,3±1,08 [+31*]	11,9±0,79 [+31*]	0,51±0,047 [+85*]	42,9±4,20 [+41*]
60 Ф	17,9±0,79 [+36*]	12,3±0,54 [+36*]	0,55±0,049 [+99*]	44,7±4,90 [+47*]

Примечание: * – в квадратных скобках указана статистически значимая (P<0,05) разница показателя относительно контрольной группы

Длительное введение А или Ф в целом позитивно сказывалось на работоспособности скелетной мышцы. Так, на протяжении всего периода введения адреноагонистов (в 10А-60А- и 10Ф-60Ф-группах) наблюдалось значимое относительно контроля (p<0,05) удлинение периода удержания амплитуды тетанического сокращения на максимальном (на 55–59 % у крыс 10А- и 10Ф-групп и 69–82 % у животных 60А- и 60Ф-групп) и субмаксимальном (на 67–65 % у крыс 10А- и 10Ф-групп и 84–87 % у животных 60А- и 60Ф-групп, см. табл. 5) уровне при выполнении утомляющей работы. При этом собственно максимально достижимая амплитуда тетанического сокращения при выполнении утомляющей работы оказалась значимо выше контрольного уровня (p<0,05) только у животных 60А- и 60Ф-групп (на 33–35 %, см. табл. 5), что было отмечено и при анализе энергетических параметров мышцы на основании 6-секундных тетанических сокращений (см. табл. 4). Вместе с тем время достижения максимальной амплитуды сокращения и соответственно его скорость существенно отличались от контрольного уровня (p<0,05) уже спустя первые 10 дней введения адреноагонистов: время достижения максимальной амплитуды укорачивалось на 66–65 %, а скорость развития тетанического сокращения увеличивалась на 229–207 % у крыс 10А- и 10Ф-групп соответственно (см. табл. 5). Отмеченное улучшение скоростных параметров сокращения мышцы сохранялось в дальнейшем и по окончании 2-месячного периода

введения адреноагонистов носило более выраженный характер у животных 60Ф-группы в сравнении с 60А-группой. Так, время достижения максимальной амплитуды сокращения у крыс 60Ф-группы оказалось на 65 % короче, а скорость сокращения – на 192 % выше соответствующих значений крыс 60А-группы ($p < 0,05$).

Таблица 5

**Средние значения ($\bar{X} \pm m$) сократительных параметров и работоспособности
мышцы контрольных животных и крыс, получавших адреналин (А) и
формотерол (Ф) на протяжении 10–60 дней**

Группа животных	Амплитуда тетанического сокращения, мм	Время достижения максимальной амплитуды сокращения, с	Скорость тетанического сокращения, мм/с	Длительность удержания максимальной амплитуды тетанического сокращения, с	Длительность снижения амплитуды сокращения на 50% относительно максимальной, с
Контроль	13,4±1,17	0,8±0,13	16,1±1,18	3,6±0,39	9,2±1,08
10 А	15,0±1,29	0,3±0,04 [-66*]	53,0±2,96 [+229*]	5,6±0,75 [+55*]	15,4±1,30 [+67*]
10 Ф	14,2±1,28	0,3±0,03 [-65*]	49,5±2,44 [+207*]	5,8±0,79 [+59*]	15,2±1,09 [+65*]
30 А	15,6±1,19	0,4±0,05 [-48*]	36,0±1,95 [+123*]	5,9±0,72 [+63*]	15,3±1,05 [+66*]
30 Ф	15,7±0,87	0,4±0,04 [-56*]	42,8±2,84 [+165*]	6,1±0,68 [+67*]	15,4±0,85 [+67*]
60 А	17,8±1,09 [+33*]	0,5±0,06 [-42*]	36,8±1,73 [+128*]	6,1±0,75 [+69*]	16,9±0,75 [+84*]
60 Ф	18,1±0,70 [+35*]	0,2±0,02 [-80*], -65°	107,4±7,07 [+566*], +192°	6,6±0,86 [+82*]	17,2±0,64 [+87*]

Примечание: * – в квадратных скобках указана статистически значимая ($P < 0,05$) разница показателя относительно контрольной группы; ° – указана статистически значимая ($P < 0,05$) разница показателя относительно группы животных, получивших такое же количество инъекций А.

Таким образом, при анализе работоспособности мышцы в тесте с выполнением ею утомляющей работы были получены данные, указывающие в пользу способности адреноагонистов улучшать скоростные параметры тетанического сокращения мышцы и существенно повышать ее максимальную и субмаксимальную работоспособность. Кроме того, по окончании 2-месячного периода введения А или Ф наблюдалось к тому же некоторое увеличение в сравнении с контролем ($p < 0,05$) амплитуды тетанического сокращения (на 33–35 % у животных 60А- и 60Ф-групп). Причем, как и в случае с электрофизиологическими параметрами мышцы, улучшение скоростных параметров тетанического ее сокращения спустя 2-месячный период введения адреноагонистов носило наиболее выраженный характер в случае применения селективного β_2 -адреноагониста Ф в сравнении с эффектом длительно вводимого А.

Наблюдаемое нами увеличение скорости тетанического сокращения у животных А- и Ф-групп может быть следствием способности КА усиливать

кальциевый залп из боковых цистерн СР при возбуждении мышечного волокна, а также повышать активность АТФазы миозина [16; 30]. Удлинение периода максимальной и субмаксимальной работоспособности мышцы на протяжении всего 2-месячного срока введения адrenoагонистов указывают в пользу повышения устойчивости мышцы опытных животных к утомлению, что может быть обусловлено улучшением условий энергообеспечения мышечных волокон под действием КА. В пользу более высокой устойчивости мышцы опытных животных к утомлению указывает и обсуждаемое нами менее выраженное в сравнении с контролем ухудшение параметров М-ответов и одиночных сокращений у них после выполнения утомляющей работы.

Подводя итог эффективности влияния длительно вводимых А и Ф на функциональное состояние скелетной мышцы крыс, необходимо отметить, что уже спустя первые 10 дней введения адrenoагонистов наблюдались значимое относительно контроля укорочение латентного периода и увеличение амплитуды М-ответов, повышение скорости тетанического сокращения, удлинение периода максимальной и субмаксимальной работоспособности мышцы, но при этом снижение КПД мышечной работы. Спустя 2-месячный период введения адrenoагонистов, кроме сохранности отмеченных изменений, наблюдалось также ускорение фазы укорочения одиночного сокращения и увеличение амплитуды тетанического сокращения. Отмеченное повышение амплитуды М-ответа и скорости тетанического сокращения спустя 2-месячный период введения адrenoагонистов было в большей степени выражено у животных, получавших селективный β_2 -адrenoагонист формотерол, в сравнении с крысами, получавшими адреналин. Вместе с тем на протяжении всего 2-месячного периода введения адrenoагонистов наблюдалось значимое в сравнении с контролем увеличение прироста температуры мышцы после тетанического сокращения и связанное с этим увеличение температурной стоимости мышечной работы, свидетельствующие в пользу снижения КПД мышечного сокращения.

На протяжении всего периода введения адrenoагонистов (от 10 до 60 дней) мышца опытных животных проявляла более высокую в сравнении с контролем устойчивость к утомлению. В пользу этого свидетельствовало отсутствие у крыс А-групп значимого уменьшения количества активируемых двигательных единиц мышцы, менее выраженное уменьшение амплитуды М-ответов на фоне отсутствия значимого увеличения их длительности и менее выраженное удлинение латентного периода одиночных сокращений после выполнения утомляющей работы в сравнении с таковыми у контрольных животных. Повышение устойчивости мышцы к утомлению было в большей степени выражено у животных Ф-групп в сравнении с А-группами, в пользу чего свидетельствует полное отсутствие уменьшения амплитуды М-ответов и одиночных сокращений мышцы после выполнения утомляющей работы. Таким образом, селективный β_2 -адrenoагонист формотерол обусловил более выраженное в сравнении с эффектом адреналина повышение амплитуды М-волны, скорости тетанического сокращения мышцы и ее устойчивости к утомлению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Длительная адренергическая стимуляция, моделируемая ежедневным подкожным введением адреналина (0,2 мг/кг/сутки) или формотерола (1,5 мкг/кг/сутки), сопровождалась уже спустя первые 10 дней применения препаратов укорочением латентного периода М-ответа мышцы (на 14–18 %) и увеличением его амплитуды (на 38–82 %) на фоне неизменной длительности у крыс 10А- и 10Ф-групп соответственно. Отмеченное улучшение электрофизиологических параметров мышцы сохранялось на протяжении всего дальнейшего 2-месячного периода введения адреноагонистов с гораздо более выраженным относительно контроля повышением амплитуды М-ответов у животных 30Ф- и 60Ф-групп (на 95–137 %) в сравнении с 30А- и 60А-группами (на 46–61 %).
2. По окончании 2-месячного периода введения адреноагонистов наблюдалось значимое укорочение относительно контроля латентного периода (на 15–16 %) и фазы укорочения (на 19–16 %) одиночного сокращения, а также увеличение амплитуды тетанического сокращения (на 33–35 %) мышцы животных 60А- и 60Ф-групп соответственно.
3. На протяжении всего периода введения адреноагонистов (от 10 до 60 дней) имело место существенное в сравнении с контролем увеличение скорости тетанического сокращения (до 229–566 % у крыс А- и Ф-групп соответственно) и удлинение периодов максимальной (до 69–82 % в А- и Ф-группах соответственно) и субмаксимальной (до 84–87 % в А- и Ф-группах соответственно) работоспособности мышцы, а также повышение ее устойчивости к утомлению, особенно выраженное в Ф-группах.
4. Уже спустя первые 10 дней введения адреноагонистов наблюдалось значимое в сравнении с контролем увеличение температурной стоимости мышечной работы (на 25–36 % у животных 10А- и 10Ф-групп), сохранявшееся вплоть до окончания 2-месячного периода их введения (на 41–47 % у крыс 60А- и 60Ф-групп) и указывающее в пользу снижения КПД мышечного сокращения.
5. Селективный β_2 -адреноагонист формотерол обусловил более выраженное в сравнении с эффектом адреналина повышение амплитуды М-волны, скорости тетанического сокращения мышцы и ее устойчивости к утомлению.

Список литературы

1. Левтов В. А. Кровоснабжение и потребление кислорода икроножной мышцей кошки при изометрическом тетанусе в условиях внутриартериальной инфузии норадреналина / В. А. Левтов, Н. Я. Шустова, Н. И. Васильева, В. Н. Шуваева // Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова. – 1982. – Т. 68, № 11. – С. 1544–1552.
2. Козлов А. Г. Влияние изопrenalина на энерготраты изолированной мышцы лягушки при утомлении / А. Г. Козлов, С. Г. Казьмин // Физиологический журнал. – 1978. – Т. 24, № 4. – С. 562–567.
3. Marsden C. D. The effect of adrenaline on the contraction of human muscle / Marsden C. D., Meadows J. C. // Journal of Physiology. – 1970. – V. 207. – P. 429–448.
4. Гусева Е. А. О влиянии катехоламинов на нервно-мышечную передачу / Е. А. Гусева, Ю. П. Пушкарев // Проблемы эндокринологии. – 1970. – № 3. – С. 58–62.

5. Breckenridge B. Theophylline, epinephrine and neostigmine facilitation of neuromuscular transmission / Breckenridge B., Me L., Burn I. K., Matscinsky F. M. // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. – 1967. – V. 57, № 4. – С. 1853–1897.
6. Everts M. F. Effects of adrenaline on excitation-induced stimulation of the sodium-potassium pump in rat skeletal muscle / M. F. Everts, K. Retterstol, T. Clausen // Acta Physiologica Scandinavica. – 1988. – V. 134. – P. 189–198.
7. Smith U. Adrenergic control of metabolic functions / Smith U. // Acta Med. Scand. – 1983. – № 5 (Suppl.). – P. 671–676.
8. Соболев В. И. Зависимость функциональных параметров сокращения скелетной мышцы крыс от уровня циркулирующего трийодтиронина / В. И. Соболев // Росс. физиол. журнал им. И. М. Сеченова. – 2016. □ Т. 102, № 11. □ С. 1369–1382.
9. Rutter G. A. Regulation of mitochondrial metabolism by ER Ca^{2+} release: an intimate connection / G. A. Rutter, R. Rizzuto // Trends Biochem. Sci., 2000. – 25. – P. 215–221.
10. Jensen J. Quantitative determination on cell surface beta-adrenoreceptors in different skeletal muscles / J. Jensen, E. O. Brennesvik, H. Bergensen // Pflugers Arch. – 2002. – V. 444, № 1–2. – P. 213–219.
11. Navegantes L. C. Catecholamines inhibit Ca^{2+} -dependent proteolysis in rat skeletal muscle through beta2-adrenoreceptors and cAMP / L. C. Navegantes, N. M. Resano, R. H. Migliorini, I. C. Kettelhut // Am. J. Physiol. (Endocrinol. Metab.), 2001, V. 281, № 3. – P. E449–E454.
12. Труш В. В. Влияние адреналина, вводимого в период острого опыта, на функциональные параметры работающей скелетной мышцы белых крыс и ее устойчивость к утомлению / В. В. Труш, В. И. Соболев // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2015. – Т. 1 (67), № 1. – С. 145–160.
13. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств / А. Н. Миронова, Н. Д. Бунатян (ред.), Минздрав РФ, ЗАО «Гриф и К», Москва (2012).
14. Galea V. The number and relative size of motor units estimated by computer / V. Galea, H. De Bruin, R. Cavasin, A. J. McComas // Muscle and Nerve. – 1991. – №14. – P. 1123–1130.
15. Труш В. В. Влияние ятрогенного гиперкортицизма, индуцируемого длительным введением дексаметазона, на энергетику мышечного сокращения у белых крыс / В. В. Труш, В. И. Соболев // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. □ 2016. □ Т. 60, № 4. □ С. 39–46.
16. MacIntosh B. Skeletal muscle. Form and function. – 2th edition. / B. MacIntosh, Gardiner Ph., A. J. McComas. – Champaign: Human Kinetics, 1998. – 432 с.
17. Гехт Б. М. Теоретическая и клиническая электромиография. / Б. М. Гехт. – Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1990. – 229 с.
18. Yawo H. Noradrenaline modulates transmitter release by enhancing the Ca^{2+} sensitivity of exocytosis in the chick ciliary presynaptic terminal / Yawo H. // J. Physiol. – 1996. – Vol. 493. – P. 387–391.
19. Tavi P. Cardiac mechanotransduction: From sensing to disease and treatment. / Tavi P., Laine M., Weckstrom M., Ruscoabo H. // Trends Pharm. Sci. – 2001. – Vol. 22. – P. 254–260.
20. Бухараева Э. А. Синхронизация вызванной секреции квантов медиатора как механизм облегчающего действия симпатомиметиков / Э. А. Бухараева, К. Х. Ким, Е. Е. Никольский, Ф. Высокочил // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 1998. – Т. 84, № 10. – С. 1123–1141.
21. Vizi S. Evidence that catecholamines increase acetylcholine release from neuromuscular junction through stimulation of alpha-1 adrenoreceptors. / S. Vizi // Naunyn-Schmiedeberg's Arch. Pharmacol. – 1991. – Vol. 343. – P. 435–438.
22. Wessler J. Beta-adrenoreceptor stimulation enhances transmitter output from the rat phrenic nerve / J. Wessler, S. Anschuetz // Brit. J. Pharmacol. – 1988. – Vol. 94, №3. – P. 669–674.
23. Божко Г. Х. Влияние катехоламинов на синтез белков и нуклеиновых кислот / Г. Х. Божко // Проблемы эндокринологии – 1987. – № 5. – С. 3–9.
24. Соболев В. И. Характер действия адреналина на латентный период М-ответа скелетной мышцы крыс в зависимости от уровня циркулирующего трийодтиронина / В. И. Соболев // Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». □ 2016. □ Т. 2 (68), № 2. □ С. 58–69.
25. Зимовщикова О. В. Содержание высокоэнергетических веществ в скелетной мышце в покое и при физической нагрузке в условиях действия разных доз адреналина / О. В. Зимовщикова,

- Г. А. Узбеков // Материалы 5-й Поволжской конференции физиологов, биохимиков и фармакологов с участием морфологов. – Ярославль, 1969. – С. 313.
26. Орбели Л. А. Симпатическая иннервация скелетной мускулатуры / Л. А. Орбели // В кн. Избранные труды, 2-е изд. – М., Л.: Изд-во АН СССР. 1960. – С. 53–58.
27. Nakamura Y. Beta-2-adrenergic agonists up-regulates uncoupling proteins 2 and 3 in skeletal muscle of the mouse / Y. Nakamura, I. Nagase, A. Asano // J. Vet. Med. Sci. – 2001. – V. 63, № 3. – P. 309–314.
28. Popham P. Potassium infusions cause release of adrenaline in anaesthetized cats / P. Popham, D. Band, R. Linton // Journal of Physiology. – 1990. – V. 427. – P. 43–49.
29. Манухин Б. Н. Изменение активности Na, К-АТФазы при блокаде адренорецепторов / Б. Н. Манухин, Г. Д. Курбанова, Е. В. Волина, П. А. Ерохов // Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова. – 1985. – Т. 71, № 6. – С. 731–736.
30. Теппермен Дж. Физиология обмена веществ и эндокринной системы. / Дж. Теппермен, Х. Теппермен. – Вводный курс: Пер. с англ. / Под ред. Я. И. Ажипы. – М.: Мир, 1989. – 656 с.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF LONG-TERM ADMINISTRATION OF ADRENALINE AND SELECTIVE β_2 -ADRENOAGONIST FORMOTEROL ON THE FUNCTIONAL CONDITION OF THE SKELETAL MUSCLE OF WHITE RATS

Trush V. V.¹, Sobolev V. I.²

¹*Donetsk national university, Donetsk, Ukraine*

²*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Yalta, Russian Federation*

E-mail: v.sobolev@mail.ru

Research objective consisted in the comparative research in the model experiments on animals of the influence of long-term administration (from 10 to 60 days) of the adrenaline (A, 0,2 mg/kg/days) and selective β_2 -adrenoagonist formoterol (F, 1,5 mkg/kg/days) on the functional parameters of a skeletal muscle of the mixed type (*m. tibial anterior*).

Method. Experiments were performed on sexually mature rats-females of 4–5 monthly age divided into 3 groups: control (n=10, K-group), the I-st experienced (n=30, A-group), animals of which received the adrenaline hydrochloride ("Zdorov'e", Ukraine, 0,2 mg/kg/days), and the II-nd experienced (n=30, F-group), animals of which received the selective β_2 -adrenoagonist formoterol (Foradil, "Novartis", Switzerland, 1,5 mkg/kg/days). The adrenoagonists were administered daily hypodermically for 10, 30 and 60 days. Thus, animals of each experienced group in the subsequent have been divided into 3 subgroups (n=10 in everyone) which have received different quantity of the adrenoagonists' injections: 10 (groups 10A and 10F), 30 (groups 30A and 30F) and 60 (groups 60A and 60F).

Upon termination of the terms of adrenoagonists' administration on the anesthetized animals (sodium thiopental, 100 mg/kg, intraperitoneally) made the acute experiment during which studied the electrophysiological, ergometrical and power parameters of the forward tibial muscle in the conditions of the caused its contraction. The muscle's contraction was induced by the irritation of the fibular nerve by superthreshold electric current.

Results. The long-term adrenergic stimulation which was modeled by daily hypodermic introduction of adrenaline (0,2 mg/kg/days) or formoterol (1,5 mkg/kg/days) was followed already the first 10 days of the medicines' use by the shortening of the latent

period of the M-response of the muscle (for 14–18 %) and by the increase in its amplitude (for 38–82 %) against the background of invariable duration at rats 10A- and 10F-groups, respectively, that specifies in the favor of the possible acceleration and facilitation of synaptic transmission, the improving of the level of synchronization of muscle fibers' excitement and the increase in its irritability. This improving of the electrophysiological parameters of the muscle remained throughout all further 2-month period of adrenoagonists' administration with the much more expressed increase in amplitude of M-responses at animals of 30F- and 60F-groups (for 95–137 %) in comparison with 30A- and 60A-groups (for 46–61 %).

Upon termination of the 2-month period of adrenoagonists' administration the significant shortening concerning the control of the latent period (for 15–16 %) and the shortening phase (for 19–16 %) of single contraction and also the increase in the amplitude of tetanic contraction (for 33–35 %) of the muscle of animals 60A- and 60F-groups, respectively, was watched that specifies in a favor of the possible increase in the level of synchronization of excitement and contraction in the muscle, improving of electromechanical coupling in its fibers and energetic support of the contracting act.

Throughout the entire period of adrenoagonists' administration (from 10 to 60 days) the increase in the speed of tetanic contraction, essential in comparison with control (for 229–207 % at rats of 10A- and 10F-groups and for 128–566 % at animals of 60A- and 60F-groups) and the lengthening of the periods of the maximum (for 63–88 % at rats of 10A- and 10F-groups and for 77–83 % at animals of 60A- and 60F-groups) and submaximum (for 67–65 % at rats of 10A- and 10F-groups and for 84–87 % at animals of 60A- and 60F-groups) capacity of the muscle took place. The increase in the speed of tetanic contraction testifies in a favor of the possible improvement of electromechanical coupling in the muscle fibers and the increase in the speed of actin-myosin interaction, and the lengthening of the periods of the maximum and submaximum working capacity – in favor of improvement of the power support of the contracting act. At the same time, already the first 10 days of adrenoagonists' administration the increase in temperature cost of muscular work, significant in comparison with control (for 25–36 % at animals of 10A- and 10F-groups) was observed, which remained up to the end of the 2-month period of its administration (for 41–47 % at rats of 60A- and 60F-groups) and indicated in a favor of the decrease in the efficiency of muscular contraction. Throughout the entire period of adrenoagonists' administration (from 10 to 60 days) the muscle of experienced animals showed the higher in comparison with control resistance to fatigue. In favor of it the absence at rats of A-group of significant decrease of the quantity of the activated motive units of the muscle, less expressed decrease of the amplitude of M-responses against the background of the absence of significant increase in its duration and less expressed lengthening of the latent period of single contraction after execution of the tiring work in comparison with those at control animals demonstrated. Increase in the muscle's resistance to fatigue was more expressed at animal of F-group in comparison with A-groups in a favor of what the total absence at rats of F-group of decrease of amplitude of M-responses and single contraction of the muscle after execution of the tiring work testifies.

The selective β_2 -adrenoagonist formoterol caused the more expressed increase in amplitude of the M-response, speed of tetanic contraction of the muscle and its resistance to fatigue in comparison with the effect of adrenaline.

Keywords: skeletal muscle, catecholamine, adrenaline, formoterol, rats.

References

1. LevtoV V. A., Shustova N. Ya., Vasil'eva N. I., Shuvaeva V. N., Krovosnabzhenie i potreblenie kisloroda ikronozhnoi myshtsei koshki pri izometricheskom tetanuse v usloviyakh vnutriarterial'noi infuzii noradrenalina, *Fiziologicheskii zhurnal SSSR im. I.M. Sechenova*, **68** (11), 1544 (1982). (In Russian)
2. Kozlov A. G., Kaz'min S. G., Vliyanie izoprenalina na energotraty izolirovannoi myshtsy lyagushki pri utomlenii, *Fiziologicheskii zhurnal*, **24** (4), 562 (1978). (In Russian)
3. Marsden C. D., Meadows J. C., The effect of adrenaline on the contraction of human muscle, *Journal of Physiology*, **207**, 429 (1970).
4. Guseva E. A., Pushkarev Yu. P., O vliyanii katekholaminov na nervno-myshechnuyu peredachu, *Problemy endokrinologii*, **3**, 58 (1970). (In Russian)
5. Breckenridge B., Me L., Burn I. K., Matscinsky F. M., Theophylline, epinephrine and neostigmine facillitation of neuromuscular transmission, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, **57** (4), 1853 (1967).
6. Everts M. F., Retterstol K., Clausen T., Effects of adrenaline on excitationinduced stimulation of the sodium-potassium pump in rat skeletal muscle, *Acta Physiologica Scandinavica*, **134**, 189 (1988).
7. Smith U., Adrenergic control of metabolic functions, *Acta Med. Scand*, **5** (Suppl.), 671 (1983).
8. Sobolev V. I. Dependence of functional parameters of rat skeletal muscle contraction from level circulating triiodothyronine. *Russian Journal of Physiology (formerly I.M. Sechenov Physiological Journal, Russian Journal)*, **87** (4), 468 (2016). (In Russian)
9. Rutter G. A., Rizzuto R. Regulation of mitochondrial metabolism by ER Ca^{2+} release: an intimate connection, *Trends Biochem.Sci.*, **25**, 215 (2000).
10. Jensen J., Brennesvik E. O., Bergensen H., Quantitative determination on cell surface beta-adrenoreceptors in different skeletal muscles, *Pflugers Arch*, **444** (1-2), 213 (2002).
11. Navegantes L. C., Resano N. M., Migliorini R. H., Kettelhut I. C. Caatecholamines inhibit Ca^{2+} -dependent proteolysis in rat skeletal muscle through beta2-adrenoreceptors and cAMP, *Am. J. Physiol. (Endocrinol. Metab.)*, **281** (3), E449 (2001).
12. Trush V. V., Sobolev V. I. Influence of the adrenaline entered into the period of sharp experience on functional parameters of the working skeletal muscle of white rats and its exhaustion resistance, *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. – Series: Biology, Chemistry*, **1** (67), 145 (2015). (In Russian)
13. *Rukovodstvo po provedeniyu doklinicheskikh issledovaniy lekarstvennykh sredstv*, A. N. Mironova, N. D. Bunatyan (red.). Minzdrav RF, ZAO «Grif i K», Moscow (2012). (In Russian)
14. Galea V., De Bruin H., Cavaasin R., McComas A. J. The number and relative size of motor unites estimated by computer, *Muscle and Nerve*, **14**, 1123 (1991).
15. Trush V. V., Sobolev V. I. Influence of iatrogenic hypercorticoidism induced by long-term application of dexamethasone on power of muscle contraction of white rats, *Pathological physiology and experimental therapy*. **60** (4), 39 (2016). (In Russian).
16. MacIntosh B., Gardiner Ph., McComas A. J., *Skeletal muscle. Form and function*, Human Kinetics, 2th edition, Champaign, 1998.
17. Gekht B. M., *Teoreticheskaya i klinicheskaya elektromiografiya*, 229 p. (Nauka, Leningradskoe otdelenie, Leningrad, 1990). (In Russian)
18. Yawo H. Noradrenaline modulates transmitter reiease by enchancing the Ca^{2+} sensitivity of exocytosis in the chick ciliary presynaptic terminal, *J. Physiol.*, **493**, 387 (1996).
19. Tavi P., Laine M., Weckstrom M., Ruscoabo H. Cardiac mechanotransduction: From sensing to disease and treatment., *Trends Pharm. Sci.*, **22**, 254 (2001).
20. Buharaeva Eh. A., Kim K. H., Nikol'skij E. E., Vyskochil F. Synchronization of called secretion of mediator's quanta as the mechanism of the facilitating action of sympathomimetics, *Russian Journal of*

- Physiology (formerly I.M. Sechenov Physiological Journal, Russian Journal)*, **84** (10), 1123 (1998). (In Russian)
21. Vizi S. Evidence that catecholamines increase acetylcholine release from neuromuscular junction through stimulation of alpha-1 adrenoreceptors, *Naunyn-Schmiedeberg's Arch. Pharmacol.*, **343**, 435 (1991).
 22. Wessler J., Anshuetz S. Beta-adrenoreceptor stimulation enhances transmitter output from the rat phrenic nerve, *Brit. J. Pharmacol.*, **94** (3), 669 (1988).
 23. Bozhko G. H. Influence of catecholamine on synthesis of proteins and nucleic acids, *Problems of Endocrinology*, **5**, 3 (1987). (In Russian)
 24. Sobolev V. I. Character of adrenaline effect on the latent period of the M-response rat skeletal muscle depending on the circulating levels of triiodothyronine, *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V. I. Vernadskogo. Seriya: Biologiya, khimiya*, **2(68)**, 2, 58 (2016) (In Russian).
 25. Zimovshchikova O. V., Uzbekov G. A., Soderzhanie vysokoenergeticheskikh veshchestv v skeletnoi myshitse v pokoe i pri fizicheskoi nagruzke v usloviyakh deistviya raznykh doz adrenalina, *Materialy 5-i Povolzhskoi konferentsii fiziologov, biokhimikov i farmakologov s uchastiem morfologov* (Yaroslavl', 1969), 313 (In Russian)
 26. Orbeli L. A., *Simpaticheskaya inervatsiya skeletnoi muskulatury*. V kn. *Izbrannye trudy*, 2-e izd., 53–58 p. (Izdatel'stvo AN SSSR, Moskva, Leningrad, 1960). (In Russian)
 27. Nakamura Y., Nagase I., Asano A., Beta-2-adrenergic agonists up-regulates uncoupling proteins 2 and 3 in skeletal muscle of the mouse., *J. Vet. Med. Sci.*, **63** (3), 309 (2001).
 28. Popham P., Band D., Linton R., Potassium infusions cause release of adrenaline in anaesthetized cats, *Journal of Physiology*, **427**, 43 (1990).
 29. Manukhin B. N., Kurbanova G. D., Volina E. V., Erokhov P. A., Izmenenie aktivnosti Na, K-ATFazy pri blokade adrenoretseptorov, *Fiziologicheskii zhurnal SSSR im. I. M. Sechenova*, **71** (6), 731 (1985). (In Russian)
 30. Teppermen Dzh., Teppermen Kh.. *Fiziologiya obmena veshchestv i endokrinnoy sistemy. [Physiology of Metabolism and Endocrine System]*. In 2 Volumes. Moscow, Mir Publ., 1989 (In Russian)

УДК 581.14: 632.122.1: 631.811.98: 635.63

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ *CUCUMIS SATIVUS* L.
К ОСМОТИЧЕСКОМУ СТРЕССУ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИНТЕТИЧЕСКОГО
РЕГУЛЯТОРА РОСТА ЦИРКОН**

Чмелёва С. И., Павлюченкова О. А.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: chmeleva-s@mail.ru*

Впервые проведено исследование устойчивости *Cucumis sativus* L., сорт Феникс 640 к осмотическому стрессу, вызванному хлоридным засолением, под действием синтетического регулятора роста Циркон. Приведены доказательства стимулирующего влияния регулятора роста растений на прорастание семян и линейные параметры ростовых процессов (длина надземной части растений и длина корневой системы) огурца посевного. Установлено, что препарат оказывает положительное действие на общую оводненность листьев, снижая водный дефицит в листьях огурца при хлоридном засолении у опытных растений по сравнению с контрольными. Данный эффект зависит от концентрации действующего вещества и сохраняется на протяжении всего эксперимента. Оптимальной концентрацией препарата Циркон для стимуляции ростовых процессов при осмотическом стрессе установлена 0,025 %.

Ключевые слова: солеустойчивость, хлоридный стресс, *Cucumis sativus* L., регулятор роста растений, препарат Циркон.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в связи с изменением климатических условий, а также с возрастающим антропогенным воздействием, в Республике Крым актуальной является проблема солеустойчивости культурных растений. Засоление почв и недостаточное водоснабжение приводят к снижению продуктивности агро- и биоценозов, падению биоразнообразия и ограничивают возможность получения высоких урожаев различных сельскохозяйственных культур. В условиях хлоридного засоления почвы тормозится клеточное деление и растяжение, что приводит к формированию мелких клеток. Вследствие этого задерживается рост самого растения, в первую очередь листьев и стеблей. Таким образом, засоленность почв вызывает значительные и постепенно усиливающиеся изменения большинства физиологических процессов в организме растений [1–8].

Изучение механизмов устойчивости растений к повреждающему действию абиотических факторов является одной из фундаментальных проблем современной физиологии растений. Для повышения солеустойчивости культурных растений в сельском хозяйстве используют регуляторы роста, воздействие которых направлено на увеличение урожая и повышение устойчивости растений к экстремальным условиям внешней среды различной природы [9; 10]. Препарат Циркон является

физиологически активными аналогом эндогенных фитогормонов. При этом, будучи естественным соединением, он непосредственно включается в метаболизм растений, не оказывая вредного влияния на почву и окружающую среду [10–15].

Действие данного препарата на рост и развитие *Cucumis sativus* L. на ранних этапах онтогенеза при воздействии хлоридного засоления в настоящее время не изучено, что и послужило целью наших исследований.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служили семена и растения *Cucumis sativus* L., сорт Феникс 640.

Отобранные по средним размерам и протравленные в слабом растворе перманганата калия, семена закладывали в чашки Петри на фильтровальную бумагу по 50 шт. в трехкратной повторности. При моделировании осмотического стресса испытывали различные концентрации солей NaCl (50 мМ; 100 мМ; 150 мМ и 200 мМ), контроль – дистиллированная вода. Для исследования действия препарата Циркон на прорастание семян огурца при осмотическом стрессе использовали вышеперечисленные концентрации NaCl с добавлением 0,025 % регулятора роста. Семена проращивали в термостате типа ТС-80 М-2 согласно ГОСТ 12038 – 84 [16]. Проростки переносили на водную культуру (среда Кнопа) с сохранением соответствующей концентрации раствора NaCl и выращивали при естественном освещении в вегетационных сосудах емкостью 0,5 л. У 7–21-дневных растений устанавливалась величина морфометрических показателей (высота растений, длина корней, масса сырого и сухого вещества) по общепринятым в физиологии растений методам [17] для оценки влияния различных концентраций препарата на повышение устойчивости *Cucumis sativus* L. к осмотическому стрессу.

При определении показателем служила всхожесть семян по методике В. Н. Синельниковой [18]. Для оценки солеустойчивости *Cucumis sativus* L. проводили подсчет проросших семян. В зависимости от прорастания семян растения делили на 6 групп: I – высоко устойчивые (прорастание семян более 80 %), II – устойчивые (61–80 %), III – среднеустойчивые (41–60 %), IV – слабоустойчивые (21–40 %), V – очень слабоустойчивые (<20 %), VI – неустойчивые (прорастания не было).

Водный дефицит (ВД) растений и относительное содержание воды (ОСВ) определяли, рассчитывая по следующим формулам:

$$\text{ОСВ} = 100 * (\text{MF} - \text{MD}) / (\text{MT} - \text{MD}),$$

$$\text{ВД} = 100 * (\text{MT} - \text{MF}) / \text{MT},$$

где MF – масса листьев до насыщения; MT – масса листьев после насыщения; MD – сухая масса листьев [19].

Статистическую обработку экспериментальных данных осуществляли, рассчитывая среднюю арифметическую и стандартную ошибку средней арифметической. Для определения достоверных отличий распределений биометрических данных использовали t-критерий Стьюдента [20; 21].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Засоление задерживает прорастание семян, рост растений и значительно снижает их продуктивность. Отрицательное воздействие засоления обусловлено низким осмотическим потенциалом почвенного раствора, токсичностью ионов и дисбалансом питательных компонентов [22].

Засоление нарушает физиолого-биохимические процессы (водный статус, ионный и окислительно-восстановительный гомеостаз, баланс фитогормонов, проницаемость мембран) и, как следствие, тормозит рост растений [23]. Наиболее губительный эффект NaCl оказывает на ранних этапах развития растений.

При оценке культурных растений стандартными лабораторными методами критериями солеустойчивости обычно являются такие показатели, как энергия прорастания и лабораторная всхожесть семян. Для получения более достоверных и объективных результатов исследований рекомендуется, кроме учета всхожести или энергии прорастания семян, определять также количество зародышевых корней, длину проростков и корней, интенсивность роста проростков во времени [24].

В наших исследованиях показано, что хлоридное засоление значительно задерживало прорастание семян огурца посевного. Обобщенные данные по влиянию препарата Циркон на энергию прорастания и лабораторную всхожесть *Cucumis sativus* L. в условиях осмотического стресса представлены в таблице 1.

Таблица 1

Влияние препарата Циркон на посевные качества семян *Cucumis sativus* L. при хлоридном засолении

Варианты опыта	Посевные качества семян ($\bar{x} \pm S_x$)			
	энергия прорастания, %	в % к контролю 1	лабораторная всхожесть, %	в % к контролю 1
Контроль (H ₂ O)	85,3 ± 0,04	100,0	90,1 ± 0,07	100,0
NaCl 50 мМ	53,3 ± 0,02**	62,5	60,8 ± 0,08**	67,5
NaCl 50 мМ + Циркон 0,0125 %	63,3 ± 0,05**	74,2	65,2 ± 0,07**	72,4
NaCl 50 мМ + Циркон 0,025 %	80,3 ± 0,06*	94,1	83,8 ± 0,07*	93,0
NaCl 50 мМ + Циркон 0,05 %	73,3 ± 0,01**	85,9	74,4 ± 0,13*	82,6
NaCl 50 мМ + Циркон 0,075 %	70,4 ± 0,03**	82,5	71,6 ± 0,12*	79,5

Примечание к таблице: звездочками отмечены достоверные различия по сравнению с контролем при *P≤0,05, **P≤0,01, ***P≤0,001; н/д – разница не достоверна.

Показано, что энергия прорастания и всхожесть *Cucumis sativus* L. при осмотическом стрессе достоверно ниже значений, установленных при проращивании семян в нормальных условиях (контроль 1). Использование

регулятора роста Циркон оказало положительное воздействие на показатели прорастания семян. Оптимальной концентрацией синтетического регулятора роста, при которой энергия прорастания и лабораторная всхожесть семян при хлоридном засолении достигает наибольших показателей, установлена 0,025 %. Проращивание семян с использованием препарата данной концентрацией позволяет повысить энергию прорастания семян с 53,3 % в контроле 1 до 80,3 %, а всхожесть – с 60,8 % до 83,8 % (табл. 1).

Показателем устойчивости растений можно считать количество проросших семян, а именно процент их всхожести при определенных концентрациях соли по сравнению с контрольным вариантом (семенами, пророщенными в дистиллированной воде) [9]. Проведенными исследованиями установлено, что регулятор роста в оптимальной концентрации повышает солеустойчивость *Cucumis sativus*. Отмечено, что на фоне действия различных концентраций NaCl использование синтетического регулятора роста при проращивании семян исследуемого сорта огурца посевого оказало адаптогенное действие и значительно повысило всхожесть семян, изменив группу их солеустойчивости (табл. 2).

Таблица 2
Влияние препарата на изменение солеустойчивости *Cucumis sativus* L. при хлоридном засолении

Варианты опыта	Всхожесть семян, %	Группы по солеустойчивости
Контроль (H ₂ O)	90,1 ± 0,07	I
Циркон 0,025 %	100,0 ± 0,07	I
50 мМ NaCl	60,8 ± 0,08	II
50 мМ NaCl + Циркон (0,025 %)	83,8 ± 0,07	I
100 мМ NaCl	21,13 ± 0,03	IV
100 мМ NaCl + Циркон (0,025 %)	37,0 ± 0,04	IV
150 мМ NaCl	19,53 ± 0,02	V
150 мМ NaCl + Циркон (0,025 %)	26,14 ± 0,01	IV
200 мМ NaCl	5,80 ± 0,01	V
200 мМ NaCl + Циркон (0,025 %)	11,7 ± 0,01	V

Примечание к таблице: разница средних значений контроля и опыта достоверна при $P \leq 0,05$ для всех вариантов; группы растений по солеустойчивости указаны согласно таблице 2

Изменение линейных параметров ростовых процессов отражает солеустойчивость растений более достоверно, чем оценка показателей прорастания семян, что связано с общей природой устойчивости растений. Подавление клеточного деления и особенно растяжения при действии неблагоприятных условий приводит к задержке роста растений, которую рассматривают как защитную

реакцию. Степень солеустойчивости определяется величиной отклонения выбранных параметров от контроля под влиянием засоления [7].

При использовании оптимальной концентрации регулятора роста (0,025 %) морфометрические показатели опытных растений *Cucumis sativus* L. превышают аналогичные показатели контрольных вариантов. Средняя длина корневой системы опытных 11-дневных растений достигала 9,44 см, что на 1,2 см больше, чем у контрольных растений, выращенных в условиях хлоридного засоления. Длина побега опытных растений превышала контрольные в среднем на 1,7 см. При этом с повышением концентрации регулятора роста, как свидетельствуют полученные нами данные, стимулирующий эффект снижается, а в вариантах с использованием Циркона 0,075 %, длина корня и побега имеет достоверно ниже показатели по сравнению с вариантами, выращенными в условиях осмотического стресса (табл. 3).

Таблица 3

Влияние препарата Циркон на морфометрические показатели 11-дневных растений

Варианты опыта	Длина корневой системы, см	В % к контролю	Длина побега, см	В % к контролю
Контроль (H ₂ O)	8,26 ± 0,17	100,00	11,16 ± 0,07	100,00
50 мМ NaCl	6,95 ± 0,07*	84,10	9,30 ± 0,06*	83,30
NaCl 50 мМ + Циркон 0,0125 %	8,00 ± 0,05 ^{н/д}	96,90	9,55 ± 0,07*	85,57
NaCl 50 мМ + Циркон 0,025 %	9,44 ± 0,07**	114,30	10,97 ± 0,06 ^{н/д}	98,30
NaCl 50 мМ + Циркон 0,05 %	7,86 ± 0,08*	95,20	6,99 ± 0,08**	62,63
NaCl 50 мМ + Циркон 0,075 %	6,50 ± 0,11**	78,70	7,70 ± 0,22**	69,00

Примечание к таблице: звездочками отмечены достоверные различия по сравнению с контролем при *P≤0,05, **P≤0,01, ***P≤0,001; н/д – разница не достоверна.

Основная реакция растительного организма на засоление – это нарушение водного баланса и минерального обмена. В условиях избыточного действия солей у растений возникает водный дефицит и вследствие этого их рост и развитие ослабляется. При осмотическом стрессе задерживается деление клеток, уменьшается транспирация. Избыток солей в почве нарушает водообмен у растений. Снижение оводненности тканей изменяет состояние биокolloидов клетки, что приводит к повреждению тонкой структуры протопласта, существенным сдвигам в состоянии и деятельности всех ферментных систем и, как следствие, к нарушению обмена веществ растения. Уменьшение содержания воды в растении вызывает резкое падение интенсивности фотосинтеза, интенсивность дыхания возрастает, но нарушается сопряженность окисления и фосфорилирования, в результате чего сильно снижается энергетическая эффективность дыхания. В

качестве показателя напряженности водного обмена растений используют показатель водного дефицита [25; 26].

Наши исследования выявили уменьшение относительного содержания воды в листьях растений огурца сорта Феникс 640 под влиянием избытка соли (контроль 2) по сравнению с растениями, выращиваемыми в условиях оптимального режима (контроль 1). Все используемые концентрации препарата Циркон (0,0125 %; 0,025 %, 0,05 % и 0,075 %) оказывают положительное влияние на снижение водного дефицита в листьях огурца в опытных вариантах в условиях осмотического стресса, в среднем в 2,9–4,5 раз по сравнению с контрольными.

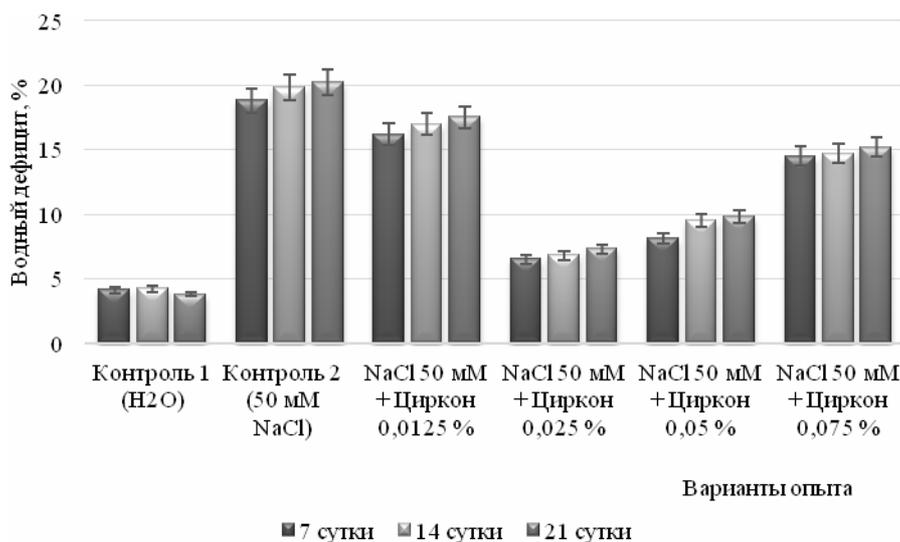


Рис. 1. Влияние регулятора роста на водный дефицит листьев растений *Cucumis sativus* L. при хлоридном засолении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что регулятор роста Циркон повышает солеустойчивость *Cucumis sativus* L., оказывая стимулирующее действие на прорастание семян и значения параметров линейного роста растений в условиях хлоридного засоления.
2. Показано, что оптимальная концентрация препарата (0,025 %) оказывает положительное действие на общую оводненность листьев, снижая водный дефицит при хлоридном засолении у опытных растений по сравнению с контрольными. Данный эффект зависит от концентрации действующего вещества и сохраняется на протяжении всего эксперимента.

Список литературы

1. Генкель П. А. Основные пути изучения солеустойчивости растений / П. А. Генкель // Сельскохозяйственная биология. – 1970. – № 2. – С. 292–302.

2. Генкель П. А. Солеустойчивость растений и пути ее направленного повышения / П. А. Генкель // XII Тимирязевские чтения. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1954. – 84 с.
3. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям (методическое руководство) / под ред. Г. В. Удовенко. – Л.: ВИР, 1988. □ 228 с.
4. Удовенко Г. В. Особенности различных методов оценки солеустойчивости растений. Методы оценки устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды // Г. В. Удовенко, Л. А. Семушина, В. Н. Синельникова. – Л.: Колос, 1976. – С. 228–238.
5. Беловолова А. А. Солеустойчивость сельскохозяйственных культур и их урожайность на солонцеватых слитых черноземах / А. А. Беловолова, Ю. А. Безгина, Н. В. Громова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 74. – С. 676–686.
6. Ефимова М. В. Влияние brassinosterоидов на прорастание семян и рост рапса на начальных этапах онтогенеза при хлоридном засолении / М. В. Ефимова, Д. А. К. Хасан, В. П. Холодова, В. В. Кузнецов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. – 2012. – № 3. – С. 12–20.
7. Белозерова А. А. Изучение реакции яровой пшеницы на засоление по изменчивости морфометрических параметров проростков / А. А. Белозерова, Н. А. Боме // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12–2. – С. 300–306.
8. Петрова А. А. Эффективность использования пабк в повышении солеустойчивости яровой мягкой пшеницы / А. А. Петрова, А. А. Белозерова // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 2–3. – С. 262–263.
9. Чмелёва С. И. Адаптогенное действие регулятора роста циркон на прорастание семян и ростовые процессы *Glycine max* L. на фоне хлоридного засоления / С. И. Чмелёва, Е. Н. Кучер, Т. М. Рыжих // В сборнике: Актуальные проблемы ботаники и охраны природы Сборник научных статей Международной научно-практической конференции, посвященной 150-летию со дня рождения профессора Г. Ф. Морозова. Под редакцией С. Ф. Котова. – 2017. – С. 212–216.
10. Чмелёва С. И. Использование препарата циркон для повышения холодоустойчивости пшеницы (*Triticum aestivum* L.) / С. И. Чмелёва, Е. Н. Кучер, Я. Н. Соловей // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. – 2015. – Т. 1 (67), № 3 – С. 73–80.
11. Прусакова Л. Д. Регуляторы роста растений с антистрессовыми и иммунопротекторными свойствами / Л. Д. Прусакова, Н. Н. Малеванная, С. Л. Белопухов, В. В. Вакуленко // Агрохимия. – 2005. – № 11. – С. 76–86.
12. Малеванная Н. Н. Продуктивность, рост и развитие огурца в зависимости от предпосевной обработки семян цирконом / Н. Н. Малеванная, Н. Т. Ниловская, И. И. Серегина // Мат-лы Международн. конф. «Проблемы Севера» (15–18 июня 2004 г., Петрозаводск). – 121 с.
13. Серегина И. И. Сравнительная оценка действия регуляторов роста на растения огурца / И. И. Серегина // Овощеводство и тепличное хозяйство. – 2008. – № 3. – С. 20.
14. Малеванная Н. Н. Циркон – препарат нового поколения / Н. Н. Малеванная, К. Л. Алексеева // Защита и карантин растений. – 2006. – № 8. – С. 28.
15. Воронина Л. П. Продолжительность обработки семян редиса, огурца, овса препаратом Циркон в различной концентрации / Л. П. Воронина, Н. Н. Малеванная // Докл. РАСХН. – 2003. – № 3. – С. 13–15.
16. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести (с Изменениями N 1, 2) [Электронный ресурс]. – Режим доступа к статье: http://docs.nevacert.ru/files/gost/gost_12038-1984.pdf (дата обращения 14.02.2018).
17. Третьяков Н. Н. Практикум по физиологии растений / Н. Н. Третьяков, Т. В. Карнаухова, Л. А. Паничкин и др. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
18. Методические указания для определения солеустойчивости овощных культур по прорастанию семян в солевых растворах. Томаты. / Сост.: В. Н. Синельникова, Е. И. Смирнова. ВИР. – Л., 1975. – 18 с.
19. Виктор Д. П. Малый практикум по физиологии растений. – М: Высшая школа, 1983. – 135 с
20. Павленко В. Б. Анализ экспериментальных данных на компьютере. Учебное пособие для студентов биологического факультета / В. В. Павленко. – Симферополь, 2007. – 43 с.
21. Протасов К. В. Статистический анализ экспериментальных данных / К. В. Протасов. – М.: Мир. 2005. – 232 с.

22. Munns R. Mechanisms of salinity tolerance / Munns R., Tester M. // *Annu. Rev. Plant Biol.* – 2008. – Vol. 59. – P. 651–681.
23. Guimarães F. V. A. Calcium can moderate changes on membrane structure and lipid composition in cowpea plants under salt stress / Guimarães F. V. A., de Lacerda C. F., Marques E. C., de Miranda M. R. A., de Abreu C. E. B., Prisco J. T., Gomes-Filho E. // *Plant Growth Regul.* – 2011. – Vol. 65. – P. 55–63.
24. Удовенко Г. В. Особенности различных методов оценки солеустойчивости растений / Г. В. Удовенко, Л. А. Семушина, В. Н. Синельникова // *Методы оценки устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды.* – Л.: Колос, 1976. – С. 228–238.
25. Жук О. І. Формування адаптивної відповіді рослин на дефіцит води / О. І. Жук // *Фізіологія і біохімія культурних рослин.* – 2001. – Т. 43, № 1. – С. 26–37.
26. Максимов Н. А. Избранные работы по засухоустойчивости растений. Водный режим и засухоустойчивость растений. – Водный режим и засухоустойчивость растений / Н. А. Максимов. – М.: Наука, 1952. – Т. 1. – 476 с

STUDY OF THE STABILITY OF *CUCUMIS SATIVUS* L. TO THE OSMOTIC STRESS UNDER THE ACTION OF SYNTHETIC GROWTH REGULATOR ZIRCON

Chmeleva S. I., Pavlyuchenkova O. A.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation
E-mail: chmeleva-s@mail.ru*

Currently, due to changes in climatic conditions, as well as to increasing anthropogenic impact, the problem of salt tolerance of cultivated plants is topical in the Republic of Crimea. Soil salinity and inadequate water supply lead to a decrease in the productivity of agro- and biocenosis, fall of biodiversity and limits the possibility of obtaining high yields of various agricultural crops. In conditions of chloride soil salinity, cellular division and stretching are inhibited, which leads to the formation of small cells. As a consequence, the growth of the plant itself, especially the leaves and stems, is delayed. Thus, soil salinity causes significant and gradually increasing changes in the majority of physiological processes in the plant organism.

The study of the mechanisms of plant resistance to the damaging effect of abiotic factors is one of the fundamental problems of modern plant physiology. To increase the salt tolerance of cultivated plants, growth regulators are used in agriculture, the effect of which is directed to increase the yield and increase the resistance of plants to extreme environmental conditions of different nature. Zircon is a physiologically active analogue of endogenous phytohormones. At the same time, being a natural compound, it is directly involved in the metabolism of plants, without adverse effect to the soil and the environment.

The effect of this drug on the growth and development of *Cucumis sativus* L. in the early stages of ontogenesis under the influence of chloride salinization has not been studied at the present time, which served as the purpose of our studies.

The object of the study was the seeds and plants of *Cucumis sativus* L, sort Phoenix 640.

Sampled on average size and etched in a weak solution of potassium permanganate, seeds were placed in Petri dishes on filter paper of 50 pcs. in triplicate. When modeling

osmotic stress, various concentrations of NaCl salts (50 mM, 100 mM, 150 mM and 200 mM) were tested, and the control was distilled water. To study the effect of Zircon on the germination of cucumber seeds under osmotic stress, the above concentrations of NaCl were used with the addition of 0.025 % of the growth regulator. The seeds were germinated in a TS-80 M-2 thermostat according to GOST 12038 – 84. The seedlings were transferred to an aqueous culture (Knop substrate) while maintaining the appropriate concentration of the NaCl solution and grown under natural illumination in 0.5 l growth pots. In 7–21-day plants, the value of morphometric parameters (plant height, root length, mass of raw and dry matter) was established according to the methods generally accepted in plant physiology to assess the effect of different concentrations of the drug on increasing the resistance of *Cucumis sativus* L. to osmotic stress.

The water deficiency (WD) of plants and the relative water content (RWC) were determined by calculating the following formulas:

$$RWC = 100 * (MF-MD) / (MT-MD),$$

$$WD = 100 * (MT - MF) / MT,$$

where MF is the mass of the leaves before saturation; MT – mass of leaves after saturation; MD is the dry weight of the leaves.

Statistical processing of experimental data was carried out by calculating the arithmetic average and standard error of the arithmetic average. To determine the reliable differences in the distribution of biometric data, Student's t-test was used.

As a result of the conducted studies, it was found that the use of the Zircon growth regulator had a positive effect on seed germination rates under conditions of osmotic stress caused by chloride salinization. The optimal concentration of the synthetic growth regulator, at which the germination energy and laboratory germination of seeds reaches the highest values, is set at 0.025 %. Germination of seeds using the preparation with this concentration leads to increasing of seed germination energy from 53.3 % in control 1 to 80.3%, and germination – from 60.8 % to 83.8 %.

When using the optimal concentration of the growth regulator, the morphometric parameters of the experimental plants of *Cucumis sativus* L. exceed those of the control variants. The average length of the root system of experimental 11-day plants reached 9.44 cm, which is 1.2 cm more than in control plants grown in modeling osmotic stress. The length of the shoot of experimental plants exceeded the control ones by an average of 1.7 cm. At the same time, as the concentration of the growth regulator increases, as shown by the data obtained by us, the stimulating effect decreases, and in the variants with the use of Zircon 0,075 %, the length of the root and shoot is significantly lower compared with the options grown in chloride salinity.

Our investigations revealed a decrease in the relative water content in the leaves of the Phoenix 640 cucumber plants under the influence of an excess of salt in comparison with plants grown under optimal conditions. All used concentrations of the preparation Zircon (0.0125 %, 0.025 %, 0.05 % and 0.075 %) have a positive effect on reducing the water deficit in cucumber leaves under conditions of osmotic stress, on average, in 2.9–4.5 times.

Keywords: salt tolerance, chloride stress, *Cucumis sativus* L., plant growth regulator, Zircon preparation.

References

1. Henkel P. A., Main ways of studying salt tolerance of plants, *Agricultural biology*, **2**, 292 (1970).
2. Henkel P. A. Salt tolerance of plants and ways of its directional increase, *XII Timiryazevskaya reading*, 84 (Publishing house of the USSR Academy of Sciences, Moscow, 1954).
3. Udovenko G. V., *Diagnostics of plant resistance to stress factors (methodological instructions)*, 228 (VIR, Leningrad, 1988).
4. Udovenko G. V., Semushina L. A., Sinelnikova V. N., Peculiarities of different methods of evaluation of salt resistance of plants. *Methods for assessing plant resistance to adverse environmental conditions*, 228 (Kolos Publishing House, Leningrad 1976).
5. Belovolova A. A., Bezgina J. A., Gromova N. V., Salt tolerance of agricultural crops and their yield in saline drained Chernozem, *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*, **74**, 676 (2011).
6. Efimova M. V., Khasan D. A. K., Kholodova V. P., et al., Influence of brassinosteroids on seed germination and rape growth in the initial stages of ontogenesis in chloride salinization, *Vestnik Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and animal husbandry*, **3**, 12 (2012).
7. Belozeroва A. A., Bome N. A., Study of the reaction of spring wheat on salinity by variability of morphometric parameters of seedlings, *Fundamental research*, **12-2**, 300 (2014).
8. Petrova A. A., Belozeroва A. A., The effectiveness of the use of PABA in improving salt tolerance of spring wheat, *International Student Scientific Bulletin*, **2-3**, 262 (2015).
9. Chmeleva S. I., Kucher E. N., Ryzhikh T. M., Adaptogenic effect of Zircon growth regulator on seed germination and growth processes of *Glycine max* L. in the background of chloride salinity, *Actual problems of botany and nature protection, Collection of scientific articles of The international scientific-practical conference dedicated to the 150th anniversary of Professor G. F. Morozov*. (Edited by S. F. Kotov), 212 (2017).
10. Chmeleva S. I., Kucher E. N., Solovey J. N., The use of the drug Zircon for enhance of the cold resistance of wheat (*Triticum aestivum* L.), *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Series "Biology. Chemistry"*, **1 (67)**, **3**, 73 (2015).
11. Prusakova L. D., Malevannaya N. N., Belopukhov S. L., Vakulenko V. V., Plant growth regulators with antistress and immunoprotective properties, *Agrochemistry*, **11**, 76 (2005).
12. Malevannaya N. N., Dilovska N. T., Seregina I. I., Productivity, growth and development of cucumber depending on presowing treatment of seeds by Zircon, *Proceedings of the international Conference "Problems of the North"*, 121 (Petrozavodsk, 2004).
13. Seregina I. I., Comparative evaluation of growth regulators action on cucumber plants, *Vegetable growing and greenhouse economy*, **3**, 20 (2008).
14. Malevannaya N. N., Alekseeva K. L., Zircon as a drug of new generation, *Protection and quarantine of plants*, **8**, 28 (2006).
15. Voronina L. P., Duration of treatment of seeds of radish, cucumber, oats with Zircon preparation in various concentrations, *Reports of Russian Academy of Agricultural sciences*, **3**, 13 (2003).
16. State standard GOST 12038–84. Seeds of agricultural crops. Methods for determining germination (with Changes No 1, 2), [Electronic resource], Mode of access to the article: http://docs.nevacert.ru/files/gost/gost_12038-1984.pdf (accessed 14.02.2018).
17. Tretyakov N. N., Karnaukhova T. V., Panichkin L. A., *Workshop on Plant Physiology*, 271 (Agropromizdat, Moscow, 1990).
18. Sinelnikova V. N., Smirnova E. I., *Methodical instructions for determining the salt tolerance of vegetable crops by germination of seeds in saline solutions. Tomatoes*, 18 (VIR, Leningrad, 1975).
19. Viktorov D. P., *Small workshop on physiology of plants*, 135 (High school Publishing House, Moscow, 1983).
20. Pavlenko V. B., *Analysis of experimental data on a computer. Textbook for students of the Faculty of Biology*, 43 (Simferopol, 2007).
21. Protasov K. V., *Statistical analysis of experimental data*, 232 (Mir Publishing House, Moscow, 2005).
22. Munns R., Tester M. Mechanisms of salinity tolerance, *Annu. Rev. Plant Biol*, **59**, 651 (2008).

23. Guimarães F. V. A., de Lacerda C. F., Marques E. C., de Miranda M. R. A., de Abreu C. E. B., Prisco J. T., Gomes-Filho E. Calcium can moderate changes on membrane structure and lipid composition in cowpea plants under salt stress, *Plant Growth Regul.*, **65**, 55 (2011).
24. Udovenko G. V., Semushina L. A., Sinelnikova V. N., Peculiarities of different methods of evaluating salt tolerance of plants, *Methods for evaluating the resistance of plants to adverse environmental conditions*, 228 (Kolos Publishing House, Leningrad, 1976).
25. Zhuk O. I. Formation of adaptive reaction of plants on water deficiency, *Physiology and biochemistry of cultivated plants*, **43**, No. 1, 26 (2001).
26. Maximov N. A., *Selected works on drought resistance of plants. Water regime and drought resistance of plants*, 476 (Science Publishing House, Moscow, 1952).

УДК 612.-014

УПРАВЛЯЕМОЕ ДЫХАНИЕ С ИНДИВИДУАЛЬНО ПОДОБРАННОЙ ЧАСТОТОЙ ИЗМЕНЯЕТ ВРЕМЕННУЮ ОРГАНИЗАЦИЮ СЕРДЕЧНОГО РИТМА В ИНФРАДИАННОМ ДИАПАЗОНЕ

Чуян Е. Н., Миронюк И. С., Бирюкова Е. А.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: irina-mironjuk@rambler.ru*

Исследовано влияние управляемого дыхания с индивидуально подобранной частотой (УДИПЧ) на инфрадианную ритмику сердечного ритма 20-ти условно здоровых студентов-волонтеров женского пола в возрасте 19–22 лет в течение 50-ти суток исследования. Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что 50-тидневное воздействие УДИПЧ способно изменять временную организацию сердечного ритма в инфрадианном диапазоне, что может являться одним из механизмов физиологического действия УДИПЧ.

Ключевые слова: управляемое дыхание с индивидуально подобранной частотой, вариабельность сердечного ритма, инфрадианная ритмика.

ВВЕДЕНИЕ

Особый интерес в последние годы вызывает исследование синхронизации биологических ритмов в живых организмах, жизнедеятельность которых обусловлена взаимодействием большого числа сложных ритмических процессов [1–3]. Ярким примером такого взаимодействия между различными физиологическими ритмами является функционирование сердечно-сосудистой системы (ССС) человека. Наиболее значимыми колебательными процессами, определяющими ее динамику, являются основной сердечный ритм (СР), а также процессы медленной регуляции СР и кровяного давления с собственной частотой вблизи 0,1 Гц [1]. В настоящее время накоплено большое количество экспериментальных данных о влиянии ритмических характеристик дыхания на СР и центральную гемодинамику. Однако большинство физиологических колебаний не являются строго периодическими, обычно ритмы нерегулярно изменяются с течением времени под действием внешних факторов [1]. Ранее в наших исследованиях [4; 5] была показана возможность модулирования вариабельности сердечного ритма (ВСР) испытуемых с помощью метода управляемого дыхания с индивидуально подобранной частотой (УДИПЧ), которая соответствует частоте локализации максимального пика мощности в низкочастотном диапазоне спектра сердечного ритма. Доказано, что УДИПЧ является мощным механизмом управления СР и влияет на функциональное состояние кардиореспираторной системы [5; 6] человека, однако возможность применения УДИПЧ для изменения временной организации сердечного ритма в

инфранианном диапазоне до сих пор не изучена, что и явилось **целью** настоящего исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании принимали участие 33 студента женского пола в возрасте 18–22 лет, условно здоровых, не имеющих хронических заболеваний. Все испытуемые дали добровольное согласие на участие в исследовании на основе полной информированности о методе и ходе проведения процедуры. В качестве метода оценки влияния УДИПЧ на организм человека был использован математический анализ ВСР (в системе оценок, рекомендуемых стандартами Европейского Кардиологического Общества и Северо-Американского общества стимуляции и электрофизиологии [7]). Исследование ВСР проводили ежедневно на протяжении 50-ти суток путем регистрации ЭКГ сигнала в первом стандартном отведении в положении испытуемого сидя при спокойном дыхании в течение 3–5 минут с помощью программно-аппаратного комплекса (ПАК) «Омега-М» (производство научно-исследовательской лаборатории «Динамика», г. Санкт-Петербург).

Предыдущие исследования [4; 5] показали целесообразность разделения всех испытуемых на группы в соответствии со значениями показателя индекса напряженности или стресс-индекса (СИ) [8], который, согласно классификации Р. М. Баевского, отражает активность вегетативной нервной системы. Предварительная запись ВСР выявила индивидуально-типологические отличия у испытуемых, поэтому для исследования были отобраны 20 волонтеров-нормотоников ($50 \leq СИ \leq 200$ усл. ед.). Такой отбор позволил сформировать однородную группу испытуемых, поскольку, как показано в наших предыдущих исследованиях [4; 5], у волонтеров с такими значениями стресс-индекса развивается наиболее типичная реакция на УДИПЧ. Отобранные испытуемые были разделены на две группы: контрольную ($n=10$) и экспериментальную ($n=10$).

У испытуемых контрольной группы запись кардиоинтервалограммы (КИГ) проводили на фоне спонтанного дыхания, а испытуемые экспериментальной группы после ежедневной предварительной регистрации КИГ с помощью ПАК «Омега-М» подвергались действию УДИПЧ, частота которого рассчитывалась индивидуально и соответствовала частоте локализации максимального пика мощности в низкочастотном (LF) диапазоне СР. Подробное описание методики проведения сеанса УДИПЧ представлено в наших предыдущих работах [4; 5].

Критерием эффективности используемого метода УДИПЧ являлось достоверное изменение показателей ВСР у испытуемых экспериментальной группы относительно фоновой записи и записи, зарегистрированной у испытуемых контрольной группы. У испытуемых выделенных групп оценку КИГ проводили с помощью основных методов анализа ВСР [8]: вариационной пульсометрии по Р. М. Баевскому и спектрального анализа СР.

Анализировали следующие показатели методов ВСР:

- индекс напряженности регуляторных систем или стресс-индекс (ИН, Si);
- суммарную мощность спектра (TP) – 0 до 0.4 Гц;
- мощность спектра СР в высокочастотном диапазоне (HF) -0.15 до 0.4 Гц;

- мощность спектра СР в низкочастотном диапазоне (LF) -0.04 до 0.15 Гц [5, 9].

Продолжительность периодов и амплитудно-фазовые характеристики ритмики исследуемых показателей в инфранианном диапазоне рассчитывались с помощью косинор-анализа [10], который является удобным инструментом для обработки данных временных рядов физиологических процессов.

Анализ и графическое представление полученных данных проводили с использованием программных пакетов «Омега-М», Cosinor-Analysis2.4, Excel 2000/XP, CosinorEllipse 2006, «Статистика - 8.0».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты 50-дневного исследования показателей ВСР у испытуемых выделенных групп показали наличие ритмической составляющей в их динамике. С помощью косинор-анализа выявлен определенный набор инфраниантных ритмов для всех изученных показателей ВСР, включающий в себя периоды следующей продолжительности: $\approx 3,00$; $\approx 5,00$; $\approx 7,00$; $\approx 12,00$ суток.

Полученные нами данные подтверждают литературные [11–13]. Известно, что инфраниантная периодика, включающая ритмы такой же или близкой продолжительности, обнаружена в различных биологических процессах, например, в активности ССС, системы крови, вегетативного тонуса и метаболических процессов. Важно подчеркнуть, что близкие периоды в инфранианном диапазоне обнаруживаются и в вариациях геофизических параметров [14]. Такое совпадение может служить дополнительным подтверждением мнения о том, что переменные магнитные поля естественного происхождения могут использоваться организмами как датчики времени в широком диапазоне периодов.

Инфранианная ритмика показателей variability сердечного ритма (ВСР) у испытуемых контрольной группы.

При анализе выделенных ритмов $\approx 3,00$; $\approx 5,00$; $\approx 7,00$; $\approx 12,00$ суток обнаружено, что спектральные показатели ВСР испытуемых контрольной группы колебались с амплитудами от 14,1 до 185,1 усл. ед., а стресс-индекс – с амплитудой от 1,5 до 9,2 усл. ед. (рис. 1). Следует отметить, что в инфранианной ритмике стресс-индекса у испытуемых этой группы доминирующим ритмом, то есть ритмом с наибольшей амплитудой, является ритм $\approx 5,00$ суток, а для всех спектральных показателей (TP, HF, LF) – ритм $\approx 7,00$ суток (рис. 1).

Метод косинор-анализа позволил выявить во всех выделенных периодах фазовые соотношения между спектральными показателями ВСР и стресс-индексом, характеризующиеся определённой разностью фаз между этими показателями (рис. 2).

Изменение инфранианной ритмики показателей variability сердечного ритма у испытуемых экспериментальной группы под влиянием управляемого дыхания с индивидуально подобранной частотой.

У испытуемых экспериментальной группы выявлен набор инфраниантных ритмов той же продолжительности, что и у испытуемых контрольной группы для всех изученных показателей ВСР. Однако их спектры мощности существенно отличались от таковых у испытуемых контрольной группы (см. рис. 1). Так, под влиянием УДИПЧ изменились доминирующие ритмы ВСР по сравнению с

такowymi контрольной группы: для показателя стресс-индекса доминирующим стал ритм $\approx 12,00$ суток, для показателя TP $\approx 5,00$ суток, для остальных спектральных показателей остался неизменным.

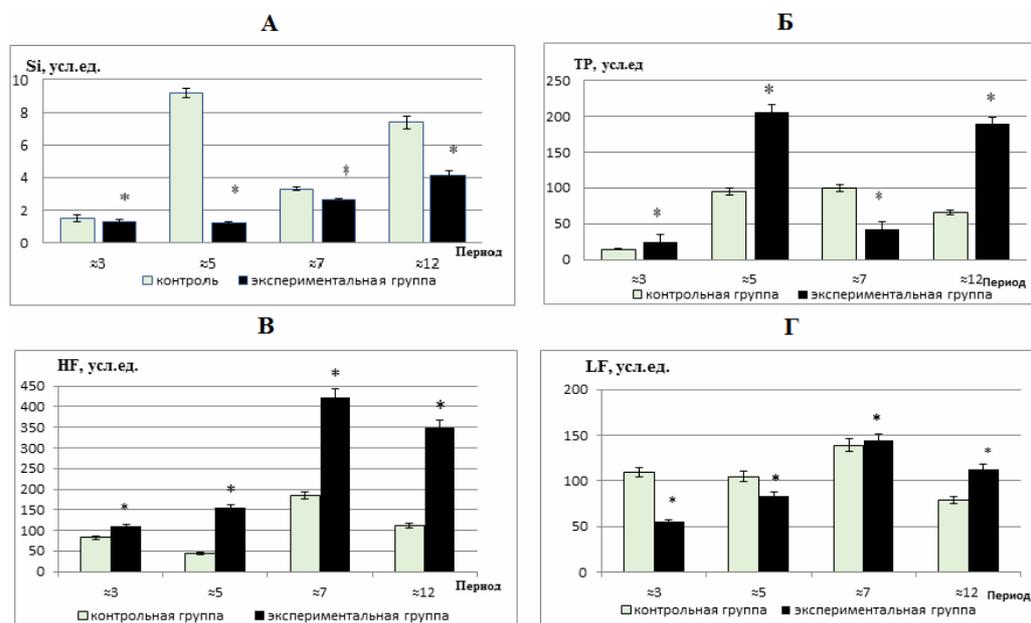


Рис. 1. Амплитуды периодов показателей Si (А), TP (Б), HF (В) и LF (Г) сердечного ритма у испытуемых при спонтанном дыхании (контрольная группа) и под воздействием управляемого дыхания с индивидуально подобранной частотой (экспериментальная группа) в различные периоды.

Примечания: * – достоверность различий $p < 0,05$ по критерию Стьюдента относительно значений показателя контрольной группы испытуемых.

При анализе амплитуды стресс-индекса в выделенных периодах зарегистрировано снижение значений данного показателя относительно значений амплитуд этого показателя в контрольной группе. Так, минимальное снижение амплитуды стресс-индекса зарегистрировано в периоде $\approx 12,00$ суток, при этом амплитуда ритма составила всего 56 % ($p < 0,05$) относительно значений в контроле, а максимальное снижение значения этого показателя наблюдалось в периоде $\approx 5,00$ суток, составив 13 % ($p < 0,05$) от значений в контроле (см. рис. 1).

Кроме этого, нами зарегистрированы разнонаправленные изменения амплитудных значений спектральных показателей ВСР относительно значений данных показателей в контроле.

Следует отметить, что в большей мере происходил рост амплитудных значений HF компоненты спектра СР под влиянием управляемого дыхания. По-видимому, это объясняется тем, что высокочастотные колебания в ВСР связаны с актом дыхания. Доказательством дыхательной природы HF компоненты СР служит совпадение

частоты дыхания с частотой высокочастотного пика спектрограммы. Так, в периодах $\approx 7,00$ и $\approx 12,00$ суток зарегистрировано максимальное увеличение амплитуд HF на 43 % и 31 % ($p < 0,05$) соответственно, а в периодах $\approx 3,00$ и $\approx 5,00$ суток – минимальный прирост на 24 % и 28 % ($p < 0,05$) относительно значений показателя в контроле (см. рис. 1).

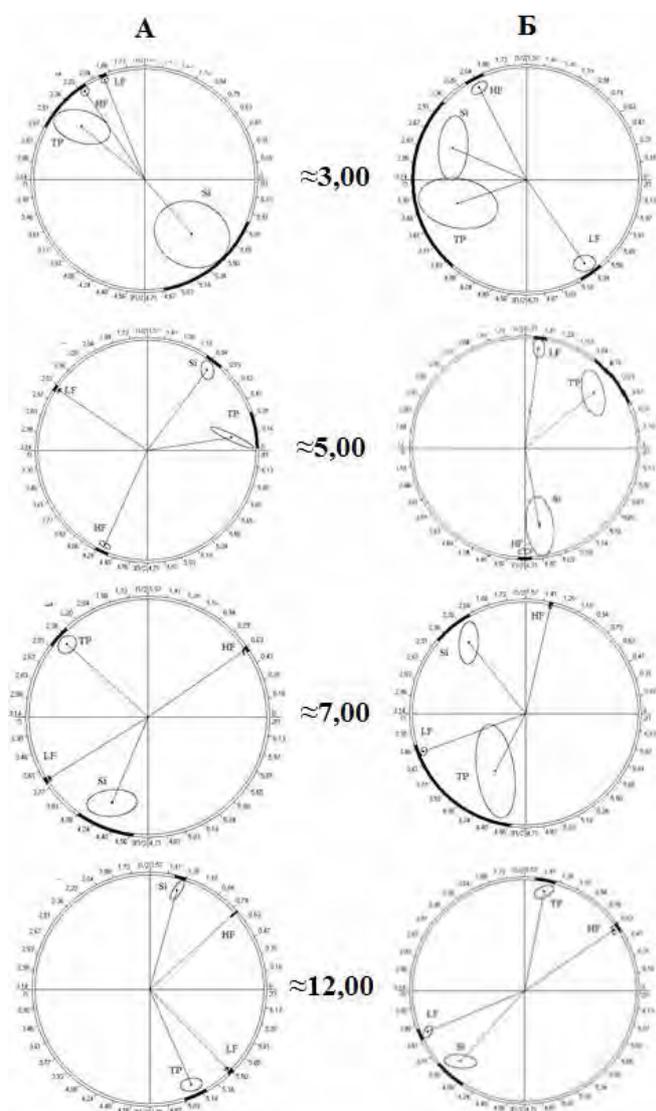


Рис. 2. Косинорограммы соотношения фаз инфрадианной ритмики показателей сердечного ритма у испытуемых при спонтанном дыхании (А) и под воздействием управляемого дыхания с индивидуально подобранной частотой (Б) в периодах $\approx 3,00$; $\approx 5,00$; $\approx 7,00$; $\approx 12,00$ суток.

Наряду с изменением мощности HF компоненты спектра CP произошло изменение общей мощности спектра. Так, в периодах $\approx 5,00$ и $\approx 12,00$ суток наблюдалось увеличение амплитуд TP на 57 % и 49 % соответственно ($p < 0,05$) и снижение амплитуды данного показателя в периоде $\approx 7,00$ суток на 42 % ($p < 0,05$). Следует отметить, что для LF компоненты CP выявлены разнонаправленные изменения амплитуды ритма в разных периодах: в периодах $\approx 7,00$ и $\approx 12,00$ суток зарегистрировано увеличение амплитуд и снижение этого показателя в периодах $\approx 3,00$, $\approx 5,00$ суток соответственно (см. рис. 1).

Отметим, что наряду с изменением амплитуд изученных показателей нами зарегистрированы существенные сдвиги фазовых составляющих во всех выделенных ритмах ВСР у волонтеров экспериментальной группы под влиянием 50-дневного курса управляемого дыхания по сравнению с таковыми в контроле. Так, максимальный сдвиг фазы стресс-индекса зарегистрирован в периоде $\approx 5,00$ суток на 3,9 радиан ($p < 0,001$), а минимальный в периоде $\approx 12,00$ суток на 2,6 радиан ($p < 0,01$) относительно значений контрольной группы испытуемых (рис. 3).

При анализе фаз спектральных показателей CP максимальный фазовый сдвиг для показателя TP на 3,8 радиан ($p < 0,001$) был отмечен в периоде $\approx 12,00$ суток, а минимальный – в периоде $\approx 7,00$ суток на 1,8 радиан ($p < 0,05$) относительно значений контрольной группы (рис. 3). В остальных периодах фазовые изменения данного показателя относительно значений в контроле оказались недостоверными.

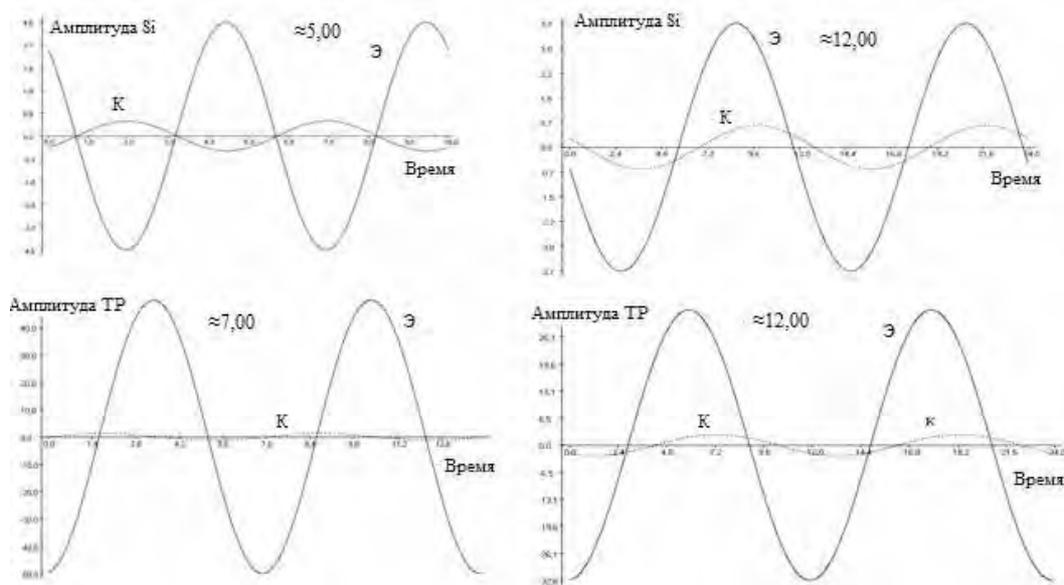


Рис. 3. Фазовые соотношения инфранианной ритмики показателя стресс-индекса и общей мощности спектра (TP) у испытуемых контрольной (К) и экспериментальной (Э) групп в различные периоды.

Для показателя HF достоверный сдвиг фазы на 0,7 радиан зарегистрирован только в периоде $\approx 7,00$ ($p < 0,05$) относительно значений контрольной группы; для LF в периоде $\approx 3,00$ суток максимальный сдвиг на 3,4 радиан ($p < 0,001$), а минимальный – в периоде $\approx 5,00$ суток на 1,1 радиан ($p < 0,05$) относительно значений контрольной группы.

Таким образом, максимальный фазовый сдвиг зарегистрирован для показателя стресс-индекса в периоде $\approx 5,00$ суток, а минимальный в периоде $\approx 7,00$ суток для мощности спектра CP в высокочастотном диапазоне HF относительно значений контрольной группы.

Следует отметить, что нами зарегистрированы и изменения фазовых взаимоотношений исследуемых показателей во всех периодах по сравнению с косинорограммами контрольной группы испытуемых (см. рис. 2).

Таким образом, УДИПЧ оказывает существенное влияние на инфрадианную ритмику исследованных показателей ВСР, выражающееся в значительном изменении амплитуд изученных ритмов и достоверных сдвигах фаз во всех выделенных периодах относительно значений контрольной группы. Возможно, это связано с тем, что применение УД с частотой, подбираемой индивидуально на основе предварительной записи ВСР, можно расценивать как введение периодической компоненты во внешний сигнал с целью гармонизации системы вегетативного управления сердцем, а достоверные изменения показателей функционального состояния кардиореспираторной системы у испытуемых, зарегистрированные в настоящем исследовании, связаны с процессом подстройки эндогенных ритмов под внешний ритм, задаваемый УДИПЧ.

Согласно современным представлениям, в здоровом организме поддерживается строгая, но не жесткая согласованность различных процессов – составляющих гомеостаза [14; 15]. Для синхронизации эндогенных ритмов достаточно очень слабого сигнала, каким и является УДИПЧ, при этом происходит «затягивание» или «захват» близкой частоты [16; 17], что согласуется с концепцией «биологического действия микродоз» различных физических и химических агентов [18]. Данные факты свидетельствуют о возможности использования УДИПЧ в качестве внешнего синхронизатора биологических ритмов.

Таким образом, многократное ежедневное воздействие УДИПЧ способно изменять временную организацию сердечного ритма организма испытуемых в инфрадианном диапазоне. Полученные результаты значительно расширяют представления об инфрадианной ритмике физиологических систем, о биологической активности управляемого дыхания, уточняют некоторые механизмы физиологического действия слабых раздражителей на показатели ССС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Пятидесятидневное управляемое дыхание с индивидуально подобранной частотой изменяет временную организацию сердечного ритма условно здоровых испытуемых в инфрадианном диапазоне.
2. Выявлен определенный набор инфрадиантных ритмов для всех изученных показателей ВСР, включающий в себя периоды следующей

- продолжительности: $\approx 3,00$; $\approx 5,00$; $\approx 7,00$; $\approx 12,00$ суток.
3. Под влиянием управляемого дыхания с индивидуально подобранной частотой зарегистрировано снижение амплитуды стресс-индекса и увеличение амплитуды высокочастотной компоненты спектра СР (HF) во всех выделенных периодах относительно значений данных показателей в контроле. Для общей мощности спектра (TP) и амплитуды низкочастотной компоненты спектра СР (LF) зарегистрированы разнонаправленные изменения амплитудных значений спектральных показателей ВСР в выделенных периодах.
 4. Под влиянием управляемого дыхания с индивидуально подобранной частотой зарегистрированы существенные сдвиги фазовых составляющих во всех выделенных ритмах по сравнению с таковыми в контроле.

Работа выполнена на оборудовании КП ФГАОУ ВО КФУ им. В. И. Вернадского» «Экспериментальная физиология и биофизика».

Выполнено при поддержке Программы развития ФГАОУ ВО «КФУ имени В. И. Вернадского» на 2015–2024 годы в рамках реализации академической мобильности по проекту «Сеть академической мобильности “Академическая мобильность молодых ученых России – АММУР”» в ФГБНУ “Научно-исследовательский институт нормальной физиологии имени П. К. Анохина”».

Выполнено при поддержке внутривузовского гранта «Системные механизмы изменения функционального состояния волонтеров под влиянием биоуправления по опорной реакции».

Список литературы

1. Glass L. Synchronization and rhythmic processes in physiology / L. Glass // Nature. – 2001. – V. 410. – P. 277.
2. Glass L. From clocks to chaos: the rhythms of life. / L. Glass, M. C. Mackey. – Princeton: Princeton University Press, 1988. – P. 214.
3. Mosekilde E. Chaotic synchronization, applications to living systems. / E. Mosekilde, Yu. Maistrenko, D. Postnov – Singapore: World Scientific, 2002. – P. 42.
4. Чернух А. М. Задачи и перспективы развития исследований по хронопатологии и хрономедицине / А. М. Чернух // Хронобиология и хронопатология. Тез. докл. на Всесоюз. конф. – М.– 1981. – С. 1–3.
5. Чуян Е. Н. Особенности системы вегетативного управления сердцем у испытуемых с различным типом вегетативной регуляции / Е. Н. Чуян, Е. А. Бирюкова, М. Ю. Раваева, И. Р. Никифоров. // Ученые записки Таврического нац. ун-та им. В. И. Вернадского. – 2009. – Том 22 (61), № 1. – С. 113–133.
6. Бреус Т. К. Хроноструктура ритмов сердца и факторы внешней среды / Т. К. Бреус, С. М. Чибисов, Р. М. Баевский, К. В. Шебзухов – М. – 2002. – 232 с.
7. Кучук Т. П. Инфраничные ритмы показателей функционального состояния спортсменов-юношей / Т. П. Кучук, Ю. В. Корягина // Современные проблемы науки и образования. – 2006. – № 6 – С. 88–88.
8. Баевский Р. М. Математический анализ сердечного ритма при стрессе / Р. М. Баевский, О. И. Кирилов – М.: Наука, 1984. – 220 с.
9. Чуян Е. Н. Управление дыханием модифицирует связь вариабельности сердечного ритма волонтеров с вариациями гелиогеомагнитных факторов / Е. Н. Чуян, И. С. Миронюк, Е. А. Бирюкова и др. // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. –2015. – 14(6). – С. 35–41
10. Владимирский Б. М. Космос и биологические ритмы. / Б. М. Владимирский, В. Г. Сидякин, Н. А. Темуриянц, В. Б. Макеев, В. П. Самохвалов. – Симферополь, 1995. – 206 с.

11. Нейман Д. Приливные и лунные ритмы / Д. Нейман // Биологические ритмы. – Т. 2. – М., 1984. – С. 5–43.
12. Темурьянц Н. А. Инфрадианная ритмика функционального состояния нейтрофилов и лимфоцитов крови крыс с различными конституционными особенностями / Н. А. Темурьянц, Е. Н. Чуян, А. В. Шехоткин // Биофизика, 1995. – Т. 40, № 5. – С. 1121–1125.
13. Темурьянц Н. А. Изменение инфрадианной ритмики дегидрогеназ лимфоцитов крови крыс при эпифизиэктомии и действии слабых переменных магнитных полей / Н. А. Темурьянц, А. В. Шехоткин // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 1995. – Т. 29, № 3. – С. 39–43.
14. Путилов А. А. Системообразующая функция синхронизации в живой природе / А. А. Путилов. – Новосибирск: Наука, 1987. – 144 с.
15. Арушанян Э. Б. Хронофармакология. / Э. Б. Арушанян – Ставрополь. – 2000. – 424 с.
16. Агулова Л. П. Корреляция макроскопических флуктуаций в биологических и физико-химических процессах с космофизическими факторами / Л. П. Агулова, Н. В. Удальцова, С. Э. Шноль // Электромагнитные поля в биосфере. – М.: Наука, 1984. – Т. 1. – С. 220–224.
17. Бурлакова Е. Б. Воздействие химических агентов в сверхмалых дозах на биологические объекты / Е. Б. Бурлакова, А. А. Конрадов, И. В. Худяков – Изв. АН СССР, 1990. – № 2. – С. 184–193.
18. Деклараційний патент України №38559, МПК 51 А 61N2/00/ на корисну модель «Спосіб корекції функціонального стану організму людини» / О. М. Чуян, О. А. Бірюкова, М. Ю. Раваєва // Опубл. 12.01.2009. Бюл. № 1.

CONTROLLED BREATHING WITH INDIVIDUALLY SELECTED FREQUENCY CHANGES TIME ORGANIZATION OF HEART RHYTHM IN THE INFRADIAN RANGE

Chuyan E. N., Mironyuk I. S., Biryukova E. A.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation
E-mail: irina-mironjuk@rambler.ru*

The effect of controlled breathing with an individually selected frequency (CBISF) on the infradian rhythm of the heart rhythm of 20 healthy female volunteers aged 19–22 was studied during a 50-day study. The results of the study indicate that a 50-day action of the CBISF can change the temporal organization of the heart rate in the infradian range, which can be one of the mechanisms of the physiological effect of the CBISF.

Controlled breathing with individually selected frequency has a significant influence on the infra-rhythmic rhythm of the studied parameters of heart rate variability, expressed in a significant change in the amplitudes of the studied rhythms and reliable phase shifts in all the isolated periods relative to the values of the control group. Perhaps this is due to the fact that the use of controlled respiration with a frequency selected individually based on preliminary recording of heart rate variability can be regarded as the introduction of a periodic component into an external signal in order to harmonize the system of vegetative management of the heart, and significant changes in the functional parameters of the cardiorespiratory system in Subjects registered in this study are related to the process of adjusting endogenous rhythms to an external rhythm given by controlled breathing with an individually selected frequency.

Thus, the repeated daily exposure to controlled respiration with an individually selected frequency can change the temporal organization of the heart rhythm of the body of the subjects in the infradian range. The results greatly expand the understanding of the infra-rhythmic rhythm of physiological systems, the biological activity of controlled respiration, clarify some mechanisms of the physiological effect of weak stimuli on the cardiovascular system.

Keywords: controlled breathing with individually selected frequency, heart rate variability, infradian rhythm.

References

1. Glass L. Synchronization and rhythmic processes in physiology. *Nature*, **410**, 277 (2001).
2. Glass L., Mackey M. C. *From clocks to chaos: the rhythms of life*, 214 (Princeton: Princeton University Press, 1988).
3. Mosekilde E., Maistrenko M. Yu., Postnov D. *Chaotic synchronization, applications to living systems*, 42 (E–Singapore: World Scientific, 2002).
4. Chernuh A. M. *Zadachi i perspektivy razvitiya issledovaniy po hronopatologii i hronomedicine*. Hronobiologiya i hronopatologiya. Tez. dokl. na Vsesoyuz. konf., 3 (M., 1981).
5. Chuyan E. N., Biryukova E. A., Ravaeva M. Y. [et al.] Osobennosti sistemy vegetativnogo upravleniya serdcem u ispytuemykh s razlichnym tipom vegetativnoj regulyacii. *Uchenye zapiski Tavricheskogo nac. un-ta im. V. I. Vernadskogo*, **22 (61)**, 1, 133 (2009).
6. Breus T. K., Chibisov S. M., Baevskij R. M. [et al.] *Hronostruktura ritmov serdca i faktory vneshnej sredy*, 232 (M., 2002).
7. Kuchuk T. P., Koryagina Y. V. Infradiannye ritmy pokazatelej funkcional'nogo sostoyaniya sportsmenov-yunoshej. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, **6**, 88 (2006).
8. Baevskij R. M. *Matematicheskij analiz serdechnogo ritma pri stresse O. I. Kirilov*, 220 (M.: Nauka, 1984).
9. Chuyan E. N., Mironyuk I. S., Biryukova E. A. [et al.] Upravlenie dyhaniem modificiruet svyaz' variabel'nosti serdechnogo ritma volonterov s variaciyami geliogeomagnitnyh faktorov. *Fizioterapiya, bal'neologiya i reabilitaciya*, **14 (6)**, 35 (2015).
10. Vladimirkij B. M., Sidyakin V. G., Temur'yanc N. A. [et al.] *Kosmos i biologicheskie ritmy*, 206 (Simferopol', 1995).
11. Nejman D. Prilivnye i lunnye ritmy. *Biologicheskie ritmy*, **2**, 43 (M., 1984).
12. Temur'yanc N. A., Chuyan E. N., Shekhotkin A. V. Infradiannayarimika funkcional'nogo sostoyaniya nejtrofilov i limfocitov krovi kryz s razlichnymi konstitucionnymi osobennostyami. *Biofizika*, **40 (5)**, 1125 (1995).
13. Temur'yanc N. A., Shekhotkin A. V. Izmenenie infradiannoj ritmiki degidrogenaz limfocitov krovi kryz pri ehpfizehktomii i dejstvii slabyh peremennyh magnitnyh polej. *Aviakosmicheskaya i ehkologicheskaya medicina*, **29 (3)**, 43(1995).
14. Putilov A. A. *Sistemoobrazuyushchaya funkciya sinhronizacii v zhivoj prirode*, 144 (Novosibirsk: Nauka, 1987).
15. Arushanyan E. B. *Hronofarmakologiya*, 424 (Stavropol', 2000).
16. Agulova L. P., Udal'cova N. V., Shnol' S. E. Korrelyaciya makroskopicheskikh fluktuacij v biologicheskikh i fiziko-himicheskikh processah s kosmofizicheskimi faktorami, *Ehlektronnymye polya v biosfere*, **1**, 224 (M.: Nauka, 1984).
17. Burlakova E. B., Konradov A. A., Hudyakov I. V. Vozdejstvie himicheskikh agentov v sverhmalyh dozah na biologicheskie obekty, *Izv. AN SSSR*, **2**, 193 (1990).
18. Deklaracijnij patent Ukrainu №38559, MPK 51 A 61N2/00/ na korisnu model' „Sposib korekcii funkcional'nogo stanu organizmu lyudini”/ Chuyan O. M., Biryukova O. A., Ravaeva M. YU. // Opubl. 12.01.2009 Byul. № 1.

УДК 633.81:57.085.2

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ, ТИПА ЭКСПЛАНТА
И ГЕНОТИПА НА КЛОНАЛЬНОЕ МИКРОРАЗМНОЖЕНИЕ
*MELISSA OFFICINALIS L.***

Якимова О. В., Егорова Н. А.

***ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: olyyakimova@yandex.ru***

В результате исследований выявлены особенности влияния состава питательной среды, типа экспланта, генотипа и типа культурального сосуда на развитие микропобегов Melissa лекарственной (*Melissa officinalis L.*) на 1–3 этапах клонального микроразмножения. Показано, что на втором этапе микроразмножения для сортов Соборная и Крымчанка оптимальной была питательная среда МС с добавлением 0,5 мг/л БАП (коэффициенты размножения составили 19,9 и 17,6 соответственно), а для сорта Цитронелла – среда с добавлением 1,0 мг/л кинетина (коэффициент размножения 19,3). Для укоренения сортов Цитронелла и Соборная подобрана питательная среда МС, дополненная 0,5 мг/л НУК, а для сорта Крымчанка – 1,0 мг/л ИУК. Проведенные исследования являются основой для разработки методики клонального микроразмножения *in vitro M. officinalis L.*

Ключевые слова: *Melissa officinalis L.*, клональное микроразмножение, эксплант, *in vitro*.

ВВЕДЕНИЕ

Мелисса лекарственная (*Melissa officinalis L.*) – травянистое лекарственное, эфиромасличное и пряно-ароматическое растение. Мелисса широко применяется в медицине, ее эфирное масло обладает успокаивающим действием. Это растение также используется как медонос, пряность в кулинарии, входит в состав ароматических чаев [1–3]. Эфирное масло мелиссы достаточно дорогое, а его содержание в сырье варьирует от 0,01 до 0,2 % (на абсолютно сухую массу) и лишь в некоторых случаях достигает 0,45 % [4; 5]. В связи с этим в ФГБУН «НИИСХ Крыма» проводится селекционная работа с целью получения высокомасличных и высокопродуктивных сортов *M. officinalis* [4].

Для осуществления селекции на современном уровне весьма эффективно привлечение биотехнологических методов, одним из которых является клональное микроразмножение. Методы размножения *in vitro* распространены и на лабораторном уровне отработаны для многих видов растений [6]. По сравнению с традиционными методами семенного и вегетативного размножения клональное микроразмножение имеет ряд преимуществ – более высокий коэффициент размножения, сокращение сроков селекции, возможность получения однородного оздоровленного посадочного материала [7]. В литературе встречаются отдельные данные о проведении исследований, касающихся культивирования изолированных тканей и органов

M. officinalis in vitro [8–13]. В частности, это работы, связанные с получением каллусных культур и клеточных суспензий, для выделения продуктов вторичного метаболизма [3]. Также изучались некоторые аспекты влияния состава питательной среды и условий культивирования на микроразмножение Melissa в культуре *in vitro* и адаптации микропобегов *in vivo* [10–13].

В связи с этим целью нашего исследования было изучение влияния ряда факторов (состава питательной среды, типа экспланта, генотипа, типа культурального сосуда) на развитие эксплантов на основных этапах клонального микроразмножения Melissa.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследований служили ткани и органы растений Melissa лекарственной (*Melissa officinalis* L.) сортов Цитронелла, Соборная и Крымчанка. В качестве эксплантов использовали меристемы с двумя листовыми примордиями и сегменты стебля с одним узлом, выделенные из растений, выращенных в условиях закрытого грунта. Работу в асептических условиях и приготовление питательных сред осуществляли согласно общепринятым методикам по культуре клеток, тканей и органов [14]. Стерилизацию растительного материала проводили путем последовательной обработки 70 % этанолом (1 мин) и 50 % раствором препарата «Брадофен» (6 мин) [15]. В разных вариантах опыта в качестве культуральных сосудов использовали пробирки или колбы (объемом 150 мл), закрывающиеся ватно-марлевыми пробками, и банки (объемом 200 мл), закрывающиеся фольгой. На питательную среду помещали экспланты из расчета 1 шт. на 10 мл питательной среды. Экспланты культивировали на различных модификациях питательной среды Мурасиге и Скуга (МС) с добавлением ИУК, НУК, БАП, тидиазурона (ТДЗ), кинетина (кин.), гибберелловой кислоты (ГК). Культивирование проводили в культуральной комнате при температуре 25 ± 2 °С, относительной влажности воздуха 70 % и освещенности 2–3 тысячи люкс с фотопериодом 16 часов. Анализ морфометрических показателей (количества и длины побегов, числа узлов на побеге, частоты множественного побегообразования, количества и длины корней) проводили на 30-е сутки культивирования. Расчет коэффициента размножения осуществляли путем умножения количества побегов на эксплант на количество узлов на побеге. В каждом варианте опыта анализировали не менее 20-ти эксплантов, повторность опыта 2–3-х кратная. Статистическую обработку данных проводили согласно стандартным методам [16], с использованием пакета программ Microsoft Office (Excel 2010).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что процесс клонального микроразмножения состоит из четырех этапов: введения в культуру *in vitro*, собственно микроразмножения, укоренения *in vitro* и адаптации полученных микропобегов к условиям *in vivo*. На первом этапе микроразмножения важным условием успешного культивирования является получение асептической культуры [6; 17]. При помещении эксплантов на

питательную среду развитие основного, а иногда и адвентивных побегов, отмечали на 7–10 сутки культивирования. В ходе проведенных ранее исследований установлено, что на этапе введения в культуру лучшее развитие сегментов стебля с одним узлом у сорта Цитронелла было при использовании в составе питательной среды БАП, а также при добавлении к БАП гибберелловой кислоты [18].

На развитие эксплантов на разных этапах микроразмножения *in vitro* оказывает влияние комплекс факторов [7]. В связи с этим изучали влияние состава питательной среды, генотипа и типа экспланта на морфогенез *M. officinalis* на этапе введения в культуру *in vitro*. При введении в культуру в качестве эксплантов использовали меристемы и сегменты стебля с одним узлом сортов Цитронелла и Соборная. Установлено, что при культивировании меристем сорта Цитронелла на безгормональной питательной среде морфометрические показатели микропобегов были минимальными. На других модификациях питательной среды МС проанализированные показатели у этого сорта достоверно не отличались (табл. 1). При этом длина побегов варьировала от 5,8 мм до 6,3 мм, а количество побегов на эксплант – от 1,1 шт. до 1,3 шт. Для сорта Соборная лучшие показатели развития микропобегов при культивировании меристем были получены на питательной среде МС18, содержащей 1,0 мг/л БАП и 0,5 мг/л ГК. При этом было отмечено максимальное число побегов на эксплант – 4,2 шт., а средняя длина побега составила 8,2 мм.

При культивировании сегментов стебля с узлом также отмечали различия между сортами. У сорта Соборная наибольшую длину побегов наблюдали на средах МС31 (32,1 мм) и МС18 (29,7 мм), а максимальное количество побегов на эксплант – на среде МС18 (3,3 шт.). У сорта Цитронелла наибольшая длина побегов была при использовании питательной среды МС18 (18,8 мм), лучшие показатели количества побегов – на средах МС17 и МС18 (5,6 шт. и 4,6 шт. соответственно). Следует отметить, что полученные из меристем микропобеги по всем морфометрическим показателям уступали побегам, развивающимся из сегментов стебля с узлом.

Анализ имеющихся литературных данных показал, что разные исследователи также изучали влияние типа экспланта на микроразмножение *M. officinalis* в культуре *in vitro*. При этом они использовали сегменты стебля с узлом, верхушки побегов, сегменты междоузлий, а также фрагменты листьев и корней [5; 9–1]. Некоторые авторы отмечали побегообразование не только из верхушек побегов, но и из каллусов, формирующихся у основания эксплантов [11]. Как известно, образование побегов из каллусной ткани нежелательно при микроразмножении, так как высока вероятность получения соматональных вариантов. В наших исследованиях не отмечено образования каллуса у основания побегов, в отличие от упомянутой работы.

Основной целью второго этапа микроразмножения является получение максимального коэффициента размножения. На этапе собственно микроразмножения в качестве эксплантов использовали сегменты стебля с одним узлом трех сортов мелиссы, вычлененные из микропобегов, полученных при введении *in vitro*. Изучено влияние состава питательной среды и генотипа на микроразмножение мелиссы, при этом было испытано 6 вариантов питательной среды МС, дополненной БАП, кинетином и ТДЗ в различных концентрациях. Анализ

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ, ТИПА ЭКСПЛАНТА ...

морфометрических параметров показал, что у исследуемых сортов длина побегов варьировала от 35,1 мм до 70,3 мм, в зависимости от состава питательной среды.

Таблица 1

Влияние состава питательной среды, сорта и типа экспланта на развитие эксплантов *M. officinalis* на первом этапе клонального микроразмножения

Морфометрические параметры	Сорт	Тип экспланта	№ питательной среды МС и гормональные добавки в составе среды, мг/л				
			МС1 (6г)	МС17 (БАП – 0,5)	МС18 (БАП –1,0; ГК – 0,5)	МС31 (кин- 0,5)	МС20 (кин- 1,0; ГК -0,5)
Количество побегов, шт./эксплант	Цитронелла	меристемы	1,1±0,1	1,3±0,1	1,2±0,1	1,2±0,1	1,1±0,1
		сегменты стебля с узлом	2,0±0,3	5,6±1,9	4,6±0,6	2,4±0,2	2,3±0,3
	Соборная	меристемы	1,2±0,2	2,6±0,5	4,2±0,2	1,4±0,2	1,1±0,1
		сегменты стебля с узлом	1,4±0,2	1,8±0,2	3,3±0,6	2,3±0,5	1,4±0,2
Количество узлов, шт./побег	Цитронелла	меристемы	1,0±0,1	1,1±0,1	1,1±0,1	1,2±0,1	1,0±0,1
		сегменты стебля с узлом	1,0±0,4	1,1±0,1	1,5±0,1	1,4±0,1	1,6±0,2
	Соборная	меристемы	1,1±0,1	1,3±0,1	1,2±0,1	1,0±0,1	1,1±0,1
		сегменты стебля с узлом	1,1±0,1	1,5±0,1	2,3±0,2	2,0±0,3	1,1±0,1
Длина побега, мм	Цитронелла	меристемы	4,1±0,4	6,2±0,6	5,8±0,5	5,9±0,5	6,3±0,6
		сегменты стебля с узлом	16,7±3,3	11,9±1,3	18,8±2,1	11,4±1,3	13,7±1,9
	Соборная	меристемы	5,3±0,6	9,4±1,1	8,2±0,5	5,3±0,3	6,8±0,8
		сегменты стебля с узлом	5,5±0,7	13,5±1,4	29,7±2,4	32,1±4,5	7,8±0,4
Частота множественного побегообразования, %	Цитронелла	меристемы	11,1±0,1	25,0±1,1	17,6±4,5	23,5±2,6	6,3±0,3
		сегменты стебля с узлом	80,0±13,3	100	50,0±5,9	41,7±4,9	25,0±1,4
	Соборная	меристемы	22,2±4,7	68,8±4,6	41,2±3,3	23,5±2,6	12,5±0,5
		сегменты стебля с узлом	30,0±5,3	53,3±3,3	66,6±4,2	71,4±18,4	33,5±3,3

Следует отметить, что на испытанных вариантах питательной среды у изученных генотипов наблюдали множественное побегообразование с частотой от 20,0 до 91,7 %. Наибольшее число побегов на эксплант (4,3–6,3 шт.) для всех исследуемых генотипов отмечали на средах с добавлением 0,5 мг/л и 1,0 мг/л БАП. Максимальный коэффициент размножения у сортов Соборная и Крымчанка (19,9 и 17,6 соответственно) был на питательной среде с добавлением 0,5 мг/л БАП, а у сорта Цитронелла – с добавлением 1,0 мг/л кинетина (19,3), хотя среда с 1,0 мг/л БАП обеспечивала достоверно неотличающийся высокий коэффициент размножения (17,0) (рис. 1). У сортов Соборная и Крымчанка на некоторых вариантах питательной среды наблюдали индукцию корнеобразования у микропобегов, которая варьировала от 44,4 до 92,7 %, что в некоторых случаях позволяет исключить этап укоренения *in vitro*, сократив при этом сроки клонального микроразмножения.

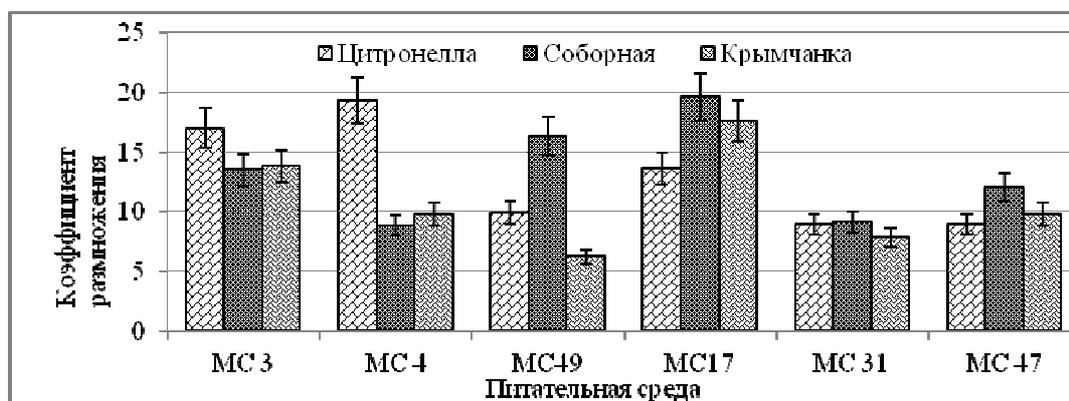


Рис. 1. Влияние состава питательной среды и сорта на коэффициент размножения Melissa на 2-м этапе микроразмножения. Гормональные добавки в составе питательной среды МС (мг/л): МС3 (БАП-1,0); МС4 (кин.-1,0); МС49 (ТДЗ-1,0); МС17 (БАП-0,5); МС31 (кин.-0,5); МС47 (ТДЗ-0,5).

Мефтахизейд с соавторами установили, что максимальное количество побегов на эксплант (3,2–4,1 шт.) у Melissa развивалось при культивировании на питательной среде с 3,0 мг/л БАП и 1,0 мг/л НУК [10, 11]. В наших исследованиях максимальное число побегов получено при более низких концентрациях БАП (0,5–1,0 мг/л) без добавления в состав среды НУК. Греческие исследователи наибольшую частоту множественного побегообразования и число побегов (до 4 шт.) наблюдали при культивировании микропобегов *M. officinalis* на питательной среде с добавлением 1,0 мг/л кинетина и 0,5 мг/л БАП [9]. Ученые из Ирана у большинства из изученных 17-ти генотипов Melissa отмечали хорошую регенерацию микропобегов при использовании в составе питательной среды 2,0 мг/л БАП или 1,0 мг/л БАП с 0,5 мг/л ИМК [12].

В процессе оптимизации условий культивирования Melissa изучено влияние типа культурального сосуда (колбы и банки) и сорта на развитие микрочеренков Melissa на

втором этапе микроразмножения *in vitro* (табл. 2). Показано, что у сортов Цитронелла и Крымчанка при культивировании в банках количество побегов на эксплант было в 1,5–2,0 раза выше, чем в колбах. У сорта Соборная тип культурального сосуда не оказал достоверного влияния на этот показатель. Длина побегов при культивировании в банках у большинства генотипов также была в 1,5–2,0 раза выше, чем при культивировании в колбах. Коэффициенты размножения у сортов Цитронелла и Крымчанка при культивировании в банках были достоверно выше (14,9 и 14,2 соответственно), чем в колбах (7,0 и 7,5 соответственно). В то же время у сорта Соборная тип культурального сосуда не влиял на коэффициент размножения. В результате проведенных исследований установлено, что на втором этапе микроразмножения мелиссы в качестве культурального сосуда целесообразно использование банок объемом 200 мл, закрывающихся фольгой.

Таблица 2

Влияние типа культурального сосуда и сорта на развитие побегов мелиссы на втором этапе клонального микроразмножения

Сорт	Тип культурального сосуда	Количество побегов, шт./эксплант	Количество узлов, шт.	Длина побега, мм	Коэффициент размножения
Цитронелла	колба	2,9±0,2	2,7±0,3	26,8±2,9	7,0±0,5
	банка	5,5±0,9	2,8±0,3	43,5±6,4	14,9±1,2
Соборная	колба	4,1±0,4	2,2±0,3	19,4±2,8	9,0±0,6
	банка	3,6±0,4	2,5±0,2	29,0±2,5	9,0±0,4
Крымчанка	колба	3,4±0,3	2,2±0,2	32,1±4,6	7,5±0,5
	банка	4,9±0,6	2,9±0,1	29,1±1,8	14,2±0,9

Так как у мелиссы на втором этапе микроразмножения не все сорта обладали высокой ризогенной способностью, то дальнейшей задачей стала оптимизация гормонального состава питательной среды для укоренения полученных *in vitro* побегов. При анализе влияния состава питательной среды и генотипа на третьем этапе микроразмножения мелиссы было испытано шесть модификаций питательной среды МС, дополненной ИМК, НУК и ИУК. У исследуемых сортов была отмечена высокая частота укоренения (до 77,8–93,8 %) на большинстве питательных сред (рис. 2). Однако максимальные показатели укоренения у сортов Цитронелла и Соборная были на среде, содержащей 0,5 мг/л НУК, на которой формировалось 10,1 шт. и 13,6 шт. корней на побег, имеющих длину 20,4 мм и 15,2 мм соответственно. У сорта Крымчанка лучшее корнеобразование отмечено на питательной среде, дополненной 1,0 мг/л ИУК (количество корней – 8,7 шт., длина корней – 32,9 мм). Следует отметить, что на этих питательных средах у исследуемых сортов, наряду с формированием основного корня, наблюдали хорошее развитие боковых корней, что важно при дальнейшей адаптации растений к условиям *in vivo*.

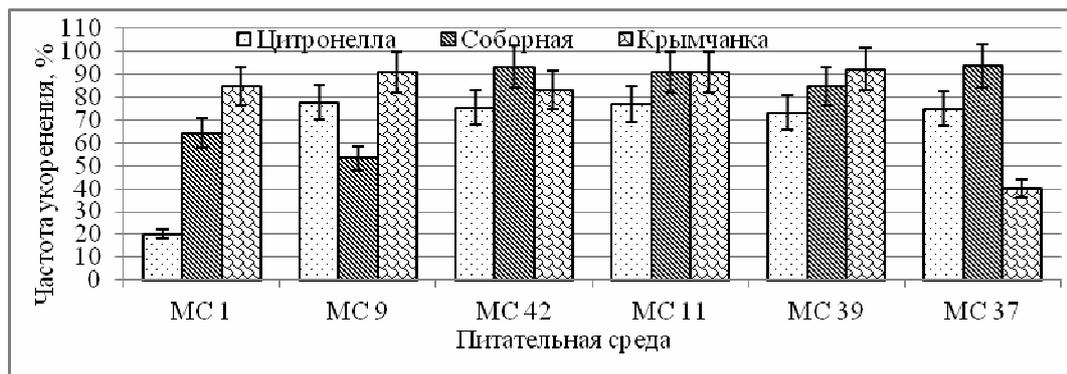


Рис. 2. Влияние состава питательной среды и сорта на частоту укоренения микропобегов мелиссы *in vitro*. Гормональные добавки в составе питательной среды МС (мг/л): МС 1 (без гормонов); МС 9 (НУК-1,0); МС 42 (НУК-0,5); МС 11 (ИУК-1,0); МС 39 (ИМК-1,0); МС 37 (ИМК-0,5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований были выявлены особенности влияния состава питательной среды, типа экспланта, генотипа и типа культурального сосуда на развитие меристем и сегментов стебля с одним узлом трех сортов *M. officinalis* на 1–3 этапах клонального микроразмножения.

Установлено, что при введении в культуру *in vitro* максимальное количество побегов и их длина у сорта Соборная были на среде МС, дополненной 1,0 мг/л БАП и 0,5 мг/л ГК, а у сорта Цитронелла – на питательной среде МС, содержащей 0,5 мг/л кинетина, или 1,0 мг/л БАП и 0,5 мг/л ГК. Выявлено, что морфометрические показатели развития микропобегов из сегментов стебля с одним узлом были в 1,5–2 раза выше, чем из меристем.

На втором этапе микроразмножения мелиссы у сортов Соборная и Крымчанка оптимальной была питательная среда с добавлением 0,5 мг/л БАП (коэффициенты размножения составили 19,9 и 17,6 соответственно), а у сорта Цитронелла – среда с добавлением 1,0 мг/л кинетина (коэффициент размножения 19,3). В качестве культурального сосуда на втором этапе микроразмножения целесообразно использование банок объемом 200 мл, закрывающихся фольгой.

Максимальная частота укоренения для сортов Цитронелла и Соборная была отмечена на среде, дополненной 0,5 мг/л НУК, при этом количество корней составило 10,1 шт. и 13,6 шт. соответственно. Для сорта Крымчанка самые высокие показатели корнеобразования выявлены на питательной среде, дополненной 1,0 мг/л ИУК (количество корней – 8,7 шт.).

Данные исследования позволили оптимизировать условия культивирования для основных этапов размножения *in vitro*, что является основой для разработки методики клонального размножения *M. officinalis*.

Список литературы

1. Быков В. А. Атлас лекарственных растений России / В. А. Быков, В. А. Зайко, Н. Т. Конон [и др.]. – М.: Всероссийский НИИ лекарственных и ароматических растений, 2006. – 345 с.
2. Назаренко Л. Г. Эфироны юга Украины / Л. Г. Назаренко, А. В. Афонин. – Симферополь : Таврия, 2008. – 144 с.
3. Silva S. Essential Oil Composition of *Melissa officinalis* L. Produced under the Influence of growth regulators / S. Silva, A. Sato, C. L. Salgueiro Lage [et al.] // J. Braz. Chem. – 2005. – No 16. – P. 1387–1390.
4. Невкрытая Н. В. Итоги работы по созданию нового сорта *Melissa officinalis* L. / Н. В. Невкрытая, Э. Д. Аметова, М. П. Марченко // Ученые записки ТНУ им. В. И. Вернадского, серия биология и химия. – 2014. – Т. 27 (66), № 5. – С. 110–118.
5. Moradkhani H. *Melissa officinalis* L., a valuable medicine plant: A review / H. Moradkhani, E. Sargsyan, H. Bibak [et al.] // J. of Medicinal Plants Research. – 2010. – Vol. 4, No 25. – P. 2753–2759.
6. Кушнір Г. П. Мікроклональне розмноження рослин. Теорія і практика / Г. П. Кушнір, В. В. Сарнацька. – Київ: Наукова думка, 2005. – 270 с.
7. Калашникова Е. А. Клеточная инженерия растений: Учебное пособие / Е. А. Калашникова. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. – 318 с.
8. Galeş R. Aspects of floral structure and morphogenesis in *Melissa officinalis* / R. Galeş, A. Preotu, C. Toma // Biology vegetable. – 2010. – No 2. – P. 15–17.
9. Ghiorghita G. I. Investigations on the *in vitro* morphogenetic reaction of *Melissa officinalis* L. species / G. I. Ghiorghita, D. E. St. Maftai, D. N. Nicuta // Anal.stiintifice ale Universitatii "AlexandruIoan Cuza", Geneticasi Biologie Moleculara. – 2005. – Vol. 5. – P. 119–126.
10. Meftahizade H. Improved *in vitro* culture and micropropagation of different *Melissa officinalis* L. genotypes / H. Meftahizade, H. Moradkhani, B. Naseri [et al.] // J. of Medicinal Plants Research. – 2010. – Vol. 4, No 3. – P. 240–246.
11. Meftahizade H. Optimization of micropropagation and establishment of cell suspension culture in *Melissa officinalis* L. / H. Meftahizade, M. Lotfi, H. Moradkhani // African J. of Biotechnology. – 2010. – Vol. 9, No 28. – P. 4314–4321.
12. Mohebalipour N. Effect of plant growth regulators BAP and IAA on micropropagation of Iranian lemon balm (*Melissa officinalis* L.) landraces / N. Mohebalipour, S. Aharizad, S. A. Mohammadi [et al.] // Journal of Food, Agriculture & Environment. – 2012. – V. 10 (1). – P. 280–286.
13. Tavares A. C. Micropropagation of *Melissa officinalis* L. through proliferation of axillary shoots / A. C. Tavares, M. C. Pimenta, M. T. Gonsalves // Plant Cell Repts. – 1986. – Vol. 15, No 6. – P. 441–444.
14. Калинин Ф. Л. Методы культуры тканей в физиологии и биохимии растений / Ф. Л. Калинин, В. В. Сарнацкая, В. Е. Полищук. – Киев: Наукова думка, 1980. – 488 с.
15. Якимова О. В. Введение в культуру *in vitro* *Melissa officinalis* L. / О. В. Якимова, Н. А. Егорова // Перспективы интродукции декоративных растений в ботанических садах и дендропарках: материалы межд. научной конференции. – Симферополь: Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, 2014. – С. 196–198.
16. Лакин Г. Ф. Биометрия: уч. пособие [для биол. спец. вузов] – 4-е изд., перераб. и доп. / Г. Ф. Лакин. – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
17. Мельничук М. Д. Біотехнологія рослин: підручник / М. Д. Мельничук, Т. В. Новак, В. А. Кунах. – К.: Поліграф Консалтинг, 2003. – 520 с.
18. Якимова О. В. Особенности морфогенеза эксплантов *Melissa officinalis* L. на первом этапе микроразмножения *in vitro* / О. В. Якимова, Н. А. Егорова // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – №3 (60). – С. 339–344.

INFLUENCE OF NUTRIENT MEDIUM COMPOSITION, EXPLANT TYPE AND GENOTYPE ON CLONAL MICROPROPAGATION OF *MELISSA OFFICINALIS* L.

Yakimova O. V., Yegorova N. A.

FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea", Simferopol, Russian Federation

E-mail: olyyakimova@yandex.ru

Lemon balm (*Melissa officinalis* L.) is a promising medicinal, essential oil and spicy aromatic plant. Currently, breeding work is carried out to obtain high-oil cultivars because the content of essential oil in the raw materials of lemon balm is rather low. To increase the efficiency of breeding with this valuable plant, it is expedient to apply biotechnological methods, one of which is clonal micropropagation.

The aim of study was to investigate the influence of some factors (explant type, nutrient medium composition, genotype and type of culture bottle) on lemon balm clonal micropropagation. The results of the studies led to the optimization of the conditions of *M. officinalis* explants cultivation at the first, second and third stages of clonal micropropagation. The studies revealed that maximum number of shoots and their length for cultivar Sobornaya was on MS nutrient medium supplemented with BAP (1.0 mg/l) and GA (0.5 mg/l) and for cultivar Citronella - on MS nutrient medium supplemented with kinetin (0.5 mg/l) or BAP (1.0 mg/l) and GA (0.5 mg/l). It was found that morphometric parameters of microshoots development from stem segments with one node were 1.5-2 higher than from meristems.

At the second stage of micropropagation the nutrient medium supplemented with 0.5 mg/l BAP was optimum for lemon balm cultivars Sobornaya and Krymchanka (multiplication index were 19.9 and 17.6, respectively), and for cultivar Citronella – nutrient medium supplemented with 1.0 mg/l kinetin (multiplication index 19.3). As a culture vessel for the second stage of lemon balm micropropagation it is preferable to use glass jar (200 ml) closed with aluminium foil.

Maximum frequency of rooting for Citronella and Sobornaya cultivars was noted on nutrient medium supplemented with 0.5 mg/l NAA, number of roots in this case reached 10.1 pcs. and 13.6 pcs., respectively. For Krymchanka cultivar, the highest rooting parameters were revealed on a nutrient medium supplemented with 1.0 mg/l of IBA (number of roots was 8.7 pcs.).

Results of the study allowed to optimize of cultivation conditions for the major stages of propagation *in vitro* and are the basis for developing methods of *M. officinalis* clonal micropropagation.

Keywords: *Melissa officinalis* L., clonal micropropagation, explant, *in vitro*.

References

1. Bykov V. A., Zayko V. A. and Konon N. T. *Atlas of medicinal plants of Russia*, 345 (M.:All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Moscow , 2006).
2. Nazarenko L. G. and Afonin A. V. *Volatile-oil-bearing plants on the south of Ukraine*, 144 (S.: Tauria, Simferopol, 2008).

3. Silva S., Sato A., Salgueiro Lage C. L., Silva San Gil R. A., Almeida Azevedo A. and Esquibel M. A. Essential Oil Composition of *Melissa officinalis* L. Produced under the Influence of growth regulators. *J. Braz. Chem.*, **16**, 1387 (2005).
4. Nevkrytaya N. V., Ametova E. D. and Marchenko M. P. The outcome of creating new variety of *Melissa officinalis* L. *Scientific Notes of Taurida National V. I. Vernadsky University, Biology and Chemistry series.*, **27 (66), 5**, 110 (2014).
5. Moradkhani H., Meftahizade H. and Naseri B. *Melissa officinalis* L., a valuable medicine plant: A review. *J. of Medicinal Plants Research*, **4, 25**, 2753 (2010).
6. Kushnir G. P. and Sarnatskaya V. V. *Microclonal propagation of plants. Theory and practice*, 270 (K.: Naukova dumka, Kiev, 2005).
7. Kalashnikova E. A. *Cell engineering of plants: Textbook*, 318 (M.: Publishing office: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (RGAU-MSHA), Moscow, 2012).
8. Galeş R., Preotu A. and Toma C. Aspects of floral structure and morphogenesis in *Melissa officinalis*. *Biology vegetable*. **2**, 15 (2010).
9. Ghiorghita G. I., Maftai D. E. St. and Nicuta D. N. Investigations on the *in vitro* morphogenetic reaction of *Melissa officinalis* L. species. *Anal. stiintifice ale Universitatii "Alexandru Ioan Cuza", Geneticasi Biologie Moleculara*, **5**, 119 (2005).
10. Meftahizade H., Moradkhani H., Naseri B., Lofti M. and Naseri A. Improved *in vitro* culture and micropropagation of different *Melissa officinalis* L. genotypes. *J. of Medicinal Plants Research*. **4, 3**, 240 (2010).
11. Meftahizade H., Lotfi M. and Moradkhani H. Optimization of micropropagation and establishment of cell suspension culture in *Melissa officinalis* L. *African J. of Biotechnology*. **9, 28**, 4314 (2010).
12. Mohebalipour N., Aharizad S., Mohammadi S. A., Motallebiazar A. R. and Arfi H. M. Effect of plant growth regulators BAP and IAA on micropropagation of Iranian lemon balm (*Melissa officinalis* L.) landraces. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, **10 (1)**, 280 (2012).
13. Tavares A. C., Pimenta M. C. and Gonsalves M. T. Micropropagation of *Melissa officinalis* L. through proliferation of axillary shoots, *Plant Cell Repts.*, **15, 6**, 441 (1986).
14. Kalinin F. L., Sarnatskaya V. V. and Polischuk E. E. *Methods of tissue culture in the physiology and biochemistry of plants*, 488 (K: Naukova Dumka, Kyiv, 1980).
15. Yakimova O. V. and Yegorova N. A. Introduction to the culture *in vitro* *Melissa officinalis* L. *The perspectives of introduction of ornamental plants into botanical gardens and arboretums: materials of international conference*, 196 (V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, 2014).
16. Lakin G. F. *Biometrics: tutorial [for biol. universities] – 4th ed. Revised*, 352 (M.: Vysshaya shkola, Moscow, 1990).
17. Melnichuk M. D., Novak T. V. and Kunakh V. A. *Biotechnology of plants: textbook*, 520 (K.: Poligraf Consulting, Kiev, 2003).
18. Yakimova O. V. and Yegorova N. A. Peculiarities of *Melissa officinalis* L. explant morphogenesis at the first phase of micropropagation *in vitro*, *Proceedings of Kuban State Agrarian University*, **3 (60)**, 339 (2016).

УДК 612.821

**ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ИСХОДНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО
СОСТОЯНИЯ МОЗГА НА УМСТВЕННУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ
СТУДЕНТОВ В КОНТЕКСТЕ ИХ ИНДИВИДУАЛЬНО-ТИПОЛОГИЧЕСКИХ
ОСОБЕННОСТЕЙ**

Яценко М. В.

*ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», Барнаул, Россия
E-mail: e.yatsenko@mail.ru*

Анализ имеющихся работ свидетельствует о неоднозначности влияния индивидуально-типологических особенностей на текущее функциональное состояние человека и, как следствие, на результативность умственной деятельности. Регрессионный анализ, примененный в данной работе, позволил выявить, какими индивидуально-типологическими особенностями определяются различные аспекты умственной работоспособности, а также то, что функциональное состояние мозга, влияющее на умственную работоспособность, прежде всего связано с пейсмекерами альфа ритма.

Ключевые слова: умственная работоспособность, функциональное состояние, ритмы электроэнцефалограммы.

ВВЕДЕНИЕ

Обучение в вузе относится к категории умственного труда, который отличается определенной спецификой и, прежде всего, высокой нервно-психической напряженностью и длительностью психоэмоциональных нагрузок, связанных с обучением [1; 2].

Анализ литературы свидетельствует, что в большей степени исследования особенностей учебной деятельности касаются сферы школьного образования, проблемы которой активно обсуждаются практиками и учеными. Образованию в высших учебных заведениях в этом плане уделено меньше внимания. Вместе с тем организация психологического сопровождения студентов вузов важна и перспективна в таком направлении, как повышение эффективности учебной деятельности в процессе получения высшего профессионального образования.

На студента, поступившего в вуз, одновременно оказывает влияние комплекс внешних факторов (природных и социальных), интегральным результатом реакции организма на которые является либо процесс адаптации, критериями которого являются оптимальное функциональное состояние организма и высокая работоспособность, либо дезадаптация, проявляющаяся напряжением и истощением систем организма и низкой результативностью умственной деятельности.

Умственная работоспособность – это способность человека выполнять какую-либо деятельность в течение определенного времени без снижения её эффективности и ухудшения функционального состояния человека.

Особенности функциональных сдвигов в организме человека и его работоспособности при действии внешних факторов зависят от многих причин, среди которых важную роль играют индивидуальные особенности человека.

К внутренним факторам, влияющим на умственную работоспособность, можно отнести возраст, пол, состояние здоровья, свойства нервной системы, качества личности [3–6]. При этом результаты, полученные разными авторами, находятся в некотором противоречии.

Внешние и внутренние факторы влияют на организм человека комплексно, и, прежде всего, на функциональное состояние центральной нервной системы (ЦНС) как основного органа обеспечения умственной деятельности. Существуют разные определения понятия «функциональное состояние».

Данилова Н. Н. определяет функциональное состояние как фоновую активность нервных центров, при которой и реализуется та или иная деятельность человека [7].

Как показано в многочисленных исследованиях, различные формы деятельности требуют особого функционального состояния, т. е. только ему присущей картины функционирования различных систем активации [8–12].

Существуют более или менее стабильные индивидуальные различия в уровне активации – это тот уровень функционального состояния, который наиболее часто наблюдается у данного индивида во время бодрствования [13].

В литературе описано несколько измерений индивидуальности, имеющих отношение к концепциям активации и функциональных состояний. В том числе это экстраверсия–интроверсия, нейротизм, свойства нервной системы.

Как известно, индивидуальный уровень активации головного мозга может быть измерен с помощью ЭЭГ. Для спокойного бодрствования каждого субъекта характерен свой рисунок или паттерн ЭЭГ [7; 14–17].

Таким образом, оценка соответствия функционального состояния его оптимуму должна выполняться на основе учета индивидуально-типологических свойств человека.

Можно предположить, что исследование биоэлектрической активности головного мозга позволит определить роль индивидуальных особенностей в обеспечении исходного функционального состояния и умственной работоспособности студентов.

Ранее автором настоящей работы было исследовано влияние индивидуально-типологических особенностей человека на умственную работоспособность и показатели фоновой ЭЭГ, в которых было показано, что в исходном состоянии существует оптимальный уровень активации коры, который обеспечивает высокие показатели умственной деятельности. При этом влияние индивидуально-типологических особенностей на умственную работоспособность нивелируется [18].

Анализ имеющихся работ по исследованию влияния внешних и внутренних факторов на умственную работоспособность показывает, что нерешенным, на наш взгляд, является вопрос о вкладе этих факторов в текущее функциональное

состояние студентов и, как следствие, в результативность умственной деятельности.

В связи со сказанным целью работы явилось исследование индивидуальных особенностей влияния исходной биоэлектрической активности мозга на эффективность умственной деятельности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании добровольно приняло участие 183 студента, девушки в возрасте 19–22 лет. В начале исследования проводили запись ЭЭГ, затем студенты выполняли корректурную пробу. Оценка индивидуально-типологических особенностей проводилась в другой день.

В работе были использованы следующие методы.

1) Оценка умственной работоспособности с помощью буквенных таблиц Бурдона-Анфимова [19]. Рассчитывались следующие показатели:

- объем обработанной информации (V – количество просмотренных букв);
- скорость обработки информации (S – количество просмотренных букв за одну минуту);
- точность ($ПТ$ = количество зачеркнутых букв / количество зачеркнутых букв + количество ошибок).

Продолжительность корректурной пробы составляла 2 минуты, при этом показатель объема определялся за всё время проведения пробы, а показатель скорости – только за вторую минуту, чтобы исключить влияние на результат эффекта вработывания.

2) Определение уровня экстра/интроверсии и нейротизма по опроснику Г. Айзенка [19].

3) Оценка свойств нервной системы по Я. Стреляу [19]. Определялись: сила процесса возбуждения, сила процесса торможения, подвижность нервных процессов, баланс нервных процессов.

4) Регистрация ЭЭГ с помощью прибора «Энцефалан 131-03» модификация 10 («Медиком», Россия) от 21 отведений, монополярно, по международной системе 10–20, в положении сидя, в состоянии спокойного бодрствования при открытых и закрытых глазах. Референтные электроды крепились к мочкам ушей.

Для дифференциации артефактов ЭЭГ одновременно проводилась регистрация вертикальной и горизонтальной электроокулограмм, электрокардиограммы и электромиограммы. Регистрировали четыре основных диапазона составляющих ЭЭГ: дельта 0,3–4 Гц, тета 4–8 Гц, альфа 8–13 Гц, бета 13–30 Гц. Длительность анализируемых участков ЭЭГ составляла 15–20 секунд. Используя программное обеспечение прибора по всем каналам в диапазоне от 0,3 Гц до 30 Гц, определяли следующие характеристики ритмов электроэнцефалограммы:

- абсолютные значения амплитуд ($A3A$) по выбранным частотным диапазонам ($мкВ$);
- абсолютные значения мощностей ($A3M$) – площадь под соответствующим участком спектрограммы по выбранным частотным диапазонам ($мкВ^2/Гц$);
- значения доминирующих частот ($ЗДЧ$) по выбранным частотным диапазонам – частоты, соответствующие максимуму на участке спектрограммы ($Гц$);

- индексы альфа-, бета-, дельта- и тета-ритмов отражают выраженность данных частотных компонентов в ЭЭГ.

5) Математическая обработка материалов проводилась с помощью пакета программ «SPSS v.13»; рассчитывались уравнения регрессии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенный регрессионный анализ первичных данных позволил выявить следующие взаимоотношения между показателями умственной работоспособности и исследуемыми характеристиками индивидуальности.

Как можно видеть, показатели умственной работоспособности в большей степени определялись уровнем экстраверсии. При этом, если при увеличении уровня экстраверсии объем и скорость работы снижались, то точность работы увеличивалась. Объем (V) и скорость (S) работы, кроме того, были пропорционально связаны с подвижностью нервных процессов и обратнопропорционально – с силой процесса торможения. Точность работы (ПТ) определялась другими характеристиками индивидуальности: положительно связана с балансом нервных процессов, а отрицательно – с уровнем нейротизма.

$$\begin{aligned}
 V &= - 31,87 * Экстр - 11,77 * СПТ + 12,03 * ПНП + 1208,58 \\
 S &= - 14,94 * Экстр - 6,38 * СПТ + 8 * ПНП + 568,32 \\
 ПТ &= 0,01 * Экстр - 0,01 * Нейрот + 0,002 * БНП + 0,77
 \end{aligned}$$

Полученные результаты согласуются с результатами других исследований, где отмечается преимущество лиц с инертной нервной системой перед лицами с подвижной нервной системой при произвольном запоминании [20]. В то же время имеются данные о том, что лица с подвижной нервной системой характеризуются быстротой усвоения материала и низкой точностью выполнения задания, а с инертной нервной системой – медленным усвоением материала, но большей точностью при выполнении задания [21].

Результаты данной работы вполне согласуются с представлениями о силе процессов торможения, которая понимается как функциональная работоспособность нервной системы при реализации торможения, выработанного в результате обучения [21]. Сила процесса торможения проявляется там, где имеют место запреты или отсрочка реакции. Чем адекватнее реакция в таких ситуациях, тем сильнее процесс торможения.

Точность работы определялась другими характеристиками индивидуальности: положительно связана с балансом нервных процессов, а отрицательно – с уровнем нейротизма.

Таким образом, разные стороны умственной работоспособности определяются разными индивидуально-типологическими особенностями студентов.

Особенности умственной работоспособности также были взаимосвязаны с исходным функциональным состоянием мозга. В качестве интегративного показателя функционального состояния использовались усредненные

характеристики доминирующего ритма ЭЭГ. Нейрофизиологическим основанием для такого подхода являются механизмы не локальной (связанной с содержанием деятельности), а генерализованной (определяющей функциональное состояние организма) активации головного мозга со стороны неспецифических структур центральной нервной системы. Использование усредненных ЭЭГ-показателей в качестве способа выявления общемозговых характеристик встречается и в других работах [22]. Известна связь особенностей биопотенциалов разных диапазонов с особенностями познавательных процессов и когнитивной сферы [23–29].

Регрессионный анализ взаимоотношений показателей умственной работоспособности и ЭЭГ характеристик исходной биоэлектрической активности мозга выявил, что разные составляющие умственной работоспособности определялись особенностями функционального состояния нервной системы.

Так, объем работы (V) был тем выше, чем в большей степени в ЭЭГ был выражен альфа-ритм, чем выше была амплитуда бета-ритма и менее всего был представлен тета-ритм.

Скорость работы (S) также была тем выше, чем в большей степени в ЭЭГ был выражен альфа-ритм и менее всего был представлен тета-ритм.

Альфа-ритм имеет таламическое происхождение [29; 30]. Частоту тета-ритма авторы связывают с гиппокампом и другими структурами [30–32].

Таким образом, чем сильнее были таламо-кортикальные влияния и слабее из других структур мозга, тем выше были количественные показатели умственной работоспособности.

Точность работы (ПТ) была тем выше, чем больше мощность бета-ритма и выраженность тета-ритма, а также ниже частота альфа-ритма и амплитуда бета- и тета-ритмов, т. е. чем выше уровень влияния пейсмекеров тета-ритма на активацию коры. Нахождение в некотором противоречии показателей амплитуды и мощности бета-ритма в уравнении регрессии может быть обусловлено следующим. Положительный коэффициент показателя мощности бета-ритма при отрицательном коэффициенте его амплитуды указывает на то, что высокие значения мощности отражают выраженную низкочастотную составляющую спектра бета-ритма, а низкие значения его амплитуды – слабую синхронизацию нейронной активности в бета диапазоне.

$$V = 4,7 * \text{альфа-индекс} + 507,87 * \text{бета-амплитуда} - \\ - 15,03 * \text{тета-индекс} + 181,17$$

$$S = 2,3 * \text{альфа-индекс} - 8,76 * \text{тета-индекс} + 503,33$$

$$ПТ = - 0,05 * \text{альфа-частота} - 0,28 * \text{бета-амплитуда} + 0,01 * \\ * \text{бета-мощность} + 0,008 * \text{тета-индекс} - 0,13 * \text{тета-амплитуда} + 1,62$$

Для того, чтобы выяснить, как индивидуально-типологические особенности могут связаны с особенностями исходного функционального состояния мозга, был проведен регрессионный анализ их взаимосвязи.

Чем ниже амплитуда и частота альфа-ритма, но выше выраженность дельта-, т. е., чем ниже уровень активации коры, тем выше уровень экстраверсии. Отсюда понятно, почему чем выше уровень экстраверсии, тем хуже объем и скорость работы.

Чем выше частота и мощность альфа-ритма и амплитуда бета-ритма и чем ниже мощность бета- и частота тета-ритма, тем выше уровень нейротизма.

Таким образом, можно объяснить почему чем выше уровень нейротизма, тем хуже точность работы.

Чем выше амплитуда альфа и выраженность тета-ритма и ниже выраженность бета-, т. е. чем в большей степени в коре выражено торможение, тем выше сила процесса торможения (СПТ). То есть, чем ниже сила процесса торможения, тем лучше количественные показатели умственной работоспособности (объем и скорость работы).

Чем выше индекс альфа-ритма и меньше индекс бета-, тем выше подвижность нервных процессов (ПНП). Отсюда понятно, почему чем выше показатель подвижности нервных процессов, тем лучше количественные показатели умственной работоспособности (объем и скорость работы).

Чем выше индекс и частота альфа-ритма и мощность бета-, но меньше индекс бета- и частота дельта-, тем выше баланс нервных процессов (БНП). Следовательно, чем выше уравновешенность нервных процессов, тем лучше точность работы.

$$\text{Экстраверсия} = -0,47 * \text{альфа-амплитуда} - 1,01 * \text{альфа-частота} + 0,11 * \text{дельта-индекс}$$

$$\text{Нейротизм} = 1,85 * \text{альфа-частота} + 0,01 * \text{альфа-мощность} + 12,32 * \text{бета-амплитуда} - 0,52 * \text{бета-мощность} - 0,88 * \text{тета-частота}$$

$$\text{СПТ} = 2,75 * \text{альфа-амплитуда} - 0,46 * \text{бета-индекс} + 1,28 * \text{тета-индекс}$$

$$\text{ПНП} = 0,3 * \text{альфа-индекс} - 0,38 * \text{бета-индекс}$$

$$\text{БНП} = 0,33 * \text{альфа-индекс} + 8,92 * \text{альфа-частота} - 0,87 * \text{бета-индекс} + 1,57 * \text{бета-мощность} - 16,24 * \text{дельта-частота}$$

Полученные результаты свидетельствуют, что разные стороны умственной работоспособности определяются разными индивидуально-типологическими особенностями студентов: объем и скорость работы тем выше, чем сильнее выражены интроверсия и подвижность нервных процессов и ниже сила процесса торможения. Точность работы определялась другими характеристиками индивидуальности: положительно связана с балансом нервных процессов, а отрицательно – с уровнем нейротизма.

Как можно видеть из уравнений регрессии, функциональное состояние мозга, влияющее на умственную работоспособность, прежде всего связано с тета- и альфа-ритмами. При этом объем и скорость работы повышались при увеличении

выраженности альфа-ритма, и снижении выраженности тета-, а точность работы, наоборот, повышалась при увеличении выраженности тета-ритма и снижении частоты альфа-.

Анализ взаимосвязи характеристик этих ритмов с исследуемыми индивидуальными особенностями студентов обнаружил, что в большей степени представлены параметры альфа-ритма. Чем выше выраженность этого ритма, тем выше подвижность и баланс нервных процессов. Чем выше амплитуда и частота альфа-ритма, тем выше интроверсия. Чем выше частота и мощность альфа-ритма, тем выше уровень эмоциональной нестабильности. Чем выше амплитуда – тем сильнее процесс торможения.

Существует немало предположений, касающихся функциональной роли этого ритма [27; 33]. В частности, предполагается, что его роль заключается в функциональной стабилизации состояний мозга и обеспечении готовности к реагированию. Исходя из этого, можно объяснить, почему все показатели умственной работоспособности были связаны с альфа-активностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования установлено, что влияние исходного функционального состояния нервной системы на умственную работоспособность студентов определяется их индивидуально-типологическими особенностями.

Сопоставление трех групп уравнений регрессий позволило сделать следующие выводы:

- количественные (объем и скорость) и качественные (точность) показатели умственной работоспособности определялись разными характеристиками индивидуальности;
- исследуемые показатели индивидуальности были связаны с разными характеристиками биоэлектрической активности мозга; в большей степени от индивидуальных особенностей зависело функциональное состояние мозга, обеспечивающее хорошую точность работы;
- чем сильнее были таламические влияния на функциональное состояние мозга и слабее из других нервных центров, тем выше были объем и скорость умственной работоспособности, и чем сильнее влияние гиппокампа на активацию коры, тем выше точность работы.

Список литературы

1. Зашихина В. В. Психофизиологические аспекты адаптации студентов вузов / В. В. Зашихина, Т. В. Цыганок // *Fundamental research*. – 2014. – № 2. – С. 64–68.
2. Онтогенез. Адаптация, Здоровье. Образование. Книга III. Адаптация и здоровье студентов: учебно-методическое пособие: [отв. ред. Э. М. Казин]. – Кемерово: Изд-во КРИПКиПРО, 2011. – 627 с.
3. Бебинов С. Е. Взаимосвязь функций внимания с типологическими особенностями проявлений свойств нервной системы у курсантов автошкол / С. Е. Бебинов, В. А. Сальников // *Известия ВолГПУ*. – 2009. – № 1. – С. 177–181.

4. Литвинова Н. А. Роль индивидуальных психофизиологических особенностей студентов в адаптации к умственной и мышечной деятельности / Литвинова Н. А. – Кемерово: Изд-во КемГУ, 2012. – 168 с.
5. Ревенко Е. М. Уровень умственных способностей студентов, различающихся типологическими особенностями проявления свойств нервной системы / Е. М. Ревенко, В. А. Сальников // Психологическая наука и образование. – 2008. – № 2. – С. 43–50.
6. Ядрищенская Т. В. Корреляционные отношения и гендерные особенности характеристик внимания / Т. В. Ядрищенская // Учёные записки ЗабГУ. – 2015. – № 1 (60). – С. 155–160.
7. Данилова Н. Н. Психофизиологическая диагностика функциональных состояний / Н. Н. Данилова. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 192 с.
8. Айдаркин Е. К. Исследование динамики пространственной синхронизации потенциалов мозга при решении сложных арифметических примеров / Е. К. Айдаркин, А. С. Фомина // Валеология. – 2012. – № 3. – С. 91–106.
9. Леонова А. Б. Функциональные состояния и работоспособность человека в профессиональной деятельности [Психология труда, инженерная психология эргономика. под ред. Е. А. Климова и др.] / А. Б. Леонова, А. С. Кузнецова. – М.: Юрайт, 2015. – 618 с.
10. Moretti D. V. Hippocampal atrophy and EEG markers in subjects with mild cognitive impairment / D. V. Moretti, C. Miniussi, G. B. Frisoni, C. Geroldi, O. Zanetti, G. Binetti, P. M. Rossini // Clin. Neurophysiol. – 2007. – № 12. – P. 2716–2729.
11. Thatcher R. W. Intelligence and EEG phase reset: a two compartmental model of phase shift and lock / R. W. Thatcher, D. M. North, C. J. Biver // Neuroimage. – 2008. – № 4. – P. 1639–1653.
12. Volf N. V. EEG-mapping study of sex differences during verbal creative thinking [Focus on Brain Research. Ed. Resch C. J.] / Volf N. V., Razumnikova O. M., Tarasova I. V. – N-Y, USA: NovaSci. Publ., 2007. – 123 p.
13. Воробьева Е. В. Генотип-средовые детерминанты мощности ритмических составляющих ЭЭГ при вербально-ассоциативной деятельности / Е. В. Воробьева, И. Ю. Харитоновна // Новые исследования. – 2010. – № 23. – С. 5–16.
14. Иващенко О. И. Индивидуально-типологические особенности базовых свойств личности в норме и их ЭЭГ-корреляты / О. И. Иващенко, А. В. Берус, А. Б. Журавлев, В. В. Мямлин // Физиология человека. – 1999. – № 2. – С. 46–55.
15. Свицерская Н. Е. Влияние индивидуально-психологических характеристик на пространственную организацию ЭЭГ при невербально-дивергентном мышлении / Н. Е. Свицерская, А. Г. Антонов // Физиология человека. – 2008. – № 5. – С. 34–43.
16. Столетний А. С. Влияние индивидуальных свойств личности на эффективность произвольной БОС-регуляции бета-2 ритма ЭЭГ / А. С. Столетний // Современные исследования социальных проблем (электронный научный журнал). – 2006. – № 7(63). – С. 167–183.
17. Fink A. Divergent thinking training is related to frontal electroencephalogram alpha synchronization / A. Fink, R. H. Grabner, M. Benedek, A. C. Neubauer // Eur. J. Neurosci. – 2006. – № 8. – P. 2241–2246.
18. Кайгородова Н. З. ЭЭГ-корреляты умственной работоспособности в контексте индивидуально-типологических особенностей студентов / Н. З. Кайгородова, М. В. Яценко // Психология обучения. – 2012. – № 7. – С. 15–22.
19. Столяренко Л. Д. Основы психологии / Л. Д. Столяренко. – Ростов-на-Дону: Феникс, 1996. – 736 с.
20. Голубева Э. А. Индивидуальные особенности памяти человека (психофизиологическое исследование) / Э. А. Голубева. – М.: Педагогика, 1980. – 152 с.
21. Стреляу Я. Роль темперамента в психическом развитии / Я. Стреляу. – М.: Прогресс, 1982. – 232 с.
22. Бердников Д. В. Психофизиологические особенности регуляции целенаправленной деятельности по восприятию и воспроизведению информации: Дисс... докт. мед. наук: спец. 19.00.02. «Психофизиология» / Д. В. Бердников. – Курск, 2016. – 378 с.
23. Бушов Ю. В. Корреляция интеллекта и точности восприятия времени с высокочастотной электрической активностью мозга / Ю. В. Бушов, М. В. Светлик, Е. П. Крутенкова // Вестн. ТГПУ. – 2009. – № 2 – С. 91–95.
24. Вольф Н. В. Связь осцилляции на частотах тета-и бета-ритмов ЭЭГ с эффективностью творческой деятельности / Н. В. Вольф, И. В. Тарасова // Физиология человека. – 2010. – № 2. – С. 15–22.

25. Коробейникова И. И. Успешность результативной деятельности студентов с различными спектрально-пространственными характеристиками альфа-ритма фоновой ЭЭГ / И. И. Коробейникова // Академ. журн. Запад. Сибири. – 2014. – № 3. – С. 62–64.
26. Кошельков Д. А. Функциональное взаимодействие корковых зон в процессе выработки стратегии когнитивной деятельности. Анализ когерентности тета-ритма ЭЭГ / Д. А. Кошельков, Р. И. Мачинская // Физиология человека. – 2010. – № 6. – С. 55–60.
27. Hanslmayr S. How brain oscillations form memories – a processing based perspective on oscillatory subsequent memory effects / S. Hanslmayr, T. Staudigl // Neuroimage. – 2014. – V. 85. – P. 648–655.
28. Klimesch W. Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information / W. Klimesch // Trends in cognitive sciences. – 2012. – V. 16. – P. 606–617.
29. Konareva I. N. Correlations between the psychological peculiarities of an individual and the efficacy of a single neurofeedback session (by the EEG characteristics) / I. N. Konareva // Neurophysiology. – 2006. – № 3. – P. 201–208.
30. Князев Г. Г. Осцилляции мозга и поведение человека: эволюционный подход [Методологические проблемы современной психологии: иллюзии и реальность. Материалы Сибирского психологического форума 16–18 сентября 2004.] / Г. Г. Князев. – Томск: Изд-во ТГУ, 2004. – С. 570–576.
31. Гусельников В. И. Электрофизиология головного мозга / В. И. Гусельников. – М.: Высшая школа, 1976. – 423 с.
32. Rilk A. J. Alpha coherence predicts accuracy during a visuomotor tracking task / A. J. Rilk, S. R. Soekadar, P. Sauseng, C. Plewnia // Neuropsychologia. 2011. – V. 49(13). – P. 3704–3709.
33. Базанова О. М. Современная интерпретация альфа-активности ЭЭГ / О. М. Базанова // Международный неврологический журнал. – 2011. – № 8. – С. 96–104.

FEATURES OF THE INFLUENCE OF THE INITIAL FUNCTIONAL STATE OF THE BRAIN ON THE MENTAL CAPACITY OF STUDENTS IN THE CONTEXT OF THEIR INDIVIDUALLY-TYOLOGICAL FEATURES

Yatsenko M. V.

*Altay State University, Barnaul, Russia
E-mail: e.yatsenko@mail.ru*

Education in the university is a category of mental labor, which is characterized by high neuropsychic tension and a prolonged psychoemotional load associated with learning.

The student is simultaneously influenced by a complex of external factors (natural and social), the integral result of which is the reaction of the organism or as an adaptation process (optimal functional state of the organism and high performance), or as disadaptation (tension and exhaustion of body systems and low efficiency of mental activity).

Mental efficiency is the ability of a person to perform any activity for a certain time without reducing its effectiveness and worsening the functional state of a person.

Features of the functional state of a person and his working capacity under the influence of external factors depend on many factors, among which an important role is played by the individual-typological features of man.

Thus, an assessment of the correspondence of a functional state to its optimum should be carried out taking into account the individual-typological properties of a person.

It can be assumed that the study of the bioelectric activity of the brain will allow to determine the role of individual characteristics in providing the initial functional state and mental performance of students.

In connection with the foregoing, the aim of the work was to study the individual characteristics of the effect of the initial bioelectrical activity of the brain on the effectiveness of mental activity.

The study involved 183 students, girls aged 19–22 years. Evaluation of mental performance with the help of letter tables Bourdon-Anfimov. The indicators were calculated: the volume of processed information, the speed of processing information and accuracy. Determination of the level of extra-introsia and neurotism by test G. Eysenck. Evaluation of the properties of the nervous system according to the test of J. Streliau. The strength of the excitation process, the strength of the inhibition process, the mobility of the nervous processes, the balance of the nervous processes were determined. EEG registration using Encephalan 131-03 device modification 10 (Medikom, Russia) from 21 channels. The equations of regression were calculated. Regression analysis of the following relationships was carried out: between indicators of mental performance and individual-typological features; between indicators of mental performance and EEG characteristics of the initial bioelectrical activity of the brain; between individual and typological features and the initial functional state of the brain.

A comparison of the three groups of regression equations led to the following conclusions:

- quantitative (volume and speed) and qualitative (accuracy) indicators of mental performance were determined by different characteristics of individuality;
- the investigated indices of individuality were associated with different characteristics of the bioelectric activity of the brain; the functional state of the brain depended more on individual features, ensuring a good accuracy of work;
- the stronger the thalamic effects on the functional state of the brain and the weaker from other nerve centers, the higher the volume and speed of mental performance, and the stronger the influence of the hippocampus on the activation of the cortex, the higher the accuracy of the work.

Keywords: mental capacity, functional status, the rhythms of the electroencephalogram.

References

1. Zashikhina V. V., Tsyganok T. V. Psychophysiological aspects of adaptation of university students // *Fundamental research*, 2, 64 (2014).
2. *Ontogenesis. Adaptation, Health. Education. Book III. Adaptation and health of students: teaching aid*, Resp. Ed. E. M. Kazin, 627 (Kemerovo: publishing house of KRIPKIPRO, 2011).
3. Bebinov S. E., Salnikov V. A. Correlation functions of attention with typological features of manifestations of properties of the nervous system of students of driving schools, *News VPSU*, 1, 1, 177 (2009)
4. Litvinova N. A. *The role of individual psychophysiological characteristics of students in adaptation to mental and muscular activity*, 168 (Kemerovo: publishing house of Kemerovo state University, 2012).
5. Revenko E. M., Salnikov V. A. The level of mental abilities of students, which differ in typological features of manifestations of properties of the nervous system, *Psychological science and education*, 2, 43 (2008).
6. Yadrishenskaya T. V. Correlation relations and gender features attention, *Scientific notes of ZabSU*, 1 (60), 155 (2015).
7. Danilova N. N. *Psychophysiological diagnostics of functional States*, 192 (Moscow: Moscow state University publishing House, 1992).
8. Aidarkin K. E., Fomina A. S. Study of the dynamics of spatial synchronization of brain potentials in solving complex math examples, *Valeology*, 3, 91 (2012).

9. Leonova A. B., Kuznetsova A. S. *Functional status and working capacity of the person in professional activity*, Psychology of labor, engineering psychology and ergonomics, edited by E. A. Klimov and others, 618 (M: Yurait, 2015).
10. Moretti D. V., Miniussi C., Frisoni G. B., Geroldi C., Zanetti O., Binetti G., Rossini P. M. Hippocampal atrophy and EEG markers in subjects with mild cognitive impairment, *Clin. Neurophysiol.*, **118**, 12, 2716 (2007).
11. Thatcher R. W., North D. M., Biver C. J. Intelligence and EEG phase reset: a two compartmental model of phase shift and lock, *Neuroimage*, **42**, 4, 1639 (2008).
12. Volf N. V., Razumnikova O. M., Tarasova I. V. EEG-mapping study of sex differences during verbal creative thinking, *Focus on Brain Research.*, 123 (2007).
13. Vorobyeva E. V., Kharitonova I. J. Genotype-environmental determinants of power rhythmic components of the EEG during verbal-associative activity, *New research*, **1**, 23, 5 (2010).
14. Ivashchenko O. I., Berus A. V., Zhuravlev A. B., Mamlin V. Individual-typological peculiarities of basic personality traits in normal and EEG-correlates, *Human physiology*, **25**, 2, 46 (1999).
15. Sviderskaya N. E. Antonov A. G. Influence of individual psychological characteristics on the spatial organization of the EEG in non-verbal divergent thinking, *Human Physiology*, **34**, 5, 34 (2008).
16. Stoletniy A. S. The influence of individual personality traits on the effectiveness of the random BOS-regulation of beta-2 EEG rhythm, *Modern researches of social problems (electronic scientific journal)*, **7** (63), 167 (2006).
17. Fink A., Grabner R. H., Benedek M., Neubauer A. C. Divergent thinking training is related to frontal electroencephalogram alpha synchronization, *Eur. J. Neurosci*, **23**, 8, 2241 (2006).
18. Kaygorodova N. Z., Yatsenko M. V. EEG-correlates of mental performance in the context of individual-typological characteristics of students, *Psychology of education*, **7**, 15 (2012)
19. Stolyarenko L. D. Basic of psychology, 736 (Rostov-on-don: Feniks, 1996).
20. Golubeva E. A. *Individual characteristics of human memory (physiological study)*, 152 (M.: Pedagogy, 1980).
21. Strelau J. *The role of temperament in mental development*, 232 (M.: Progress, 1982).
22. Berdnikov D. V. *Psychophysiological peculiarities of regulation of activities focused on perception and reproduction of information*: Diss. ... doctor. med. Sciences, 378 (Kursk, 2016).
23. Bushov Y. V., Svetlik M. V., Krutenkova E. P. Correlation of intellect and accuracy of time perception with high frequency electrical activity in the brain, *Vestn. TSPU*, **2** (80), 91 (2009).
24. Volf N. V., Tarasova I. V. Relationship of oscillations at frequencies in the theta and beta rhythms of the EEG with the effectiveness of creative activity, *Human Physiology*, **36**, 2, 15 (2010)
25. Korobeinikova I. I. The success of the productive activities of students with different spectral and spatial characteristics of the alpha rhythm of the EEG background, *Akadem. journ. West. Siberians*, **10**, 3 (52), 62 (2014).
26. Koshelkov D. A., Machinskaya R. I. Functional interaction of cortical zones in the strategy development process cognitive activities. Analysis of the coherence of the EEG theta rhythm, *Physiology of man*, **36**, 6, 55 (2010).
27. Hanslmayr S., Staudigl T. How brain oscillations form memories – a processing based perspective on oscillatory subsequent memory effects, *Neuroimage*, **85**, 648 (2014).
28. Klimesch W. Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information, *Trends in cognitive sciences*, **16**(12), 606 (2012).
29. Konareva I. N. Correlations between the psychological peculiarities of an individual and the efficacy of a single neurofeedback session (by the EEG characteristics), *Neurophysiology*, **38**, 3, 201 (2006).
30. Knyazev G. G. Oscillations of the brain and behavior: an evolutionary approach, Methodological problems of modern psychology: illusions and reality. *The materials of the Siberian psychological forum September 16-18, 2004*, 570 (Tomsk: Publishing house of TSU, 2004).
31. Gusel'nikov V. I. *Electrophysiology of the brain*, 423 (M.: Higher school, 1976).
32. Rilk A. J., Soekadar S. R., Sauseng P., Plewnia C. Alpha coherence predicts accuracy during a visuomotor tracking task, *Neuropsychologia*, **49**(13), 3704 (2011).
33. Bazanova O. M. Modern interpretation of alpha activity of the EEG, *International neurological journal*, **8**, 96 (2011).

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Биология. Химия. Том 4 (70). 2018. № 1. С. 179–187.

УДК 576.851.315

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВОБОДНЫХ И ИММОБИЛИЗОВАННЫХ НА НЕОРГАНИЧЕСКИХ НОСИТЕЛЯХ ФОТОБАКТЕРИЙ ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ

Абдураманова Э. Р., Наумова Н. В., Дерзян Л. М., Кацев А. М.

*Медицинская академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: katsev@mail.ru*

Установлено, что виды бактерий *Photobacterium phosphoreum*, *Photobacterium leiognathi* и *Vibrio fischeri* превосходят по интенсивности свечения бактерии *Vibrio harveyi*. Максимальное значение удельного свечения наблюдается для штамма *P. phosphoreum* F2, а минимальное – для штамма *V. harveyi* Ms1. Показано, что с увеличением прироста бактериальных клеток показатель их удельного свечения падает. Рассчитаны значения удельного свечения иммобилизованных бактерий, выявлено, что иммобилизация бактерий на неорганических носителях приводит к изменению величины данного показателя. Установлено, что с ростом числа бактерий на носителе удельное свечение адсорбированных на нем бактерий уменьшается. Показана возможность использования карбоната кальция и оксида алюминия в качестве носителей при создании биосенсоров.

Ключевые слова: светящиеся бактерии, биолюминесценция, удельное свечение, биотестирование, иммобилизация.

ВВЕДЕНИЕ

Бактериальная люминесценция является продуктом жизнедеятельности морских светящихся бактерий. Это количественный показатель метаболических процессов, протекающих в клетке. Бактериальная клетка способна отвечать изменением интенсивности биолюминесценции на колебания состава окружающей ее среды. На этом основано применение морских светящихся бактерий в аналитических целях в качестве биотестов [1; 2].

Биолюминесценция, или реакция свечения является ферментативным процессом, катализируемым люциферазой и сопровождающимся потреблением кислорода и выделением света в сине-зеленой области света. Одним из субстратов данной реакции является восстановленный флавиномононуклеотид (FMN), способный принимать и отдавать два атома водорода, вторым – длинноцепочечный алифатический альдегид с 8–16 атомами углерода. В общем виде реакция свечения сводится к окислению восстановленного флавиномононуклеотида (FMNH₂) до FMN

с одновременным окислением длинноцепочечного алифатического альдегида (RCHO) до соответствующей жирной кислоты (RCOOH):



Использование светящихся бактерий в качестве чувствительного элемента биотеста для решения различных фундаментальных и прикладных задач требует знания их физиологических особенностей, определяющих основные характеристики биотеста. Одним из путей расширения потенциала биотестов является создание биосенсоров путем иммобилизации бактериальных клеток на различные носители. Несмотря на существующее разнообразие носителей для фиксирования бактерий, многие из них не могут быть использованы из-за снижения функциональных показателей микроорганизмов. Поэтому ведется активная работа по увеличению чувствительности биосенсорных устройств, подбираются оптимальные условия иммобилизации с целью усиления сигнала и повышения его стабильности [4; 5].

Целью работы было изучение показателей биолюминесценции морских светящихся бактерий в свободном и иммобилизованном состояниях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы морские светящиеся бактерии *Vibrio fischeri* IMB В_7070, *Vibrio harveyi* Ms1 и *Photobacterium phosphoreum* IMB В_7071, выделенные из Черного моря, а также бактерии *Photobacterium leiognathi* Sh1 – из Азовского моря [6–9]. Бактерии выращивали в течение 16–18 ч на жидкой питательной среде следующего состава (г/л): пептон – 5; дрожжевой экстракт – 2,5; NaCl – 30; $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 15; $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ – 0,5; MgSO_4 – 0,1; глицерин – 1 мл/л. Культивирование проводили при различных температурных режимах: *P. phosphoreum* – при 15–20°C, *V. fischeri*, *V. harveyi* Ms1 – 20–25°C, *P. leiognathi* Sh1 – 28–32° С. Для биотестирования бактерии разводили 3 % NaCl до конечной концентрации $5 \cdot 10^5$ – $1 \cdot 10^6$ кл/мл. Для определения интенсивности биолюминесценции бактерий использовали биолюминометр БЛМ 8801 – СКТБ «Наука», Россия. Измерение интегрального светового потока проводили в жидкой фазе согласно методике измерений, сертифицированной Государственным комитетом РФ по стандартизации и метрологии (Свидетельство № 224.01.13.194/2002, выданное Уральским НИИ метрологии). Количество бактериальных клеток определяли по поглощению при 600 нм с помощью спектрофотометра СФ-46 (ЛОМО, Россия).

В качестве носителей для сорбции бактерий использовали фосфат и карбонат кальция, оксид и гидроксид алюминия. Сорбенты предварительно промывали 0,05М фосфатным буферным раствором (рН=7,1). Навеску сорбента 50 мг смешивали с 0,9 мл питательной среды и 0,1 мл суточной бактериальной культуры. Систему помещали в термостат и инкубировали в течение 20 ч при оптимальной для каждого вида бактерий температуре. Контрольные образцы готовили без добавления сорбентов. Носитель с адсорбированными бактериями отделяли от среды центрифугированием в течение 10 мин при 1000 об/мин. Адсорбированные бактерии трижды промывали 3 % раствором хлорида натрия: при каждой промывке к носителю с бактериями добавляли по 1 мл 3 % раствора соли; центрифугировали в

течение 10 мин при 1000 об/мин. Количество адсорбированных на носителе бактерий определяли по разности оптической плотности в контрольном образце и в среде после отделения сорбента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Использование фотобактерий в составе чувствительных элементов биотестов основано на оценке влияния различных факторов на интенсивность их биолюминесценции [1; 2; 4; 5]. В рамках биолюминесцентного метода анализа актуален вопрос использования биосенсоров на основе иммобилизованных бактерий [4; 5]. Одной из главных характеристик биолюминесцентного сигнала, контролируемого в биолюминесцентном анализе, является показатель удельного свечения бактерий, оказывающий влияние на чувствительность и погрешность метода.

В ходе работы были установлены значения показателей удельного свечения представителей четырех видов бактерий (*V. fischeri*, *V. harveyi*, *P. phosphoreum* и *P. leiognathi*). Для этого измеряли значения биолюминесценции и оптической плотности образцов бактериальных суспензий, по которым на основании калибровочного графика зависимости оптической плотности бактериальной суспензии от числа бактериальных клеток ($y=9 \cdot 10^{-10x}+0,025$) определяли концентрацию клеток (кл/мл) и удельное свечение (мВ/кл). Полученные результаты сопоставляли с имеющимися данными о типе кинетики люциферазной реакции исследуемых штаммов, которая является одной из важнейших характеристик при их идентификации [9] (таблица 1).

Таблица 1

Характеристика штаммов светящихся бактерий

Штамм	Оптическая плотность	Кол-во бактерий, кл/мл	Удельное свечение бактерий, мВ/кл	Тип кинетики
<i>P. phosphoreum</i> F2	0,08	$6,7 \cdot 10^7$	$7,72 \cdot 10^{-4}$	Средний [8]
<i>P. leiognathi</i> Cr1	0,33	$3,4 \cdot 10^8$	$1,83 \cdot 10^{-4}$	Быстрый [8]
<i>P. leiognathi</i> Sh1	0,61	$3,4 \cdot 10^9$	$8,09 \cdot 10^{-5}$	Быстрый [8]
<i>V. fischeri</i> F1	0,85	$4,7 \cdot 10^9$	$4,36 \cdot 10^{-5}$	Быстрый [8]
<i>V. harveyi</i> Ms1	1,00	$5,5 \cdot 10^9$	$2,57 \cdot 10^{-6}$	Медленный [8]
<i>P. leiognathi</i> W1	0,17	$8,9 \cdot 10^8$	$3,69 \cdot 10^{-5}$	Быстрый [8]
<i>V. fischeri</i> Sh2	0,92	$5,1 \cdot 10^9$	$1,61 \cdot 10^{-5}$	Быстрый [8]

Результаты исследований показали, что максимальное значение удельного свечения $7,72 \cdot 10^{-4}$ мВ/кл наблюдается для штамма *P. phosphoreum* F2, а минимальное, равное $2,57 \cdot 10^{-6}$ мВ/кл, – для штамма *V. harveyi* Ms1. Виды бактерий *P. phosphoreum*, *P. leiognathi* и *V. fischeri* превосходили по интенсивности свечения бактерии *V. harveyi*. Полученные результаты традиционно связывают как с особенностями фермента люциферазы (например, аминокислотным составом),

которые определяют скорость катализируемой реакции, так и с характеристиками альдегидного субстрата [1].

В предыдущих работах [8; 9] был определен тип кинетики люциферазной реакции ряда морских светящихся бактерий, в том числе и штаммов, рассматриваемых в данной работе. Для штамма *P. phosphoreum* F2 характерен средний тип кинетики; для штамма *V. harveyi* Ms1 – медленный; а для штаммов *P. leiognathi* Cr1, *P. leiognathi* Sh1, *V. fischeri* F1, *P. leiognathi* W1 и *V. fischeri* Sh2 – быстрый. Оптимальным субстратом билюминесцентной реакции для бактерий видов *P. phosphoreum*, *P. leiognathi* и *V. fischeri* является тетрадеканаль, который превосходит другие гомологи по способности стимулировать бактериальное свечение, а бактерии вида *V. harveyi* демонстрируют сродство к более короткоцепочечному альдегиду деканалу [1].

Однако сравнивая удельное свечение бактерий *P. phosphoreum* F2, *P. leiognathi* Sh1 и *V. fischeri* F1 (соответственно $7,72 \cdot 10^{-4}$, $8,09 \cdot 10^{-5}$, $4,36 \cdot 10^{-5}$ мВ/кл), мы видим превосходство первого штамма. Данный факт можно связать с тем, что, возможно, бактерии *V. fischeri* F1 имеют дополнительный желтый флуоресцентный белок, наличие которого приводит к эмиссии фотона меньшей энергии с большей длиной волны ($\lambda_{\text{макс}} \sim 545$ нм), а в штаммах *P. phosphoreum* F2 и *P. leiognathi* Sh1 присутствует синий флуоресцирующий белок, вызывающий эмиссию фотона с меньшей длиной волны ($\lambda_{\text{макс}} \sim 475$ нм) и большей энергией [1].

Сопоставив данные эксперимента, мы можем заключить, что для штамма *P. phosphoreum* F2 со средним типом кинетики люциферазной реакции характерны минимальное значение прироста биомассы ($6,7 \cdot 10^7$ кл/мл) наряду с максимальным значением показателя удельного свечения. Максимальный рост клеток наблюдается у штамма *V. harveyi* Ms1 ($5,5 \cdot 10^9$ кл/мл) с медленным типом кинетики люциферазной реакции и при этом самым низким показателем удельного свечения. По количеству клеток бактерий, приходящихся на единицу объема, промежуточное положение занимают штаммы бактерий с быстрым типом кинетики, среднее значение удельного свечения для которых составляет $2,9 \cdot 10^8$ кл/мл.

Анализ полученных результатов позволяет говорить об обратной зависимости величины удельного свечения бактерий и прироста их биомассы, т. е. с увеличением числа бактериальных клеток интенсивность билюминесценции, приходящаяся на единицу клеточной биомассы, падает.

Следующий этап работы заключался в сравнении показателей удельного свечения свободных бактерий и иммобилизованных на неорганических носителях. Для работы были отобраны по одному штамму из четырех видов бактерий (*P. phosphoreum* F2, *P. leiognathi* Sh1, *V. fischeri* F1, *V. harveyi* Ms1). Согласно результатам предыдущей работы [4] было установлено, что светящиеся бактерии при контакте с неорганическими носителями концентрируются на них, что сопровождается уменьшением числа клеток в жидкой фазе (таблица 2). При анализе оптической плотности жидкой фазы выявлено, что в случае фосфата кальция свыше 90 % бактерий *V. fischeri* F1 и *V. harveyi* Ms1 переходят на твердую фазу. Адсорбционная активность оксида алюминия, оцениваемая количеством адсорбированных бактерий, при иммобилизации некоторых штаммов превышала

70 % (*V. fischeri* F1, *P. leiognathi* Sh1 и *V. harveyi* Ms1). Использование в качестве сорбента гидроксида алюминия сопровождалось переходом на твердую фазу более 75 % бактериальных клеток (*P. phosphoreum* F2 и *V. fischeri* F1). Адсорбционная активность карбоната кальция была минимальна в отношении всех рассматриваемых штаммов бактерий, в частности, количество иммобилизованных бактерий *P. leiognathi* Sh1 не достигало даже 15 %.

Таблица 2
Характеристика штаммов бактерий после сорбции на неорганических носителях

Штамм	Сорбент	Оптическая плотность	Количество бактерий, кл/мг	Количество бактерий, %	Суммарная интенсивность свечения, %	Удельное свечение бактерий, мВ/кл
<i>V. fischeri</i> F1	CaCO ₃	0,40	7,82·10 ⁶	48,4	188,9	2,25·10 ⁻⁴
	Al ₂ O ₃	0,23	1,16·10 ⁷	71,5	51,4	4,16·10 ⁻⁵
	Ca ₃ (PO ₄) ₂	0,08	1,49·10 ⁷	92,5	13,9	8,04·10 ⁻⁶
	Al(OH) ₃	0,20	1,23·10 ⁷	75,9	14,5	1,11·10 ⁻⁵
<i>V. harveyi</i> Ms1	CaCO ₃	1,36	1,56·10 ⁷	34,5	101,6	3,07·10 ⁻⁵
	Al ₂ O ₃	0,46	3,56·10 ⁷	78,5	152,8	1,46·10 ⁻⁵
	Ca ₃ (PO ₄) ₂	0,08	4,41·10 ⁷	97,3	34,5	1,59·10 ⁻⁶
	Al(OH) ₃	0,39	3,72·10 ⁷	82,0	25,4	1,61·10 ⁻⁶
<i>P. phosphoreum</i> F2	CaCO ₃	0,36	1,78·10 ⁶	19,3	126,8	3,60·10 ⁻⁴
	Al ₂ O ₃	0,24	4,44·10 ⁶	48,2	159,2	2,90·10 ⁻⁴
	Ca ₃ (PO ₄) ₂	0,14	6,58·10 ⁶	71,4	58,8	7,91·10 ⁻⁵
	Al(OH) ₃	0,11	7,11·10 ⁶	77,2	5,4	7,31·10 ⁻⁶
<i>P. leiognathi</i> Sh1	CaCO ₃	0,82	3,02·10 ⁶	14,5	116,8	6,62·10 ⁻⁴
	Al ₂ O ₃	0,29	1,49·10 ⁷	71,9	83,8	1,13·10 ⁻⁴
	Ca ₃ (PO ₄) ₂	0,56	8,89·10 ⁶	42,8	43,6	7,92·10 ⁻⁵
	Al(OH) ₃	0,62	7,47·10 ⁶	35,9	6,4	2,40·10 ⁻⁵

Было установлено, что интенсивность биолюминесценции бактерий в процессе адсорбции могла как увеличиваться, так и уменьшаться. Так, например, при использовании гидроксида алюминия и фосфата кальция наблюдалось уменьшение суммарной интенсивности свечения всех используемых штаммов в среднем соответственно до 13 % и 38 %. В случае карбоната кальция и оксида алюминия биолюминесценция некоторых штаммов бактерий возрастала до уровня 120–190 % от контрольных значений.

Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что иммобилизация бактерий приводит к изменению их удельного свечения как в сторону увеличения,

так и в сторону уменьшения в зависимости от сорбента. Сравнительная оценка удельного свечения свободных и связанных бактерий отражена на рисунке 1.

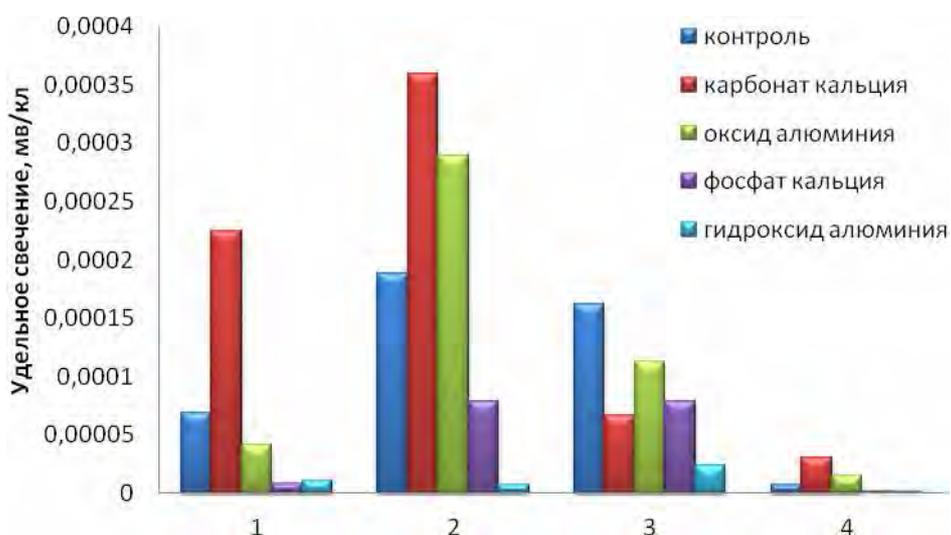


Рис. 1. Удельное свечение свободных и иммобилизованных бактерий: 1 – *V. fischeri* F1; 2 – *P. phosphoreum* F2; 3 – *P. leiognathi* Sh1; 4 – *V. harveyi* Ms1.

Согласно полученным результатам, бактерии, иммобилизованные на карбонате кальция и оксиде алюминия, демонстрируют те же закономерности, что были отмечены для свободных форм бактерий. Значение удельного свечения бактерий на различных сорбентах возрастает в ряду *V. harveyi* Ms1 – *V. fischeri* F1 – *P. leiognathi* Sh1 – *P. phosphoreum* F2. Повышение суммарной интенсивности свечения бактерий *V. fischeri* F1, *V. harveyi* Ms1 и *P. phosphoreum* F2 в системе с карбонатом кальция и бактерий *V. harveyi* Ms1 и *P. phosphoreum* F2 в системе с оксидом алюминия обусловлено увеличением показателя удельного бактериального свечения на данных сорбентах в сравнении с контролем. Значения удельного свечения бактерий, связанных на карбонате кальция и оксиде алюминия, в среднем возрастает соответственно в 3,4 и 1,8 раза. Удельное свечение всех рассматриваемых штаммов, иммобилизованных на фосфате кальция и гидроксиде алюминия, заметно падает в сравнении с их свободными формами. В среднем данный показатель бактерий, иммобилизованных на фосфате кальция, уменьшается в 4,4 раза, а иммобилизованных на гидроксиде алюминия – в 10,8 раза.

Экспериментальные данные свидетельствуют о перспективности использования карбоната кальция и оксида алюминия при создании биосенсоров. Следует также отметить, что в предыдущей работе [4] было показано и наличие сходной чувствительности свободных и иммобилизованных на данных носителях светящихся бактерий к действию хлорида цинка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что значения удельного свечения представителей четырех видов бактерий возрастает в ряду *V. harveyi* – *V. fischeri* – *P. leiognathi* – *P. phosphoreum*. Показано, что с увеличением способности бактериальных клеток накапливать биомассу интенсивность их удельной биолюминесценции, снижается.
2. Выявлено, что иммобилизация бактерий на неорганических носителях приводит к изменению их удельного свечения: для бактерий, связанных на карбонате кальция и оксиде алюминия, в среднем возрастает соответственно в 3,4 и 1,8 раза, а на фосфате кальция и гидроксиде алюминия – уменьшается соответственно в 4,4 и 10,8 раза.
3. В эксперименте с иммобилизованными бактериями установлено, что с ростом адсорбционной активности неорганического носителя удельное свечение адсорбированных на нем бактерий уменьшается.

Список литературы

1. Дерябин Д. Г. Бактериальная биолюминесценция: фундаментальные и прикладные аспекты / Д. Г. Дерябин. – М.: Наука, 2009. – 248 с.
2. Eltzov E. Whole-cell aquatic biosensors / E. Eltzov, R. S. Marks // Anal Bioanal Chem. – 2011. – Vol. 400, № 4. – P. 895–913.
3. Girotti S. Monitoring of environmental pollutants by bioluminescent bacteria / S. Girotti, E. N. Ferri, M. G. Fumo [et al] // Analytica Chimica Acta. – 2008. – Vol. 608, Issue 1. – P. 2–29.
4. Кацев А. М. Иммобилизация светящихся бактерий на неорганических носителях и оценка их применимости для биотестирования / А. М. Кацев, Э. Р. Абдураманова, Н. Ф. Стародуб // Биотехнология. – 2009. – Т. 2, № 3. – С. 74–78.
5. Ефременко Е. Н. Биосенсоры на основе иммобилизованных в криогеле поливинилового спирта светящихся бактерий *Photobacterium phosphoreum* для биомониторинга экотоксикантов / Е. Н. Ефременко, О. В. Сенько, Л. Э. Алескерова [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. – 2014. – Т. 50, № 5. – С. 490.
6. Кацев А. М. Характеристики Черноморских светящихся бактерий и перспективы их использования для анализа токсичности воды / А. М. Кацев // Таврический медико-биологический вестник. – 2001. – Т. 4, № 4. – С. 151–154.
7. Кацев А. М. Идентификация светящихся бактерий, выделенных из Черного и Азовского морей / А. М. Кацев, Джон Макемсон // Ученые записки ТНУ им. В. И. Вернадского, серия «Биология, химия». – 2006. – Т. 19, № 4. – С. 111–116.
8. Малыгина В. Ю. Светящиеся бактерии Черного и Азовского морей / В. Ю. Малыгина, А. М. Кацев // Экология моря. – 2003. – В. 64. – С. 18–23.
9. Кацев А. М. Новые термофильные люминесцентные бактерии, выделенные из Азовского моря воды / А. М. Кацев // Таврический медико-биологический вестник. – 2014. – Т. 17, № 2 (66). – С. 59–64.

FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF FREE AND IMMOBILIZED ON INORGANIC CARRIERS PHOTOBACTERIA OF BLACK AND AZOV SEAS

Abduramanova E. R., Naumova N. V., Derzyan L. M., Katsev A. M.

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

Marine luminescent bacteria can modify their bioluminescence intensity as a reply on change in the environment, due to the fact that their bioluminescent enzymatic reaction is a criterion of luminescent bacteria metabolism activity. This is a reason why they are being used as bioassay for screening and assessment of contaminants. Biosensor devices are created by immobilization of biological objects on different carriers, in order to produce more effective method of biotesting.

The aim of this research was to study the luminescence of free and immobilized marine bacteria.

One of the important characteristics of a bioluminescent signal is a specific luminescence, causing effect on sensitivity and measurement error of a bioluminescent method. At first the specific luminescence of four bacteria species (*Vibrio fischeri*, *Vibrio harveyi*, *Photobacterium phosphoreum* and *Photobacterium leiognathi*) was determined. Experimental findings were compared with the available data on luciferase reaction kinetics of investigated bacteria species.

It was determined that according to the values of specific luminescence (mV/cell) bacteria studied can be arranged in the following order: *P. phosphoreum* F2 ($7,72 \cdot 10^{-4}$) – *P. leiognathi* Cr1 ($1,83 \cdot 10^{-4}$) *P. leiognathi* Sh1 ($8,09 \cdot 10^{-5}$) – *V. fischeri* F1 ($4,36 \cdot 10^{-5}$) – *P. leiognathi* W1 ($3,67 \cdot 10^{-5}$) – *V. fischeri* Sh2 ($1,61 \cdot 10^{-5}$) – *V. harveyi* Ms1 ($2,57 \cdot 10^{-6}$). We can assume that this fact is related to the type of a luciferase reaction kinetics and presence of additional fluorescent proteins. It was shown that specific luminescence decreases with the increase in biomass of bacterial cells.

At the next step of an experiment the specific luminescence of free and immobilized bacteria were compared. The data received from measuring the specific luminescence of immobilized bacteria had shown an increase in 3.4 and 1.8 times for calcium carbonate and aluminium oxide accordingly, whereas it was decreasing for calcium phosphate and aluminium hydroxide in 4.4 and 10.8 times accordingly for some species.

Experimental data have shown a potential ability of calcium carbonate and aluminium oxide to serve as carriers for a biosensor creation.

Keywords: luminescent bacteria, bioluminescence, specific luminescence, biotesting, immobilization.

References

1. Deryabin D. G., *Bacterial bioluminescence: fundamental and applied aspects*, 248 p. (Science, Moscow, 2009). (in Russ.).
2. Eltzov E., Marks R. S., Whole-cell aquatic biosensors, *Anal Bioanal Chem.*, **400** (4), 895 (2011).
3. Girotti S., Ferri E. N., Fumo M. G., Maiolini E., Monitoring of environmental pollutants by bioluminescent bacteria, *Analytica Chimica Acta.*, **608** (1), 2 (2008).

4. Katsev A. M., Abduramanova E. R., Starodub N. F., Immobilization of luminous bacteria on inorganic carries and estimation of their applicability for a biotesting, *Biotechnology*, **2** (3), 74 (2009). (in Russ.).
5. Efremenko E. N., Senko O. V., Aleskerova L. E., Alenina K. A., Mazhul M. M., Ismailov A. D., Biosensors based on the luminous bacteria *Photobacterium phosphoreum* immobilized in polyvinyl alcohol cryogel for the monitoring of ecotoxicants, *Applied Biochemistry and Microbiology*, **50** (5), 477 (2014). (in Russ.).
6. Katsev A. M., Characteristics of the Black sea luminous bacteria and prospect of their use for the water toxicity analysis, *Tavrida medical-biological herald*, **4** (4), 151 (2001). (in Russ.).
7. Katsev A. M., Makemson J., Identification of luminous bacteria, isolated from Black and Azov seas, *Scientific Notes of V. I. Vernadsky TNU, series «Biology, chemistry»*, **19** (4), 111 (2006). (in Russ.).
8. Malygina V. Yu., Katsev A. M., Luminous bacteria of Black and Azov seas, *Sea ecology*, **64**, 18, (2003). (in Russ.).
9. Katsev A. M., New thermophylic luminescent bacteria isolated from the water of Azov sea, *Tavrida medical-biological herald*, **17** (2, 66), 59 (2014). (in Russ.).

УДК 539.194

РАСЧЕТ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ ВНУТРЕННЕГО ВРАЩЕНИЯ И ОЦЕНКА ЭНЕРГИИ ВНУТРИМОЛЕКУЛЯРНОЙ ВОДОРОДНОЙ СВЯЗИ В 2-МЕТОКСИФЕНОЛЕ

Валиев Э. В., Шейх-Заде М. И.

*ГБОУ ВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: envvaliyev@ukr.net*

С использованием геометрических параметров молекул 2-метоксифенола и частот торсионных переходов $0 \rightarrow 1$ в *цис*- и *транс*- потенциальных ямах рассчитана потенциальная функция внутреннего вращения этих молекул: $V(\alpha) = 0,5 \cdot V_1 \cdot (1 - \cos\alpha) + 0,5 \cdot V_2 \cdot (1 - \cos(2\alpha))$. Вычислены значения нулевых уровней энергии в *цис*- и *транс*- потенциальных ямах. Рассматривая энергию внутримолекулярной водородной связи как разность между нулевыми уровнями в *транс*- и *цис*- потенциальных ямах, сделана оценка значения энергии внутримолекулярной водородной связи в 2-метоксифеноле.

Ключевые слова: внутримолекулярная водородная связь, энергия, внутреннее вращение, потенциальная энергия.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ литературных данных показывает, что ИК спектроскопия достаточно широко применяется для определения энергии внутримолекулярной водородной связи (ВВС) в молекулах, в ИК спектрах которых наблюдаются полосы *цис*- и *транс*- форм. В таких случаях путем измерения абсолютной или относительной заселенностей *цис*- и *транс*- состояний в некотором температурном интервале удается провести прямое определение энергии ВВС [1].

На рис. 1 приведен ИК спектр разбавленного раствора 2-метоксифенола (2-МФ), который выбран нами в качестве объекта исследования, в CCl_4 .

Одиночная полоса с частотой в максимуме 3557 см^{-1} очевидно принадлежит валентным колебаниям ОН- группы, включенной во ВВС с OCH_3 -группой. Нагрев раствора 2-МФ в различных инертных растворителях до температур, ограниченных температурой кипения этих растворителей, показывает, что в ИК спектре не появляется полоса $\nu_{\text{ОН}}$ свободных ОН-групп. Это означает, что для 2-МФ оказывается невозможным применить описанный выше способ прямого определения энергии ВВС по ИК спектрам поглощения.

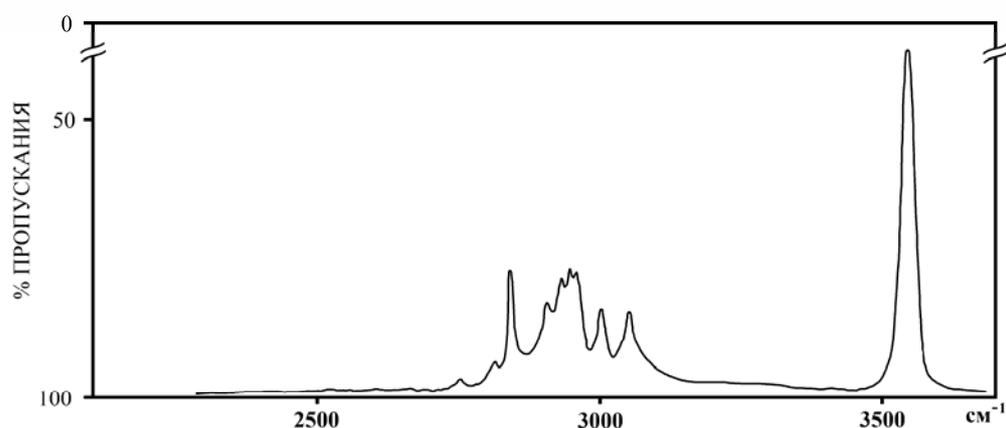


Рис. 1. Спектр раствора 2-МФ в CCl_4 . $C = 7 \cdot 10^{-3}$ моль/л. $d = 3$ мм. Температура 22°C .

Исходя из этих соображений была сформулирована цель данной работы – оценить энергию ВВС в 2-МФ путем определения параметров V_1 , V_2 потенциальной функции внутреннего вращения (ПФВВ)

$$V(\alpha) = \sum_{k=1}^n \frac{V_k}{2} (1 - \cos(k \cdot \alpha)), \quad (1)$$

где α – угол внутреннего вращения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

ИК спектры растворов 2-МФ в CCl_4 регистрировались на спектрофотометре Spereord 75 IR. Условия регистрации выбирались такими, чтобы свести к минимуму искажающее влияние прибора на спектры. Использовались кюветы с окнами из CaF_2 и KBr . Толщина слоя раствора выбиралась такой, чтобы свести к минимуму погрешность в определении оптической плотности в максимуме интересующих нас полос поглощения. Регистрация спектров производилась при концентрациях 2-МФ порядка $7 \cdot 10^{-3}$ моль/л. При таких концентрациях не наблюдается самоассоциации молекул 2-МФ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для восстановления ПФВВ (1) необходимо знать частоты $\tau_1(\text{OH})$, $\tau_2(\text{OH})$ торсионных переходов $0 \rightarrow 1$ в *цис*- и *транс*- потенциальных ямах соответственно и значения приведенных моментов инерции $I_{\text{пр}1}$, $I_{\text{пр}2}$ в *цис*- и *транс*- формах молекул 2-МФ. Частоты $\tau_1(\text{OH})$, $\tau_2(\text{OH})$ для 2-МФ оказались расположенными вне рабочей области спектрофотометра Spereord 75 IR, поэтому были использованы значения $\tau_1 = 428 \text{ см}^{-1}$, $\tau_2 = 388 \text{ см}^{-1}$ (раствор в C_6H_{12}), которые получены в работе [2]. При расчете значений $I_{\text{пр}}$ применялась модель полужесткой молекулы, когда жесткий волчок соединен с жестким остовом. Значения $I_{\text{пр}}$ были рассчитаны по формулам,

приведенным в работе [3], с использованием геометрических параметров молекул 2-МФ. Геометрия равновесной конфигурации молекулы 2-МФ принималась как для фенола [4], расстояние $r(\text{C}_2\text{--O}_2)$ и геометрия OCH_3 -группы принимались как для метанола [5]. Значения $I_{\text{пр}1}$, $I_{\text{пр}2}$ оказались практически одинаковыми и равными $751,75 \cdot 10^{-3}$ а.е.м. $\cdot(\text{Å})^2$.

Для нахождения значений V_1 , V_2 по известным значениям τ_1 , τ_2 , $I_{\text{пр}}$ применили итерационный метод Ньютона [6]. Для получения достаточно хороших начальных приближений для V_1 , V_2 и при вычислении производных $\partial f_i(V_1, V_2)/\partial V_k$ ($i, k = 1, 2$; $f_1 = \tau_1^{\text{р}} - \tau_1$, $f_2 = \tau_2^{\text{р}} - \tau_2$; $\tau_1^{\text{р}}$, $\tau_2^{\text{р}}$ – рассчитанные значения частот торсионных переходов $0 \rightarrow 1$ в *цис*- и *транс*- потенциальных ямах соответственно) использовали формулы, учитывающие ангармоничность ПФВВ [7]. Полученные таким образом для 2-МФ значения V_1 , V_2 оказались равными: $V_1 = 685 \text{ см}^{-1}$, $V_2 = 2088 \text{ см}^{-1}$. По этим данным была восстановлена ПФВВ 2-МФ, график которой показан на рис. 2.

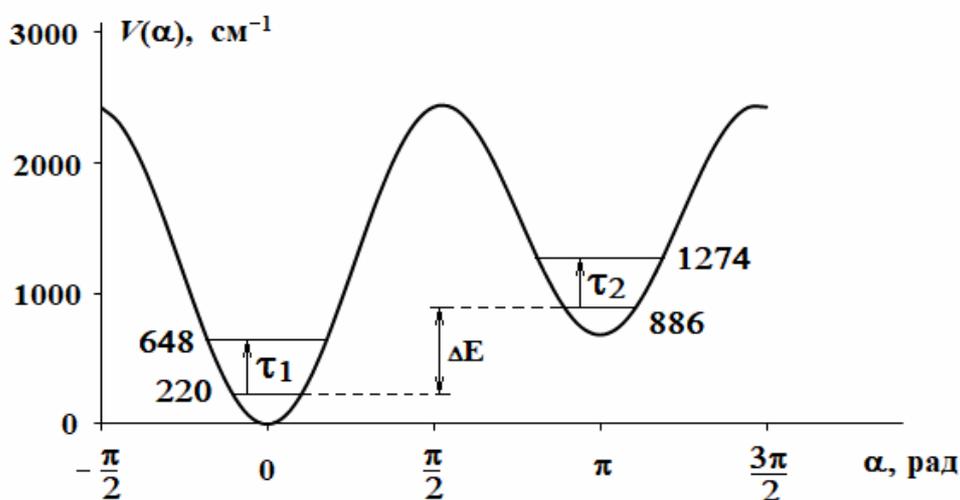


Рис. 2. Потенциальная функция внутреннего вращения 2-МФ.

Если под энергией ВВС понимать разность ΔE между нулевыми уровнями энергии в *транс*- и *цис*- потенциальных ямах, то для 2-МФ энергия ВВС оказывается равной: $\Delta E = 666 \text{ см}^{-1} = 1,90 \text{ ккал/моль}$. Найденное значение энергии ВВС для 2-МФ близко к значению $2,00 \text{ ккал/моль}$ (раствор в C_6H_{12}), полученному в [8] по частотам крутильных колебаний $\tau(\text{OH})$, но заметно меньше значения $4,13 \text{ ккал/моль}$ (раствор в CCl_4), полученному в [9] с помощью конкурирующих равновесий. Как следует из литературных данных, подобный разброс в значениях энергии ВВС, полученных разными методами, существует и для других веществ. Такую ситуацию можно объяснить как неоднозначностью в определении понятия энергии ВВС, на что указано в работе [10], так и наличием погрешностей различного вида в применяемых методах измерения или оценки энергии ВВС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По известным значениям τ_1 , τ_2 , и рассчитанному значению $I_{пр}$, найдены параметры V_1 , V_2 ПФВВ 2-МФ.
2. Используя эти данные, проведена оценка энергии ВВС в 2-МФ, которая оказалась равной 1,90 ккал/моль.

Список литературы

1. Oki M. Intramolecular interaction between hydroxyl group and π -electrons. VII. Energies of the interaction / M. Oki, H. Iwamura // Bull. Chem. Soc. Japan. – 1960. – Vol. 33, № 5. – P. 717.
2. Fateley W. G. Phenolic-OH torsional frequency as a probe for studying π -electron distortions in aromatic systems / W. G. Fateley, G. L. Carlson, F. F. Bentley // J. Phys. Chem. – 1975. – Vol. 79, № 3. – P. 199–204.
3. Марголин Л. Н. Вычисление приведенных моментов инерции для внутреннего вращения в симметричных молекулах / Л. Н. Марголин, Ю. А. Пентин, В. И. Тюлин // Опт. и спектр. – 1973. – Т. 35, № 5. – С. 824–827.
4. Larsen N. W. Microwave spectra of six-mono-¹³C-substituted phenols and of some monodeuterated species of phenol. Completely substitution structure and absolute dipole moment / N. W. Larsen // J. Mol. Struct. – 1979. – Vol. 51, № 2. – P. 175–190.
5. Свердлов Л. М. Колебательные спектры многоатомных молекул / Л. М. Свердлов, М. А. Ковнер, Е. П. Крайнов. – М.: Наука, 1970. – 560 с.
6. Березин И. С. Методы вычислений. – Т.1 / И. С. Березин, И. П. Жидков. – М.: Наука, 1966. – С. 488–501.
7. Canliffe A. V. The calculation of barriers to internal rotation from torsional frequencies / A. V. Canliffe – In: Internal rotation in molecules. Ed. by Orville–Thomas W.J. – N.Y.: John Wiley & Sons, 1974. – P. 381–396.
8. Carlson G. L. Torsional frequencies and conformational equilibria of ortho-substituted phenols / G. L. Carlson, W. G. Fateley // J. Phys. Chem. – 1973. – Vol. 77, № 9. – P. 1157.
9. Денисов Г. С. Определение энергии внутримолекулярной водородной связи с помощью конкурирующих равновесий / Г. С. Денисов, М. И. Шейх-Заде, М. В. Эскина // Журнал прикладной спектроскопии. – 1977. – Т. 27, № 6. – С. 1049–1054.
10. Шагидуллин Р. Р. Энергия внутримолекулярных водородных связей в о-галогенофенолах / Р. Р. Шагидуллин, А. Х. Плямоватый, С. А. Кацюба // Изв. АН СССР. Сер. хим. – 1980. – № 10. – С. 2262–2264.

INTERNAL ROTATION POTENTIAL FUNCTION CALCULATION AND THE INTRAMOLECULAR HYDROGEN BOND ENERGY ESTIMATION IN 2-METHOXYPHENOL

Valiev E. V., Sheikh-Zade M. I.

*State Budget Educational Institution of Higher Education of the Republic of Crimea "Crimean Engineering and Pedagogical University.", Simferopol, Crimea, Russian Federation
E-mail: envervaliev@ukr.net*

If the bands of *cis*- and *trans*- forms are observed for molecules with intramolecular hydrogen bond (IHB) in IR spectra, then by measuring the absolute or relative populations of *cis*- and *trans*- states in a certain temperature range, it is possible to make a direct determination of the IHB energy. For 2-methoxyphenol (2-MPh), which we selected as the

object of investigation, only the band corresponding to the *trans*- form is observed in the IR spectra in the region of νOH . The heating of a solution of 2MPH in various inert solvents to boiling temperatures of these solvents shows that the band corresponding to the *trans*- form does not appear in the IR spectrum. This means that for 2-MPH it is impossible to apply the above method of direct determination of the IHB energy by IR spectra.

The task of this paper was to estimate the IHB energy of the 2-MP by determining the parameters V_1 , V_2 of the internal rotation potential function (IRPF),

$$V(\alpha) = \sum_{k=1}^j \frac{V_k}{2} (1 - \cos(k\alpha)), \quad (1)$$

where α is the angle of internal rotation.

This problem was solved by calculation using the frequency values τ_1 , τ_2 of the torsion transitions $0 \rightarrow 1$ in the *cis*- and *trans*- potential wells and the value of the reduced inertia I_r , calculated from the geometric parameters of the 2-MPH molecules that were adopted as for phenol. The obtained values of V_1 , V_2 are equal: $V_1 = 685 \text{ cm}^{-1}$, $V_2 = 2088 \text{ cm}^{-1}$. These data make it possible to reconstruct the IRPF (1), and also to calculate the values of the energy levels in the *cis*- and *trans*- potential wells.

If, under the IHB energy, we understand the difference ΔE between zero energy levels in *trans*- and *cis*- potential wells, then for 2-MPH the energy is equal to $\Delta E = 666 \text{ cm}^{-1} = 1.90 \text{ kcal/mol}$.

Keywords: intramolecular hydrogen bond, energy, internal rotation, potential energy.

References

1. Oki M., Iwamura H., Intramolecular interaction between hydroxyl group and π -electrons. VII. Energies of the interaction, *Bull. Chem. Soc. Japan.*, **33**(5), 717 (1960).
2. Fateley W. G., Carlson G. L., Bentley F. F., Phenolic-OH torsional frequency as a probe for studying π -electron distortions in aromatic systems, *J. Phys. Chem.*, **79** (11), 199 (1975).
3. Margolin R. N., Pentin Yu. A., Tyulin V. I., Calculation of the reduced moments of inertia for internal rotation in symmetric molecules, *Opt. i Spectrosc.*, **35** (5), 824 (1973). (*in Russ.*).
4. Larsen N. W., Microwave spectra of six-mono- ^{13}C -substituted phenols and of some monodeuterated species of phenol. Completely substitution structure and absolute dipole moment, *J. Mol. Struct.*, **51** (2), 175 (1979).
5. Sverdlov L. M., Covner M. A., Crynov E. P., *Vibrational spectra of polyatomic molecules*, 560 p. (Izd. Nauka, Moskow, 1970). (*in Russ.*).
6. Berezin I. S., Jidkov I. P., *Calculation methods*, **1**, 501 p., (Izd. Nauka, Moskow, 1966). (*in Russ.*).
7. Canliffe A. V. The calculation of barriers to internal rotation from torsional frequencies, *Internal rotation in molecules*, edited by Orville–Thomas W.J., p. 381-396 (John Wiley & Sons, N.-Y., 1974).
8. Carlson G. L., Fateley W. G., Torsional frequencies and conformational equilibria of ortho-substituted phenols, *J. Phys. Chem.*, **77** (9), 115 (1973).
9. Denisov G. S., Sheikh-Zade M. I., Eskina M. V., Determination of the intramolecular hydrogen bond energy by means of competing equilibria, *J. Prikl. Spectrosc.*, **27** (6), 1049 (1977). (*in Russ.*).
10. Shagidullin R. R., Plyamovaty A. Kh., Katsyuba S. A., The energy of intramolecular hydrogen bonds in o-halophenols, *Izv. AN USSR Ser. Chem.*, (10), 2262 (1980). (*in Russ.*).

УДК 547.781 + 577.112.34

СИНТЕЗ И ПРОГНОЗИРУЕМАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ АЛИЦИКЛИЧЕСКИХ И АРОМАТИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДНЫХ β -АЛАНИНА И БЕНЗИМИДАЗОЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ

Мельник С. А., Цикалова В. Н., Цикалов В. В., Баевский М. Ю.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: vika.tim@list.ru*

Синтезирован ряд бензимидазолов алициклической и ароматической природы на основе соответствующих эфиров β -аланина конденсацией их с *o*-фенилендиамином в присутствии соляной кислоты. Получение *N*-замещенных производных β -аминопропионовой кислоты осуществлялось взаимодействием эквимольных количеств морфолина, бензиламина, азепана и 4-аминопридина с метиловым эфиром акриловой кислоты в растворе изопропилового спирта при комнатной температуре в течение суток. Для расчета возможной биологической активности была использована программа PASS Online.

Ключевые слова: бензимидазолы, β -аланин, программа PASS Online.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время широкое распространение получили исследования в области синтеза биологически активных веществ. Производные бензимидазола, как известно, характеризуются более чем 25 видами фармакологического действия, в том числе антиаллергической и иммуномодулирующей активностью [1]. Они применяются в сельском хозяйстве в качестве системных фунгицидов и протравителей семян. Исследование в области синтеза новых производных бензимидазолов получили широкое применение с 50-х годов XX века. Особый интерес к производным бензимидазола возник с развитием комбинаторной химии. В связи с тем, что бензимидазольные производные содержат несколько лабильных центров, возможно получение множества различных соединений на основе базовой структуры. Производные бензимидазола занимают важное место среди представителей разнообразных лекарственных препаратов. Известны такие препараты, как спазмолитик дибазол, нейролептики пимозид и дроперидол. Наибольший интерес представляют лекарственные препараты, воздействующие на центральную нервную систему, такие как ноотропы, аналептики, антигипоксанта и антидепрессанты [1].

С другой стороны, большой интерес вызывают продукты взаимодействия различных аминов с акриловой, метакриловой, кротоновой кислотами и их производными, поскольку они находят применение в качестве промежуточных

соединений в органическом синтезе, в частности в синтезе органических красителей, лекарственных противомикробных, противоопухолевых, противомаларийных препаратов.

Первичные и вторичные амины обладают достаточной нуклеофильностью для реагирования без введения дополнительных катализаторов. В научных работах часто предлагается вариант синтеза производных β -аланина конденсацией эквимольных количеств аминов и производных акриловой кислоты в среде спирта при комнатной температуре или в условиях кипячения растворителя [2–4].

Для получения бензимидазольных производных на основе *o*-фенилендиамина, β -аминокарбонильных соединений и их производных в качестве катализаторов используют различные минеральные и органические кислоты, в частности соляную, полифосфорную, пиколиновую кислоты и другие [5–7].

В последнее время активно используется компьютерная программа PASS Prediction of Activity Spectra for Substances для прогнозирования биологической активности химического соединения по принципу «активность–структура», где структура соединения описывается ее отдельными функциональными элементами (дескрипторами) – радикалами и функциональными группами атомов. Поэтому целью работы является, во-первых, получение ряда новых циклических и ароматических производных бензимидазола на основании предварительно синтезированных производных метилового эфира β -аланина, во-вторых, расчет прогнозируемой биологической активности (по воздействию на центральную нервную систему) полученных веществ программой PASS Online [8].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы реактивы: *o*-фенилендиамин, морфолин, азепан, изопропиловый спирт, бензиламин, аминопиридин.

Анализ состава реакционных смесей, чистоты синтезированных соединений, а также контроль хода реакций осуществляли методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) на пластинках Kieselgel 60-F254 (Merck) в системе растворителей бензол – пропан-2-ол, 10:1 (А), бутан-1-ол – пиридин – вода, 10:3:3 (Б). ТСХ проводили на пластинках Sorbfil-АФВ-УФ («Сорбполимер», Россия). Вещества обнаруживали УФ (254 нм), 1 % раствором нингидрина в изопропиловом спирте с последующим нагреванием до 200°C.

Спектры ^1H ЯМР получены на приборе Varian VXR-400 (400 МГц), внутренний стандарт – тетраметилсилан. Приведены химические сдвиги (δ -шкала) (Институт живых систем Северо-Кавказского федерального университета, г. Ставрополь).

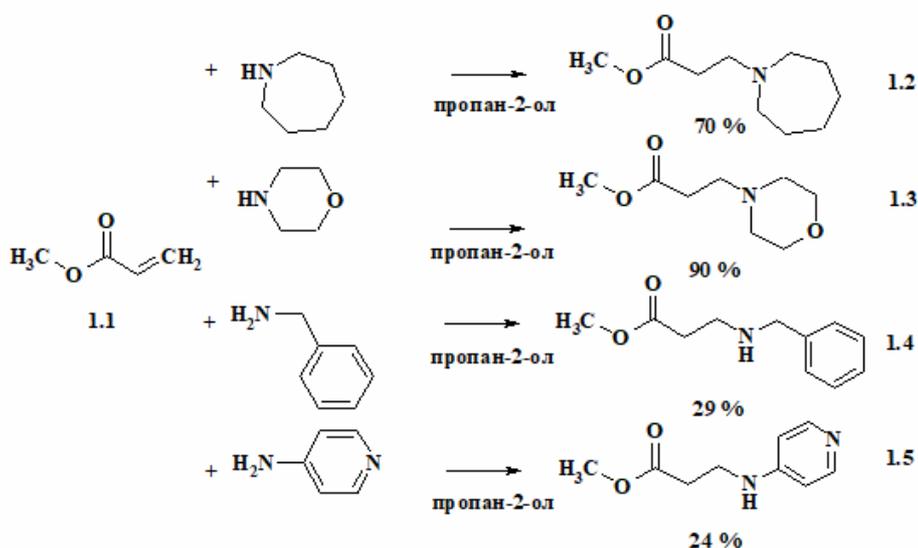


Рис.1. Схемы синтеза производных метилового эфира β -аланина.

Общий метод получения производных метилового эфира β -аланина.

В плоскодонную колбу помещают 0,02 моля метилакрилата в 5 мл изопропилового спирта. Во второй колбе растворяют 0,02 моля ароматического или алициклического амина в 3 мл изопропилового спирта. Содержимое второй колбы добавляют к первой с помощью капельной воронки при охлаждении водой. После смешивания реактивов смесь оставляют при комнатной температуре на 12 часов. Вещества **1.2–1.4** после окончания реакции выделяют вакуумной перегонной, а соединение **1.5** очищают перекристаллизацией из изопропилового спирта.

1. **Метил-3-(азепан-1-ил)пропаноат (1.2)**. Выход: 70 %, т. кип. = 180°C. ^1H ЯМР (400 МГц, DMSO- d_6): 1,52 м.д., м (8H, 4CH₂), 2,42 м.д., т (2H, (N)-CH₂), 2,56 м.д., т (4H, CH₂-N-CH₂), 2,71 м.д., т (2H, CH₂(COOCH₃)), 3,58 м.д., с (3H, CH₃).

2. **Метил-3-(морфолин-4-ил)пропаноат (1.3)**. Выход: 90 %, т. кип. = 142°C, $n_D^{20} = 1,4580$.

3. **Метил-3-(бензиламино)пропаноат (1.4)**. Выход: 29 %, т. кип. = 153°C, $n_D^{20} = 1,5289$.

4. **Метил-3(пиридинил-4-амино)пропаноат (1.5)**. Выход: 24 %, т. пл. = 55–60°C.

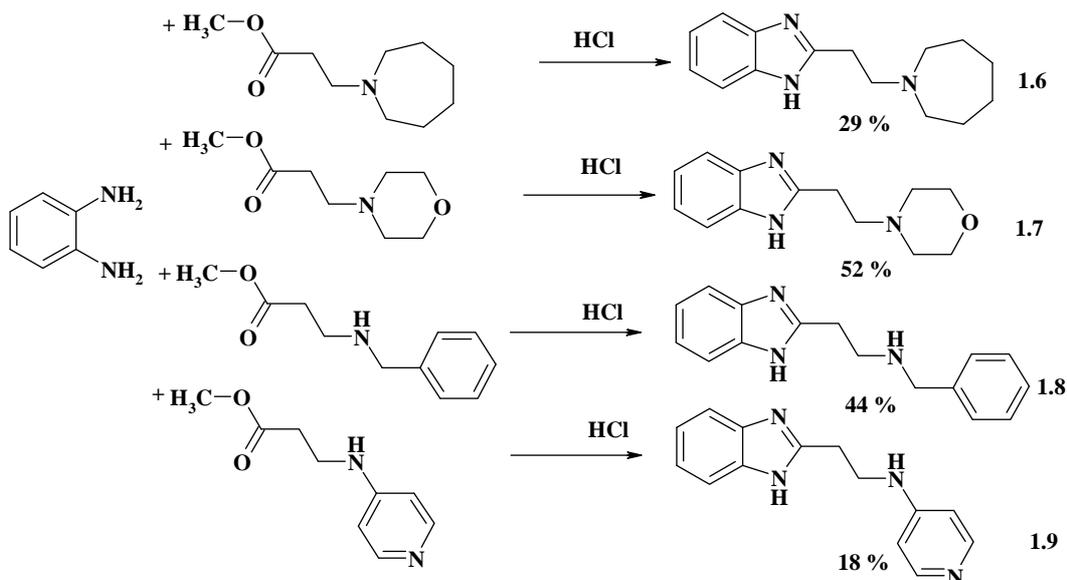


Рис.2. Схема синтеза производных бензимидазолов.

Общий метод получения производных бензимидазолов на основе метилового эфира β -аланина в присутствии соляной кислоты.

В круглодонную колбу помещают 0,01 моля производного метил- β -аминопропаноата (1.2–1.5), 10 мл концентрированной соляной кислоты и 15 мл воды. К полученному раствору добавляют 0,0075 моля *o*-фенилендиамин. Реакционную массу нагревают при кипении в колбе с обратным холодильником в течение 24 часов. По окончании реакции (отсутствие свободного *o*-фенилендиамин) реакционную смесь охлаждают и нейтрализуют раствором аммиака до pH 8. Выпавший осадок отфильтровывают на фильтре Шотта. После сушки при комнатной температуре полученный продукт перекристаллизовывают из водного 70 % этанола. Контроль чистоты ведут методом ТСХ (система Б). Строение всех полученных соединений подтверждено спектрами ^1H ЯМР.

1. **2-(2-Азепан-1-илэтил)-1H-бензимидазол (1.6).** Выход аморфного вещества 29 %. ^1H ЯМР (400 МГц, DMSO- d_6): 1,51 м.д., у.с. (8H, 4CH₂); 2,43 м.д., т (2H, (N)-CH₂-CH₂), 2,55 м.д., т (4H, CH₂-N-CH₂), 3,60 м.д., ддд (2H, (N)-CH₂-CH₂), 7,36–7,68 м.д., м (4H, Ar).

2. **2-(2-Морфолин-4-илэтил)-1H-бензимидазол (1.7).** Выход аморфного вещества 52 %. ^1H ЯМР (400 МГц, DMSO- d_6): 3,35 м.д., ддд (4H, 2CH₂-N), 3,83 м.д., ддд (4H, 2 CH₂-O), 3,60 м.д. и 3,71 м.д., ддд (4H, 2CH₂), 7,48–7,62 м.д. м (4H, Ar).

3. **2-(N-Бензил-2-аминоэтил)-1H-бензимидазол (1.8).** Выход аморфного вещества 44 %. ^1H ЯМР (400 МГц, DMSO- d_6): 2,93 и 2,95 м.д., ддд (4H, 2CH₂), 3,75 м.д., дд (2H, 2CH₂-N), 7,1–7,42 м.д. область (9H, Ar).

4. **2-(N-Пиридин-4-ил-2-аминоэтил)-1H-бензимидазол (1.9).** Выход аморфного вещества 18 %. ¹H ЯМР (400 МГц, DMSO-d₆): 3,15 м.д., ддд (2H, CH₂-N), 3,70 и 3,71 м.д., ддд (2H, Ar-CH₂-), 6,5–8,0 м.д. область (8H, Ar).

Использование PASS Online в расчетном методе прогнозирования биологической активности исследуемых веществ.

Подход, используемый в PASS для прогнозирования биологической активности того или иного химического соединения, основан на предположении, что активность определенного фрагмента соответствует элементу структуры, а структура соединения в целом, в свою очередь, описывается ее отдельными функциональными элементами (дескрипторами) – радикалами, функциональными группами.

Сравнивая структуру нового соединения со структурами известного биологически активного вещества, можно оценить, обладает ли новое соединение определенными биологическими эффектами. То есть в основу работы PASS положены те же принципы, что и в основу работы химиков-фармацевтов, когда они конструируют новые лекарственные соединения. Сравнение нового (анализируемого) соединения с соединениями с известным спектром биологической активности происходит на основе обучающей выборки – библиотеки химических соединений, включающей более 200 тысяч веществ. Необходимо, однако, отметить, что PASS не предсказывает активности соединения *in situ*, а лишь указывает на вероятность наличия у соединения определенной биологической активности от 0 (активность отсутствует) до 1 – вероятность наличия активности 100 %.

Наличие активности у анализируемого химического соединения обозначается символом Pa, а отсутствие – символом Pi. Чем выше Pa и ниже Pi для данного типа биологической активности анализируемого соединения, тем более вероятно обнаружить такую активность в эксперименте, например, на животных. Спектр биологических активностей для соединения в программе PASS приводится в виде таблицы, построенной в порядке уменьшения Pa и увеличения Pi. То есть чем ниже в таблице располагается данный вид биологической активности для соединения, тем меньше вероятность обнаружить ее экспериментально. При этом считается, что значения Pa > 0,7 имеют высокую вероятность экспериментального подтверждения предсказанной биологической активности.

В программе PASS Online существует встроенный графический редактор Marvin applet (рис. 3), предназначенный для изображения химической структуры анализируемого соединения с последующим анализом спектра его биологической активности. После получения списка таблицы данных в столбце Activity будут показаны «мишени», на которые возможно воздействие исследуемого вещества.

Спектр биологической активности в данной работе прогнозировался в PASS Online с Pa > 0,7 (рис. 4).

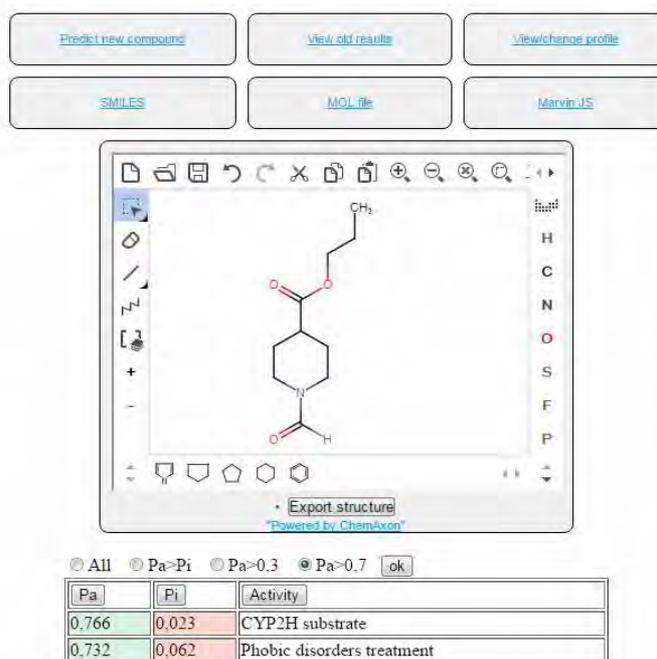


Рис. 3. Интерфейс компьютерной программы в процессе поиска биологической активности «формула–активность».

The screenshot shows the results table from the PASS Online software. It features the same radio button controls as in Figure 3, with 'Pa>0.7' selected. Below the controls is a table with three columns: 'Pa', 'Pi', and 'Activity'.

Pa	Pi	Activity
0.816	0.033	Twitching
0.776	0.014	Weight loss
0.765	0.052	Shivering

Рис. 4. Интерфейс компьютерной программы в процессе поиска биологической активности «формула–токсичность/побочные эффекты».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные производные β -аланина: метил-3-(азепан-1-ил)пропаноат, метил-3-(морфолин-4-ил)пропаноат и метил-3-бензиламинопропаноат были выделены вакуумной перегонкой с выходами соответственно 70 %, 90 %, 29 %, а метил-3-(пиридинил-4-амино)пропаноат был выделен перекристаллизацией из изопропилового спирта с выходом 24 %. Строение синтезированных соединений было подтверждено данными ПМР-спектроскопии.

Для всех полученных производных β -аланина было спрогнозировано расчетное значение возможной нейротропной биологической активности с помощью программы PASS Online. В случае производных азепана, бензиламина и 4-

аминопиридина расчетное значение программы PASS Online для этих эфиров выявило возможный вид активности «лечение фобических расстройств», с вероятностью соответственно для соединений 90%, 83% и 81%. Для производного морфолина кроме возможной активности «лечения фобических расстройств» с вероятностью 95 % также было выявлено «противоневритическое действие» с вероятностью 80 %.

Методом конденсации *o*-фенилендиамин с производными β-аланина (1.2-1.5) при кипячении в присутствии соляной кислоты были получены соответствующие производные бензимидазола. Выходы полученных производных 2-(2-азепан-1-илэтил)-1*H*-бензимидазола, 2-(2-морфолин-4-илэтил)-1*H*-бензимидазола, 2-(*N*-бензил-2-аминоэтил)-1*H*-бензимидазола и 2-(*N*-пиридин-4-ил-2-аминоэтил)-1*H*-бензимидазола соответственно составили 29 %, 52 %, 44 % и 18 %.

Расчетное значение программы PASS Online для бензимидазольного производного азепана выявило возможный вид активности «лечение острых неврологических расстройств» с вероятностью 74 %. Расчетное значение программы PASS Online для бензимидазольного производного морфолина выявило следующие возможные виды активности – «лечение фобических расстройств» с вероятностью 84 %, «противоневротическое действие» с вероятностью 76 % и «церебральное противоишемическое» действие с вероятностью 73 %. В случае бензимидазольного производного бензиламина расчетное значение программы PASS Online для этого соединения выявило возможный вид активности «церебральное противоишемическое» действие с вероятностью 71 %. Для бензимидазольного производного 4-аминопиридина программа PASS Online не выявила искомым возможным активностей с вероятностью более 70 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Синтезирован ряд алициклических и ароматических производных β-аланина взаимодействием метилового эфира акриловой кислоты с циклогексаметиленамином, морфолином, бензиламином и 4-аминопиридином. Из полученных эфиров β-аланина конденсацией с *o*-фенилендиамином синтезированы соответствующие бензимидазолы в присутствии соляной кислоты.
2. В результате расчета биологической активности синтезированных соединений с помощью программы PASS Online показано, что все полученные вещества вероятно будут обладать нейротропной активностью.

Список литературы

1. Спасов А. А. Спектр фармакологической активности и токсикологические свойства производных бензимидазола (обзор) / А. А. Спасов, И. Н. Иёжица // Химико-фармацевтический журнал. – 1999. – Т. 33. – № 5. – С. 17.
2. Bosch J. Studies on the synthesis of the benzo[a]quinolizidin-2-one ring system. Preparation of a 1,1-dimethyl derivative / J. Bosch [et al.] // J. Org. Chem. – 1983. – Vol. 48. – P. 1075–1080.
3. Delaney E. J. Poly(ethylenimines) with alternative (Alkylamino)pyridines as nucleophilic catalysts / E. J. Delaney [et al.] // J. Am. Chem. Soc. – 1982. – Vol. 104. – P. 799–807.

4. Синтезы гетероциклических соединений / Под. общ. ред. А. А. Арояна. – Ереван: Изд-во АН Армянской ССР. – 1975. – Вып. 10. – С. 43–45.
5. Bocion P. Synthesis and characteriion of a group of dihydropyrimido-benzimidazole photosystem II herbicides / P. Bocion [et al.] // Pesticide biochemistry and physiology. – 1987. – Vol. 28. – P. 75–84.
6. Ichikawa M. Acidic properties of benzimidazoles and substituent effects / M. Ichikawa [et al.] // Chem.pharm.bull. – 1979. – № 5. – P. 1255–1264.
7. Addison A. W. Syntesis of some imidazole – and pyrazole-derived chelating agents / A. W. Addison, P. J. Burke // J. Heterocyclic Chem. – 1989. – № 26. – P. 541–543.
8. <http://www.passonline.org>

SYNTHESIS AND PREDICTED BIOLOGICAL ACTIVITY OF ALICYCLIC AND AROMATIC DERIVATIVES β -ALANINE AND BENZIMIDAZOLES ON THEIR BASIS

Melnik S. A., Tsikalova V. N., Tsikalov V. V., Baevsky M. Y.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation
E-mail: vika.tim@list.ru*

The products of accession of different amines with acrylic, methacrylic, crotonic acids and their derivatives are of great interest because they find application as intermediates in organic synthesis. The preparation of *N*-substituted β -aminopropionic acid derivatives was carried out by reacting equimolar amounts of morpholine, benzylamine, azepane and 4-aminopyridine with methyl ester acrylic acid in a solution of isopropyl alcohol at room temperature for 24 hours. Received new β -alanine derivatives methyl-3-(azepan-1-yl)propanoate, methyl-3-(morpholin-4-yl)propanoate and methyl-3-benzylaminopropanoate were isolated by vacuum distillation with yields of 70 %, 90 %, 29 %, and methyl-3-(pyridinyl-4-amino)propanoate was isolated by recrystallization from isopropyl alcohol in 24 % yield. All the β -alanine derivatives was predicted on possible neurotropic biological activity by the PASS Online program. Azepane, benzylamine and 4-aminopyridine derivatives are showing possible activity "phobic disorders treatment", with a probability of 90 %, 83 % and 81 %, respectively. For the morpholine derivative, in addition to the possible activity of "treatment of phobic disorders" with a probability of 95%, an "antineuritic effect" was also detected with a probability of 80 %. A series of benzimidazoles of an aminocyclic and aromatic nature have been synthesized on the basis of the corresponding β -alanine esters by condensation with *o*-phenylenediamine in the presence of hydrochloric acid. The yields of the resulting 2-(2-azepan-1-ylethyl)-, 2-(2-morpholin-4-ylethyl)-, 2-(*N*-benzyl-2-aminoethyl)- and 2-(*N*-pyridin-4-yl-2-aminoethyl)-1*H*-benzimidazoles were 29 %, 52 %, 44 % and 18 %, respectively. Structures of all benzimidazoles are confirmed by ¹H NMR spectroscopy. The PASS Online program was used to calculate the possible biological activity. The PASS Online program presented for the all benzimidazoles possible biological activity: for azepan derivative – "treatment of acute neurological disorders" with a probability of 74 %, for morpholine derivative – "treatment of phobic disorders", with a probability of 84 %, "antineuritic effect" with a probability of 76 % and a "cerebral anti-ischemic" effect with a probability of 73 %, for

benzylamine derivative – "cerebral anti-ischemic" with a probability of 71 %. For the benzimidazole derivative of 4-aminopyridine, the PASS Online program did not reveal the desired possible activities with a probability of more than 70 %.

Keywords: benzimidazoles, β -alanine, PASS Online program.

References

1. Spasov A. A., Izhitsa I. N. Spectrum of pharmacological activity and toxicological properties of benzimidazole derivatives, *Chem.–Pharm. J.*, **33** (5), 17 (1999). (*in Russ.*)
2. Bosch J., Domingo A., Linares A. Studies on the synthesis of the benzo[a]quinolizidin-2-one ring system. Preparation of a 1,1-dimethyl derivative, *J. Org. Chem.*, **48**, 1075 (1983).
3. Delaney E. J., Wood L. E., Klotz I. M. Poly(ethylenimines) with alternative (alkylamino)pyridines as nucleophilic catalysts, *J. Am. Chem. SOC.*, **104**, 799 (1982).
4. Synthesis of heterocyclic compounds, **10**, 43 (Publishing house of the Academy of Sciences of the Armenian SSR, Yerevan, 1975). (*in Russ.*)
5. Bocion P. E., Cattanach J., Eggenberg P., Gressel J., Hagmann M. L., Malkin S., Wenger J. Synthesis and characteriion of a group of dihydropyrimido-benzimidazole photosystem II herbicides, *Pesticide biochemistry and physiology*, **28**, 75 (1987).
6. Ichikawa M., Nabeya S., Muraoka K., Hisano T. Acidic properties of benzimidazoles and substituent effects, *Chem. pharm. Bull.*, **5**, 1255 (1979).
7. Addison A. W., Burke P. J. Syntesis of some imidazole – and pyrazole-derived chelating agents, *J. Heterocyclic Chem.*, **26**, 541 (1989).
8. <http://www.passonline.org>

УДК 678.83:620.178

СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДОВ

Ткаченко Э. В.¹, Буря А. И.², Толстенко Ю. В.¹

¹*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия*

²*Днепропетровский государственный технический университет, Каменское, Украина*

E-mail: tkelly@rambler.ru

Изучено влияние дисперсных и волокнистых наполнителей на основные эксплуатационные характеристики полимерных композитов на основе алифатических и ароматических полиамидов. Показано, что армирование полиамидов наполнителями позволяет получить композиционные материалы с высокими показателями прочности, твердости, модуля упругости, химической стойкости, износостойкости. Благодаря высоким эксплуатационным характеристикам полиамидные композиты наиболее целесообразно использовать в качестве конструкционных материалов в машиностроении.

Ключевые слова: полимерные композиты, полиамиды, наполнители, свойства.

ВВЕДЕНИЕ

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) в настоящий период являются самым многочисленным и бурно развивающимся в развитых странах видом современных материалов. Эти материалы постоянно находятся в режиме обновления и совершенствования. Помимо улучшения свойств материалов, постоянно ведутся работы по совершенствованию технологии производства изделий из них, а также технологий сборки и диагностики эксплуатационной надежности. Огромные средства, исчисляемые сотнями миллионов долларов, и усилия лучших исследовательских центров направлены на работы, связанные с технологией специальных ПКМ. И это не только потому, что результаты работ могут быть использованы во многих отраслях промышленности, а главным образом потому, что получаемые материалы обладают уникальными и прогнозируемыми свойствами, обеспечивая научно-технический прорыв, стратегическую и экономическую безопасность страны. Развитие мировой химической промышленности в третьем тысячелетии характеризуется бурным ростом индустрии полимерных материалов (ПИМ), основными направлениями которой являются улучшение качества полимеров и совершенствование методов их переработки, создание новых пластиков, а также расширение областей их применения [1].

Важной спецификой современных ПКМ является то, что отдельные их модификации создаются под конкретное применение, что предопределяет их огромный ассортимент. Потребление ПКМ в развитых странах (Западная Европа) по отраслям явно неравномерно: – упаковка 35–39 %; – строительство 18–25 %; – автомобилестроение 10–25 %; – энергетика (электроника / электротехника) 7–12 %;

– мебельная промышленность и производство товаров народного потребления 4–15 % [2].

Одно из ведущих мест в индустрии пластмасс отводится вопросам создания новых ПМ с повышенными эксплуатационными характеристиками. К числу наиболее перспективных полимерных связующих относятся полиамиды (ПА). Отличительной чертой ПА является наличие в основной молекулярной цепи повторяющейся амидной группы $-\text{CO}-\text{NH}-$. Различают алифатические и ароматические ПА; известны также ПА, содержащие в основной цепи как алифатические, так и ароматические фрагменты.

Алифатические ПА, являющиеся многофункциональными конструкционными материалами, которые в 6–7 раз легче бронзы и стали, с успехом используются для замены цветных металлов и их сплавов. Они отличаются прочностью, имеют низкий коэффициент трения в паре с любыми металлами, хорошо и быстро прирабатываются; износ пар трения при использовании деталей из ПА снижается в 1,5–2 раза, при этом трудоемкость их изготовления уменьшается на 35 %, а стоимость – на 50 % по сравнению с изделиями из металла (сталей и бронзы); устойчивы к воздействию масел, спиртов, эфиров, щелочей и слабых кислот.

Благодаря улучшенным характеристикам доля ПА 6 на мировом рынке термопластичных конструкционных материалов в настоящее время достигает 30 %, а общий мировой объем производства этого полимера составляет 3,4 млн тонн [3]. К недостаткам алифатических ПА относятся значительное снижение физико-механических характеристик во влажной среде, низкая стабильность прочностных и электроизоляционных свойств, а также недостаточно высокая точность размеров изделий из них.

Для работы в экстремальных условиях (при больших статических и динамических нагрузках, в широком температурном интервале, в условиях интенсивного трения) более целесообразно применять изделия из ароматических ПА – фенилонов. Ароматические ПА являются полярными соединениями с сильным межмолекулярным взаимодействием за счет водородных связей. Эти особенности макромолекул обуславливают и особенности эксплуатационных свойств материалов на основе данных полимеров. Фенилоны негорючи и химически устойчивы к действию топливных масел, их работоспособность сохраняется при 153–553 К. По прочности они уступают лишь армированным пластикам, композиции на их основе могут применяться в узлах трения с удельными нагрузками до 50 МПа [4–6].

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДОВ

Одним из наиболее важных преимуществ ПА является низкий коэффициент трения при смазке маслом (0,05–0,10) и повышенная износостойкость. Однако при работе в условиях без смазки коэффициент трения ПА резко возрастает, а недостаточно высокие теплопроводность, несущая способность и стойкость по отношению к маслу и влаге ограничивает области применения изделий из ПА [7]. Учитывая это, для повышения основных эксплуатационных характеристик весьма

целесообразным является введение в состав полиамидных связующих дисперсных и волокнистых наполнителей (Нп).

1. Стекло- и базальтопластики на основе полиамидов

Одними из широко используемых волокнистых Нп полиамидных связующих являются стеклянные волокна (СВ). Введение в ПА стекловолокнутого Нп позволяет получить материал с увеличенной прочностью, жесткостью, теплостойкостью, менее растрескивающийся в условиях повышенных и пониженных температур. При этом значительно снижается усадка и коэффициент линейного расширения. Эластичность материала и сопротивление к истиранию у стеклонаполненного материала – стеклопластика (СП) меньше, чем у ненаполненного. Кроме того, СВ дешевы, хорошо отработан процесс изготовления пластиков на их основе. В течение последних 20–30 лет СП с успехом применяются в качестве изделий авиационной техники, в автомобилестроение и при производстве спортивных товаров и т. п.

В настоящее время самыми популярными являются СП на основе ПА 6 и ПА 66. По сравнению с полимерной матрицей СП, содержащие 15–30 % СВ, отличаются высокой жесткостью, ударной вязкостью и стойкостью к термокороблению, а также имеют более низкий коэффициент трения и износ [8].

В [9] с целью создания новых СП с повышенной теплостойкостью и механическими свойствами ПА 6 армировали длинными отрезками комплексных стеклянных нитей, массовая доля которых в материалах марок ПА 6 210 ДС, ПА 6 211 ДС и ПА 6 10 ДС изменялась от 27 до 34 масс. %. Разработанные СП обладают высокой ударной вязкостью (50–60 кДж/м²), предел рабочих температур составляет 213–383 К, имеют изгибающее напряжение при разрушении не менее 250 МПа и прочность при разрыве – 140–170 МПа. Материалы не токсичны и при нормальных условиях не оказывают вредного воздействия на организм человека, обладают высокими электрическими свойствами и предназначены для изготовления литьем под давлением различных изделий конструкционного, электротехнического и общего назначения [10]. Обеспечивая высокие механические и теплофизические свойства ПК, СВ в то же время имеют ряд недостатков: относительно высокую плотность, хрупкость, способность вызывать абразивный износ рабочих органов оборудования для переработки пластмасс, зависимость свойств от внешней среды, обусловленную гидрофильностью волокон [11–13].

Поиск новых, более дешевых и доступных Нп для создания суперсовременных ПК продолжается, что заставляет обращать внимание, в частности, и на базальтовые волокна (БВ) как заменители в ряде случаев СВ [14]. Базальтовые волокна имеют существенные преимущества по показателям теплостойкости, химической стойкости и водостойкости перед СВ. Они обладают значительно меньшей гигроскопичностью, чем СВ (примерно в 10 раз), благодаря чему существенно снижаются энергозатраты, связанные с удалением влаги, и снижаются трудозатраты на изготовление продукции [15].

Полимерные композиты, армированные БВ – базальтопластики (БП) во многом близки к СП. Однако более высокая стойкость БВ к кислотам и щелочам по сравнению со СВ позволяет получать более хемостойкие материалы. В качестве Нп используются рубленые БВ, нити, жгуты, ткани, нетканые материалы, в редких случаях – бумаги. Базальтопластики являются высококачественными конструкционными материалами с высокими механическими свойствами, термо- и огнестойкостью и особенно хемостойкостью. Поскольку БВ более стойки к действию влаги, чем стекловолоконистые материалы, и мало изменяют свои диэлектрические характеристики при увлажнении, они используются также как высокотемпературные конструкционные диэлектрики. [16].

В [17] разработана технология получения и исследовано влияние технологических параметров литья под давлением на механические свойства БП на основе ПА 6. Авторами работы показана перспективность обработки поверхности БВ в кислой среде.

Новые ПК с повышенными прочностными характеристиками, термо- и теплостойкостью, антистатическими свойствами получены в [17] введением в состав ПА 6 базальтовых нитей. Изучению влияния содержания БВ на свойства БП на основе ароматического ПА – фенилон С-2 посвящены также работы [18; 19]. Методами математического исследования эксперимента и поиска оптимальных решений в [19] исследовано влияние концентрации БВ на теплопроводность и износ ПК на основе ароматического ПА.

Значительный интерес при работе с такими сложными системами, как БП и СП представляет изучение релаксации напряжений, долговременной прочности, механизма разрушения и возможности применения различных приемов увеличения прочности данных ПК с целью расширения областей использования. В результате проведенных работ [14] показано, что БП имеют физико-механические показатели, близкие к стекловолокнистым.

2. Углепластики на основе полиамидов

К числу эффективных способов улучшения свойств ПА относится армирование их химическими волокнами (Вл). И хотя применение Вл несколько ограничивает выбор методов армирования, затрудняет изготовление изделий сложной формы, однако комплекс ценных свойств, задаваемый ПК, и возможность их вариаций, обеспечивающих перспективы использования, компенсируют эти недостатки. Одними из наиболее перспективных химических Вл являются углеродные волокна (УВ). Углеродные волокна являются материалами третьего тысячелетия, с ними связан существенный прогресс в различных областях техники. По сравнению со СВ применение УВ для армирования полимеров позволяет увеличить модуль при изгибе более, чем в 5 раз [20], коэффициент теплопроводности – в 2–3 раза, снизить ползучесть и повысить износостойкость ПК [21]. Благодаря тому, что для УВ характерна инертность к большинству химически активных сред, изделия из УП отличаются высокой химической стойкостью в агрессивных средах различных производств [22]. Углеродные волокна имеют низкий термический коэффициент

линейного расширения (ТКЛР) и коэффициент трения, хорошую работоспособность в условиях вибрации, высокую усталостную прочность и технологичность [23]. Для армирования полимерных связующих используют УВ в виде непрерывных нитей, жгутов, тканых материалов (штапель, ленты), измельченные или рубленые [22]. Наиболее прочные УВ, представляющие собой продукты карбонизации исходных углеродсодержащих волокон, получают из полиакрилонитрильного (ПАН), вискозного и пекового сырья.

В [24] представлены результаты исследований УП на основе ПА 6, полученного методом литья под давлением из гранул, армированных гидратцеллюлозными УВ, с помощью двухшнекового экструдера. Приведены сведения о влиянии технологических факторов на усадку изделий: изучено влияние термообработки в различных средах (воздух, вода, масло) на физико-механические свойства УП. Показано, что оптимальным комплексом свойств (предел прочности при сжатии – 128–166 МПа, теплостойкость по Вика – 497 К, коэффициент сухого трения – 0,16–0,3) обладает УП, армированный 30–40 масс. % УВ.

Углепластики на основе ПА 6, которые содержат 10–30 масс. % УВ марки Урал-24, изготовленные методом литья под давлением на машине КиАСУ-100/25, имеют высокие теплофизические и трибологические свойства [25]. При армировании ПА 6 УВ его износостойкость увеличивается на 1–2 порядка, что объясняется снижением коэффициента трения (в 1,2–3,7 раза), увеличением теплопроводности (на 25–62 %) и, как следствие, лучшим теплоотводом из зоны трения. Углепластик на основе ПА 6, содержащий 40 масс. % указанного выше Вл, имеет следующие характеристики: теплостойкость по ВИКа – 483 К; разрушающее напряжение при сжатии – 166 МПа; интенсивность линейного износа – $0,66 \cdot 10^{-8}$, коэффициент трения – 0,34) [26].

Механические свойства УВ существенным образом зависят от температуры термической обработки (ТТО). С повышением ТТО от 1473 до 3073 К модуль упругости УВ возрастает, а максимальный предел прочности при растяжении имеют УВ в ТТО 1773 К [27].

Изучению влияния ТТО УВ на свойства УП на основе фенилона С-2 посвящены работы [28; 29]. Как показали результаты исследований, лучшим комплексом теплофизических и прочностных свойств обладают УП на основе УВ с ТТО 1173 К, а самую высокую ударную вязкость и прочностные показатели – УП с ТТО 773 К.

Как отмечается [30], модуль упругости УВ оказывает влияние на изменение трибологических свойств УП на основе ароматических ПА фенилон С-1 и С-2. Увеличение модуля упругости, армирующего Вл в УП, обеспечивая повышение износостойкости, приводит к снижению прочности УП и их эластичности. Найдено, что максимальное снижение износа характерно для УП на основе С-2, армированных УВ с модулем упругости, не превышающем $300 \cdot 10^3$ МПа [31; 32].

Свойства пластиков, особенно УП, зависят от межслоевой прочности, которая определяется адгезией волокна к связующим [33]. Учитывая то, что УВ обладают недостаточной адгезией к полимерной матрице, в последнее время ведутся интенсивные исследования в области разработки новых типов УВ со специальными

свойствами и модификации поверхности существующих. К числу перспективных методов модификации поверхности УВ относится введение в их состав металлов. Применение элемент-содержащих УВ, содержащих в объеме и на поверхности волокон структурно-активные группы, позволяет достичь существенного улучшения свойств полимерных связующих [34].

В зависимости от исходного сырья и температуры термической обработки металлы в составе металл-углеродных волокон (Me-УВ) находятся в виде оксидов, карбидов, высокодисперсных частиц, что придает Me-УВ специальные свойства (магнитные, адсорбционно-каталитические, биоцидные) и обеспечивают хорошую смачиваемость и адгезию к полимерным и неорганическим связующим, влияет на характер взаимодействия реагирующих компонентов на границе раздела фаз «волоконистый Нп – полимер» [35].

Металлосодержащие УВ (Sn, Al, Fe, Pb, Zn, Cu), полученные путем карбонизации при 1173 К целлюлозных Вл, пропитанных соответствующим составом, в [36] используют для армирования фенилона С-2. По влиянию на улучшение физико-механических и трибологических свойств пластиков Me-УВ располагаются в следующий ряд [37]: Al-УВ > Zn-УВ > Sn-УВ > Fe-УВ > Cu-УВ > Pb-УВ.

При введении в фенилон С-2 никель содержащих углеродных волокон (Ni-УВ) длиной 3 мм, полученных с углеродного жгута и ленты, термо- и износостойкость связующего возрастает на 15–20 % и в 5,5-12,5 раз, ТКЛР и коэффициент трения снижаются в 1,5–1,6 и 2,8–3 раза соответственно [38, 39].

В [40] для армирования фенилона С-2 использовали гидратцеллюлозное медьсодержащее углеродное волокно (Cu-УВ) марки Урал-20-Cu в количестве 17 масс. % с медным покрытием, нанесенным электрохимическим способом. Полученный ПК имеет следующие свойства: ударную вязкость – 51,2 кДж/м², микротвердость – 39МПа МПа, разрушающее напряжение при сжатии – 260 МПа, коэффициент трения – 0,23. Углепластик рекомендуется использовать в узлах трения машин и механизмов, работающих в жестких условиях эксплуатации без смазки при значениях $PV \leq 10$ МПа · м/с.

С целью создания новых ПК в [41; 42] фенилон С-2 армировали фосфор содержащими УВ (ФУВ) в количестве 12,1 масс. %. Отмечается, что в случае использования ФУВ между фосфорно-кислотными группами УВ и подвижным водородом амидной группы ПА на границе раздела фаз образуется химическая связь, что приводит к повышению кислотостойкости полимера в концентрированной серной кислоте, изменению процесса термодеструкции, а также повышению твердости и резкому возрастанию огнестойкости, однако прочностные свойства ПК из-за увеличения пористости снижаются.

В [43] в качестве армирующего Нп фенилона было выбрано УВ на базе нефтяных и каменноугольных пеков, отличающееся невысокой стоимостью. Установлено, что введение УВ в количестве 20 масс. % приводит к падению на 11–25 % удельной теплоемкости, повышению предела текучести при сжатии на 32 МПа, модуля упругости – на 45 МПа УП. Коэффициент трения УП в режиме сухого

трения при скорости скольжения 1,3 м/с в интервале удельных давлений 1–2 МПа снижается от 0,39 (для исходного полимера) до 0,20 (для УП).

3. Органопластики на основе полиамидов

Хороший эффект улучшения свойств полиамидных композитов достигается и при использовании в качестве армирующего Нп органических волокон (ОВ), которые по сравнению со СВ имеют ряд преимуществ: хорошее смачивание полимерами, высокую прочность связи с матрицей, меньшую склонность к измельчению. Поскольку плотность ОВ значительно ниже СВ, ПК на основе ОВ – органопластики (ОП) имеют высокие значения удельной прочности и жесткости [44].

В результате комплексных исследований в [45; 46] установлено, что армирование ПА 6 полигетероариленовым Вл марки вниивлон позволяет повысить термические и теплофизические свойства ОП.

Изучению влияния природы и содержания ОВ на основные теплофизические характеристики (удельную теплоемкость, коэффициент теплопроводности и температуропроводности) ОП посвящена работа [46]. В качестве армирующих Нп ПА 6 использовались поли-*n*-фенилентерефталамидное Вл терлон и полигетероариленовое – вниивлон в количестве 5–30 масс. %. Установлено, что изменение скачка теплоемкости в области температуры стеклования обусловлено физико-химическими процессами, протекающими на границе раздела фаз полимерное связующее – Нп. Максимальное снижение теплоемкости характерно для ОП, содержащих не более 15 масс. % ОВ, а коэффициент теплопроводности исследованных материалов находится в пределах 0,25–0,31 Вт/м · К.

Исследование влияния степени наполнения ПА 6 полиамидным Вл показало, что оптимальной степенью наполнения является 15–20 масс. % [14]. При этом напряжение при растяжении, изгибе, модуль упругости при растяжении для ОП находятся на уровне стекло-термопластов, однако ударная вязкость в 2,5 раза выше, чем у стекло-наполненного ПА и лежит в пределах 80–90 кДж/м² (без надреза). Введение ОВ в ПА 6 повышает теплостойкость и снижает усадку изделий. Важным является и то обстоятельство, что новые ОП на основе ПА 6 и термостойких полиамидных ОВ можно перерабатывать на серийном оборудовании без существенного изменения технологических параметров. Армирование ПА 12 полиимидным и полиамидным Вл позволяет повысить антифрикционные свойства связующего.

В [47] в состав ПА 6 вводили ОВ различной природы с высокими показателями прочности и модуля упругости (вниивлон, лола, оксалон, сульфон-Т и терлон). Изучение триботехнических характеристик ОП показало, что при введении Вл в количестве 15, 30 и 45 масс. % наибольшее повышение износостойкости (на 2 порядка) и снижение коэффициента трения (в 1,5–1,8 раза) достигается при использовании ОВ марок терлон и вниивлон. По эффективности влияния на улучшение триботехнических характеристик ОВ располагаются в следующий ряд: терлон > вниивлон > лола > сульфон-Т > оксалон. Максимальный армирующий

эффект достигается при использовании наиболее близких по природе к связующему Вл; при этом наибольшее снижение износа и коэффициента трения наблюдается при увеличении разрывной прочности волокна до 60 гс/текс.

Известно, что фенилон в условиях работы без смазки обладает достаточно высоким коэффициентом трения. Армирование полимерной матрицы ОВ вниивлон в количестве 5 масс. % позволяет получить ОП, который имеет высокую прочность и низкий коэффициент трения. Трансформация фрикционного материала фенилон в антифрикционный объясняется преобразованием в присутствии Вл вниивлона исходной структуры фенилона в фибриллярную [48].

В качестве армирующего Нп ароматического ПА фенилон С-1 в [49] использовали термостойкое полиоксадиазольное ОВ марки арселон в количестве 5, 10, 15 и 20 масс. %. К преимуществам арселона по сравнению с другими ОВ относится доступность и дешевизна исходного сырья, высокая стойкость к действию повышенных температур, огне- и химстойкость, хорошие электроизоляционные свойства [49]. Обнаружено, что армирование фенилона С-1 ОВ снижает температурный коэффициент энтропии, коэффициент трения и интенсивность линейного изнашивания на 23–60 %, 49–56 % и в 3,8–12,2 раз соответственно, увеличивает в 1,6 раз коэффициент теплопроводности и на 60 МПа разрушающее напряжение при сжатии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные в обзоре сведения показывают целесообразность проведения исследований в области создания полимерных композитов на основе алифатических и ароматических полиамидов.

Отмечается, что наиболее эффективным методом улучшения свойств полиамидов является армирование их химическими волокнами.

Благодаря высоким эксплуатационным характеристикам полиамидные композиты наиболее целесообразно использовать в качестве конструкционных материалов в машиностроении.

Список литературы

1. Песецкий С. С. Полимерные композиты многофункционального назначения: перспективы разработок и применения в Беларуси / С. С. Песецкий, Н. К. Мышкин // Полимерные материалы и технологии. – 2016. – Т. 2, № 4. – С. 6–29.
2. Полимерные материалы: исследование, производство, применение / С. С. Песецкий, С. Г. Судьева, Н. К. Мышкин [и др.] // Наука и инновации. – 2008. – № 3 (61). – С. 50–55.
3. Кацевман М. Не просто легче – надежнее и прочнее / М. Кацевман // Наука и жизнь. – 2003. – № 9. – С. 46–48.
4. Соколов Л. Б. Основы синтеза полимеров методом поликонденсации / Л. Б. Соколов – М.: Химия, 1979. – 264 с.
5. Справочник по пластическим массам: справочник: в 2 т. / под ред. В. М. Катаева, В. А. Попова, Б. И. Сажина. – М.: Химия, 1975. – Т. 2. – С. 254–291.
6. Буря А. И., Арламова Н. Т. Композиционные материалы на основе ароматических полиамидов // РЖ «Депоновані наукові роботи». – 22.02.2000. – № 1. Деп. В ВИНІТИ РАН. 2000. – № 7 (341).
7. Третьяков А. Г. Материалы для узлов трения / А. Г. Третьяков // Полимеры – деньги. – 2006. – № 4/18. – С. 72.

8. Полиамид / Производственно-коммерческая фирма “Тана”. – Режим доступа: <http://tana.ua/ru/catalog/group/1-poliamid-6-steklonapolnennyu>.
9. Полиамиды ДС. ОАО Объединение “Стеклопластик” – Режим доступа: www.stekloplast.com.ua.
10. Полиамид: свойства, получение, показатели, характеристики, аналоги – Режим доступа: www.poliamid.ru.
11. Lenze G. Verschleib an Schnecken, Schnecken spitzen, Sperringen und Schnecken zylindern von Spritzgiebmaschinen bei der Verarbeitung von Polyamiden mit 50 % Glasfasern / G. Lenze // Plastverarbeiter. – 1974. – В. 25, № 6. – P. 347–355.
12. Braun D. Untersuchungen zum Verschleiß beim Spritzgießen von glasfasergefüllten Polyamiden. 1. Pyrolyseprodukte / D. Braun, G. Mälhammar // Makromolecular Materials and Engineering. – 1978. – Vol. 69, № 1. – P. 157–167.
13. Армированные пластики – современные конструкционные материалы / Э. С. Зеленский, А. М. Куперман, Ю. А. Горбаткина [и др.] // Российский химический журнал. – 2001. – Т. XLV, № 2. – С. 56–74.
14. Кербер М. Л. Термопластичные полимерные композиционные материалы для автомобилестроения / М. Л. Кербер, Т. П. Кравченко // Пластические массы. – № 9. – 2000. – С. 46–48.
15. Никитин Н. И. Эффективность базальтового волокна / Н. И. Никитин // Деловая слава России. – Вып. 2. – 2008. – С. 112–113.
16. Перепелкин К. Е. Полимерные композиты на основе химических волокон, их основные виды, свойства и применение / К. Е. Перепелкин // Технический текстиль. – 2006. – № 13. – Режим доступа: www.rustm.net/catalog/article/185.html.
17. Баштанник П. И. Исследование процесса переработки конструкционных термопластичных базальтопластиков / П. И. Баштанник, В. Г. Овчаренко, А. И. Кабак // Вопросы химии и химической технологии. – 2002. – № 3. – С. 150–152.
18. Лисина Е. В. Исследование технологических свойств полимеризационно наполненного полиамида 6 / Е. В. Лисина, Н. В. Сущенко, Е. А. Свириденко [и др.] // Тезисы докл. Междунар. конфер. «Композиты – 2007». – 3–6 июля 2007 г. – Саратов (Россия). – 2007. – С. 147–149.
19. Буря А. И. Свойства базальтопластиков на основе фенилона / А. И. Буря, М. В. Бурмистр, Н. Т. Арламова [и др.] // Тезисы докл. Междунар. семинара – выставки «Современные материалы, технологии, оборудование и инструменты в машиностроении». – 20–23 апреля 1999 г. – Киев (Украина). – 1999. – С. 21–22.
20. Разработка и исследование свойств базальтопластиков на основе фенилона / А. И. Буря [и др.] // Вопросы химии и химической технологии. – 1999. – № 2. – С. 37–42.
21. Сіренко Г. О. Вплив складу полімерної композиції на основі ароматичного поліаміду на інтенсивність зношування та коефіцієнт теплопровідності / Г. О. Сіренко, Л. В. Базюк, Л. Я. Мідак // Вопросы химии и химической технологии. – 2006. – № 3. – С. 107–117.
22. Буря А. И. Свойства и применение термопластичных углепластиков / А. И. Буря, А. Г. Леви // Поликонденсационные процессы и полимеры. – Нальчик, КБГУ. – 1988. – С. 52–62.
23. Полиамиды конструкционного назначения / Р. В. Маркин, Н. В. Леонтьева, Б. Е. Восторгов [и др.] // Химическая промышленность за рубежом. – 1980. – № 10. – С. 13–35.
24. Конкин А. А. Углеродные и другие жаростойкие волокнистые материалы / А. А. Конкин. – М.: Химия, 1974. – 376 с.
25. Буря А. И. Исследование свойств углепластиков на основе алифатического полиамида-6 / А. И. Буря, А. Д. Деркач, М. В. Бурмистр // Труды 4-й междунар. конфер. «Теория и практика технологий производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов (ТПКММ)». – 26–29 апреля 2005 г. – Москва (Россия). – М.: Знание, 2005. – С. 55–60.
26. Буря А. И. Трение и износ ПА 6 и углепластиков на его основе / А. И. Буря, Б. И. Молчанов // Трение и износ. – 1992. – Т. 13, № 5. – С. 809–904.
27. Буря А. И. Опыт применения термопластичных углепластиков в роликовой однорядной цепи корнеуборочной машины / А. И. Буря, О. П. Чигвинцева, Д. Л. Рева // Материалы Междунар. конфер. «Технологии ремонта машин и механизмов. Ремонт–98». – 9–11 июня 1998 г. – Киев (Украина). – 1998. – Ч. 2. – С. 81–83.

28. Thrower Peter A. Carbon fibers threads of the future / Peter A. Thrower // *Earth and Miner. Sci.* – 1979. – 48. – P. 65–69.
29. Буря А. И. Свойства и опыт применения углепластиков в сельхозмашиностроении: метод. рекомендации. / А. И. Буря. – К.: Знание, 1992. – 27 с.
30. Буря А. И. Зависимость свойств углепластиков от конечной температуры термической обработки углеродного волокна / А. И. Буря, В. И. Дубкова // Тезисы докладов научн.-техн. конфер. «Прогрессивные полимерные материалы, технологии их переработки и применение». – 15–17 октября 1988 г. – Ростов-на-Дону (Россия). – 1988. – С. 139–141.
31. Буря А. И. Разработка, исследование и применение термопластов, армированных химическими волокнами, в узлах трения сельскохозяйственных машин / А. И. Буря, А. Т. Лысенко, М. Т. Азарова // *Вопросы химии и химической технологии.* – 1981. – Вып. 64. – С. 60–63.
32. Буря А. И. Армирование пластиков для подшипников скольжения сельхозмашин / А. И. Буря, А. Т. Лысенко, А. А. Конкин [и др.] // Тезисы докл. Респуб. научн.-техн. конфер. «Управление надежностью машин». – 12–14 сентября 1976 г. – Киев (Украина). – 1976. – С. 137.
33. Влияние модуля упругости углеродных волокон на трение и износ углепластиков на основе ароматического полиамида / А. И. Буря, А. Г. Леви, А. С. Бедин [и др.] // *Трение и износ.* – 1984. – Т. 5, № 5. – С. 932–935.
34. Левит Р. М. Химическая структура углеродных волокон / Р. М. Левит // *Химические волокна.* – 1979. – № 3. – С. 23–26.
35. Ермоленко И. Н. Элементоуглеродные угольные волокнистые материалы / И. Н. Ермоленко, И. П. Люблинер, Н. В. Гулько / Минск: Наука и техника. – 1982. – 272 с.
36. Полховский М. В. Применение термостойких волокон РУП “СПО Химволокно” в композиционных материалах / М. В. Полховский, А. М. Сафонова // *Материалы 26-ой Междунар. конфер. «Композиционные материалы в промышленности».* – 29 мая – 2 июня 2006 г. – Ялта (Украина). – 2006. – С. 404–405.
37. Ермоленко И. Н. Элемент-углеродные волокна – перспективный наполнитель композиционных материалов / И. Н. Ермоленко, А. М. Сафонов, О. А. Лукомская // Тезисы докл. школы-семинара «Создание и применение полимерных композиционных материалов в сельхозмашиностроении». – К.: Знание. – 1989. – С. 2–3.
38. Буря О. І. Розробка, дослідження і використання полімерів, армованих хімічними волокнами в конструкціях сільськогосподарських машин: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.04 / Буря Олександр Іванович; Тернопільський приладобудівний інститут. – Тернопіль, 1993. – 32 с.
39. Буря А. И. Исследование свойств углепластиков на основе фенилона С-2, армированного никельсодержащими углеродными волокнами / А. И. Буря, И. В. Рула, А. М. Сафонова // Тезисы докл. Междунар. конфер. «HighMatTech 2007». – 15–19 октября 2007 г. – Киев (Украина). – 2007. – С. 401.
40. Буря О. І. Дослідження тертя та зносу вуглепластиків на основі фенілолу, армованих нікельвмісними вуглецевими волокнами / О. І. Буря, І. В. Рула, А. М. Сафонова // *Материалы 8-ой ежегод. Междунар. промышл. конфер. «Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях».* – 11–15 февраля 2008 г. – Карпаты (Украина). – 2008. – С. 63–65.
41. Буря А. И. Исследование свойств углепластиков на основе фенилона, армированных металлосодержащими углеродными волокнами / А. И. Буря, М. Е. Казаков, И. В. Рула [и др.] // *Материалы двадцать восьмой междунар. конфер. «Композиционные материалы в промышленности».* – 26–30 мая 2008 г. – Ялта (Украина). – 2008. – С. 106–109.
42. Burya A. I. Antifriction materials based on thermoplastics reinforced with metal-carbon fibres / A. I. Burya, V. I. Dubkova, A. S. Kobets // *Труды Междунар. симпозиума по трибологии фрикционных материалов. ЯРОФРИ-91– 10-12 сент. 1991 г. – Ярославль (Россия).* – 1991. – Т. 1, С. 45–49.
43. Исследование влияния фосфорсодержащего углеродного волокна на термические превращения фенилона / И. Н. Ермоленко, В. И. Дубкова, А. И. Буря [и др.] // *Доклады Академии наук БССР.* – 1983. – Т. 27, № 8. – С. 727–730.

44. Буря А. И. Углепластики на основе полиамида, армированные пековыми волокнами / А. И. Буря, О. П. Чигвинцева, Н. И. Аносов // Материалы Междунар. научн. -техн. конфер. «Надежность машин и технических систем». – 16-17 октября 2001 г. – Минск (Беларусь). – 2001. – С. 84–85.
45. Композиционные материалы – Режим доступа: <http://www.e-plastic.ru/specialistam/composite/kompozicionnye-materialy>, свободный. – Загл. с экрана.
46. Буря А. И. Исследование термостойкости органопластиков на основе полиамида ПА 6 / А. И. Буря, Н. Т. Арламова, О. М. Проценко // Situation and perspective of research and development in chemical and mechanical industry. Book 2: Chemistry Technology Education. – 22–24 oktobar 2001. – Kruševac (Serbia). – 2001. – P. 25–31.
47. Буря А. И. Исследование теплофизических свойств армированных пластиков на основе полиамида 6 / А. И. Буря, О. П. Чигвинцева, Л. Н. Ткач // Материалы, технологии, инструменты. – 1998. – Т.3, № 3. – С. 37–40.
48. Буря А. И. Трение и изнашивание органопластиков на основе полиамида 6 / Буря А. И. // Трение и износ. – 1998. – Т. 19, № 5. – С. 671–676.
49. Разработка органопластиков на основе ароматического полиамида фенилон / А. И. Буря, Н. Т. Арламова, Р. А. Макарова [и др.] // Материалы, технологии, инструменты. – 2006. – Т. 11, № 2. – С. 79–84.

PROPERTIES OF COMPOSITES BASED ON POLYAMIDES

Tkachenko E. V.¹, Burya A. I.², Tolstenko Y. V.¹

¹*Sevastopol State University, Sevastopol, Crimea, Russia*

²*Dniprovsky State Technical University, Kameskoe, Ukraine*

E-mail: tkelly@rambler.ru

It appears that an important specificity of modern polymer composites is that individual modifications are created for a specific application that predetermines their huge range.

Due to its properties of aliphatic PA are multifunctional structural materials, which in 6-7 times lighter than steel and bronze are used to replace the non-ferrous metals and their alloys with success.

In order to work in extreme conditions (at high static and dynamic loads in a wide temperature range, under intense friction) it is more useful products from aromatic PA-phenils.

The composite materials based on polyamides were studied, one of the most important advantages of which is the low friction lubricating oil (0.05–0.10) and increased wear resistance.

It appears that fiber-glass and basalt plastics based on polyamide are the most popular of the FGP at the present time, and especially PA 6 and PA 66. Compared to polymeric matrix FGP containing 15–30 % FG high hardness, toughness and resistance to thermo distouring and also have a lower coefficient of friction and wear. It has been established that the search for new, cheaper and more available to create cutting-edge TM PC is continuing, that turns us, in particular, to basalt fiber (BF) as substitutes in some cases FG. Basalt fibers have significant advantages on indicators of heat resistance, chemical resistance and water resistance compared to FG. They have much lower absorbability than

FG (about 10 times), which substantially reduces energy costs associated with the removal of moisture and reduces work production.

In the technology and the influence of technological parameters of molding under pressure on mechanical properties of BF based on PA-6 was developed. The authors of the work have shown the perspectives of that the surface treatment of BF in acidic media.

Considerable interest when working with complex systems such as BF and FGP is the study of stress relaxation, long-term strength, fracture mechanism and potential for the application of various techniques of increasing the strength of the PC data with a view to increasing areas of use. As a result of the carried out works shows that BF have physical-mechanical indicators, equal to fiber-glass plastics.

The carbon-fiber plastics based on polyamides were studied. Effective ways to improve the properties of PA is reinforcing their man-made fibers (F). And although the use of the F limits the choice of reinforcement, makes it difficult for manufacturing complex shapes, however, a complex of valuable properties specified PC and their variations, providing prospects of the use compensates these disadvantages.

It was shown that good effect to improve the properties of polyamide composite achieved and when used as a reinforcing TMS organic fibers (OF) compared to FGP have several advantages: good wetting of the polymers, high strength connection to the matrix, a lesser propensity to grinding. Since the density of the OF significantly lower than of the FGP, PC based on the OF - organoplastics (OP) have high values of specific strength and stiffness.

As a result of complex research it was found that the reinforcement of PA-6 poligeteroarilenovym VI vniivlon brand allows to enhance the thermal and thermal properties of OF.

The expediency of conducting research in the field of creation of polymer composites based on aliphatic and aromatic polyamides was shown. It is noted that the most effective method of improving the properties of polyamides is reinforcing their man-made fibers. Due to the high performance polyamide composites are the most appropriate to use as structural materials in the engineering industry.

Keywords: polymeric composites, polyamides, fillers, properties.

References

1. Pesetskiy S. S., Multipurpose polymer composites: prospects of development and application of Belarus, *Polymer materials and technology*, **2** (4), 6 (2016). (*in Russ.*).
2. Pesetskiy S. S., Sudeva S. G., Myshkin N. K., Rahmanov S. K., Polymeric materials: research, production, application, *Science and innovation*, **3** (61), 50 (2008). (*in Russ.*).
3. Katsevman M., Not just lighter – more reliable and stronger, *Science and life*, **9**, 46 (2003) (*in Russ.*).
4. Sokolov L. B., Fundamentals of polymer synthesis method of polycondensation, 264 p. (Khimiya, Moscow, 1979). (*in Russ.*).
5. Kataeva V. M., Popova V. A., Sazhyna B. I., Handbook of plastic masses/ed., **2**, 254 (Khimiya, Moscow, 1979). (*in Russ.*).
6. Burya A. I., Arlamova N. T., Composite materials based on aromatic polyamides, Deposited scientific works, **7** (341), (2000). (*in Russ.*).
7. Tretyakov A., Materials of friction units, *Polymers-money*, **4**/18, 72 (2006). (*in Russ.*).
8. Polyamide, Production and commercial firm "Tana", Access mode: <http://tana.ua/en/catalog/group/1-poliamid-6-steklonapolnennyi>. (*in Russ.*).
9. Polyamides DC. JSC Association "Fiberglass", Access mode: www.stekloplast.com.ua. (*in Ukr.*).

10. Polyamide: properties, retrieving, indicators, characteristics equivalent, Access mode: www.poliamid.ru. (*in Russ.*)
11. Lenze G., Verschleiß an Schnecken, Schnecken spitzen, Sperringen und Schnecken zylindern von Spritzgießmaschinen bei der Verarbeitung von Polyamiden mit 50 % Glasfasern, *Plastverarbeiter*, **25** (6), 347 (1974).
12. Braun D., Mälhammar G., Untersuchungen zum Verschleiß von Spritzgießer beimn glasfaserfüllten Polyamiden. 1. Pyrolyseprodukte, *Angew. Makromol. Chem.*, **69** (1), 157 (1978).
13. Zelenskiy E. S., Kuperman A. M., Gorbatkina Ya. A., Ivanova-Mumzhieva V. G., Berlin A. A., Reinforced plastics-modern constructional materials, *Russian chemical journal*, **XLV** (2), 56 (2001). (*in Russ.*)
14. Kerber M. L., Kravchenko M. L. Thermoplastic polymer composite materials for automotive industry, *Plastics*, **9**, 46 (2000). (*in Russ.*)
15. Nikitin N. I., The effectiveness of the basalt fiber, *Business glory of Russia*, **2**, 112 (2008). (*in Russ.*)
16. Perepelkin K. E., Polymeric composites on the basis of chemical fibers, their main types, properties, and application, *Technical textiles*, 13 (2006), Access mode: www.rustm.net. (*in Russ.*)
17. Bashtannyk P. I., Ovcharenko V. G., Kabak A. I., Study on processing of structural thermoplastic basalt-plastic, *Questions of chemistry and chemical technology*, **3**, 150 (2002). (*in Russ.*)
18. Lisina E. V., Sugcenko N. V., Sviridenko E. A., Ustinova T. P., Study on technological properties of polymerization-filled polyamide 6, *The reports of the international konferenshhi "Composites-2007"*, 147 (Saratov, 2007). (*in Russ.*)
19. Burya A. I., Burmistr M. V., Spite N. T., Dorofeev V. T., Properties of basalt-plastic based on phenylon, *Book of abstracts of international seminar and exhibition on advanced materials, technologies, equipment and tools in engineering*, 21 (1999). (*in Russ.*)
20. Burya A. I., Burmistr M. V., Arlamova N. T., Dorofeev V. T., Gorbenko V. F., Reva D. L., Development and research of properties of basalt-plastic based on phenylon, *Questions of chemistry and chemical technology*, **2**, 37 (Kiev, 1999). (*in Russ.*)
21. Sirenko G. O., Bazjuk L. V., Midak L. Ya., Influence of composition of polymer composition on the basis of aromatic polyamide on the intensity of wear and coefficient of thermal conductivity, *Problems of chemistry and chemical technology*, **3**, 107 (2006). (*in Ukr.*)
22. Burya A. I., Levi A. G., Properties and application of thermoplastic carbon composites, *Polycondensational processes and polymers*, 52, (Nalchik, KBSU, 1988). (*in Russ.*)
23. Markin R. V., Leontieva N. V., Vostogov B. E., Polyamides structural applications, *Chemical industry abroad*, 10, 13 (1980). (*in Russ.*)
24. Konkin A. A., Carbon and other heat-resistant fibrous materials, 376 p. (Khimiya, Moscow, 1974). (*in Russ.*)
25. Burya A. I., Derkach A. D., Burmistr M. V., Investigation of properties of carbon based on aliphatic polyamide-6, *Proceedings of 4-th International Conference "theory and practice of technology of composite materials and new metallic alloys (TPKMM)*, 55, (Knowledge, Moscow, 2005). (*in Russ.*)
26. Burya A. I., Molchanov B. I., Friction and wear of PA-6 and carbon based on it, *Friction and wear*, **13** (5), 809, (1992). (*in Russ.*)
27. Burya A. I., Chigvinceva O. P., Reva D. L., Experience of application of thermoplastic plastics in-line roller chain machine korneuborochnoj, *Materials of the International Conference, "Technology of repair of machines and mechanisms. Repair-98"*, 2, 81, (Kiev, 1998). (*in Russ.*)
28. Thrower Peter A., Carbon fibres threads of the future, *Earth and Miner. Sci.*, 48, 65 (1979).
29. Burya A. I., Properties and application experience of plastics in agricultural, *Methodical recommendations*, 27 p. (Knowledge, Kiev, 1992). (*in Russ.*)
30. Burya A. I., Dubkova V. I., Dependency properties of plastics from the ultimate heat treatment temperature carbon fibre, *Book of abstracts of the Conference "Advanced polymer materials, their processing and application technology"*, (Rostov-na-Donu, 1988), 139. (*in Russ.*)
31. Burya A. I., Lysenko A. T., Azarova M. T., Development, research and application of reinforced thermoplastics, chemical fibers in friction units of agricultural machinery, *Questions of chemistry and chemical technology*, **64**, 60 (1980) (*in Russ.*)

32. Burya A. I., Lysenko A. T., Konkin A. A., Fomichev I. A., Reinforcement plastics to agricultural bearings, *Book of abstracts of Republican Scientific-Technical Conference "management of reliability of machines"*, 137 (Kiev, 1976). (in Russ.).
33. Burya A. I., Levy A. G., Bedin A. S., Levit R. M., Raikin V. G., Influence of elastic modulus carbon fiber on friction and wear of plastics on the basis of aromatic polyamide, *Friction and wear*, **5** (5), 932 (1984). (in Russ.).
34. Levit R. M., Chemical structure of carbon fibers, *Chemical fiber*, 3, 23 (1979). (in Russ.).
35. Ermolenko I. N., Ljubliner I. P., Gulko N. V., Carbon-element carbon fiber materials, *Science and technology*, 272 p. (Science and Technology, Minsk, 1982). (in Russ.).
36. Polkhovskiy M. V., Safonova A. M., Application of heat-resistant fiber SPO "Khimvolokno" in composite materials, *Materials of the International Conference "26 composites industry"*, 404 (Yalta, 2006). (in Russ.).
37. Ermolenko I. N., Safonova A. M., Lukomskaya O. A., Carbon-elements fiber-composite filler perspective, *Book of abstracts of school-seminar "development and application of polymer composite materials in the agricultural"*, 2 (Knowledge, Kiev, 1989). (in Russ.).
38. Burya O. I., Development, research and use of polymers, reinforced with chemical fibers in structures of agricultural machines, *Cand. diss. tech Sciences*, p.32 (Ternopil, 1993) (in Ukr.).
39. Burya A. I., Rula I. V., Safonova A. M., Study on the properties of carbon based on phenylon C-2 nickel-containing reinforced carbon fibers, *Book of abstracts of International Conference HighMatTech.*, 401 (Kiev, 2007). (in Russ.).
40. Burya O. I., Rula I. V., Safonova A. M., Investigation of friction and wear of carbon-plastics on the basis of phenylon reinforced with nickel-containing carbon fibers, *Materials of the Eighth Annual International Industrial Conference "Efficiency of Realization of Scientific, Resource and Industrial Capacity in Modern Conditions"*, 63 (Carpathians, 2008). (in Ukr.).
41. Burya A. I., Kazakov M. E., Rula I. V., Redchuk A. S., Study on the properties of carbon based on phenylon reinforced metal-containing by carbon fibers, *Materials of the 28th International Conference on "Composite materials in the industry"*, 106 (Yalta, 2008). (in Russ.).
42. Burya A. I., Dubkova V. I., Kobets A. S., Antifriction materials based on thermoplastics reinforced with metal-carbon fibres, *Proceeding of the symposium on the tribology of friction materials*, **1**, 45 (Yaroslavl, 1991). (in Russ.).
43. Ermolenko I. N., Dubkova V. I., Burya A. I., Bedin A. S., The research of influence of fosfor-containing carbon fiber on thermal transformation of phenylon, *Papers of Academy of Sciences of BSSR*, **27** (8), 727 (1983). (in Russ.).
44. Burya A. I., Chigvinceva O. P., Anosov N. I., Carbon-filled plastics based on polyamide reinforced pekovymi fiber, *Materials of the international scientific and technical conference "reliability of machines and technical systems"*, 84 (Minsk, 2001). (in Russ.).
45. Composite materials, Access mode: <http://www.e-plastic.ru/specialistam/composite/kompozicionnye-materialy>. (in Russ.).
46. Burya A. I., Arlamova N. T., Protsenko O. M., Study on heat resistance organoplastikov PA-6, *Situation and the perspective of research and development in chemical and mechanical industry*, **2**, 25 (Krusevac, 2001). (in Russ.).
47. Burya A. I., Chigvinceva O. P., Tkach L. N., Study on thermophysical properties of reinforced plastics based on polyamide-6, *Materials, technologies, tools*, **3** (3), 37 (1998). (in Russ.).
48. Burya A. I., Friction and wear of organoplastics based on polyamide-6, *Friction and wear*, **19** (5), 671 (1998). (in Russ.).
49. Burya A. I., Arlamova N. T., Makarova R. A., Chukalovskij P. A., Development of aromatic polyamide based organoplastics phenylone, *Materials, technologies, tools*, **11** (2), 79 (2006). (in Russ.).

УДК 547.918:547.92:543.42

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ХОЛЕСТЕРИНА С ОЛЕАНОЛОВОЙ КИСЛОТОЙ И ЭСЦИНОМ

Яковишин Л. А.¹, Гришкова В. И.²

¹*ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия*

²*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: chemsevntu@rambler.ru*

Жидкофазным синтезом получены молекулярные комплексы холестерина с эсцином (суммой тритерпеновых гликозидов каштана конского обыкновенного *Aesculus hippocastanum* L.) и с тритерпеноидом олеаноловой кислоты. При этом компоненты были взяты в эквимольных соотношениях. Методом ИК-Фурье-спектроскопии показано, что при комплексообразовании между компонентами образуются водородные связи между ОН-группой холестерина и С=О карбоксильной группы эсцина и олеаноловой кислоты.

Ключевые слова: тритерпеновые гликозиды, эсцин, олеаноловая кислота, холестерин, супрамолекулярный комплекс, каштан конский обыкновенный, ИК-Фурье-спектроскопия.

ВВЕДЕНИЕ

Эсцин (ES) представляет собой сумму более 30 тритерпеновых гликозидов, выделенных из каштана конского обыкновенного *Aesculus hippocastanum* L. (Sapindaceae Juss.) [1]. Среди них преобладает β-эсцин, являющийся смесью двух гликозидов 3-*O*-[β-*D*-глюкопиранозил-(1→2)]-*O*-[β-*D*-глюкопиранозил-(1→4)]-*O*-β-*D*-глюкуронопиранозида 21β-тиглоил-22α-ацетилпротоэсцигенина (эсцин Ia) и 3-*O*-[β-*D*-глюкопиранозил-(1→2)]-*O*-[β-*D*-глюкопиранозил-(1→4)]-*O*-β-*D*-глюкуронопиранозида 21β-ангелоил-22α-ацетилпротоэсцигенина (эсцин Ib) (рис. 1) [1–5]. ES обладает противовоспалительными, противоотечными, мембранотропными и капилляропротекторными свойствами, улучшает трофику тканей при недостатке кровообращения и отеках [1; 6; 7].

Характерной особенностью сапонинов является их способность к образованию молекулярных комплексов с холестерином (Chol; рис. 1) [1]. Связывание со стеринами клеточных мембран обуславливает некоторые виды биологической активности сапонинов [1]. Исследование комплексообразования ES с Chol было начато достаточно давно [8]. Tschesche R. и Wulff G. для анализа комплексообразования использовали Chol, меченный изотопом ¹⁴C (по атому C-4) [8]. При этом на хроматограмму наносился комплекс эквимолекулярного состава. Степень связывания сапонинов в комплекс определялась по массовой доле Chol, оставшегося на старте хроматограммы после ее элюирования CCl₄. Для ES она составила 30,5 %.

Сообщалось о получении комплексов ES и его натриевых и калиевых солей с Chol и β -ситостерином разного массового состава в среде органических растворителей [9]. Данные комплексы обладают противовоспалительной и вазопротекторной активностью, но не оказывают местное раздражающее действие. Однако в работе [9] отсутствуют доказательства молекулярного комплексообразования между компонентами какими-либо химическими или физико-химическими методами. Наружно ES используют в виде комплекса с Chol в составе косметических лосьонов, молочка, кремов и гелей для лечения целлюлита, а также в качестве успокаивающего и тонизирующего средства [10–12].

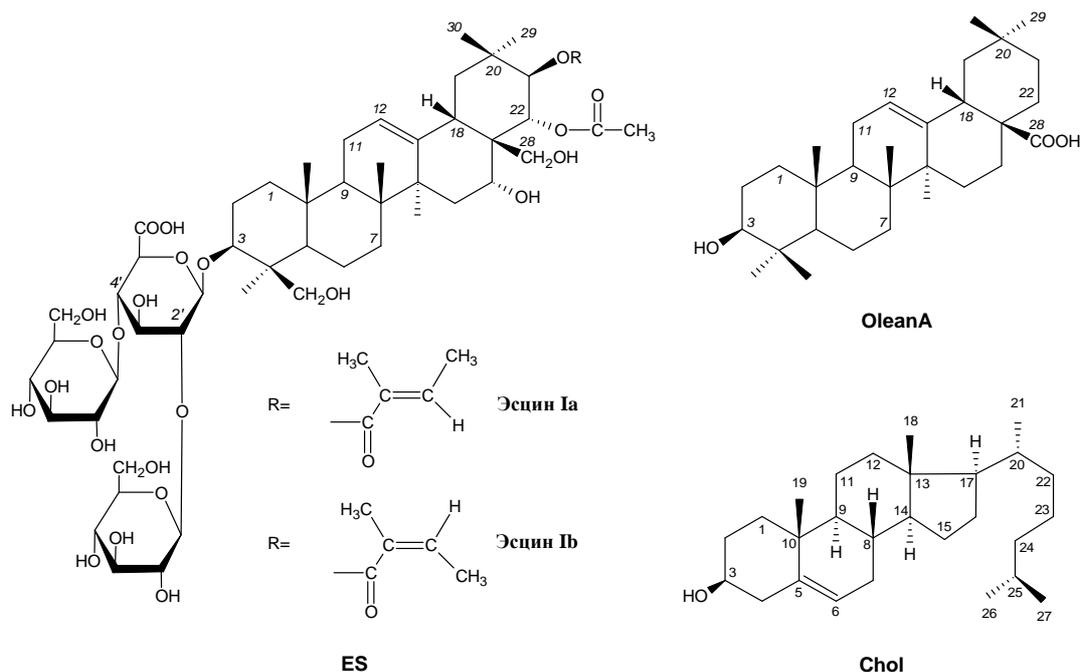


Рис. 1. Структура эсцинов Ia и Ib, образующих β -эсцин (ES), олеаноловой кислоты (OleanA) и холестерина (Chol).

Для ES получены тройные комплексы, включающие Chol или β -ситостерин и фосфолипиды [13]. Комплексы имеют более выраженный противоотечный эффект по сравнению с действием свободных компонентов. На основе сравнения спектров ЯМР ^1H , ^{13}C и ^{31}P комплексов и индивидуальных веществ (уширение сигнала протонов в группе $-\text{N}(\text{CH}_3)_3$ холина, уширение полосы и ее сдвиг для атома ^{31}P , уменьшение времен релаксации ряда ядер ^{13}C) авторы сделали вывод о том, что в комплексе ES связывается с полярной головкой фосфолипида. При этом полные отнесения сигналов в спектрах ЯМР не приведены.

Олеаноловая кислота (3 β -гидроксиолеан-12-ен-28-овая кислота, OleanA; рис. 1) – это тритерпеноид, являющийся одним из самых распространенных агликонов сапонинов [1]. Она обладает гепатопротекторной, антимикробной, противовирусной, противовоспалительной и противоопухолевой активностью [14]. В Китае ее используют в клинических условиях для лечения гепатитов [15].

Учитывая, что в ряде случаев нет четких доказательств межмолекулярного взаимодействия Chol с сапонинами различными современными спектральными методами, нами рассмотрено их комплексообразование методом ИК-Фурье-спектроскопии. ИК-спектроскопия является универсальным инструментом для анализа молекулярных комплексов. Поэтому ее часто используют для подтверждения межмолекулярных взаимодействий [16].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использовали образцы Chol (Sigma-Aldrich, США), OleanA (Sigma-Aldrich, США) и ES (Arterium, Украина) без предварительной подготовки. Комплексы Chol с OleanA и ES препаративно получали жидкофазным способом. Для этого смешивали по 1 ммоль Chol и OleanA с 50 мл смеси 70 % водный этанол-хлороформ, взятой в соотношении 3:1 по объему. Аналогично смешивали по 1 ммоль Chol и ES с 50 мл смеси 70 % водный этанол-хлороформ. Смеси выдерживали при 50 °С в течение 1,5 ч при постоянном перемешивании. Органические растворители отгоняли в вакууме.

ИК-спектры сняты с твердых образцов на ИК-Фурье-спектрометре ФТ-801 (СИМЕКС, Россия) с универсальной оптической приставкой НПВО (нарушенного полного внутреннего отражения) с элементом из селенида цинка. Для работы с ИК-спектрометром ФТ-801 использовали программу ZaIR 3.5 (СИМЕКС, Россия).

ИК-спектр Chol (ν , см⁻¹): 3401 (ОН), 3349 (ОН), 2930 (СН), 2900 (СН), 2866 (СН), 1671 (С=C), 1461 (СН), 1437 (СН), 1376 (СН), 1364 (СН), 1334 (СН), 1273 (СН), 1253 (СН), 1233 (СН), 1221 (СН), 1189 (СН), 1169 (С–ОН), 1131 (С–ОН), 1107 (С–ОН), 1053 (С–ОН), 1022 (С–ОН), 986 (=СН).

ИК-спектр ES (ν , см⁻¹): 3380 (ОН), 2920 (СН), 1734 (C=O_{сл. эфир}), 1712 (C=O_{COOH}, C=O_{сл. эфир}), 1647 (C=C), 1456 (СН), 1422 (СН), 1370 (СН), 1310 (СН), 1251 (СН), 1157 (С–О–С, С–ОН), 1067 (С–О–С, С–ОН), 1037 (С–О–С, С–ОН), 1023 (С–О–С, С–ОН), 980 (=СН).

ИК-спектр молекулярного комплекса Chol с ES (ν , см⁻¹): 3369 (ОН), 2935 (СН), 2900 (СН), 2869 (СН), 1715 (C=O_{сл. эфир}), 1700 (C=O_{COOH}), 1671 (C=C), 1648 (C=C), 1456 (СН), 1435 (СН), 1420 (СН), 1373 (СН), 1306 (СН), 1255 (СН), 1157 (С–О–С, С–ОН), 1066 (С–О–С, С–ОН), 1037 (С–О–С, С–ОН), 1023 (С–О–С, С–ОН), 980 (=СН).

ИК-спектр OleanA (ν , см⁻¹): 3458 (ОН), 2936 (СН), 2870 (СН), 1689 (C=O), 1457 (СН), 1386 (СН), 1364 (СН), 1322 (СН), 1303 (СН), 1271 (СН), 1240 (СН), 1208 (СН), 1186 (СН), 1106 (С–ОН), 1045 (С–ОН), 1029 (С–ОН), 1009 (С–ОН), 996 (С–ОН), 974 (=СН).

ИК-спектр молекулярного комплекса Chol с OleanA (ν , см⁻¹): 3379 (ОН), 2929 (СН), 2903 (СН), 2865 (СН), 1686 (C=O), 1457 (СН), 1385 (СН), 1364 (СН), 1322

(CH), 1304 (CH), 1271 (CH), 1239 (CH), 1211 (CH), 1180 (CH), 1105 (C–OH), 1047 (C–OH), 1034 (C–OH), 1009 (C–OH).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Молекулярные комплексы сапонинов получают жидкофазным способом [17; 18] или механосинтезом [18]. Синтез комплексов ES–Chol и OleanA–Chol осуществляли в жидкой фазе, т. к. при механохимической обработке возможна частичная деструкция веществ. Для этого Chol смешивали с ES и OleanA в эквимольном соотношении в среде 70 % водного этанола и хлороформа. После инкубирования смеси растворитель удаляли и получали комплекс в виде твердой субстанции. Для анализа молекулярного комплексобразования использовали метод ИК-Фурье-спектроскопии.

В ИК-спектре ES в области 3380 см^{-1} обнаружена широкая интенсивная полоса поглощения валентных колебаний ассоциированных ОН-связей (рис. 2). Основная полоса поглощения связи С=О в составе сложноэфирных групп в молекуле ES находится при 1712 см^{-1} (тиглоил и ангелоил). Полоса ацетила при 1734 см^{-1} слабо разрешилась. Валентные колебания С=О в составе карбоксильной группы остатка глюкуроновой кислоты также проявляются при 1712 см^{-1} . Поглощение при 1647 см^{-1} обусловлено С=С-связями агликона протозэцигенина, а также тиглоильного и ангелоильного остатков.

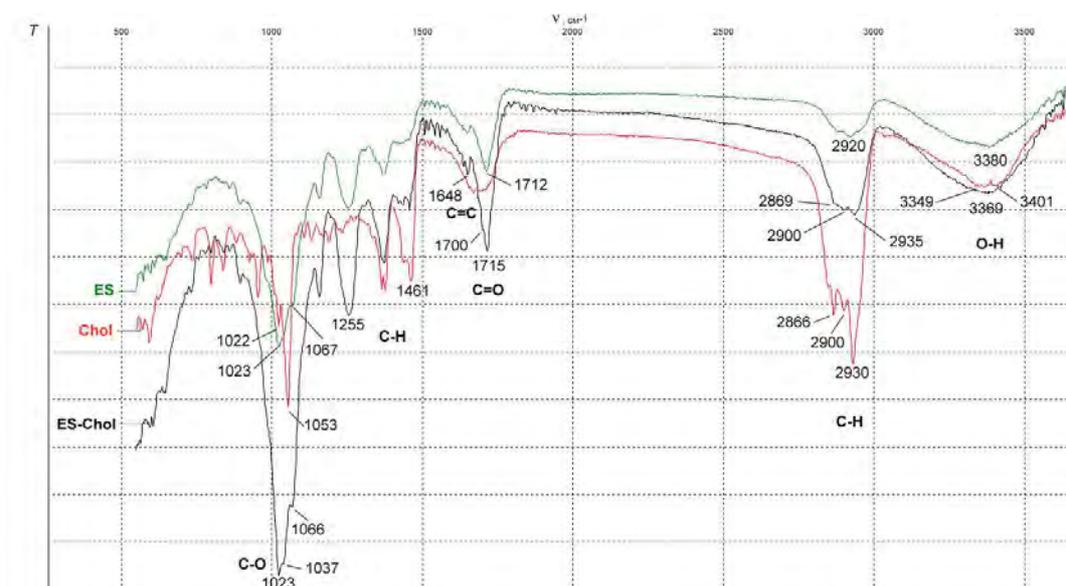


Рис. 2. ИК-спектры ES, Chol и их молекулярного комплекса.

В области $1400\text{--}1200\text{ см}^{-1}$ находятся полосы поглощения деформационных колебаний СН-связей ES, OleanA и Chol. Валентные колебания связей с участием атомов кислорода (C–O–C, C–OH) проявляются в области $1200\text{--}1000\text{ см}^{-1}$.

При комплексообразовании ES с Chol наблюдается низкочастотный сдвиг полос поглощения валентных колебаний связей OH: $3380\text{--}3369\text{ см}^{-1}$ (для ES) и $3401\text{--}3369\text{ см}^{-1}$ (для Chol), указывающий на образование водородной связи. Частота полосы поглощения валентных колебаний связи C–OH у Chol при 1053 см^{-1} в комплексе уменьшается до 1037 см^{-1} . Частота полосы поглощения валентных колебаний C=O в карбоксильной группе ES в области 1712 см^{-1} изменилась на -12 см^{-1} . Изменения $\nu_{\text{C=O}}$ и $\nu_{\text{O-H}}$ в ИК-спектрах указывают на образование между молекулами ES и Chol водородной связи $\text{C}=\text{O}\cdots\text{H}-\text{O}$.

В ИК-спектрах найдены изменения некоторых частот поглощения СН-связей: у Chol $\nu_{\text{C-H}}$ 2930 см^{-1} в комплексе изменилось на $+5\text{ см}^{-1}$, а у ES $\nu_{\text{C-H}}$ 2920 см^{-1} – на -20 см^{-1} . Смещения полос поглощения СН-связей могут быть вызваны гидрофобными взаимодействиями агликонной части гликозида с липофильной молекулой Chol.

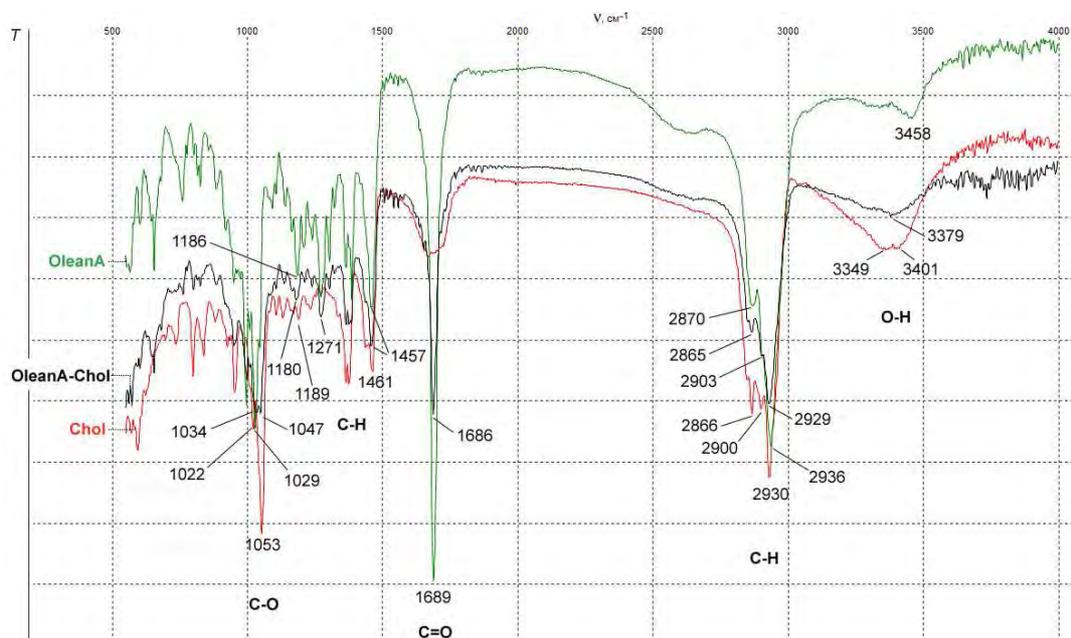


Рис. 3. ИК-спектры OleanA, Chol и их молекулярного комплекса.

В спектре комплекса OleanA–Chol отмечено низкочастотное смещение полос поглощения валентных колебаний связей OH у Chol с 3401 до 3379 см^{-1} , а у OleanA – с 3458 до 3379 см^{-1} (рис. 3). Частота полосы поглощения валентных колебаний C=O в карбоксильной группе OleanA изменилась на -3 см^{-1} , что подтверждает ее участие в образовании водородной связи с OH-группой Chol. Частота полосы

поглощения валентных колебаний связи C–OH у Chol при 1053 см⁻¹ в комплексе уменьшается до 1047 см⁻¹, а при 1022 см⁻¹ – увеличивается до 1034 см⁻¹. Для OleanA наблюдается сдвиг полосы 1029→1034 см⁻¹. При комплексообразовании наблюдаются изменения частот полос поглощения СН-связей: 2936→2929 см⁻¹, 2870→2865 см⁻¹ и 1186→1180 см⁻¹ (у OleanA); 2900→2903 см⁻¹ и 1189→1180 см⁻¹ (у Chol), что может указывать на наличие гидрофобных контактов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Жидкофазным способом в среде органических растворителей получены молекулярные комплексы ES с Chol и OleanA с Chol. При этом компоненты были взяты в эквимольных соотношениях.
2. Методом ИК-Фурье-спектроскопии показано, что между компонентами комплексов образуются водородные связи –C=O...H–O–. Возможно, что при комплексообразовании имеют место и гидрофобные взаимодействия.

Список литературы

1. Hostettmann K. Saponins / K. Hostettmann, A. Marston. – Cambridge: Cambridge University Press, 1995. – 548 p.
2. Costantini A. Escin in pharmaceutical oral dosage forms: quantitative densitometric HPTLC determination / A. Costantini // *Il Farmaco*. – 1999. – Vol. 54. – P. 728–732.
3. High-performance liquid chromatographic analysis of β-escin / P. Pietta, P. Mauri, R. M. Facino, M. Carini // *J. Chromatogr.* – 1989. – Vol. 478. – P. 259–263.
4. Simultaneous analysis of isomers of escin saponins in human plasma by liquid chromatography–tandem mass spectrometry: application to a pharmacokinetic study after oral administration / X. Wua, L. Liu, M. Zhang [et al.] // *J. Chromatogr. B*. – 2010. – Vol. 878. – P. 861–867.
5. Bioactive saponins and glycosides. III. Horse chestnut. (1): the structures, inhibitory effects on ethanol absorption, and hypoglycemic activity of escins Ia, Ib, IIa, IIb, and IIIa from the seeds of *Aesculus hippocastanum* L. / M. Yoshikawa, T. Murakami, H. Matsuda [et al.] // *Chem. Pharm. Bull.* – 1996. – Vol. 44, № 8. – P. 1454–1464.
6. Куцик Р. В. Каштан конский (*Aesculus hippocastanum* L.) / Р. В. Куцик, Б. М. Зузук, В. В. Дьячок // *Провизор*. – 2002. – № 4. – С. 28–32.
7. Машковский М. Д. Лекарственные средства: в 2 т. / М. Д. Машковский. – [13-е изд.]. – Харьков: Торсинг, 1997. – Т. 1. – 1997. – 560 с.
8. Tschesche R. Konstitution und eigenschaften der saponine / R. Tschesche, G. Wulff // *Planta Med.* – 1964. – Vol. 12, № 3. – P. 272–292.
9. Pat. 4101652 US. Pharmaceutically active complexes and pharmaceutical compositions containing aescin and sterols / A. Bonati. – Publ. 18.07.1978.
10. Proserpio G. Cosmetic use of horse-chestnut (*Aesculus hippocastanum*) extracts, of escin and of the cholesterol/escin complex / G. Proserpio, S. Gatti, P. Genesi // *Fitoterapia*. – 1980. – Vol. 51, № 2. – P. 113–128.
11. Bellini E. Horse chestnut: cultivation for ornamental purposes and non-food crop production / E. Bellini, S. Nin // *J. Herbs, Spices & Med. Plants*. – 2005. – Vol. 11, № 1–2. – P. 93–120.
12. Pizzorno J. E. The clinician's handbook of natural medicine / J. E. Pizzorno, M. T. Murray, H. Joiner-Bey. – [2nd ed.]. – London: Churchill Livingstone, 2008. – 832 p.
13. Pat. 5118671 US. Complexes of aescin, β-sitosterol or cholesterol, and phospholipids and pharmaceutical compositions containing them / E. Bombardelli, G. Patri, R. Pozzi. – Publ. 02.06.1992.
14. Liu J. Oleanolic acid and ursolic acid: research perspectives / J. Liu // *J. Ethnopharmacol.* – 2005. – Vol. 100, № 1–2. – P. 92–94.

15. Oleanolic acid nanosuspensions: preparation, in-vitro characterization and enhanced hepatoprotective effect / Y. Chen, J. Liu, X. Yang [et al.] // J. Pharm. Pharmacol. – 2005. – Vol. 57, № 2. – P. 259–264.
16. Хобза П. Межмолекулярные комплексы / П. Хобза, Р. Заградник. – М.: Мир, 1989. – 376 с.
17. Yakovishin L. A. Ivy and licorice triterpene glycosides: promising molecular containers for some drugs and biomolecules / L. A. Yakovishin, V. I. Grishkovets // Studies in natural products chemistry; ed. Attatur-Rahman. – Amsterdam: Elsevier, 2017. – Vol. 55. – Chapter 11. – P. 351–383.
18. Фармакологическая активность комплексов нестероидных противовоспалительных препаратов с глицерризиновой кислотой, полученных методами жидкофазного и твердофазного синтеза / И. В. Сорокина, Т. Г. Толстикова, М. П. Долгих [и др.] // Хим.-фарм. журн. – 2002. – Т. 36, № 1. – С. 12–13.

MOLECULAR COMPLEXES OF CHOLESTEROL WITH OLEANOLIC ACID AND AESCINE

Yakovishin L. A.¹, Grishkovets V.I.²

¹*Sevastopol State University, Sevastopol, Russia*

²*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia*

E-mail: chemseventu@rambler.ru

Aescine (ES) is the sum of more than 30 triterpene glycosides isolated from the horse chestnut *Aesculus hippocastanum* L. (Sapindaceae Juss.). Among them prevails β -aescine, is a mixture of two glycosides (aescine Ia and aescine Ib). ES has anti-inflammatory, anti-edematous, membranotropic and capillaroprotective properties, improves trophism of tissues with a blood circulation and edema. Oleanolic acid is a 3β -hydroxyolean-12-en-28-oic acid (OleanA). It has hepatoprotective, antimicrobial, antiviral, anti-inflammatory and antitumor activity.

A characteristic feature of saponins is their ability to form molecular complexes with cholesterol (Chol). Investigation of Chol complexation with ES was started a long time ago. In some cases there is no clear evidence of the intermolecular interaction of Chol with saponins by various modern spectral methods.

The synthesis of ES–Chol and OleanA–Chol complexes was carried out in the liquid phase (in a mixture of 70 % aqueous ethanol and chloroform at a ratio of 3:1, v/v). The components ES and Chol (analogically OleanA and Chol) were taken in equimolar ratios. The obtained mixture was incubated at 50 °C for 1.5 h with continuous stirring. The organic solvents were then removed by vacuuming.

The complexation was studied by FTIR spectroscopy. When the ES is complexed with Chol, a low-field shift of the absorption bands of OH bonds stretching vibrations is observed: $3380 \rightarrow 3369 \text{ cm}^{-1}$ (for ES) and $3401 \rightarrow 3369 \text{ cm}^{-1}$ (for Chol). The frequency of the absorption band of C=O stretching vibrations in the ES carboxyl group has changed by -12 cm^{-1} . It indicates the formation of a hydrogen bond $-\text{C}=\text{O} \cdots \text{H}-\text{O}-$. In the IR spectra changes in some of the absorption frequencies of CH bonds have been found: $\nu_{\text{C-H}} 2930 \text{ cm}^{-1}$ in the complex has changed by $+5 \text{ cm}^{-1}$ (in Chol), and $\nu_{\text{C-H}} 2920 \text{ cm}^{-1}$ – by -20 cm^{-1} (in ES).

The spectrum of the OleanA–Chol complex exhibited a low-field shift of the absorption bands of OH bonds stretching vibrations in Chol from 3401 to 3379 cm^{-1} , and

in OleanA – from 3458 to 3379 cm^{-1} . The frequency of the absorption band of C=O stretching vibrations in the carboxyl group of OleanA was changed by -3 cm^{-1} . This confirms the formation of a hydrogen bond $-\text{C}=\text{O}\cdots\text{H}-\text{O}-$. By complexation there are some changes in the frequency absorption band of CH bonds: $2936\rightarrow 2929 \text{ cm}^{-1}$, $2870\rightarrow 2865 \text{ cm}^{-1}$ and $1186\rightarrow 1180 \text{ cm}^{-1}$ (OleanA); $2900\rightarrow 2903 \text{ cm}^{-1}$ and $1189\rightarrow 1180 \text{ cm}^{-1}$ (Chol). This fact may indicate the presence of hydrophobic contacts.

Keywords: triterpene glycosides, aescin, oleanolic acid, cholesterol, supramolecular complex, horse chestnut, FTIR spectroscopy.

References

1. Hostettmann K., Marston A., *Saponins*, 548 p. (Cambridge University Press, Cambridge, 1995).
2. Costantini A., Escin in pharmaceutical oral dosage forms: quantitative densitometric HPTLC determination, *Il Farmaco*, **54**, 728 (1999).
3. Pietta P., Mauri P., Facino R. M., Carini M., High-performance liquid chromatographic analysis of β -escin, *J. Chromatogr.*, **478**, 259 (1989).
4. Wua X., Liu L., Zhang M., Wu D., Wang Y., Sun Y., Fawcett J. P., Gu J., Zhang J., Simultaneous analysis of isomers of escin saponins in human plasma by liquid chromatography–tandem mass spectrometry: application to a pharmacokinetic study after oral administration, *J. Chromatogr. B*, **878**, 861 (2010).
5. Yoshikawa M., Murakami T., Matsuda H., Yamahara J., Murakami N., Kitagawa I., Bioactive saponins and glycosides. III. Horse chestnut. (1): the structures, inhibitory effects on ethanol absorption, and hypoglycemic activity of escins Ia, Ib, IIa, IIb, and IIIa from the seeds of *Aesculus hippocastanum* L., *Chem. Pharm. Bull.*, **44** (8), 1454 (1996).
6. Kutsik R. V., Zuzuk B. M., D'yachok V. V., Chestnut horse (*Aesculus hippocastanum* L.), *Provizor*, 4, 28 (2002). (in Russ.).
7. Mashkovskii M. D., *Drugs*, 2 vols., 13 ed., **1**, 560 p. (Torsing, Kharkov, 1997). (in Russ.).
8. Tschesche R., Wulff G., Konstitution und eigenschaften der saponine, *Planta Med.*, **12** (3), 272 (1964).
9. Pat. 4101652 US, Pharmaceutically active complexes and pharmaceutical compositions containing aescin and sterols, Bonati A., Publ. 18.07.1978.
10. Proserpio G., Gatti S., Genesi P., Cosmetic use of horse-chestnut (*Aesculus hippocastanum*) extracts, of escin and of the cholesterol/escin complex, *Fitoterapia*, **51** (2), 113 (1980).
11. Bellini E., Nin S., Horse chestnut: cultivation for ornamental purposes and non-food crop production, *J. Herbs, Spices & Med. Plants.*, **11** (1–2), 93 (2005).
12. Pizzorno J. E., Murray M. T., Joiner-Bey H., *The clinician's handbook of natural medicine*, 2 ed., 832 p. (Churchill Livingstone, London, 2008).
13. Pat. 5118671 US, Complexes of aescin, β -sitosterol or cholesterol, and phospholipids and pharmaceutical compositions containing them, Bombardelli E., Patri G., Pozzi R., Publ. 02.06.1992.
14. Liu J., Oleanolic acid and ursolic acid: research perspectives, *J. Ethnopharmacol.*, **100** (1–2), 92 (2005).
15. Chen Y., Liu J., Yang X., Zhao X., Xu H., Oleanolic acid nanosuspensions: preparation, in-vitro characterization and enhanced hepatoprotective effect, *J. Pharm. Pharmacol.*, **57** (2), 259 (2005).
16. Hobza P., Zagradnik R., *Intermolecular complexes*, 376 p. (Mir, Moscow, 1989). (in Russ.).
17. Yakovishin L. A., Grishkovets V. I., Ivy and licorice triterpene glycosides: promising molecular containers for some drugs and biomolecules, in *Studies in natural products chemistry*, edited by Atta-ur-Rahman, **55**, p. 351–383 (Elsevier, Amsterdam, 2017).
18. Sorokina I. V., Tolstikova T. G., Dolgikh M. P., Shul'ts É. É., Dushkin A. V., Karnatovskaya L. M., Chabueva E. N., Boldyrev V. V., Pharmacological activity of complexes of nonsteroidal anti-inflammatory drugs with glycyrrhizic acid obtained by liquid and solid-state synthesis, *Khim.-Farm. Zhurn.*, **36** (1), 12 (2002). (in Russ.).

УДК 541.183+544.135

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОБАЛЬТА В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОРБЕНТА НА ОСНОВЕ ДИ-ТРЕТ-
БУТИЛДИБЕНЗО-18-КРАУН-6**

Янковская В. С.¹, Довгий И. И.^{1,2}, Бежин Н. А.^{1,3}

¹ООО «МИП «Сорбентэкс»», Севастополь, Россия

²ФГБУН «Морской гидрофизический институт РАН», Севастополь, Россия

³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия

E-mail: dovhyi.illarion@yandex.ru

Изучено извлечение кобальта в динамических условиях сорбентом импрегнированного типа на основе ди-трет-бутилдобензо-18-краун-6 и октанола-1. На основании полученных данных проведено испытание сорбента на природном объекте – пробе воды поверхностного водоема на водозаборе р. Черной, с. Штурмовое (Республика Крым). Разработана методика определения концентрации ионов кобальта и удельной активности радионуклидов кобальта в водных объектах окружающей среды (сточных и природных водах) с использованием сорбента импрегнированного типа на основе ди-трет-бутилдобензо-18-краун-6 и октанола-1.

Ключевые слова: сорбент, кобальт, ди-трет-бутилдобензо-18-краун-6, октанол-1, сорбция, динамика.

ВВЕДЕНИЕ

Важной аналитической задачей является выделение ⁶⁰Со – одного из наиболее токсичных радионуклидов. ⁶⁰Со имеет относительно небольшой период полураспада (5,27 года [1]), однако при его распаде испускается два γ -кванта с энергиями 1,17 и 1,33 МэВ, обладающих высокой проникающей способностью. По мощности излучения 17 г радиоактивного кобальта эквивалентны 1 кг радия (самого мощного природного источника радиации).

Надежная оценка воздействия атомных электростанций и предприятий ядерно-топливного цикла на окружающую среду требует новых селективных и эффективных методов предварительной концентрации радионуклидов для определения их содержания в окружающей среде [2]. Для решения этих задач предлагается получение сорбентов на основе краун-эфиров, селективных к определенным металлам.

Ранее нами разработаны сорбенты импрегнированного типа на основе краун-эфиров [3–6] для селективного извлечения кобальта. Установлено, что кобальт количественно извлекается из тиоцианатных растворов сорбентом на основе ди-трет-бутил-добензо-18-краун-6 (ДТБДБ18К6), определены оптимальные параметры сорбции и десорбции кобальта [6].

Настоящая работа направлена на проведение испытаний сорбента на основе ДТБДБ18К6 на природном объекте – пробе воды поверхностного водоема на

водозаборе р. Черной, с. Штурмовое (Республика Крым) и разработку методики определения кобальта в водных объектах окружающей среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы. Использовались ДТБДБ18К6 (более 98 % чистоты) производства ООО НПП «Поликом» (г. Москва, Россия); стиролдивинилбензолный носитель LPS-500 (размер частиц 150–250 мкм) производства ООО «Техносорбент» (г. Москва, Россия).

Метанол, ацетон, октанол-1, хлороформ, тиоцианат аммония (РеаХим, Россия) имели квалификацию ч.д.а. Для приготовления исследуемых и градуировочных растворов использовали тиоцианат аммония и стандартные образцы растворов металлов – Со (Международный стандартный образец 0305:2002).

Методики подготовки носителя и получения сорбента подробно описаны в [6; 7]. Для проведения испытаний был получен сорбент на основе стирол-дивинилбензолного носителя LPS-500, импрегнированного раствором ДТБДБ18К6 в октанол-1. Состав полученного сорбента определяли гравиметрически по массе исходных компонентов, взятых на импрегнирование, и массе полученного сорбента с использованием аналитических весов 2 класса.

Теоретическую емкость полученного сорбента по кобальту рассчитывали по формуле:

$$G_{теор} = \frac{n_{кэ}}{m} \cdot M \cdot 10^3 = \frac{m_{кэ}}{M_{кэ} \cdot m} \cdot M \cdot 10^3 \text{ мг/г}, \quad (1)$$

где $n_{кэ}$ – количество вещества ДТБДЦГ18К6 в сорбенте, моль; $m_{кэ}$ – масса ДТБДЦГ18К6 в сорбенте, г; M – молярная масса кобальта, 58,9 г/моль; $M_{кэ}$ – молярная масса ДТБДЦГ18К6, 484,72 г/моль; m – масса сорбента, г; 10^3 – коэффициент, учитывающий переход г/г в мг/г.

Характеристики полученного образца сорбента приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики полученного образца сорбента

Найдено		Вычислено	
$w_{ДТБДБ18К6}$ в сорбенте, % масс.		$C_{ДТБДБ18К6}$ в разбавителе, М	$G_{теор}$, мг/г
14,24	14,57	1	18,17

Сорбционное извлечение кобальта в динамических условиях. Для изучения сорбции кобальта в динамических условиях использовали стеклянную колонку диаметром 1 см, заполненную сорбентом. Для этого один конец колонки плотно закрывали небольшим тампоном из ваты. После чего через свободный конец заполняли колонку сорбентом, прибавляя его небольшими порциями и уплотняя постукиванием по колонке палочкой с резиновым наконечником. Следили за тем, чтобы сорбент ложился равномерно, без пустот, с одинаковой плотностью. После заполнения колонки сорбент промывали водой до прекращения усадки слоя.

Заполненную до высоты 3 см сорбентом колонку (масса сорбента 1,2 г) закрывали тампоном из ваты. Далее сорбент кондиционировали пропусканьем 50 мл 1 М раствора тиоцианата аммония со скоростью 1 мл/мин.

Через подготовленную колонку со скоростью 1 мл/мин пропускали исследуемый раствор с концентрацией кобальта 20 мг/л и концентрацией тиоцианата аммония 1 М. Собирали фракции фильтрата, равные 25 мл, из которых отбирали пробы для анализа проскочивших ионов кобальта. После сорбции колонку промыли 50 мл 1 М раствора тиоцианата аммония. Элюирование (десорбцию) сорбированного кобальта проводили пропусканьем 1 М раствора азотной кислоты со скоростью 1 мл/мин. Собирали фракции элюата по 25 мл, из которых отбирали пробы для анализа ионов кобальта.

Количественный анализ металлов в растворах. Точные значения концентраций кобальта в исходных и равновесных растворах определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре С-115М1 в пламени «ацетилен–воздух» атомно-абсорбционным методом.

Степень извлечения рассчитывали по формуле:

$$R = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100\% , \quad (2)$$

где C_0 – исходная концентрация кобальта, мг/л; C – равновесная концентрация кобальта, мг/л.

Динамическую обменную емкость (ДООЕ) и полную динамическую обменную емкость (ПДООЕ) определяли по формулам (3, 4) соответственно:

$$\text{ДООЕ} = \frac{C_0 \cdot V_{np}}{m} \text{ мг/г}, \quad (3)$$

$$\text{ПДООЕ} = \frac{C_0 \cdot V_{полн}}{m} \text{ мг/г}, \quad (4)$$

где V_{np} – объем исходного раствора, пропущенный через сорбент до проскока кобальта, л; $V_{полн}$ – объем исходного раствора, пропущенный через сорбент до момента выравнивания концентраций, л; m – масса сорбента, г.

Расчет статистических показателей. Статистические показатели рассчитывали по формулам [8]:

- среднее арифметическое:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} , \quad (5)$$

где X_i – значения концентрации кобальта, мг/л.

- дисперсия:

$$S^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1} , \quad (6)$$

- стандартное (среднее квадратическое) отклонение:

$$S = \sqrt{S^2} , \quad (7)$$

- относительное стандартное отклонение:

$$S_r = \frac{S}{\bar{X}}, \quad (8)$$

- стандартное отклонение среднего результата:

$$S_{\bar{X}} = \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (9)$$

- доверительный интервал:

$$\Delta\bar{X} = \pm t \cdot S_{\bar{X}}, \quad (10)$$

где t – критерий Стьюдента при $(n-1)$ степенях свободы и 0,05 (5%-ом) уровне значимости.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование сорбции кобальта в динамических условиях. Полученные результаты исследования сорбции кобальта в динамических условиях представлены на рис. 1. Установлено, что пропуск происходит после пропускания 100 мл (43 колоночных объемов) раствора, а равновесие устанавливается после пропускания 600 мл раствора. Полученные при обработке выходной кривой значения динамической обменной емкости (ДОЕ) и полной динамической емкости (ПДОЕ) по кобальту составили 1,72 и 10,3 мг/г соответственно.

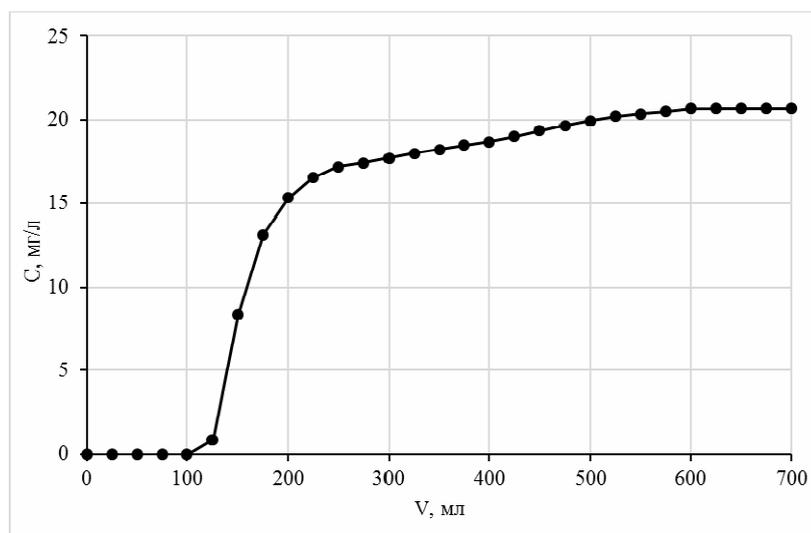


Рис. 1. Выходная кривая сорбции кобальта

Полученные результаты элюирования (десорбции) сорбированного кобальта в динамических условиях представлены на рис. 2. Установлено, что весь сорбированный кобальт полностью десорбируется 200 мл 1 М раствора азотной кислоты.

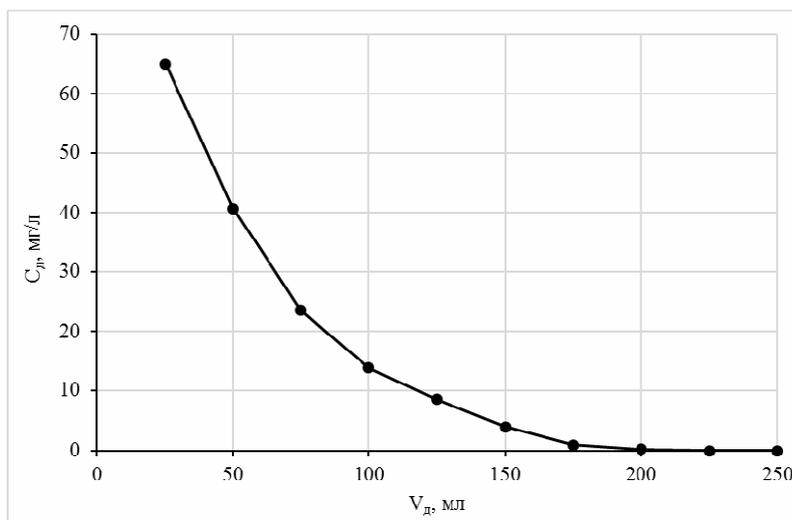


Рис. 2. Выходная кривая десорбции кобальта

Испытание сорбента на природном объекте. Для определения содержания кобальта в реальном природном объекте была отобрана проба воды поверхностного водоема на водозаборе р. Черной, с. Штурмовое (Республика Крым).

Концентрацию кобальта в воде определяли методом добавок. В пробу воды добавляли тиоцианат аммония до концентрации 1 моль/л и раствор соли кобальта в количестве 20 мг/л по металлу. Через колонку диаметром 1 см, заполненную 1,2 г сорбента на основе ДТБДБ18К6 и октанола-1, пропускали 100 мл подготовленной пробы до момента проскока, установленного при исследовании динамики сорбции.

Были получены следующие данные, представленные в таблице 1. Степень сорбции по данным анализа фильтрата после колонки составила 100 %.

Таблица 2

Результаты сорбции кобальта из подготовленной пробы – воды с поверхностного водоема

V , мл	25,0	50,0	75,0	100
C_0 , мг/л	20,8	20,8	20,8	20,8
C , мг/л	0	0	0	0
R , %	100	100	100	100

Затем проводили десорбцию кобальта из сорбента путем пропускания раствора 1 М азотной кислоты. Результаты анализа фракций десорбата на содержание кобальта, представленные в таблице 3, показали, что весь кобальт полностью десорбируется при пропускании 50 мл 1 М раствора азотной кислоты.

Таблица 3

Результаты десорбции кобальта

V_0 , мл	25,0	50,0	75,0	100
C_0 , мг/л	65,0	18,2	0	0

Всего было проведено 20 параллельных опытов. Для оценки воспроизводимости полученных результатов [8] рассчитывали статистические показатели. Полученные данные приведены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты статистической обработки результатов анализа пробы воды поверхностного водоема

\bar{X}	S^2	S	S_r	$S_{\bar{X}}$	$\Delta\bar{X}$
0,075	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$	0,049	$8,4 \cdot 10^{-4}$	0,002

Результаты анализа статистической обработки результатов показали, что концентрация кобальта в реке Черной составляет $0,075 \pm 0,002$ мг/л. Аналогичная методика может быть использована для определения удельной активности радионуклида ^{60}Co в объектах окружающей среды.

На основании полученных результатов была разработана методика определения концентрации ионов кобальта и удельной активности радионуклидов кобальта в водных объектах окружающей среды (сточных и природных водах) с использованием сорбента импрегнированного типа на основе ДТБДБ18К6 и октанола-1:

1. стеклянную колонку диаметром 1 см заполняют сорбентом на основе ДТБДБ18К6 и октанола-1 до высоты 3 см (масса сорбента 1,2 г);
2. кондиционируют сорбент пропусканием 50 мл 1 моль/л раствора тиоцианата аммония со скоростью 1 мл/мин.;
3. в исследуемую пробу добавляют тиоцианат аммония до концентрации 1 моль/л и рН 2 и добавку кобальта с концентрацией 20 мг/л;
4. через колонку со скоростью 1 мл/мин. пропускают 100 мл исследуемого раствора пробы до момента проскока;
5. после сорбции колонку промывают 50 мл 1 моль/л раствора тиоцианата аммония;
6. проводят концентрирование (элюирование, десорбцию) сорбированного кобальта пропусканием 50 мл 1 моль/л раствора азотной кислоты со скоростью 1 мл/мин.;
7. определяют концентрацию кобальта в концентрированной пробе по методу добавок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследовано извлечение кобальта в динамических условиях. Динамическая обменная емкость сорбента на основе ди-*трет*-бутилдобензо-18-краун-6 и октанола-1 составляет 1,72 мг/г, полная динамическая обменная емкость – 10,3 мг/г.
2. Проведено испытание сорбента на природном объекте – пробе воды поверхностного водоема на водозаборе р. Черной, с. Штурмовое (Республика Крым). Оценена воспроизводимость полученных результатов. Установлено, что концентрация кобальта в реке Черной составляет $0,075 \pm 0,002$ мг/л.
3. Разработана методика определения концентрации ионов кобальта в водных объектах окружающей среды (сточных и природных водах) с использованием сорбента импрегнированного типа на основе ди-*трет*-бутилдобензо-18-краун-6 и октанола-1. Аналогичная методика может быть использована для определения удельной активности радионуклида ^{60}Co в объектах окружающей среды.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО Российской Федерации (тема «Океанографические процессы» № 0827-2018-0003) и Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (программа Старт-1, проект № С1-21807).

Список литературы

1. Пятницкий И. В. Аналитическая химия кобальта / И. В. Пятницкий. – М.: Наука, 1965. – 260 с.
2. Myasoedov V. F. Nuclear power industry and the environment / V. F. Myasoedov, S. N. Kalmykov // Mendeleev Communications. – 2015. – Vol. 25. – P. 319–328.
3. Манник В. С. Сорбция кобальта краун-эфирами, иммобилизованными в полимерной матрице / В. С. Манник, И. И. Довгий, А. Ю. Ляпунов // Сборник научных трудов СНУЯЭиП. – 2013. – № 1 (45). – С. 156–162.
4. Манник В. С. Изучение селективности извлечения металлов сорбентом на основе дибензо-18-краун-6 в щелочной среде / В. С. Манник, И. И. Довгий, О. А. Коптева [и др.] // Сборник научных трудов СНУЯЭиП. – 2014. – № 2 (50). – С. 159–162.
5. Манник В. С. Влияние высаливающих добавок на извлечение кобальта сорбентами, модифицированными краун-эфирами / В. С. Манник, А. В. Штефан, И. И. Довгий // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). – 2014. – № 8, ч. 5. – С. 24–25.
6. Yankovskaya V. S. Separation of cobalt from thiocyanate solutions by crown ether-based impregnated sorbents / V. S. Yankovskaya, I. I. Dovhyi, V. V. Milyutin [et al.] // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2017. – Vol. 314, No. 1. – P. 119–125.
7. Bezhin N. A. Sorption of strontium by sorbents on the base of di-(tert-butylcyclohexano)-18-crown-6 with use of various diluents / N. A. Bezhin, I. I. Dovhyi, A. Yu. Lyapunov // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2017. – Vol. 311, No. 1. – P. 317–322.
8. Основы аналитической химии. Задачи и вопросы / В. И. Фадеева, Т. Н. Шеховцова, И. Ф. Долманова [и др.]; под ред. Ю. А. Золотова. – М.: Высшая школа, 2002. – 412 с.

**DETERMINATION OF COBALT IN ENVIRONMENTAL OBJECTS USING
SORBENT ON THE BASE OF DI-(*tert*-BUTYLBENZO)-18-CROWN-6**

Yankovskaya V. S.¹, Dovhyi I. I.^{1,2}, Bezhin N. A.^{1,3}

¹Limited liability partnership «Small innovation company «Sorbentex», Sevastopol, Russia

²Marine Hydrophysical Institute of RAS, Sevastopol, Russia

³Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

E-mail: dovhyi.illarion@yandex.ru

Extraction of cobalt in dynamic conditions by sorbent impregnated type on the base of di-(*tert*-butylbenzo)-18-crown-6 and octanol-1 was investigated. It is established that the breakthrough occurs after passing 100 ml (43 column volumes) of the solution, and equilibrium is established after passing 600 ml of the solution. All sorbed cobalt is completely desorbed with 200 ml of 1 mol/l solution of nitric acid.

The dynamic exchange capacity of sorbent on the base of di-(*tert*-butylbenzo)-18-crown-6 and octanol-1 is 1.72 mg/g, the total dynamic exchange capacity is 10.3 mg/g.

On the base of data obtained, a sorbent test on a natural object – a water sample of a surface water body at the water intake of the Chernaya River, Shturmovoje village (Republic of Crimea) conducted.

The concentration of cobalt in water was determined by method of additives. The reproducibility of the obtained results was evaluated by calculating statistical indicators (arithmetic mean, dispersion, standard deviation, relative standard deviation, standard deviation of the average result, confidence interval). Results of the analysis of the statistical processing of the results showed that the concentration of cobalt in the Chernaya River is 0.075 ± 0.002 mg/l.

The method for determining the concentration of cobalt ions and the specific activity of cobalt radionuclides in water objects of the environment (sewage and natural waters) using sorbent impregnated type on the base of di-(*tert*-butylbenzo)-18-crown-6 and octanol-1 is developed.

Keywords: sorbent, cobalt, di-(*tert*-butylbenzo)-18-crown-6, octanol-1, sorption, dynamics.

References

1. Pyatnitsky I. V., *Analytical chemistry of cobalt*, 260 (Science, Moscow, 1965). (in Russ.).
2. Myasoedov B. F., Kalmykov S. N., Nuclear power industry and the environment, *Mendeleev Communications*, **25**, 319 (2015).
3. Manik V. S., Dovhyi I. I., Lyapunov A. Yu., Sorption of cobalt by the crown ether immobilized in a polymer matrix, *Collection of scientific papers SNUNEI*, **1** (45), 156 (2013). (in Russ.).
4. Manik V. S., Dovhyi I. I., Kopteva O. A. [et al.], Study of metals extraction selectivity by sorbent on the base of dibenzo-18-crown-6 in an alkaline medium, *Collection of scientific papers SNUNEI*, **2** (50), 159 (2014). (in Russ.).
5. Manik V. S., Stefan A. V., Dovhyi I. I., Effect of salting out additives on the extraction of cobalt by sorbents modified with crown ethers, *Eurasian Union of Scientists (EUS)*, **8**, 5, 24 (2014). (in Russ.).

6. Yankovskaya V. S., Dovhyi I. I., Milyutin V. V. [et al.], Separation of cobalt from thiocyanate solutions by crown ether-based impregnated sorbents, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **314**, **1**, 119 (2017).
7. Bezhin N. A., Dovhyi I. I., Lyapunov A. Yu., Sorption of strontium by sorbents on the base of di-(tert-butylcyclohexano)-18-crown-6 with use of various diluents, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **311**, **1**, 317 (2017).
8. Fadeyeva V. I., Shekhovtsov T. N., Dolmanova J. F. [et al.], ed. Zolotov A. A. *Fundamentals of analytical chemistry. Tasks and questions*, 412 (High school, Moscow, 2002). (in Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Абдураманов Айдер Рустемович** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр 2 курса обучения факультета физической культуры и спорта
- Абдураманова Эльвира Рустамовна** Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», ассистент кафедры медицинской и фармацевтической химии, e-mail: e.r.abduramanova@mail.ru
- Баевский Михаил Юрьевич** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат технических наук, доцент кафедры органической и биологической химии
- Бастанов Расим Ильсурович** ФГБОУ ВО «Южно-Уральский ГАУ» (Институт ветеринарной медицины), аспирант 2 курса очной формы обучения
- Бежин Николай Алексеевич** ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», кандидат технических наук, доцент кафедры химическая инженерия и дозиметрия, ООО «МИП “Сорбентэкс”», ведущий специалист, e-mail: nickbezhin@yandex.ru
- Бирюкова Елена Александровна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики
- Бугара И.А.** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий
- Буря Александр Иванович** Днепропетровский государственный технический университет, профессор кафедры физики конденсированного состояния.
- Валиев Энвер Велиуллаевич** ГБОУ ВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет», старший преподаватель кафедры электромеханики и сварки, e-mail: envervaliyev@ukr.net
- Грабовская Елена Юрьевна** Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры медико-биологических основ физической культуры

Гришковец Владимир Иванович	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор химических наук, профессор кафедры общей и физической химии
Дерзян Лариса Мацаковна	Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», старший преподаватель кафедры медицинской и фармацевтической химии
Дерхо Марина Аркадьевна	ФГБОУ ВО «Южно-Уральский ГАУ», доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин
Довгий Илларион Игоревич	ФГБУН «Морской гидрофизический институт РАН», кандидат химических наук, доцент, старший научный сотрудник отдела биогеохимии моря, ООО «МИП «Сорбентэкс», директор, e-mail: dovhyi.illarion@yandex.ru
Егорова Наталья Алексеевна	ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», доктор биологических наук, доцент, заведующий лабораторией биотехнологии, e-mail: yegorova.na@mail.ru
Елкина Наталья Маратовна	Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, преподаватель подготовительных курсов
Еременко Виктор Иванович	Курская государственная сельскохозяйственная академия, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой эпизоотологии, радиобиологии и фармакологии, e-mail: vic.eriomenko@yandex.ru
Жалдак Светлана Николаевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий, e-mail: galdak@ukr.net
Кацев Андрей Моисеевич	Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой медицинской и фармацевтической химии, e-mail: katsev@mail.ru
Каширина Наталья Александровна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», обучающаяся 6 курса кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий, e-mail: natalia.kashirina.96@mail.ru

Коношенко Светлана Владимировна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор кафедры биохимии
Кузьменко Татьяна Николаевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр 1 курса кафедры медико-биологических основ физической культуры
Куличенко Александр Михайлович	Центр коллективного пользования научным оборудованием «Экспериментальная физиология и биофизика» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail alexander.kulichenko@gmail.com
Кухарик Оксана Николаевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр 2 курса обучения кафедры биохимии
Макаров Михаил Валериевич	ФГБУН «Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН», кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела экологии бентоса, e-mail: mihaliksevast@inbox.ru
Мартоян Мария Манвеловна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр 2 курса обучения кафедры биохимии
Мельник Сергей Александрович	МУП «Ресурсоснабжающая организация “Новофедоровка”», специалист абонентского отдела
Минина Елена Николаевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры теории и методики адаптивной физической культуры, физической реабилитации и оздоровительных технологий
Мирмунинова Зулхумор Мирадиловна	ГБУЗ «Центр крови» (г. Симферополь), врач-трансфузиолог
Миронюк Ирина Сергеевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», аспирант кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Мишин Николай Петрович	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», старший преподаватель кафедры медико-биологических основ физической культуры

Нагаева Елена Ивановна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры медико-биологических основ физической культуры
Наумова Наталья Валентиновна	Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», ассистент кафедры медицинской и фармацевтической химии
Никольская Виктория Александровна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры биохимии, Медицинская академия имени С. И. Георгиевского (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», старший преподаватель кафедры биохимии 1-го медицинского факультета, e-mail: ladyvictoria_nikol@mail.ru
Павленко Владимир Борисович	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой общей психологии, e-mail: vpav55@gmail.com
Павлюченкова Ольга Анатольевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр 1 курса обучения кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий
Придатко Алена Игоревна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», магистр 2 курса обучения кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий
Ротмистровская Елена Геннадьевна	ФГБОУ ВО «Курский государственный медицинский университет», ассистент кафедры нормальной физиологии, кандидат биологических наук, e-mail: rotmistrovskaya.lena@mail.ru
Соболев Валерий Иванович	Гуманитарно-педагогическая академия (филиал) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор кафедры здоровья и реабилитации, e-mail: v.sobolev@mail.ru
Тарабрина Виолетта Александровна	ФГБОВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова», курсант 3 курса 2 факультета

Тарабрина Наталья Юрьевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры медико-биологических основ физической культуры
Темурьянц Наталья Арменаковна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Теплицкая Людмила Михайловна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий
Ткаченко Элла Владимировна	ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», старший преподаватель кафедры «Химия», e-mail: tkelly@rambler.ru
Толстенко Юлия Викторовна	ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия»
Труш Вера Владимировна	Донецкий национальный университет, кандидат медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой физиологии человека и животных, e-mail: ver.trush@yandex.ru
Туманянц Каринэ Николаевна	Таврическая академия (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
Цикалов Виктор Валентинович	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры органической и биологической химии
Цикалова Виктория Николаевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат химических наук, доцент кафедры органической и биологической химии
Черетаев Игорь Владимирович	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики, e-mail: cheretaev86@yandex.ru

Черный Сергей Васильевич	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры медико-биологических основ физической культуры
Чмелёва Светлана Ивановна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий
Чуян Елена Николаевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии человека и животных и биофизики
Шейх-Заде Мамет-Исмет	ГБОУ ВО РК «Крымский инженерно-педагогический университет», кафедра электромеханики и сварки, кандидат физико-математических наук, доцент
Эйсмонт Евгения Владимировна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики, e-mail: evgenija.eismont@mail.ru
Якимова Ольга Валерьевна	ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», научный сотрудник лаборатории биотехнологии, e-mail: olyuyakimova@yandex.ru
Яковишин Леонид Александрович	ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой «Химия», e-mail: chemsevntu@rambler.ru
Янковская Виктория Станиславовна	ООО «МИП “Сорбентэкс”», специалист, e-mail: viktrijamanik@rambler.ru
Ярмолюк Наталья Сергеевна	Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», кандидат биологических наук, доцент кафедры медико-биологических основ физической культуры
Яценко Михаил Владимирович	ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», кандидат биологических наук, доцент кафедры общей и прикладной психологии, e-mail: e.yatsenko@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

ПАМЯТИ НАТАЛЬЯ АРМЕНАКОВНЫ ТЕМУРЬЯНЦ.....	3
Бастанов Р. И., Дерхо М. А. МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ ПЛОТВЫ РАЗЛИЧНЫХ БИОТОПОВ АРГАЗИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ).....	5
Еременко В. И., Ротмистровская Е. Г. ДИНАМИКА ТИРОКСИНА В КРОВИ ТЕЛОЧЕК РАЗНЫХ ПОРОД ПОСЛЕ НАГРУЗКИ НА ЩИТОВИДНУЮ ЖЕЛЕЗУ ТИРЕОТРОПНЫМ ГОРМОНОМ.....	15
Жалдак С. Н., Каширина Н. А., Бугара И. А. ВНУТРИВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ <i>CORNUS MAS L.</i> В ПРЕДГОРНОМ КРЫМУ И ПЕРСПЕКТИВА ВВЕДЕНИЯ РАСТЕНИЙ В КУЛЬТУРУ	21
Коношенко С. В., Кухарик О. Н., Елкина Н. М., Мирмунинова З. М. ПРОЦЕССЫ ПЕРОКСИДАЦИИ ЛИПИДОВ И АКТИВНОСТЬ АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ В ЭРИТРОЦИТАХ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА IN VITRO	28
Коношенко С. В., Мартоян М. М., Елкина Н. М., Мирмунинова З. М. ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПРОТЕИНОВ И МЕТГЕМОГЛОБИНОБРАЗОВАНИЕ В ЭРИТРОЦИТАХ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА IN VITRO	35
Куличенко А. М., Эйсмонт Е. В., Павленко В. Б. ИЗМЕНЕНИЕ КОГЕРЕНТНОСТИ ЭЭГ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОХОЖДЕНИЯ КУРСА НЕЙРОТЕРАПИИ ДЕТЬМИ 5-11 ЛЕТ	43
Макаров М. В. MOLLUSCA НА ИСКУССТВЕННЫХ ТВЕРДЫХ СУБСТРАТАХ ВДОЛЬ ПОБЕРЕЖЬЯ КРЫМА (ЧЕРНОЕ МОРЕ).....	55
Мишин Н. П., Нагаева Е. И., Черный С. В., Кузьменко Т. Н. ВЛИЯНИЕ СОРЕВНОВАТЕЛЬНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ПОКАЗАТЕЛИ РЕГУЛЯЦИИ РИТМА СЕРДЦА У СПОРТСМЕНОВ-ГИРЕВИКОВ.....	63
Никольская В. А., Черетаев И. В., Минина Е. Н. ВЛИЯНИЕ КУРСОВОГО ИНТРАНАЗАЛЬНОГО ВВЕДЕНИЯ МАЛЫХ ДОЗ ДАЛАРГИНА НА ДИНАМИКУ УРОВНЯ МОЛЕКУЛ СРЕДНЕЙ МАССЫ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ ЛАБОРАТОРНЫХ КРЫС, ПОДВЕРГНУТЫХ СТРЕССОРНОМУ УЛЬЦЕРОГЕНЕЗУ	72
Придатко А. И., Теплицкая Л. М. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГУМАТА К НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ ЯЧМЕНЯ ОБЫКНОВЕННОГО СОРТА ГЕЛИОС УА	85

Тарабрина Н. Ю., Грабовская Е. Ю., Тарабрина В. А., Абдураманов А. Р. ВЫРАЖЕННОСТЬ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ КАРДИОГЕМОДИНАМИКИ У БОРЦОВ РАЗЛИЧНОЙ КВАЛИФИКАЦИИ	92
Темурьянц Н. А., Ярмолюк Н. С., Туманянц К. Н. ВЛИЯНИЕ СЛАБОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ НА ОКОЛОГОДОВУЮ РИТМИКУ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПЛАНАРИЙ <i>DUGESIA TIGRINA</i>	104
Труш В. В., Соболев В. И. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНО ВВОДИМОГО АДРЕНАЛИНА И СЕЛЕКТИВНОГО β_2 -АДРЕНОАГОНИСТА ФОРМОТЕРОЛА НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СКЕЛЕТНОЙ МЫШЦЫ БЕЛЫХ КРЫС	118
Чмелёва С. И., Павлюченкова О. А. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ <i>CUCUMIS SATIVUS</i> L. К ОСМОТИЧЕСКОМУ СТРЕССУ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИНТЕТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА РОСТА ЦИРКОН.....	137
Чуян Е. Н., Миронюк И. С., Бирюкова Е. А. УПРАВЛЯЕМОЕ ДЫХАНИЕ С ИНДИВИДУАЛЬНО ПОДОБРАННОЙ ЧАСТОТОЙ ИЗМЕНЯЕТ ВРЕМЕННУЮ ОРГАНИЗАЦИЮ СЕРДЕЧНОГО РИТМА В ИНФРАДИАННОМ ДИАПАЗОНЕ	148
Якимова О. В., Егорова Н. А. ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ, ТИПА ЭКСПЛАНТА И ГЕНОТИПА НА КЛОНАЛЬНОЕ МИКРОРАЗМНОЖЕНИЕ <i>MELISSA OFFICINALIS</i> L.	158
Яценко М. В. ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ИСХОДНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ МОЗГА НА УМСТВЕННУЮ РАБОТСПОСОБНОСТЬ СТУДЕНТОВ В КОНТЕКСТЕ ИХ ИНДИВИДУАЛЬНО-ТИПОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ..	168
ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ	
Абдураманова Э. Р., Наумова Н. В., Дерзян Л. М., Кацев А. М. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВОБОДНЫХ И ИММОБИЛИЗОВАННЫХ НА НЕОРГАНИЧЕСКИХ НОСИТЕЛЯХ ФОТОБАКТЕРИЙ ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ	179
Валиев Э. В., Шейх-Заде М. И. РАСЧЕТ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ ВНУТРЕННЕГО ВРАЩЕНИЯ И ОЦЕНКА ЭНЕРГИИ ВНУТРИМОЛЕКУЛЯРНОЙ ВОДОРОДНОЙ СВЯЗИ В 2-МЕТОКСИФЕНОЛЕ	188
Мельник С. А., Цикалова В. Н., Цикалов В. В., Баевский М. Ю. СИНТЕЗ И ПРОГНОЗИРУЕМАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ АЛИЦИКЛИЧЕСКИХ И АРОМАТИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДНЫХ β -АЛАНИНА И БЕНЗИМИДАЗОЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ.....	193
Ткаченко Э. В., Буря А. И., Толстенко Ю. В. СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДОВ	202

Яковшин Л. А., Гришковец В. И. МОЛЕКУЛЯРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ХОЛЕСТЕРИНА С ОЛЕАНОЛОВОЙ КИСЛОТОЙ И ЭСЦИНОМ.....	216
Янковская В. С., Довгий И. И., Бежин Н. А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОБАЛЬТА В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОРБЕНТА НА ОСНОВЕ ДИ-ТРЕТ-БУТИЛДИБЕНЗО-18-КРАУН-6.....	224
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....	233
СОДЕРЖАНИЕ	239