

УДК [616-053-07+577.018]-613.34-543.3

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-2-213-222

ВЛИЯНИЕ ФЛАВОНОИДА ДИГИДРОКВЕРЦЕТИНА НА СОСТОЯНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО МЕТАБОЛИЗМА У ЮНОШЕЙ СПОРТСМЕНОВ, ТРЕНИРУЮЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

Федорова Е. П., Корчин В. И., Корчина Т. Я.

*Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, Ханты-Мансийск, Россия
E-mail: vikhmgni@mail.ru*

Установлено, что у юношей (58 человек), занимающихся цикловыми видами спорта (лыжные гонки, биатлон) и тренирующихся в суровых условиях Севера, после максимальных физических нагрузок возрастало количество лактата, продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ), снижение активности системы антиоксидантной защиты (АОЗ), которые способствовали преждевременному развитию утомления. Представители основной группы (28 человек), у которых были наиболее выраженные изменения в состоянии метаболического статуса, в течение двух месяцев получали флавоноид дигидрокверцетин (ДГК) в дозе 120 мг, а в контрольной группы - плацебо. Доказано, что ДГК значительно снижал уровень лактата, продуктов ПОЛ и повышал активность компонентов системы АОЗ, стабилизируя состояние окислительного метаболизма и препятствуя преждевременному развитию утомления.

Ключевые слова: спортсмены, окислительный стресс, физическая нагрузка, утомление, дигидрокверцетин, Север.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что напряженная мышечная работа часто способствует развитию физического утомления и оказывает тем самым непосредственное влияние на снижение работоспособности и продуктивность тренировочного процесса [1]. Физическое утомление в свою очередь влияет на формирование перенапряжения у спортсменов, которое неизбежно может привести к срыву результативной подготовки спортсменов к соревнованиям [2]. Механизм развития утомления требует более глубокого изучения, основывающегося на совершенствовании современных знаний в данной области, разработке критериев диагностики и поиске профилактических средств. В ходе тренировочного процесса происходит возрастание уровня физических нагрузок, которые свойственны спорту высоких достижений, создаются предпосылки для изменения окислительно-восстановительного равновесия, а именно: происходят его сдвиги в сторону преобладания интермедиатов ПОЛ (свободные радикалы, АФК) на фоне истощения системы АОЗ [3–5]. Адаптивные возможности системы АОЗ у спортсменов зависят от различных внешних и внутренних факторов: пола, возраста, сбалансированного

по микронутриентам питания, состояния среды обитания (природно-климатические условия, присутствие экотоксикантов), энергозатраты в подготовительный и соревновательный периоды [6–8]. В своих исследованиях ряд авторов наглядно продемонстрировали уменьшение параметров активности ферментативного звена системы АОЗ у спортсменов [9–11]. Ими было доказано, что для спортсменов, испытывающих максимальные нагрузки, свойственно заметное снижение (до 20 %) активности антиоксидантных энзимов в крови в сочетании со стойким повышением (до 32 %) содержания МДА на этапе развития утомления. Следовательно, показатели состояния системы ПОЛ/АОЗ могут служить своеобразным биохимическим критерием, который позволяет уже заранее предопределить развитие физического утомления [12, 13].

В литературе появились данные о том, что некоторые авторы использовали в качестве добавки к ежедневному рациону питания спортсменов антиоксидант (биофлавоноид) – дигидрохверцетин (ДГК), который использовали при физических нагрузках [14–17]. Было рекомендовано использовать разновидность ДГК (в виде наноземульсии), путем включения его в ежедневный рацион питания спортсменов, который сводил к минимуму риск нарушения окислительного гомеостаза и обеспечивал надежную защиту мышечной ткани от действия липоперосидов и активных форм кислорода [15].

Необходимо отметить, что любые антиоксиданты следует применять в спортивной медицине прежде всего обоснованно, в частности, после проведения индивидуальных соответствующих биохимических тестов, позволяющих выявить несостоятельность системы АОЗ [18]. Только при наличии такой информации надлежит проводить пополнение экзогенными антиоксидантами резервы системы АОЗ, что позволит сбалансировать состояние окислительного метаболизма [19].

Многие вопросы ещё ждут своего разрешения: во-первых, необходимо учитывать влияние северо-специфических региональных факторов, которые могут способствовать определению прогноза развития адаптационных нарушений у спортсменов; во-вторых, в литературе крайне мало сведений, касающихся наиболее рационального подхода к выбору биоантиоксидантов для предотвращения развития физического утомления и окислительного стресса у спортсменов-северян, подвергающихся интенсивным мышечным нагрузкам, которые бы оказывали благотворное влияние на их общую резистентность. Исходя из этой предпосылки, мы сочли возможным использовать сбалансированный рацион питания и инкапсулированный дигидрохверцетин, который назначали для профилактики развития физического утомления у юношей, занимающихся цикловыми видами спорта (биатлон, лыжные гонки) в условиях Севера.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на базе двух учреждений: в БУ "Ханты-Мансийская государственная медицинская академия" и АПОУ ХМАО-Югры «Югорский колледж-интернат олимпийского резерва» г. Ханты-Мансийска, в которых принимали участие 58 юношей, занимающихся циклическими видами спорта

(лыжные гонки, биатлон) в возрасте $18,0 \pm 2,1$ лет. В процессе исследования все спортсмены были разделены на 2 группы в зависимости от показателей работоспособности, времени развития утомления, избытка продуктов ПОЛ и антиоксидантного статуса: основную (28 человек) и контрольную (30 человек). Обследуемые юноши имели высокий уровень квалификации от перворазрядников (46,6 %), кандидатов в мастера спорта (37,8 %) до мастеров спорта (15,6 %) и в подготовительный период тренировок подвергались интенсивным физическим нагрузкам в специализированном кабинете с помощью беговой дорожки H/P/CosmosVYAIR (Швейцария) в комплексе с эргоспирометром Master-Screen CPX Jaeger (Германия). Тестирование проходило в присутствии врача, который следил за состоянием испытуемого, увеличивая мощность нагрузки до тех пор пока участник не отказывался дальше её выполнять. Следует отметить, что до и после максимальной нагрузки осуществляли измерение артериального давления, используя метод Н. С. Короткова. Наряду с этим определяли следующие показатели, свидетельствующие об уровне работоспособности и развитии утомления: максимальное потребление кислорода как в абсолютных (мл/мин), так и в относительных (мл/мин/кг) величинах, кислородный пульс (мл/уд), время нагрузки (мин), которые обрабатывались на ПЭВМ с применением пакета прикладных электронных программ. После завершения тредмил тестирования проводили экспресс-анализ для выявления уровня лактата в капиллярной крови, используя тест полоски фирмы – BM-Lactate (Россия) и портативный биохимический анализатор "Accutrend Plus" фирмы Roche Diagnostics (Германия). На следующие сутки у всех спортсменов натошак производили забор крови из локтевой вены с последующим её центрифугированием для получения сыворотки и последующего лабораторного анализа.

О состоянии окислительного метаболизма судили путем определения первичных (гидроперекиси липидов – ГПл) и вторичные (малоновый диальдегид – МДА) продуктов ПОЛ, используя тест наборы реагентов фирмы «BCM Diagnostics» (Германия) и ООО «АГАТ-МЕД» – (Россия). Активность системы АОЗ оценивалась по показателям общей антиоксидантной активности (ОАА) и тиоловому статусу (ТС) с помощью наборов «Cauman Chemical», «Immundiagnostik AG» – (Германия) и «Konelab 60i» (Финляндия). Расчетный интегральный показатель – коэффициент окислительного стресса (КОС) осуществляли по формуле: $КОС = ГПл \times МДА / ОАА \times ТС$ [20].

Концентрацию витаминов-антиоксидантов А, Е и С определяли с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с масс-селективным флуоресцентным детектированием на приборе "Agilent 12160 Infinity" фирмы Agilent Technologies Inc. (США). Уровень витамина D [25 (ОН)D] выявляли, используя модульный иммунохимический анализатор "Architect i 2000 SR" фирмы Abbott Laboratories (США).

На заключительном этапе исследования из представителей основной группы были сформированы 2 подгруппы: первая – 28 человек, имеющих снижение физической работоспособности и выраженный дисбаланс в системе ПОЛ/АОЗ, которые в течение 60 дней принимали однократно флавоноид – дигидрокверцетин в

дозе 120 мг/сутки (производитель ООО "Кахор-Продукт"); вторая – 30 человек, которые для соблюдения однородности условий при проведении корректирующих мероприятий, получали placebo (инкапсулированная лактоза).

Полученные результаты обрабатывали с использованием программного пакета MICROSOFT EXCEL 2010 и SPSS Statistics 17.0. Статистический анализ проводился на основе расчета средних арифметических величин (M), их ошибок (m) и средних квадратичных отклонений (σ). Достоверность различий между средними величинами оценивали с помощью t -критерия Стьюдента. Достоверными ($p \leq 0,05$) считали различия при уровне значимости 95 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что напряженная и продолжительная физическая нагрузка способствует интенсификации развития окислительных процессов в организме человека [8, 10, 21, 22], которые могут отрицательно повлиять на функциональное состояние, рост спортивных результатов и спровоцировать состояние перетренированности [23]. Среди разнообразия антиоксидантов, используемых в спортивной медицине [24, 25], наиболее лучший результат продемонстрировал дигидрохверцетин (ДГК, витамин Р, биофлавоноид), который снижал риск развития окислительного стресса [26–28]. Он, являясь антиоксидантом прямого действия, эффективно нейтрализует свободные радикалы путем разрыва цепей окисления, активизирует ферменты АОЗ, обеспечивает антирадикальную активность сульфгидрильных соединений, витаминов С и Е, а также блокирует металлы с переменной валентностью [26, 29]. В ходе экспериментальных исследований было доказано, что ДГК проявлял более высокую антиоксидантную активность по сравнению с витаминами-антиоксидантами [26]. Принимая во внимание положительный эффект использования различных антиоксидантов, в том числе и ДГК, для защиты организма от негативного воздействия свободных радикалов, образующихся при интенсивных физических нагрузках, мы сочли целесообразным оценить корректирующее влияние этого флавоноида на показатели физической работоспособности, окислительного метаболизма и содержание витаминов-антиоксидантов у юношей спортсменов в условиях тредмил тестирования, которые представлены в таблице 1. Полученные результаты демонстрируют положительное влияние ДГК на средние значения интегрального показателя физической работоспособности, а именно: значимое увеличение МПК как абсолютного, так и относительного на 18,3 % и 22,0 %, снижение ЧСС (макс.) на 12,7 %, уровня лактата (в 1,4 раза) в крови и возрастание времени на выполнение нагрузки при сравнении с таковыми в контрольной группе. Наряду с этим профилактический прием ДГК способствовал достоверному снижению продуктов ПОЛ: гидроперекисей липидов в 1,15 раза ($p=0,016$) и МДА в 1,2 раза ($p=0,026$) в сочетании с увеличением показателей антиоксидантной системы защиты организма: ОАА в 2,5 раза ($p=0,000$) и ТС в 1,2 раза ($p=0,024$, табл. 1). Следует отметить, что величина интегрального показателя КОС хотя достоверно снизилась в 3,4 раза по сравнению с контрольной группой, но все же оказалась больше верхнего предела

физиологически оптимальных значений. Средняя концентрация витаминов-антиоксидантов значимо не изменилась, хотя наблюдалась тенденция к незначительному её увеличению. Не исключено, что это может быть обусловлено тем, что прием ДГК способствовал меньшему расходованию собственного резерва антиоксидантов на предотвращение сдвига равновесия в сторону прооксидантов.

Таблица 1

Влияние дигидрокверцетина на показатели физической работоспособности, окислительного метаболизма и содержание витаминов-антиоксидантов у юношей спортсменов в условиях физической нагрузки "до отказа" (M±m)

Показатели	Обследованные спортсмены (n=58)		
	Контрольная группа (прием placebo) n=30	Основная группа (прием ДГК) n=28	P
Время выполнения нагрузки, сек.	18,9±1,02	22,6±1,24	0,025
МПК, абсолют., мл/мин	3324±187,6	4067±206,2	0,010
МПК, относительн., мл/мин/кг	46,9±2,54	60,1±3,17	0,001
ЧСС макс, уд/мин	196,8±5,80	174,6±6,22	0,016
Лактат, ммоль/л	9,46±0,78	6,82±0,59	0,017
ГПЛ, мкмоль/л	450,9±11,6	412,4±10,2	0,016
МДА, мкмоль/л	5,12±0,26	4,32±0,22	0,026
ОАА, ммоль/л	0,49±0,05	1,22±0,09	0,000
ТС, мкмоль/л	432,8±31,5	526,2±25,1	0,024
КОС, у.е.	9,82±0,88	2,89±0,27	0,000
Витамин А, мкг/мл	0,49±0,03	0,61±0,05	0,044
Витамин Е, мкг/мл	4,53±0,21	5,15±0,32	0,277
Витамин D, нг/мл	21,7±1,9	23,6±2,1	0,505
Витамин С, мг/мл	4,10±0,37	4,75±0,44	0,263

Следует отметить, что величина КОС хотя достоверно снизилась в 2,8 раза по сравнению с исходной, но все же в 1,5 раза оказалась больше верхнего предела

физиологически оптимальных значений. Средняя концентрация витаминов-антиоксидантов значимо не изменилась, хотя наблюдалась тенденция к незначительному её увеличению. Не исключено, что это может быть обусловлено тем, что прием ДГК способствовал меньшему расходованию собственного резерва антиоксидантов на предотвращение сдвига равновесия в сторону прооксидантов.

Таким образом, метаболическая коррекция состояния системы ПОЛ/АОЗ с помощью дигидрокверцетина у юношей-спортсменов зимних видов спорта, проживающих и тренирующихся в северном регионе, способствовала возрастанию физической работоспособности, предотвращению развития преждевременного утомления, стабилизации состояния окислительного метаболизма, значимому снижению показателей липопероксидации на фоне увеличения антиоксидантного потенциала в их организме.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе комплексного исследования выявлены критерии снижения работоспособности и утомления у спортсменов, подвергающихся интенсивным физическим нагрузкам, которые свидетельствуют о развитии метаболических изменений, в частности, значимое повышение (в 1,3 раза) в крови концентрации продуктов ПОЛ и снижение уровня общей антиоксидантной активности и тиолового статуса в 1,5 и 1,3 раза соответственно. Установлено, что пероральный прием дигидрокверцетина в дозе 120 мг/сутки спортсменами в течение двух месяцев обеспечивал снижение показателей содержания продуктов ПОЛ (на 14 %) и возрастание уровня активности системы АОЗ (на 45 %) и ТС (на 22 %), а также уменьшение в 2,8 раза интегрального показателя КОС, что свидетельствует об эффективности профилактического курса коррекции состояния окислительного метаболизма.

Список литературы

1. Головин М. С. Физиологические и биохимические показатели, характеризующие физическую работоспособность при нагрузочном тестировании на тредбане и велоэргометре / М. С. Головин, Р. И. Айзман // Человек. Спорт. Медицина. – 2022. – Т. 22, № 1. – С. 14–21.
2. Шераш Н. В. Анализ состояния утомления и перенапряжения у спортсменов национальной команды по лыжным гонкам в ходе многолетней подготовки / Н. В. Шераш, А. Н. Будко // Прикладная спортивная наука. – 2020. – Т. 11, № 1. – С. 51–59.
3. Алиев С. А. Влияние интенсивных физических нагрузок на оксидативный стресс и антиоксидантные изменения организма спортсменов / С. А. Алиев // Chronos: естественные и технические науки. – 2020. – Т. 30, № 2. – С. 17–22.
4. Еликов А. В. Роль системы антиоксидантной защиты в развитии детренированности у спортсменов / А. В. Еликов, М. М. Коростелева // Спортивная медицина: наука и практика. – 2021. – Т. 11, № 4. – С. 78–83.
5. Gunina L. M. Oxidative stress as a factor in the deterioration of oxygen transfer during exercise / L. M. Gunina, L. L. Rybina, Y. A. Ataman et al. // Фізіологічний журнал. – 2021. – Т. 67, № 5. – С. 54–63.
6. Bjørklund G. Role of oxidative stress and antioxidants in daily nutrition and human health / G. Bjørklund, S. Chirumbolo // Nutrition. – 2017. – Vol. 33. – P. 311–321.

7. Нагорнев С. Н. Влияние климатогеографических факторов Арктики на здоровье человека: метаболические и патофизиологические аспекты / С. Н. Нагорнев, И. П. Бобровницкий, С. М. Юдин [и др.] // Российский журнал восстановительной медицины. – 2019. – № 2. – С. 4–30.
8. Грушин А. А. Оценка оксидативно-антиоксидантного статуса и аэробной работоспособности элитных лыжников-гонщиков в динамике тренировок и условиях естественного Среднегорья / А. А. Грушин, И. Е. Зеленкова, О. С. Глазачев и др. // Спортивная медицина: наука и практика. – 2019. – Т. 9, № 4. – С. 11–20.
9. Корнякова В. В. Изменение антиоксидантного статуса крови у спортсменов циклических видов спорта с разными периодами тренировочного процесса / В. В. Корнякова, В. Д. Конвай // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1. – С. 398–400.
10. Блинова Т. В. Влияние интенсивных физических нагрузок на биохимические показатели систем антиоксидантной защиты и оксида азота у спортсменов-пловцов / Т. В. Блинова, Л. А. Страхова, С. А. Колесов // Медицина труда и промышленная экология. – 2019. – № 10. – С. 860–865.
11. Clemente-Suárez V. J. Antioxidants and Sports Performance / V. J. Clemente-Suárez, A. Bustamante-Sanchez, J. Mielgo-Ayuso et al. // Nutrients. – 2023. – Vol. 15, № 10. – P. 2371.
12. Алиев С. А. Влияние физических нагрузок на состояние перекисного окисления липидов и системы антиоксидантной защиты / С. А. Алиев, А. К. Гасанова, С. С. Алибекова и др. // Научный альманах. – 2017. – Т. 31, № 5-3. – С. 255–261.
13. Зайцева Н. В. Научные принципы применения биомаркеров в медико-экологических исследованиях (обзор литературы) / Н. В. Зайцева, М. А. Землянова, В. П. Чашин, А. Б. Гудков // Экология человека. – 2019. – № 9. – С. 4–14.
14. Калинина И. В. Возможности регулирования процессов гомеостаза при включении в рационы питания людей, занимающихся спортом малой интенсивности, продуктов, обогащенных антиоксидантами / И. В. Калинина, И. Ю. Потороко, Н. В. Попова и др. // Человек. Спорт. Медицина. – 2018. – Т. 18, № 4. – С. 110–116.
15. Калинина И. В. Перспективы использования наноземлюлисий на основе дигидрохверцетина в составе продуктов для спортивного питания / И. В. Калинина, И. Ю. Потороко, А. В. Ненашева и др. // Человек. Спорт. Медицина. – 2019. – Т. 19, № 1. – С. 100–107.
16. Potoroko I. Yu. Sonochemical micronization of taxifolin aimed at improving its bioavailability in drinks for athletes / I. Yu. Potoroko, I. V. Kalinina, N. V. Naumenko et al. // Human. Sport. Medicine. – 2018. – Vol. 18, № 3. – P. 90–100.
17. Riva A. Quercetin phytosome® in triathlon athletes: a pilot registry study / A. Riva, J.A. Vitale, G. Belcaro et al. // Minerva Med. – 2018. – Vol. 109, № 4. – P. 285–289.
18. Яшин Я. И. Антиоксиданты и спорт. Основные причины неудачных применений. Возможные перспективы / Я. И. Яшин, А. Н. Веденин, А. Я. Яшин // Спортивная медицина. – 2016. – Т. 6, № 1. – С. 35–39.
19. Григорьева Н. М. Использование антиоксидантов в спортивной практике / Н. М. Григорьева // Научно-спортивный вестник Урала и Сибири. – 2020. – Т. 25, № 1. – С. 23–36.
20. Колесникова Л. И. Интегральный показатель оценки окислительного стресса в крови человека / Л. И. Колесникова, Н. В. Семенова, Л. А. Гребенкина и др. // Бюллетень экспериментальной биологии. – 2014. – Т. 157, № 6. – С. 680–683.
21. Шлапакова Т. И. Активные формы кислорода: участие в клеточных процессах и развитии патологии / Т. И. Шлапакова, Р. К. Костин, Е. Е. Тягунова // Биоорганическая химия. – 2020. – Т. 46, № 5. – С. 466–485.
22. Sawada Y. Effects of High-Intensity Anaerobic Exercise on the Scavenging Activity of Various Reactive Oxygen Species and Free Radicals in Athletes / Y. Sawada, H. Ichikawa, N. Elbine et al. // Nutrients. – 2023. – Vol. 15, № 1. – P. 222.
23. Бичев В. Г. Перетренированность у спортсменов / В. Г. Бичев // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2020. – Т. 46, № 7-1. – С. 28–32.
24. Штерман С. В. Антиоксиданты в спортивном питании. – Ч. I / С. В. Штерман, М. Ю. Сидоренко, В. С. Штерман [и др.] // Пищевая промышленность. – 2019. – № 5. – С. 60–64.
25. Мартусевич А. К. Антиоксидантная терапия: современное состояние, возможности и перспективы / А. К. Мартусевич, К. А. Карузин, А. С. Самойлов // Биорадикалы и антиоксиданты. – 2018. – Т. 5, № 1. – С. 5–23

26. Зверев Я. Ф. Флавоноиды глазами фармаколога. Антиоксидантная и противовоспалительная активность / Я. Ф. Зверев // *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии.* – 2017. – Т. 15, № 4. – С. 5–13.
27. Шелковская О. В. Дигидрокверцетин уменьшает концентрацию перекиси водорода и гидроксильных радикалов, индуцированных рентгеновским излучением / О. В. Шелковская, В. Е. Иванов, О. Э. Карп // *Современные проблемы науки и образования.* – 2015. – № 3. – С. 571.
28. Харченко Ю. А. Перспективная биологически активная добавка с антиоксидантным действием / Ю. А. Харченко, В. Н. Дмитриев // *Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы.* – 2016. – № 3. – С. 61–65.
29. Бабенкова И. В. Влияние дигидрокверцетина на каталитическую активность ионов железа (II) в реакции фентона / И. В. Бабенкова, А. Н. Осипов, Ю. О. Теселкин // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины.* – 2018. – Т. 165, № 3. – С. 321–324.

THE EFFECT OF THE FLAVONOID DIHYDROQUERCETIN ON THE STATE OF OXIDATIVE METABOLISM IN YOUNG ATHLETES TRAINING IN THE NORTH

Fedorova E. P., Korchin V. I., Korchina T. Ya.

*Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia
E-mail: vikhmgmi@mail.ru*

It is known that strenuous and prolonged physical load contributes to the intensification of oxidative processes in the human body, which can adversely affect the functional state, the growth of sports performance and provoke a state of premature fatigue. The mechanism of fatigue development requires a deeper study based on the improvement of modern knowledge in this field, development of diagnostic criteria and search for preventive means. Many questions are still awaiting resolution: firstly, it is necessary to take into account the influence of North-specific regional factors that can help to determine the prognosis of adaptation disorders in athletes; secondly, there is very little information in the literature concerning the most rational approach to the selection of bioantioxidants to prevent the development of physical fatigue and oxidative stress in Northern athletes exposed to intense muscular exercise, which would have a beneficial effect on their overall resistance to physical fatigue and oxidative stress.

The aim of our study: to evaluate the effect of the flavonoid dihydroquercetin on the state of oxidative metabolism in young male athletes training in the North.

It was found that young men (58 people) engaged in cyclic sports (ski racing, biathlon) and training in the harsh conditions of the North, after maximum physical exertion increased the amount of lactate, lipid peroxidation products (LPO), decreased activity of antioxidant defence system (AOP), which contributed to a decrease in performance and premature development of fatigue. Representatives of the main group (28 people), who had the most pronounced changes in metabolic status, received the flavonoid dihydroquercetin (DHA) at a dose of 120 mg for two months, and in the control

group – placebo. The positive effect of DHA on the average values of the integral index of physical performance was proved, namely: a significant increase in the maximum oxygen consumption (MOC) both absolute and relative by 18.3 % and 22.0 %, a decrease in the number of heart contractions (HR) by 12.7 %, the level of lactate (1.4 times) in the blood and an increase in the time to perform the load in comparison with those in the control group. Along with this, the prophylactic intake of DHA contributed to a significant decrease in lipid hydroperoxides and malonic dialdehyde (MDA) products of POL: lipid hydroperoxides by 1.15 times and malonic dialdehyde (MDA) by 1.2 times in combination with an increase in the indicators of the antioxidant defence system of the organism: total antioxidant activity (TAA) by 2.5 times and thiol status (TS) by 1.2 times (tab. 1). It should be noted that the value of the integral index – oxidative stress coefficient (OSC), although significantly decreased by 3.4 times compared to the control group, but was still more than the upper limit of physiologically optimal values. The average concentration of antioxidant vitamins did not change significantly, although there was a tendency for its slight increase. It is not excluded that this may be due to the fact that DHA administration contributed to a lower consumption of own antioxidant reserve to prevent the shift of the equilibrium towards prooxidants.

Thus, metabolic correction of POL/AOH system with the help of dihydroquercetin in young male winter sports athletes living and training in the northern region contributed to the increase in physical performance, prevention of premature fatigue, stabilisation of oxidative metabolism, significant decrease in lipoperoxidation indicators against the background of increase in antioxidant potential in their organism.

Keywords: athletes, oxidative stress, exercise, fatigue, dihydroquercetin, North.

References

1. Golovin M. S., Eizman R. I. Physiological and biochemical indicators characterizing physical performance during load testing on a treadmill and bicycle ergometer, *Human. Sport. Medicine*, **22**, 1, 14 (2022) (In Russ.).
2. Sherash N. V., Budko A. N. Analysis of the state of fatigue and overstrain among athletes of the national cross-country skiing team during long-term training, *Applied sports science*, **11**, 1, 51 (2020) (In Russ.).
3. Aliev S. A. The influence of intense physical activity on oxidative stress and antioxidant changes in the body of athletes, *Chronos: natural and technical sciences*, **30**, 2, 17 (2020) (In Russ.).
4. Elikov A. V., Korosteleva M. M. The role of the antioxidant defense system in the development of detraining in athletes, *Sports medicine: science and practice*, **11**, 4, 78 (2021) (In Russ.).
5. Gunina L. M., Rubina L. L., Ataman Y. A. Oxidative stress as a factor in the deterioration of oxygen transfer during exercise, *Фізіологічний журнал*, **67**, 5, 54 (2021).
6. Bjørklund G., Chirumbolo S. Role of oxidative stress and antioxidants in daily nutrition and human health, *Nutrition*, **33**, 311 (2017).
7. Nagornev S. N., Bobrovniksky I. P., Yudin S. M. [et al.] The influence of climatic and geographical factors of the Arctic on human health: metabolic and pathophysiological aspects, *Russian Journal of Rehabilitation Medicine*, **2**, 4 (2019) (In Russ.).
8. Grushin A. A., Zelenkova I. E., Glazachev O. S. [et al.] Assessment of oxidative-antioxidant status and aerobic performance of elite cross-country skiers in the dynamics of training and conditions of natural Srednegorye, *Sports medicine: science and practice*, **9**, 4, 11 (2019) (In Russ.).
9. Kornyakova V. V., Konvay V. D. Changes in the antioxidant status of blood in athletes of cyclic sports at different periods of the training process, *Advances in modern natural science*, **1**, 398 (2015) (In Russ.).

10. Blinova T. V., Strakhova L. A., Kolesov S. A. The influence of intense physical activity on the biochemical parameters of antioxidant defense and nitric oxide systems in competitive swimmers, *Occupational medicine and industrial ecology*, **10**, 860 (2019) (In Russ.).
11. Clemente-Suárez V. J., Bustamante-Sanchez A., Mielgo-Ayuso J. [et al.] Antioxidants and Sports Performance, *Nutrient*, **15**, **10**, 2371 (2023)
12. Aliev S. A., Gasanova A. K., Alibekova S. S. The influence of physical activity on the state of lipid peroxidation and the antioxidant defense system, *Scientific almanac*, **31**, **5-3**, 255 (2017) (In Russ.).
13. Zaitseva N. V., Zemlyanova M. A., Chashchin V. P. [et al.] Scientific principles of the use of biomarkers in medical and environmental research (literature review), *Human Ecology*, **9**, 4 (2019) (In Russ.).
14. Kalinina I. V., Potoroko I. Yu., Popova N. V. [et al.] Possibilities of regulating homeostasis processes when including foods enriched with antioxidants in the diets of people involved in low-intensity sports, *Human. Sport. Medicin*, **18**, **4**, 110 (2018) (In Russ.).
15. Kalinina I. V., Potoroko I. Yu., Nenasheva A. V. Prospects for the use of nanoemulsions based on dihydroquercetin in sports nutrition products, *Human. Sport. Medicine*, **19**, **1**, 100 (2019) (In Russ.).
16. Potoroko I. Yu., Kalinina I. V., Naumenko N. V. [et al.] Sonochemical micronization of taxifolin aimed at improving its bioavailability in drinks for athletes, *Human. Sport. Medicine*, **18**, **3**, 90 (2018) (In Russ.).
17. Riva A., Vitale J. A., Belcaro G. [et al.] Quercetin phytosome® in triathlon athletes: a pilot registry study, *Minerva Med.*, **109**, **4**, 285 (2018).
18. Yashin, Ya. I., Vedenin A. N., Yashin A. Ya. Antioxidants and sports. Main reasons for unsuccessful applications. Possible prospects, *Sports medicine*, **6**, **1**, 35 (2016) (In Russ.).
19. Grigorieva N. M. The use of antioxidants in sports practice, *Scientific and sports bulletin of the Urals and Siberia*, **25**, **1**, 23 (2020) (In Russ.).
20. Kolesnikova L. I., Semenova N. V., Grebenkina L. A. [et al.] Integral indicator for assessing oxidative stress in human blood, *Bulletin of Experimental Biology*, **157**, **6**, 680 (2014) (In Russ.).
21. Shlapakova T. I., Kostin R. K., Tyagunova E. E. Reactive oxygen species: participation in cellular processes and the development of pathology, *Bioorganic chemistry*, **46**, **5**, 466 (2020) (In Russ.).
22. Sawada Y., Ichikawa H., Elbine N. [et al.] Effects of High-Intensity Anaerobic Exercise on the Scavenging Activity of Various Reactive Oxygen Species and Free Radicals in Athletes, *Nutrients*, **15**, **1**, 222 (2023).
23. Bichev V. G. Overtraining in athletes, *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, **46**, **7** (1), 28 (2020) (In Russ.).
24. Sherman, S. V., Sidorenko M. Yu., Sherman V. S. [et al.] Antioxidants in sports nutrition. – Part I, *Food industry*, **5**, 60 (2019) (In Russ.).
25. Martusevich A. K., Karuzin K. A., Samoilov A. S. Antioxidant therapy: current state, possibilities and prospects, *Bioradicals and antioxidants*, **5**, **1**, 23 (2018) (In Russ.).
26. Zverev Ya. F. Flavonoids through the eyes of a pharmacologist. Antioxidant and anti-inflammatory activity, *Reviews on clinical pharmacology and drug therapy*, **15**, **4**, 5 (2017) (In Russ.).
27. Shelkovskaya O. V., Ivanov V. E., Karp O. E. Dihydroquercetin reduces the concentration of hydrogen peroxide and hydroxyl radicals induced by X-ray radiation, *Modern problems of science and education*, **3**, 571 (2015)
28. Kharchenko Yu. A., Dmitriev V. N. Promising dietary supplement with antioxidant effect, *Rational nutrition, food additives and biostimulants*, **3**, 61 (2016) (In Russ.).
29. Babenkova I. V., Odipov A. N., Teselkin Yu. O. The influence of dihydroquercetin on the catalytic activity of iron (II) ions in the Fenton reaction, *Bulletin of experimental biology and medicine*, **165**, **3**, 321 (2018) (In Russ.).