

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco321267>

Корректирующее влияние дигидрокверцетина на состояние окислительного метаболизма у юношей-спортсменов зимних видов спорта в условиях северного региона

В.И. Корчин, Е.П. Федорова, Т.Я. Корчина, А.В. Нехорошева, С.В. Нехорошев

Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, Ханты-Мансийск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Цель исследования. Оценить корректирующее влияние дигидрокверцетина на показатели окислительного метаболизма у юношей-спортсменов, проживающих в Ханты-Мансийском автономном округе (ХМАО).

Материал и методы. Изучены показатели окислительного метаболизма у 56 юношей-студентов (средний возраст — $19,30 \pm 0,51$ года) Югорского колледжа-интерната олимпийского резерва, занимающихся зимними видами спорта (лыжные гонки, биатлон), до и после приёма антиоксиданта растительного происхождения биофлавоноида дигидрокверцетина байкальского (ДГК). В течение 60 дней все юноши получали по 120 мг ДГК ежедневно. В крови у юношей определяли продукты перекисного окисления липидов (ПОЛ): гидроперекиси липидов (ГПл) и реагирующие с 2-тио-барбитуровой кислотой вещества (ВР-ТБК). Показатели антиоксидантной системы защиты организма (АОЗ) определяли по общей антиокислительной активности (ОАА) и тиоловому статусу (ТС). Коэффициент окислительного стресса (КОС) рассчитывали по формуле: $\text{КОС} = \text{ГПл} \times \text{ВР-ТБК} / \text{ОАА} \times \text{ТС}$.

Результаты. Средние величины ПОЛ (ГПл и ВР-ТБК) у спортсменов ХМАО превышали верхний предел оптимальных значений, а параметры АОЗ (ОАА и ТС) находились в диапазоне физиологически оптимальных величин, но ближе к нижней границе. Установлено возрастание КОС у спортсменов, почти в 3,5 раза превышающее максимально допустимое значение. Повышенные показатели ГПл были зарегистрированы у четвертой части обследованных лиц, а ВР-ТБК — более чем у 30% в сочетании с пониженными показателями АОЗ относительно физиологически оптимальных значений у трети юношей-спортсменов северного региона. Важно отметить превышение параметров КОС у 70,4% лыжников и биатлонистов ХМАО.

После двухмесячного ежедневного приёма ДГК установлена нормализация показателей окислительного метаболизма у обследованных лиц: все его параметры пришли в соответствие с физиологически оптимальными величинами, кроме КОС. Отмечено уменьшение первичных (ГПл — в 1,15 раза) и вторичных (ВР-ТБК, $p=0,046$) показателей ПОЛ на фоне статистически значимого увеличения параметров АОЗ: ОАА ($p=0,022$) и ТС ($p=0,049$). В то же время значение КОС, статистически значимо уменьшившееся ($p < 0,001$) в 2,3 раза в сопоставлении с величиной до коррекции, всё-таки осталось выше верхней границы физиологической нормы.

Заключение. Выявленная оптимизация показателей окислительного метаболизма у юношей-спортсменов зимних видов спорта после двухмесячного ежедневного приёма мощного антиоксиданта ДГК привела к нормализации показателей прооксидантно-антиоксидантного равновесия, улучшению общего самочувствия, скорейшему восстановлению после интенсивных физических нагрузок. Данный препарат может применяться для профилактики значительного числа неинфекционных заболеваний в будущем.

Ключевые слова: северный регион; юноши-спортсмены; окислительно-восстановительный метаболизм; дигидрокверцетин.

Как цитировать:

Корчин В.И., Федорова Е.П., Корчина Т.Я., Нехорошева А.В., Нехорошев С.В. Корректирующее влияние дигидрокверцетина на состояние окислительного метаболизма у юношей-спортсменов зимних видов спорта в условиях северного региона // Экология человека. 2023. Т. 30, № 5. С. 341–352. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco321267>

Рукопись получена: 11.03.2023

Рукопись одобрена: 27.06.2023

Опубликована online: 05.09.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco321267>

Effect of dihydroquercetin on oxidative metabolism in young athletes engaged in winter sports in a northern region

Vladimir I. Korchin, Elena P. Fedorova, Tat'jana Ya. Korchina, Aleksandra V. Nehorosheva, Sergej V. Nehoroshev

Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russian Federation

ABSTRACT

AIM: To study the effect of dihydroquercetin on the indicators of oxidative metabolism in young athletes engaged in the winter sports in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug (KhMAO).

MATERIAL AND METHODS: The indicators of oxidative metabolism were studied in a group of 56 male students (mean age 19.30 ± 0.51 years) from the Khanty-Mansiysk boarding school of the Olympic reserve. These students were actively involved in winter sports such as cross-country skiing and biathlon. To assess the impact of the plant-derived antioxidant bioflavonoid Baikal dihydroquercetin (DHQ), the participants were administered a daily dose of 120 mg of DHQ for a period of 60 days. Measurements were taken before and after the exposure. Blood lipid peroxidation (LPO) products were studied, namely, lipid hydroperoxides (LHP) and products that react with 2-thiobarbituric acid products (PR-TBA). Additionally, we examined the indicators of the body's antioxidant defense system (ADS) through the assessment of total antioxidant activity (TAA) and thiol status (TS). To quantify the overall oxidative stress experienced by the participants, we calculated the oxidative stress coefficient (OSC) using the formula: $OSC = LHP \times PR-TBA / TAA \times TS$.

RESULTS: The average levels of LPO values (HPL and PR-TBA) among KhMAO athletes have surpassed the upper limit of optimal values. On the other hand, the ADS parameters (TAA and TS) fall within the range of physiologically optimal values, albeit closer to the lower limit. Notably, athletes have exhibited an OSC increase that is nearly 3.5 times higher than the maximum allowable value. A quarter of the individuals examined displayed elevated HPL values, while more than 30% showed increased PR-TBA levels. A third of male athletes exhibited reduced ADS values compared to the physiologically optimal range. In total, 70.4% of skiers and biathletes in KhMAO have exceeded the OSC parameters. After two months of daily intake of 120 mg DHQ, the normalization of indicators of oxidative metabolism was observed. All parameters aligned with physiologically optimal values, except for OSC. We found a decrease in primary (LHP, 1.15 times) and secondary (PR-TBA, $p=0.046$) LPO indicators parallel to a significant increase in ADS indicators, specifically TAA ($p=0.022$) and TS ($p=0.049$). Conversely, there was a significant increase in ADS indicators, specifically TAA ($p=0.022$) and TS ($p=0.049$).

Despite these positive changes, the OSC value, although significantly reduced ($p < 0.001$) by 2.3 times compared to the initial value, remained above the upper limit of the physiological norm.

CONCLUSION: The study demonstrated that young athletes engaged in winter sports experienced improved indicators of oxidative metabolism after a consistent two-month intake of the potent antioxidant DHQ. This led to the restoration of a balanced prooxidant-antioxidant state, enhanced overall well-being, and expedited recovery following intense physical exertion. Furthermore, our results may suggest that DHQ may contribute to prevention of non-communicable diseases in the future.

Keywords: North; young athletes; redox metabolism; dihydroquercetin.

To cite this article:

Korchin VI, Fedorova EP, Korchina TYa, Nehorosheva AV, Nehoroshev SV. Effect of dihydroquercetin on oxidative metabolism in young athletes engaged in winter sports in a northern region. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2023;30(5):341–352. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco321267>

Received: 11.03.2023

Accepted: 27.06.2023

Published online: 05.09.2023

ОБОСНОВАНИЕ

На современном этапе первостепенной задачей прогрессивного развития физической подготовленности спортсменов является увеличение объёма и интенсивности физических нагрузок как самый распространённый путь совершенствования их функциональных ресурсов [1, 2]. Установлена уникальная способность скелетной мускулатуры значительно увеличивать расходование кислорода во время сокращения мышц, что закономерно ведёт к нарастанию интенсивности процессов свободно-радикального окисления, иницированию адаптивных и репаративных процессов, но в ряде случаев — и к формированию дезадаптивных реакций и даже заболеваний [3, 4]. При этом для многих заболеваний доказано нарушение прооксидантно-антиоксидантного равновесия с последующим развитием окислительного стресса [5–9].

Несомненно, что окислительные процессы, протекающие с участием кислорода, являются важнейшим источником энергии для огромного большинства организмов животного мира, включая человека. Примерно 95% поступившего с воздухом кислорода в организме человека, соединяясь с водородом, преобразовывается в воду. Остальные 5% превращаются в свободные радикалы: супероксид, перекись водорода и гидроксильный радикал.

Реактивные формы кислорода — это молекулы, которые имеют непарный электрон на поверхностной оболочке и обладают высоким реакционным потенциалом к повреждению биологических мембран клеток [10].

Несмотря на то, что образование свободных радикалов кислорода является важным защитным механизмом, лежащим в основе неспецифической формы иммунитета, вместе с тем на окислительном стрессе базируется патогенез более 200 заболеваний и патологических состояний. Исследованиями установлено неблагоприятное влияние интенсивных физических нагрузок на организм человека, в результате которых образуется избыточное количество свободных радикалов, способных привести к нарастанию окислительного стресса [11–13].

Нужно заметить, что любая физическая нагрузка приводит к кратному росту потребления кислорода организмом человека. Объём потребления зависит от её напряженности и продолжительности и сочетается с интенсификацией развития окислительных процессов в организме. Увеличение количества продуктов свободно-радикального окисления при интенсивной нагрузке мышц является свидетельством торможения функциональной активности системы антиоксидантной защиты организма (АОЗ), что подтверждено многочисленными исследованиями [1, 2, 11–16]. Подобные исследования необходимы в силу того, что проблема повышения трудоспособности и устойчивости к высоким физическим нагрузкам актуальна не только для спортсменов, но и для трудящихся, выполнение которыми работ связано с интенсивной мышечной деятельностью.

Наиболее ранними диагностическими маркерами окислительного стресса являются изменения показателей антиоксидантного статуса крови [17, 18]. В адекватном состоянии окислительный метаболизм характеризует сбалансированность двух антагонистичных составляющих: показателей перекисного окисления липидов (ПОЛ) и активности АОЗ организма, что способно удерживать оксидацию на достаточно низком уровне и препятствовать манифестации процессов ПОЛ [19].

Выполнение любой интенсивной работы, в том числе и спортивной деятельности, сопровождается повышением скорости потребления кислорода и активизацией процессов ПОЛ, обусловленной перегруженностью организма спортсмена кислородом [20].

Большое число исследований посвящено изучению механизмов физиологической адаптации спортсменов к постоянно меняющимся в плане интенсивности и объёма физических нагрузок тренировкам. Изменчивый характер снабжения организма кислородом с периодами гипоксии и гипероксии, временами максимально допустимый уровень физических нагрузок вызывают мощную ответную реакцию в виде активации процессов ПОЛ [21–23].

Важно отметить факт увеличения устойчивости организма к окислительному стрессу за счёт повышения функциональной мощности системы транспортировки кислорода и формирования адаптивной перестройки, направленной на сбалансированность окислительно-восстановительного гомеостаза. Контролирует содержание свободных радикалов система АОЗ, регулирующая уравновешенность динамического состояния окислительного метаболизма. Она также обеспечивает активизацию физиолого-биохимических механизмов предотвращения чрезмерного накопления активных форм кислорода [24]. Необходимо отметить, что при перетренировках, сопровождающихся высоким уровнем физических нагрузок, АОЗ не способна справиться с увеличенным объёмом свободных радикалов кислорода, в силу чего спортсмен не может полностью восстановить свой физический потенциал перед решающими соревнованиями, что требует дополнительного приема антиоксидантов.

В последние десятилетия применение пищевых антиоксидантов в спорте широко исследовалось [25–27]. Доказано, что для повышения резервов АОЗ, усиления физической работоспособности, профилактики раннего развития утомления и форсирования восстановительного процесса необходим дополнительный приём антиоксидантных препаратов [28]. Среди множества антиоксидантов, которые использовали в спортивной медицине, лучшие результаты были получены после профилактического приёма спортсменами дигидрохверцетина (ДГК) с целью снижения риска развития окислительного стресса и стабилизации окислительного метаболизма [29, 30]. Принимая во внимание эти сведения и с учётом отсутствия подобных исследований в северных регионах России, мы выбрали ДГК в качестве препарата для метаболической коррекции

прооксидантно-антиоксидантного состояния у юношей-спортсменов, проживающих и тренирующихся в Ханты-Мансийском автономном округе (ХМАО).

Дигидрохверцетин (витамин Р, биофлавоноид) содержится в оболочке большинства овощей и фруктов, репчатом луке, расторопше, коре и древесине кедра и лиственницы. Этот флавоноид является антиоксидантом прямого действия, нейтрализующим радикальные соединения путём их регенерации и разрыва цепей окисления. Кроме того, ДГК активизирует ферменты АОЗ супероксиддисмутазу и каталазу, восстанавливает антирадикальную активность сульфгидрильных соединений, витаминов С и Е, обладает способностью связывать металлы с переменной валентностью (Fe и др.) [31, 32].

Экспериментально доказана более высокая антиоксидантная активность ДГК по сравнению с витаминами-антиоксидантами (А, Е, С, D) [33].

Наряду с мощнейшей антирадикальной активностью этот флавоноид обладает кардиопротекторными, иммуномодулирующими, противовоспалительными, противовирусными, антиканцерогенными, противодиабетическими и другими свойствами [34–36].

Установлена интенсификация окислительного повреждения биологических структур при условии значительного уменьшения резервов антиоксидантов в организме человека [24, 37]. В то же время доказан положительный эффект использования антиоксидантов для защиты организма от разрушительного воздействия свободных радикалов, обусловленного интенсивными физическими нагрузками [28].

Цель исследования. Оценить корректирующее влияние дигидрохверцетина на показатели окислительно-метаболизма у юношей-спортсменов, проживающих в Ханты-Мансийском автономном округе.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследовании участвовали 56 юношей, постоянно проживающих в северном регионе (ХМАО), являющихся студентами колледжа-интерната олимпийского резерва с направлением подготовки «биатлон» и «лыжные гонки» (средний возраст — $19,30 \pm 0,51$ года). Настоящее исследование выполнено с соблюдением принципов биоэтической этики после получения информированного согласия от каждого обследуемого лица.

Критерии включения: мужской пол, возраст 18–20 лет, проживание на Севере более 5 лет, высокий уровень физической активности (более 20 ч в неделю), отсутствие сопутствующих заболеваний, наличие добровольного согласия на участие в исследовании.

Критерии исключения: несоответствие гендерной принадлежности и возрастным критериям, проживание на Севере менее 5 лет, наличие сопутствующих заболеваний, отсутствие добровольного информированного согласия.

В сыворотке крови у юношей-спортсменов изучали продукты ПОЛ: гидроперекиси липидов (ГПл) и вещества, реагирующие с 2-тиобарбитуровой кислотой (ВР-ТБК), с применением тест-наборов фирмы VCM Diagnostics (Германия) и фирмы «АГАТ» (Россия) соответственно. Состояние системы АОЗ оценивали по общей антиокислительной активности (ОАА) и тиоловому статусу (ТС) с применением коммерческих наборов Cayman Chemical (США) и Immundiagnostik AG (Германия) на автоматических биохимических анализаторах AU 680 (Beckman Coulter, США) и Konelab Prime 60i (KONELAB/Thermo Scientific, Финляндия). Коэффициент окислительного стресса (КОС) рассчитывали согласно формуле $КОС = ГПл \times ВР-ТБК / ОАА \times ТС$.

Коррекцию метаболического статуса у всех юношей-спортсменов ХМАО проводили с использованием антиоксидантного препарата дигидрохверцетина байкальского (свидетельство гос. регистрации № RU.77.99.88.003.E.002 700.06.17, ТУ 10.89.19-001-168222879-2017), производитель — ООО «КАХОР-ПРОДУКТ» (Россия), в дозе 120 мг/сут в течение 60 дней.

Статистическую обработку данных выполняли с использованием программ Statistica 13.0 и Microsoft Excel. При помощи критерия Шапиро–Уилка выявлено параметрическое распределение цифровых значений: высчитывали среднее арифметическое значение (M), среднеквадратичное отклонение (σ), минимальное (min) и максимальное (max) значения. Статистическую значимость различий определяли по критериям Фишера и Стьюдента: значимыми считали различия при $p < 0,05$. Полученные результаты сравнивали с физиологически оптимальными величинами.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 1 представлены показатели концентрации в сыворотке крови продуктов окислительного метаболизма. Средние значения показателей ПОЛ (ГПл и ВР-ТБК) у спортсменов северного региона превышали верхнюю границу физиологически адекватных величин, а значение ОАА расположилось ближе к нижнему пределу физиологически оптимальных значений. При этом показатель ТС оказался меньше нижней границы нормы. Важно отметить, что показатель КОС у обследуемых лиц более чем в 4,2 раза превышал максимальную величину физиологической нормы.

В табл. 2 показано распределение изучаемых показателей по степени содержания продуктов окислительного метаболизма у обследованных спортсменов ХМАО.

Повышенные показатели продуктов ПОЛ были установлены у значительного числа юношей: ГПл — более чем у четверти, а ВР-ТБК — более чем у 30% на фоне пониженных относительно физиологически оптимальных значений параметров АОЗ организма у третьей части обследованных лиц.

Таблица 1. Показатели окислительного метаболизма у юношей-спортсменов Ханты-Мансийского автономного округа**Table 1.** Indicators of oxidative metabolism in young athletes of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug

Показатель Parameter	Физиологически оптимальные значения Physiologically optimal values	Юноши-спортсмены Ханты-Мансийского автономного округа Junior athletes in Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug (n=56)	
		M±σ	min-max
ГПл, мкмоль/л HPL (μmol/L)	225–450	456,8±32,4	386–519
BP-ТБК, мкмоль/л BP-TBA (μmol/L)	2,2–4,8	4,98±0,41	4,70–5,19
ОАА, ммоль/л TAA (mmol/l)	0,5–2,0	0,59±0,05	0,48–0,69
ТС, мкмоль/л TS (μmol/L)	430–660	396,8±34,2	361,9–453,7
КОС, у.е. COS (units)	1,6–2,3	9,72±0,83	7,9–10,7

Примечание: ГПл — гидроперекись липидов; BP-ТБК — реагирующие с 2-тиобарбитуровой кислотой вещества; ОАА — общая антиокислительная активность; ТС — тиоловый статус; КОС — коэффициент окислительного стресса.

Note: HPL, lipid hydroperoxide; BP-TBA, substances reacting with 2-thiobarbituric acid; TAA, total antioxidant activity; TS, thiol status; COS, oxidative stress coefficient.

Обращает на себя внимание превышение показателей КОС у подавляющего большинства юношей-спортсменов: завышенные значения данного показателя характеризовали окислительный метаболизм у 70,4% обследованных лиц. При этом высокие параметры КОС (превышение более чем в 2 раза относительно физиологической нормы) были выявлены у 12 спортсменов (21,4%) (см. табл. 2). Можно заключить, что повышение интенсивности и объема физической нагрузки приводит к изменению прооксидантно-антиоксидантного равновесия в сторону увеличения реакционно-активных форм кислорода, что обуславливает истощение резервов антиоксидантов в организме спортсменов и развитие окислительного стресса.

В табл. 3 представлены результаты коррекции системы прооксидантно-антиоксидантного равновесия после ежедневного приёма ДГК в течение 2 мес у юношей,

занимающихся лыжными гонками и биатлоном в северном регионе.

Важно отметить, что целенаправленное продолжительное воздействие ДГК на систему окислительно-восстановительного гомеостаза привело к нормализации параметров окислительного метаболизма у обследуемых лиц: помимо КОС, все показатели как ПОЛ, так и АОЗ стали соответствовать физиологически оптимальным параметрам. При этом наблюдалось снижение как первичных (ГПл — в 1,15 раза), так и вторичных (BP-ТБК, $p=0,046$) параметров ПОЛ в сочетании со статистически значимым увеличением показателей АОЗ: ОАА ($p=0,022$) и ТС ($p=0,049$). Величина КОС статистически значимо (в 2,3 раза) снизилась по сравнению с исходной, но всё же оказалась в 1,8 раза больше верхнего предела физиологически оптимальных значений ($p < 0,001$) (см. табл. 3).

Таблица 2. Ранжирование обследованных лиц по параметрам окислительного метаболизма, абс. число/%**Table 2.** Ranking of the examined persons according to the parameters of oxidative metabolism (abs. number/%)

Показатель Parameter	Уровни окислительного метаболизма у юношей-спортсменов колледжа олимпийского резерва Levels of oxidative metabolism in young male athletes of the Olympic reserve college (n=56)		
	Оптимальный Optimal	Повышенный Increased	Пониженный Decreased
ГПл, мкмоль/л HPL (μmol/L)	41/73,2	15/26,8	—
BP-ТБК, мкмоль/л BP-TBA (μmol/L)	39/69,6	17/30,4	—
ОАА, ммоль/л TAA (mmol/l)	38/67,9	—	18/32,1
ТС, мкмоль/л TS (μmol/L)	37/66,1	—	19/33,9
КОС, у.е. COS (units)	16/28,6	40/71,4	—

Примечание: ГПл — гидроперекись липидов; BP-ТБК — реагирующие с 2-тиобарбитуровой кислотой вещества; ОАА — общая антиокислительная активность; ТС — тиоловый статус; КОС — коэффициент окислительного стресса.

Note: HPL, lipid hydroperoxide; BP-TBA, substances reacting with 2-thiobarbituric acid; TAA, total antioxidant activity; TS, thiol status; COS, oxidative stress coefficient.

Таблица 3. Влияние дигидрокверцетина на показатели окислительного метаболизма у юношей-спортсменов Ханты-Мансийского автономного округа, $M \pm \sigma$

Table 3. Effect of dihydroquercetin on oxidative metabolism in male athletes of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug ($M \pm \sigma$)

Показатель Parameter	Физиологически оптимальные значения Physiologically optimal values	Окислительный метаболизм у юношей-спортсменов Oxidative metabolism in young male athletes ($n=56$)		
		до коррекции ДГК before DHQ	после коррекции ДГК after DHQ	<i>p</i>
ГПл, мкмоль/л HPL ($\mu\text{mol/L}$)	225–450	456,8 \pm 32,4	398,1 \pm 28,3	0,175
BP-ТБК, мкмоль/л BP-TBA ($\mu\text{mol/L}$)	2,2–4,8	4,98 \pm 0,41	4,05 \pm 0,21	0,046
ОАА, ммоль/л TAA (mmol/l)	0,5–2,0	0,56 \pm 0,05	0,78 \pm 0,08	0,022
ТС, мкмоль/л TS ($\mu\text{mol/L}$)	430–660	396,8 \pm 34,2	497,6 \pm 37,4	0,049
КОС, у.е. COS (units)	1,6–2,3	9,72 \pm 0,83	4,21 \pm 0,32	<0,001

Примечание: ДГК — дигидрокверцетин; ГПл — гидроперекись липидов; BP-ТБК — реагирующие с 2-тиобарбитуровой кислотой вещества; ОАА — общая антиокислительная активность; ТС — тиоловый статус; КОС — коэффициент окислительного стресса.
Note: DHQ, dihydroquercetin; HPL, lipid hydroperoxide; BP-TBA, substances reacting with 2-thiobarbituric acid; TAA, total antioxidant activity; TS, thiol status; COS, oxidative stress coefficient.

Итак, метаболическая коррекция прооксидантно-антиоксидантного равновесия при помощи ДГК у юношей-спортсменов зимних видов спорта, проживающих и тренирующихся в северном регионе, привела к нормализации в системе ПОЛ/АОЗ: статистически значимому снижению прооксидантных показателей на фоне увеличения антиоксидантных ресурсов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Одной из основных задач физиологии является проблема адаптации человека ко всевозможным неблагоприятным факторам [38]. Многими исследованиями доказано увеличение устойчивости к окислительному стрессу при адекватных физических нагрузках вследствие повышения функционирования системы транспортировки кислорода и оптимизации прооксидантно-антиоксидантной системы [1]. В то же время активизация процессов ПОЛ, сопровождающая чрезмерные физические нагрузки, может привести к значительным нарушениям работы органов и систем организма человека, обнуляя позитивное воздействие двигательной активности на трудоспособность, выносливость и эффективность тренировок у спортсменов.

Обследуемые нами юноши-спортсмены постоянно проживали и тренировались в ХМАО, расположенном на севере Тюменской области. Климат этого региона отличаются тяжёлый аэродинамический режим, длительная и суровая зима и короткое лето, значительные суточные перепады температуры и атмосферного давления, изменённая фотопериодичность и т.д., что оказывает негативное влияние на течение физиологических процессов в организме [39–41]. Профессиональные спортсмены нередко проводят тренировки на открытом воздухе даже в сильные морозы, что является добавочным прессингом

для их здоровья (особенно в зимних видах спорта, к которым относятся обследуемые нами юноши).

В настоящее время имеется достаточно данных о значимости процессов пероксидации для мышечной нагрузки и об участии ПОЛ в развитии заболеваний у лиц, занимающихся спортом [42].

Неоднократное изменение мышечной деятельности в процессе тренировок ведёт к дисбалансу между увеличивающимся потреблением кислорода и сокращением его потребления организмом. Данное расхождение вызывает развитие относительной гипероксии скелетной мускулатуры, которое может потенцировать избыточное образование свободных радикалов, наносящих вред организму спортсменов [11, 43]. В нашем исследовании установлено увеличение концентрации как первичных продуктов ПОЛ (ГПл), так и вторичных (BP-ТБК), превышающее верхний предел физиологической нормы (см. табл. 1), что полностью согласуется с результатами исследований других авторов [1, 11, 12, 14, 18, 44–46].

Вместе с тем усиление образования свободных радикалов обусловлено стимулированием адаптивных способностей организма к неблагоприятным условиям. Таким образом, поддержание окислительного метаболизма является предопределяющим в развитии компенсационных процессов при спортивных максимальных нагрузках [1, 4, 15, 46]. Постоянное повышение интенсивности и объёма физических нагрузок негативно воздействует на антиоксидантные ресурсы организма спортсменов [46, 47], что подтверждено и результатами нашего исследования: пониженный уровень ОАА и ТС был выявлен у третьей части обследованных юношей, занимающимися лыжными гонками и биатлоном в колледже-интернате олимпийского резерва г. Ханты-Мансийска (см. табл. 2). Это способно отрицательно повлиять на функциональное состояние,

рост спортивных результатов и спровоцировать состояние перетренированности [4, 15].

Итак, будучи значительной составляющей процесса спортивной подготовки, высокоинтенсивная мышечная нагрузка может способствовать развитию утомления и снижению эффективности тренировок [42, 44].

Высокий уровень физической активности сопровождается усилением функционирования всех органов и систем организма, что предопределяет необходимость не только дополнительного поступления макро- и микронутриентов с пищей, в том числе и обладающих антиоксидантной активностью, но и применения биологически активных добавок к пище, содержащих повышенное количество витаминов и биоэлементов [48, 49]. Это обусловлено избыточным накоплением агрессивных форм кислорода: 15-кратным — в организме спортсмена и 100-кратным — в функционирующих мышцах [50, 51]. Имеющаяся в организме человека система АОЗ, направленная на защиту от радикальных повреждений, при чрезмерных физических нагрузках в случае перетренировок не способна эффективно справиться со своими функциями, что вызывает срыв процесса восстановления спортсмена перед ответственными соревнованиями [28].

Доказано, что регулярный тренировочный процесс способствует повышению активности ферментов АОЗ и, соответственно, улучшает стрессоустойчивость организма [22]. В то же время чрезмерная физическая деятельность является стрессовой реакцией для организма любых спортсменов, не зависящей от возраста, стажа занятий спортом и квалификации [45]. При этом свободные радикалы проявляют как позитивное (способствуют формированию адаптации к прогрессирующему росту физической нагрузки), так и негативное (потенцируют развитие окислительного стресса) воздействие на организм спортсмена. Среди обследованных нами юных спортсменов только 30 (53,6%) имели спортивные разряды: 14 (25,0%) — первый разряд, 8 (14,3%) были кандидатами в мастера спорта и 8 (14,3%) — мастерами спорта. Иными словами, подавляющее большинство находящихся под наблюдением студентов колледжа-интерната олимпийского резерва в силу юного возраста и непродолжительного времени занятий спортом на момент обследования ещё находились в периоде метаболической адаптации к высоким физическим нагрузкам. По этой причине чрезмерно высокий уровень нагрузок вызвал сдвиг прооксидантно-антиоксидантного равновесия в сторону активизации процессов липопероксидации, что и показано результатами нашей работы (см. табл. 3).

Многочисленными исследованиями доказано, что сопровождающие тренировочную и соревновательную деятельность у спортсменов чрезмерные физические нагрузки приводят к значимой активизации процессов ПОЛ в сочетании со снижением активности системы АОЗ [20, 21, 26, 49, 52], что подтверждено результатами наших исследований (см. табл. 1).

Вместе с тем, чем больше свободных радикалов образуется в процессе ПОЛ, тем выше потребность организма спортсмена в микронутриентах антиоксидантного действия. Важно отметить, что принципиальное значение для поддержки оптимального состояния адаптации имеет именно состояние системы АОЗ, сдерживающей свободнорадикальное окисление и обеспечивающей адекватные приспособительные механизмы: необходимость восполнения резервов антиоксидантов имеет принципиальное значение для спортсменов в различные периоды тренировочного процесса.

Важно подчеркнуть, что неуправляемая стимуляция процессов липопероксидации на фоне уменьшения антиоксидантных резервов может привести не только к значимому повышению «цены адаптации», но и к несостоятельности приспособительных систем организма, расстройству механизмов адаптации, в результате чего у спортсмена могут развиваться преморбидные состояния.

Многочисленными исследованиями доказан единый путь интенсивных аэробных и анаэробных нагрузок, приводящий к окислительному стрессу [21, 22, 24, 53, 54]. Однако ряд авторов считают, что виды спорта с преобладанием аэробных нагрузок (к ним, в частности, относятся и циклические виды спорта, такие как лыжные гонки и биатлон) влекут за собой более выраженный окислительный стресс в сравнении с силовыми (к ним, в частности, относятся ациклические виды спорта, такие как борьба, метание диска, толкание ядра и пр.), что сопровождается в большей степени повреждением мышечной ткани [22, 23]. Это в полной мере соответствует результатам нашего обследования у лыжников и биатлонистов.

Итак, своевременная диагностика и коррекция окислительно-восстановительного баланса у спортсменов выступают в качестве важнейшего компонента комплекса мероприятий, обеспечивающих здоровье, реабилитацию во время восстановительного периода, и в итоге способствуют росту их спортивных достижений.

Среди множества препаратов, обладающих антиоксидантным действием и используемых в спортивной медицине [55], ДГК отличается прерогативной эффективностью и безопасностью применения. Однако даже после такой значительной антиоксидантной поддержки средние величины показателей ПОЛ расположились в диапазоне физиологически оптимальных значений, но ближе к верхней их границе, а значения параметров системы АОЗ также оказались в пределах физиологической нормы, но ближе к нижнему порогу в сочетании с повышенным в 1,8 раза показателем КОС (см. табл. 3).

Помимо положительных изменений показателей состояния окислительного метаболизма обследованные лица после двухмесячного приёма ДГК отмечали улучшение общего самочувствия, увеличение порога усталости, укорочение периода восстановления после изнурительных тренировок и пр.

Таким образом, активация процессов ПОЛ, сопровождающая интенсивные физические нагрузки, может явиться важнейшим фактором, лимитирующим выносливость, работоспособность, поступательный рост спортивных результатов спортсменов, а также способным привести к формированию дезадаптационных расстройств и развитию патологических состояний. Поэтому фармакологическая поддержка спортсменов включает широкое использование биологически активных добавок, в первую очередь обладающих мощным антиоксидантным действием, которые способны эффективно предотвращать избыточную генерацию свободных радикалов и других токсических продуктов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У юношей-спортсменов северного региона, занимающихся лыжными гонками и биатлоном, установлено превышение прооксидантных показателей окислительного метаболизма в сочетании с расположенными у нижнего предела физиологической нормы антиоксидантными показателями. Коэффициент окислительного стресса в 3,5 раза превышал верхний предел оптимальных значений и был зарегистрирован у более чем 70% спортсменов. Установлено, что после ежедневного приема биофлавоноида дигидрокверцетина в течение 2 мес наблюдалась нормализация показателей перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты организма, кроме коэффициента окислительного стресса, величина которого статистически значимо снизилась ($p < 0,001$) в 2,3 раза сравнительно с исходным значением, но всё же оставалась почти в 2 раза выше максимального значения физиологически адекватных величин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев С.А. Влияние интенсивных физических нагрузок на оксидативный стресс и антиоксидантные изменения организма спортсменов // Chronos: естественные и технические науки. 2020. № 2. С. 17–22.
2. Афраимов А.А., Умаров М.А. Стратегии развития физической культуры и спорта // Проблемы науки. 2021. № 2. С. 53–55.
3. Василенко В.С., Лопатин З.В. Оксидативный стресс и дисфункция эндотелия у спортсменов как фактор риска кардиомиопатии перенапряжения // Современные проблемы науки и образования. 2019. № 1. С. 18.
4. Гунина Л. Окислительный стресс и адаптация: метаболические аспекты влияния физических нагрузок // Наука в олимпийском спорте. 2013. № 4. С. 19–25.
5. Круглякова М.В., Смирнова О.В., Титова Н.М. Оценка показателей антиоксидантной и глутатионовых систем в крови здоровых людей // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2019. Т. 11, № 5. С. 64–688. doi: 10.12731/2658-6649-2019-11-5-64-68
6. Осяева М.К., Тихазе А.К., Коновалова Г.Г., и др. Изменение ключевых параметров окислительного стресса у больных ишемической болезнью сердца при волнах летней

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. В.И. Корчин — концепция и дизайн исследования, интерпретация полученных данных и переработка текста; Е.П. Федорова — получение первичных данных, статистическая обработка данных, дизайн исследования; Т.Я. Корчина — получение, анализ и интерпретация данных, написание текста статьи, А.В. Нехорошева — дизайн исследования, проверка текста статьи; С.В. Нехорошев — математическая обработка полученных данных и их интерпретация, написание текста статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли, отредактировали и одобрили финальную версию перед публикацией).

Финансирование. Исследование выполнено без финансовой поддержки.

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. V.I. Korchin — concept and study design, data interpretation and text editing; E.P. Fedorova — data collection, statistical analysis, study design; T.Ya. Korchina — data collection, analysis and interpretation, drafting the article; A.V. Nehorosheva — study design, text editing; S.V. Nehoroshev — statistical analysis and results interpretation, drafting the article. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read, edited and approved the final version before publication).

Funding sources. No external funding.

Competing interests. The authors declare no conflict of interest.

жары // Терапевтический архив. 2021. Т. 93, № 4. С. 421–426. doi: 10.26442/00403660.2021.04.200684

7. Forman H.J., Zhang H. Targeting oxidative stress in disease: promise and limitations of antioxidant therapy // Nat Rev Drug Discov. 2021. Vol. 20, N 9. P. 689–709. doi: 10.1038/s41573-021-00233-1
8. Khlebus E., Kutsenko V., Meshkov A., et al. Multiple rare and common variants in apob gene locus associated with oxidatively modified low-density lipoprotein levels // PLoS One. 2019. Vol. 14, N 5. P. e0217620. doi: 10.1371/journal.pone.0217620
9. Lankin V.Z., Tikhaze A.K. Role of oxidative stress in the genesis of atherosclerosis and diabetes mellitus: a personal look back on 50 years of research // Curr Aging Sci. 2017. Vol. 10, N 1. P. 18–25. doi: 10.2174/1874609809666160926142640
10. Владимиров Ю.А. Свободные радикалы в биологических системах // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6, № 12. С. 13–19.
11. Блинова Т.В., Страхова Л.А., Колесов С.А. Влияние интенсивных физических нагрузок на биохимические показатели систем антиоксидантной защиты и оксида азота у спортсме-

- нов-пловцов // Медицина труда и промышленная экология. 2019. Т. 59, № 10. С. 860–865. doi: 10.31089/1026-9428-2019-59-10-860-865
12. Гребенчиков О.А., Забелина Т.С., Филиповская Ж.С., и др. Молекулярные механизмы окислительного стресса // Вестник интенсивной терапии. 2016. № 3. С. 13–21.
13. Barzegar Amiri O.M., Schiesser C., Taylor M. New reagents for detecting free radicals and oxidative stress // *Org Biomol Chem*. 2014. Vol. 12, N 35. P. 6757. doi: 10.1039/c4ob01172d
14. Гаджиев А.М., Алиев С.А., Агаева С.Е. Роль эндогенных и экзогенных антиоксидантов в адаптивной мышечной деятельности // Теория и практика физической культуры. 2014. № 8. С. 53–56.
15. Johnson B.D., Padilla J., Wallace J.P. The exercise dose affects oxidative stress and brachial artery flow-mediated dilation in trained men // *Eur J Appl Physiol*. 2012. Vol. 112, N 1. P. 33–42. doi: 10.1007/s00421-011-1946-8
16. Powers S.K., Talbert E.E., Adhietty P.J. Reactive oxygen and nitrogen species as intracellular signals in skeletal muscle // *J Physiol*. 2011. Vol. 589, Pt 9. P. 2129–2138. doi: 10.1113/jphysiol.2010.201327
17. Корнякова В.В., Конвай В.Д., Фомина Е.В. Антиоксидантный статус крови при физических нагрузках и его коррекция // *Фундаментальные исследования*. 2012. № 1. С. 47–51.
18. Bloomer R.J. Effect of exercise on oxidative stress biomarkers // *Adv Clin Chem*. 2008. Vol. 46. P. 1–50.
19. Чанчаева Е.А., Айзман Р.И., Герасев А.Д. Современное представление об антиоксидантной системе организма человека // *Экология человека*. 2013. Т. 20, № 7. С. 50–58. doi: 10.17816/humeco17333
20. Алиев С.А., Гасанова А.К., Алибекова С.С., Агаева С.Э. Влияние физических нагрузок на состояние перекисного окисления липидов и системы антиоксидантной защиты // *Научный альманах*. 2017. № 5-3. С. 255–261. doi: 10.17117/na.2017.05.03.255
21. Конторщикова К.Н., Тихомирова Ю.Р., Овчинников А.Н., и др. Использование показателей свободнорадикального окисления в ротовой жидкости в качестве маркеров функционального состояния спортсменов // *Современные технологии в медицине*. 2017. Т. 9, № 3. С. 82–86. doi: 10.17691/stm2017.9.3.11
22. Fernández-Lázaro D., Fernandez-Lazaro C., Mielgo-Ayuso J., et al. The role of selenium mineral trace element in exercise: antioxidant defense system, muscle performance, hormone response, and athletic performance. A systematic review // *Nutrients*. 2020. Vol. 12, N 6. P. 1790. doi: 10.3390/nu12061790
23. Martinez-Ferran M., Sanchis-Gomar F., Lavie C.J., et al. Do antioxidant vitamins prevent exercise-induced muscle damage? A systematic review // *Antioxidants (Basel)*. 2020. Vol. 9, N 5. P. 372. doi: 10.3390/antiox9050372
24. Колесникова Л.И., Даренская М.А., Колесников С.И. Свободнорадикальное окисление: взгляд патофизиолога // *Бюллетень сибирской медицины*. 2017. Т. 16, № 4. С. 16–29. doi: 10.20538/1682-0363-2017-4-16-29
25. Braakuis A.J., Hopkins W.G., Lowe T.E. Effects of dietary antioxidants on training and performance in female runners // *Eur J Sport Science*. 2014. Vol. 14, N 2. P. 160–168. doi: 10.1080/17461391.2013.785597
26. Lamina S., Ezema C.I., Teresa A.I., Antonia E.U. Effects of free radicals and antioxidants on exercise performance // *Oxid Antioxid Med Sci*. 2013. Vol. 2, N 2. P. 83–91.
27. Myburgh K.H. Polyphenol supplementation: benefits for exercise performance or oxidative stress? *Sports Med*. 2014. Vol. 44, Suppl. 1. P. S57–S70. doi: 10.1007/s40279-014-0151-4
28. Григорьева Н.М. Использование антиоксидантов в спортивной практике // *Научно-спортивный вестник Урала и Сибири*. 2020. № 1. С. 23–36.
29. Калинина И.В., Потороко И.Ю., Ненашева А.В. Перспективы использования наноэмульсий на основе дигидрохверцетина в составе продуктов для спортивного питания // *Человек. Спорт. Медицина*. 2019. Т. 19, № 1. С. 100–107. doi: 10.14529/hsm190114
30. Riva A., Vitale J.A., Belcaro G., et al. Quercetin phytosome in triathlon athletes: a pilot registration study // *Minerva Med*. 2018. Vol. 109, N 4. P. 285–289. doi: 10.23736/S0026-4806.18.05681-1
31. Бабенкова И.В., Осипов А.Н., Теселкин Ю.О. Влияние дигидрохверцетина на каталитическую активность ионов железа (II) в реакции фентона // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2018. Т. 165, № 3. С. 321–324. doi: 10.1007/s10517-018-4167-x
32. Шелковская О.В., Иванов В.Е., Карп О.Э. Дигидрохверцетин уменьшает концентрацию перекиси водорода и гидроксильных радикалов, индуцированных рентгеновским излучением // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 3. С. 571.
33. Зверев Я.Ф. Флавоноиды глазами фармаколога. Антиоксидантная и противовоспалительная активность // *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии*. 2017. Т. 15, № 4. С. 5–13. doi: 10.17816/RCF1545-13
34. Самбукова Т.В., Овчинников Б.В., Ганапольский В.П. Перспективы использования фитопрепаратов в современной фармакологии // *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии*. 2017. Т. 15, № 2. С. 56–63. doi: 10.17816/RCF15256-63
35. Судаков Н.П., Попкова Т.Н., Лозовская Е.А., и др. Влияние дигидрохверцетина на гиперхолестеринемия // *Химия растительного сырья*. 2020. № 4. С. 281–288. doi: 10.14258/jcprm.2020047767
36. Sunil C., Xu B. An insight into the health-promoting effects of taxifolin (dihydroquercetin) // *Phytochemistry*. 2019. Vol. 166. P. 112066. doi: 10.1016/j.phytochem.2019.112066
37. Корчин В.И., Бикбулатова Л.Н., Корчина Т.Я., Угорелова Е.А. Состояние окислительного метаболизма у коренного и пришлого населения Ямало-Ненецкого автономного округа // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2021. № 7-2. С. 106–109. doi: 10.23670/IRJ.2021.109.7.054
38. Корчина Т.Я., Корчин В.И. Анализ глутатионового звена антиоксидантной системы защиты у мужчин северного региона с различным уровнем антропогенной нагрузки // *Технологии живых систем*. 2019. Т. 16, № 3. С. 47–55. doi: 10.18127/j20700997-201903-04
39. Дудко А.В., Батанцев Н.И., Койносов А.П. Влияние природно-климатических условий Крайнего Севера на кардиореспираторную и нервную систему спортсменов лыжников. Литературный обзор // *Научный медицинский вестник Югры*. 2021. № 2. С. 4–7. doi: 10.25017/2306-1367-2022-33-3-4-7

40. Корчин В.И., Корчина Т.Я., Терникова Е.М., и др. Влияние климатогеографических факторов Ямало-Ненецкого автономного округа на здоровье населения // Журнал медико-биологических исследований. 2021. Т. 9, № 1. С. 77–88. doi: 10.37482/2687-1491-Z046
41. Панин Л.Е. Фундаментальные проблемы приполярной и арктической медицины // Бюллетень сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2013. Т. 33, № 6. С. 5–10.
42. Nicolaidis M.G., Jamurtas A.Z., Paschalis V. The effect of muscle-damaging exercise on blood and skeletal muscle oxidative stress: magnitude and time-course considerations // Sports Med. 2008. Vol. 38, N 7. P. 579–606. doi: 10.2165/00007256-200838070-00005
43. Ammar A., Chtourou H., Hammouda O., et al. Relationship between biomarkers of muscle damage and redox status in response to a weightlifting training session: effect of time-of-day // Physiol Int. 2016. Vol. 103, N 2. P. 243–261. doi: 10.1556/036.103.2016.2.11
44. Корнякова В.В., Конвай В.Д. Изменение антиоксидантного статуса крови у спортсменов циклических видов спорта с разные периоды тренировочного процесса // Успехи современного естествознания. 2015. № 1-3. С. 398–400.
45. Djordjevic D., Cubrilo D., Macura M., et al. The influence of training status on oxidative stress in young male handball players // Mol Cell Biochem. 2011. Vol. 351, N 1-2. P. 251–259. doi: 10.1007/s11010-011-0732-6
46. Nikolaidis M.G., Jamurtas A.Z. Blood as a reactive species generator and redox status regulator during exercise // Arch Biochem Biophys. 2009. Vol. 490, N 2. P. 77–84. doi: 10.1016/j.abb.2009.08.015
47. Burgos C., Henriquez-Olguin C., Andrade D.C., et al. Effects of exercise training under hyperbaric oxygen on oxidative stress markers and endurance performance in young soccer players: a pilot study // J Nutr Metab. 2016. Vol. 2016. P. 5647407. doi: 10.1155/2016/5647407
48. Еликов А.В., Галстян А.Г. Антиоксидантный статус у спортсменов при выполнении дозированной физической нагрузки и в восстановительном периоде // Вопросы питания. 2017. Т. 86, № 2. С. 23–31.
49. Никитюк Д.Б., Ключкова С.В., Рожкова Е.А. Спортивное питание: требования и современные подходы // Вопросы диетологии. 2014. Т. 4, № 1. С. 40–43.
50. Яшин Я.И., Веденин А.Н., Яшин А.Я. Антиоксиданты и спорт. Основные причины неудачных применений. Возможные перспективы // Спортивная медицина: наука и практика. 2016. Т. 6, № 1. С. 35–39.
51. Lambrecht M. Antioxidants in sport nutrition. CRC Press, 2014. 299 p.
52. Gomez-Cabrera M.C., Viña J., Ji L.L. Interplay of oxidants and antioxidants during exercise: implications for muscle health // Phys Sportsmed. 2009. Vol. 37, N 4. P. 116–123. doi: 10.3810/psm.2009.12.1749
53. Kruk J., Aboul-Enein H.Y., Kladna A., Bowser J.E. Oxidative stress in biological systems and its relation with pathophysiological functions: the effect of physical activity on cellular redox homeostasis // Free Radic Res. 2019. Vol. 53, N 5. P. 497–521. doi: 10.1080/10715762.2019.1612059
54. Tan B.L., Norhaizan M.E., Liew W.P., Sulaiman Rahman H. Antioxidant and oxidative stress: a mutual interplay in age-related diseases // Front Pharmacol. 2018. Vol. 9. P. 1162. doi: 10.3389/fphar.2018.01162
55. Потупчик Т., Эверт Л., Иванов А. Возможности применения биологически активных добавок у спортсменов в условиях высоких спортивных нагрузок // Врач. 2019. Т. 30, № 10. С. 24–31. doi: 10.29296/25877305-2019-10-05

REFERENCES

1. Aliev SA. Vlijanie intensivnyh fizicheskikh nagruzok na oksidativnyj stress i antioksidantnye izmenenija organizma sportsmenov. *Chronos: Natural and Technical Sciences*. 2020;2:17–22. (In Russ).
2. Afraimov AA, Umarov MA. Strategii razvitija fizicheskoj kul'tury i sporta. *Problems of Science*. 2021;2:53–55. (In Russ).
3. Vasilenko VS, Lopatin ZV. Oxidative stress and endothelial dysfunction in athletes as a risk factor for cardiomyopathy overstrain. *Modern Problems of Science and Education*. 2019;(1):18. (In Russ).
4. Gunina L. Oxidative stress and adaptation: metabolic aspects of physical activity impact. *Science in Olympic Sports*. 2013;(4):19–25. (In Russ).
5. Kruglyakova MV, Smirnova OV, Titova NM. Evaluation of indicators of antioxidant and glutathione systems in the blood of healthy people. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2019;11(5):64–68. (In Russ). doi: 10.12731/2658-6649-2019-11-5-64-68
6. Osaeva MK, Tikhaze AK, Konovalova GG, et al. Impact of summer heat waves on key parameters of oxidative stress in patients with coronary artery disease. *Terapevticheskii arkhiv*. 2021;93(4):421–426. (In Russ). doi: 10.26442/00403660.2021.04.200684
7. Forman HJ, Zhang H. Targeting oxidative stress in disease: promise and limitations of antioxidant therapy. *Nat Rev Drug Discov*. 2021;20(9):689–709. doi: 10.1038/s41573-021-00233-1
8. Khlebus E, Kutsenko V, Meshkov A, et al. Multiple rare and common variants in apob gene locus associated with oxidatively modified low-density lipoprotein levels. *PLoS One*. 2019;14(5):e0217620. doi: 10.1371/journal.pone.0217620
9. Lankin VZ, Tikhaze AK. Role of oxidative stress in the genesis of atherosclerosis and diabetes mellitus: a personal look back on 50 years of research. *Curr Aging Sci*. 2017;10(1):18–25. doi: 10.2174/1874609809666160926142640
10. Vladimirov JuA. Svobodnye radikaly v biologicheskikh sistemah. *Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal*. 2000;6(12):13–19. (In Russ).
11. Blinova TV, Strakhova LA, Kolesov SA. The effect of intense physical exertion on the biochemical parameters of antioxidant protection systems and nitric oxide in swimming athletes. *Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology*. 2019;59(10):860–865. (In Russ). doi: 10.31089/1026-9428-2019-59-10-860-865
12. Grebenchikov OA, Zabelina TS, Philippovskaya ZhS. Molecular mechanisms of oxidative stress. *Annals of Critical Care*. 2016;(3):13–21. (In Russ).

13. Barzegar Amiri OM, Schiesser C, Taylor M. New reagents for detecting free radicals and oxidative stress. *Org Biomol Chem.* 2014;12(35):6757. doi: 10.1039/c4ob01172d
14. Gadzhiev AM, Aliev SA, Agaeva SE. The role of endogenous and exogenous antioxidants in adaptive muscular work. *Theory and Practice of Physical Culture.* 2014;(8):53–56. (In Russ).
15. Johnson BD, Padilla J, Wallace JP. The exercise dose affects oxidative stress and brachial artery flow-mediated dilation in trained men. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(1):33–42. doi: 10.1007/s00421-011-1946-8
16. Powers SK, Talbert EE, Adhietty PJ. Reactive oxygen and nitrogen species as intracellular signals in skeletal muscle. *J Physiol.* 2011;589(Pt 9):2129–2138. doi: 10.1113/jphysiol.2010.201327
17. Korniyakova VV, Konway VD, Fomina EV. Antioxidant status of blood during exercise and its correction. *Fundamental Research.* 2012;(1):47–51. (In Russ).
18. Bloomer RJ. Effect of exercise on oxidative stress biomarkers. *Adv Clin Chem.* 2008;46:1–50.
19. Chanchaeva EA, Aizman RI, Gerasev AD. Contemporary perception of antioxidant system of human organism. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology).* 2013;20(7):50–58. (In Russ). doi: 10.17816/humeco17333
20. Aliev SA, Hasanova AK, Alibekova SS, Agaeva SE. Influence of physical activities on the state of lipid peroxidation and antioxidant defense system. *Science Almanac.* 2017;(5-3):255–261. (In Russ). doi: 10.17117/na.2017.05.03.255
21. Kontorshchikova KN, Tikhomirova YuR, Ovchinnikov AN, et al. Indices of free radical oxidation in the oral fluid as markers of athletes' functional state. *Modern Technologies in Medicine.* 2017;9(3):82–86. (In Russ). doi: 10.17691/stm2017.9.3.11
22. Fernández-Lázaro D, Fernandez-Lazaro C, Mielgo-Ayuso J, et al. The role of selenium mineral trace element in exercise antioxidant defense system, muscle performance, hormone response, and athletic performance. A systematic review. *Nutrients.* 2020;12(6):1790. doi: 10.3390/nu12061790
23. Martínez-Ferran M, Sanchis-Gomar F, Lavie C, et al. Do antioxidant vitamins prevent exercise-induced muscle damage? A systematic review. *Antioxidants (Basel).* 2020;9(5):372. doi: 10.3390/antiox9050372
24. Kolesnikova LI, Darenskaya MA, Kolesnikov SI. Free radical oxidation: a pathophysiological's view. *Bulletin of Siberian Medicine.* 2017;16(4):6–29. (In Russ). doi: 10.20538/1682-0363-2017-4-16-29
25. Braakuis AJ, Hopkins WG, Lowe TE. Effects of dietary antioxidants on training and performance in female runners. *Eur J Sport Sci.* 2014;14(2):160–168. doi: 10.1080/17461391.2013.785597
26. Lamina S, Ezema CI, Teresa AI, Antonia EU. Effects of free radicals and antioxidants on exercise performance. *Oxid Antioxid Med Sci.* 2013;2(2):83–91.
27. Myburgh KH. Polyphenol supplementation: benefits for exercise performance or oxidative stress? *Sports Med.* 2014;44(Suppl. 1):S57–S70. doi: 10.1007/s40279-014-0151-4
28. Grigoryeva NM. Antioxidant usage in sport practice. *Nauchno-sportivnyy vestnik Urala i Sibiri.* 2020;(1):23–36. (In Russ).
29. Kalinina IV, Potoroko IYu, Nenasheva AV. Prospects for the use of nanoemulsions based on dihydroquercetin in the composition of products for sports nutrition. *Human. Sport. Medicine.* 2019;19(1):100–107. (In Russ). doi: 10.14529/hsm190114
30. Riva A, Vitale JA, Belcaro G, et al. Quercetin phytosome in triathlon athletes: a pilot registration study. *Minerva Med.* 2018;109(4):285–289. doi: 10.23736/S0026-4806.18.05681-1
31. Babenkova IV, Osipov AN, Teselkin YO. Influence of dihydroquercetin on the catalytic activity of iron (II) ions in the Fenton reaction. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine.* 2018;165(3):321–324. (In Russ). doi: 10.1007/s10517-018-4167-x
32. Shelkovskaya OV, Ivanov VE, Karp OE. Dihydroquercetin reduces the concentration of hydrogen peroxide and hydroxyl radicals induced by X-ray radiation. *Modern Problems of Science and Education.* 2015;(3):571. (In Russ).
33. Zverev YaF. Flavonoids through the eyes of a pharmacologist. Antioxidant and anti-inflammatory activities. *Reviews of Clinical Pharmacology and Drug Therapy.* 2017;15(4):5–13. (In Russ). doi: 10.17816.RCF1545-13
34. Sambukova TV, Ovchinnikov BV, Ganapolsky VP. Prospects for the use of phytopreparations in modern pharmacology. *Reviews of Clinical Pharmacology and Drug Therapy.* 2017;15(2):56–63. (In Russ). doi: 10.17816/RCF15256-63
35. Sudakov NP, Popkova TP, Lozovskaya EA, et al. Influence of dihydroquercetin on hypercholesterolemia. *Khimija rastitel'nogo syr'ya.* 2020;(4):281–288. (In Russ). doi: 10.14258.jcprm.2020047767
36. Sunil C, Xu B. An insight into the health-promoting effects of taxifolin (dihydroquercetin). *Phytochemistry.* 2019;166:112066. doi: 10.1016/j.phytochem.2019.112066
37. Korchin VI, Bikbulatova LN, Korchina TYa, Ugorelova EA. On the state of oxidative metabolism in the local and newly arrived population of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. *International Research Journal.* 2021;(7-2):106–109. (In Russ). doi: 10.23670/IRJ.2021.109.7.054
38. Korchina TYa, Korchin VI. Analysis of glutathione part of the antioxidant protective system of males of the north region with various levels of human induced pressures. *Technologies of Living Systems.* 2019;16(3):44–51. (In Russ). doi: 10.18127/j20700997-201903-04
39. Dudko AV, Batantsev NI, Koinosov AP. Influence of natural and climatic conditions of the Far North on the cardiorespiratory and nervous system of skiers. Literature review. *The Scientific and Practical Journal of Medicine.* 2021;(2):4–7. (In Russ). doi: 10.25017/2306-1367-2022-33-3-4-7
40. Korchin VI, Korchina TYa, Ternikova EM, et al. Influence of climatic and geographical factors of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug on the health of the population. *Journal of Medical and Biological Research.* 2021;9(1):77–88. (In Russ). doi: 10.37482/2687-1491-Z046
41. Panin LE. Fundamental problems of circumpolar and arctic medicine. *The Siberian Scientific Medical Journal.* 2013;33(6):5–10. (In Russ).
42. Nicolaidis MG, Jamurtas AZ, Paschalis V. The effect of muscle-damaging exercise on blood and skeletal muscle oxidative stress: magnitude and time-course considerations. *Sports Med.* 2008;38(7):579–606. doi: 10.2165/00007256-200838070-00005
43. Ammar A, Chtourou H, Hammouda O, et al. Relationship between biomarkers of muscle damage and redox status in response to a weightlifting training session: effect of time-of-day. *Physiol Int.* 2016;103(2):243–261. doi: 10.1556/036.103.2016.2.11

44. Korniyakova VV, Konway VD. Changes in the antioxidant status of blood in athletes of cyclic sports from different periods of the training process. *Advances in Current Natural Sciences*. 2015;(1-3):398–400. (In Russ).
45. Djordjevic D, Cubrilo D, Macura M, et al. The influence of training status on oxidative stress in young male handball players. *Mol Cell Biochem*. 2011;351(1-2):251–259. doi: 10.1007/s11010-011-0732-6
46. Nikolaidis MG, Jamurtas AZ. Blood as a reactive species generator and redox status regulator during exercise. *Arch Biochem Biophys*. 2009;490(2):77–84. doi: 10.1016/j.abb.2009.08.015
47. Burgos C, Henríquez-Olguín C, Andrade DC, et al. Effects of exercise training under hyperbaric oxygen on oxidative stress markers and endurance performance in young soccer players: a pilot study. *J Nutr Metab*. 2016;2016:5647407. doi: 10.1155/2016/5647407
48. Elikov AV, Galstyan AG. Antioxidant status in athletes during the performance of dosed physical activity and in the recovery period. *Problems of Nutrition*. 2017;86(2):23–31. (In Russ).
49. Nikityuk DB, Klochkova SV, Rozhkova EA. Sports nutrition: requirements and modern approaches. *Nutrition*. 2014;4(1):40–43. (In Russ).
50. Yashin Ya, Vedenin A, Yashin A. Antioxidants and sports. Main reasons of unsuccessful applications. Possible perspectives. *Sports Medicine: Research and Practice*. 2016;6(1):35–39. (In Russ).
51. Lambrecht M. *Antioxidants in sport nutrition*. CRC Press; 2014. 299 p.
52. Gomez-Cabrera MC, Viña J, Ji LL. Interplay of oxidants and antioxidants during exercise: implications for muscle health. *Phys Sportsmed*. 2009;37(4):116–123. doi: 10.3810/psm.2009.12.1749
53. Kruk J, Aboul-Enein HY, Kladna A, Sulaiman Rahman H. Oxidative stress in biological systems and its relation with pathophysiological functions: the effect of physical activity on cellular redox homeostasis. *Free Radic Res*. 2019;53(5):497–521. doi: 10.1080/10715762.2019.1612059
54. Tan BL, Norhaizan ME, Liew WP, Rahman HS. Antioxidant and oxidative stress: a mutual interplay in age-related diseases. *Front Pharmacol*. 2018;9:1162. doi: 10.3389/fphar.2018.01162
55. Potupchik T, Evert L, Ivanov A. Possibilities of using biologically active additives in athletes under conditions of high sports loads. *Vrach*. 2019;30(10):24–31. (In Russ). doi: 10.29296/25877305-2019-10-05

ОБ АВТОРАХ

* **Корчин Владимир Иванович**, д.м.н., профессор;
адрес: Российская Федерация, 628011, Ханты-Мансийск,
ул. Мира, д. 40;
ORCID: 0000-0002-1818-7550;
eLibrary SPIN: 1430-5770;
e-mail: vikhmgmi@mail.ru

Федорова Елена Петровна, аспирант;
ORCID: 0000-0002-2311-2318;
eLibrary SPIN: 3944-8056;
e-mail: dog-elena.fedorova@yandex.ru

Корчина Татьяна Яковлевна, д.м.н., профессор;
ORCID: 0000-0002-2000-4928;
eLibrary SPIN: 6250-6863;
e-mail: t.korchina@mail.ru

Нехорошева Александра Викторовна,
д.т.н., доцент;
ORCID: 0000-0002-0769-1858;
eLibrary SPIN: 4361-6075;
e-mail: av.nehorosheva@hmgma.ru

Нехорошев Сергей Викторович, д.т.н., доцент;
ORCID: 0000-0001-9175-2563;
eLibrary SPIN: 7794-7377;
e-mail: sv.nehoroshev@hmgma.ru

AUTHORS' INFO

* **Vladimir I. Korchin**, MD, Dr. Sci. (Med.), professor;
address: 40 Mira street, 628011 Hanty-Mansijsk,
Russian Federation;
ORCID: 0000-0002-1818-7550;
eLibrary SPIN: 1430-5770;
e-mail: vikhmgmi@mail.ru

Elena P. Fedorova, graduate student;
ORCID: 0000-0002-2311-2318;
eLibrary SPIN: 3944-8056;
e-mail: dog-elena.fedorova@yandex.ru

Tat'jana Ya. Korchina, MD, Dr. Sci. (Med.), professor;
ORCID: 0000-0002-2000-4928;
eLibrary SPIN: 6250-6863;
e-mail: t.korchina@mail.ru

Aleksandra V. Nehorosheva, Dr. Sci. (Tech.),
associate professor;
ORCID: 0000-0002-0769-1858;
eLibrary SPIN: 4361-6075;
e-mail: av.nehorosheva@hmgma.ru

Sergej V. Nehoroshev, Dr. Sci. (Tech.), associate professor;
ORCID: 0000-0001-9175-2563;
eLibrary SPIN: 7794-7377;
e-mail: sv.nehoroshev@hmgma.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author