



© Коллектив авторов, 2025
УДК [796.015.6 : 665.213] :612.11
<https://doi.org/10.24884/1607-4181-2025-32-1-69-78>

Е. А. Князева^{1*}, А. В. Дерюгина¹, П. В. Ястребов¹, Г. А. Бояринов^{1, 2}

¹ Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского
603022, Россия, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23

² Приволжский исследовательский медицинский университет
603005, Россия, г. Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, д. 10/1

БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРЕПАРАТОВ РЫБЬЕГО ЖИРА В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Поступила в редакцию 05.10.2024 г.; принята к печати 25.02.2025 г.

Резюме

Цель — оценка влияния рыбьего жира и озонированного рыбьего жира на динамику биохимических показателей плазмы крови при моделировании физической нагрузки «до отказа» у крыс.

Методы и материалы. Животные были разделены на 4 группы по 16 крыс. Контрольным животным перорально вводили физраствор (1 группа). Крыс 2 группы кормили рыбьим жиром (доза 35 мг/кг) (РЖ), крыс 3 группы — озонированным рыбьим жиром (доза 35 мг/кг, озонидное число 3000) (ОРЖ 3000), 4 группа — озонированным рыбьим жиром (доза 35 мг/кг, озонидное число 1500) (ОРЖ 1500). Физическую нагрузку моделировали методом вынужденного плавания крыс «до отказа» с грузом 10 % от массы тела. Забор крови проводили из подъязычной вены 6 раз: определяли исходный уровень показателей, после нагрузочных тестов (4 раза) и после отмены препаратов (на 3-й день). В пробах крови оценивали содержание глюкозы, лактата, мочевины, креатинина, активность АсТ, АлТ.

Результаты. Физическая нагрузка вызывала снижение концентрации глюкозы во всех группах на этапах нагрузочных тестов с последующим ее восстановлением после отмены препаратов, за исключением действия ОРЖ 3000, при котором показатель оставался пониженным. Физическая активность в контрольной группе сопровождалась наиболее выраженным ростом лактата. Использование РЖ и ОРЖ 1500 нивелировало рост лактата по сравнению с контрольной группой. Концентрация мочевины увеличивалась в контрольной группе при действии РЖ, ОРЖ 3000 и сохранялась на уровне исходных значений при действии ОРЖ 1500. Концентрация креатинина увеличивалась во всех группах, наименее выражено при действии РЖ и ОРЖ 1500, тогда как при действии ОРЖ 3000 рост показателя был наиболее выражен и не восстанавливался после отмены препарата. Во всех группах регистрировалось увеличение активности АсТ и АлТ после физической активности на этапах после нагрузочных тестов, однако при использовании РЖ и ОРЖ 1500 наблюдалось снижение показателей к 4-му нагрузочному тесту и выраженное восстановление после отмены препарата.

Заключение. Пероральное введение ОРЖ 1500 при физических нагрузках значительной интенсивности в большей степени вызывало сохранность мышечной ткани и сокращение времени восстановления организма после чрезмерных физических нагрузок «до отказа».

Ключевые слова: физическая нагрузка, рыбий жир, озонированный рыбий жир, креатинин, аспаратаминотрансфераза, аланинаминотрансфераза, лактат, глюкоза

Для цитирования: Князева Е. А., Дерюгина А. В., Ястребов П. В., Бояринов Г. А. Биохимические показатели крови при использовании препаратов рыбьего жира в условиях интенсивной физической нагрузки. *Ученые записки ПСПБГМУ им. акад. И. П. Павлова*. 2025;32(1):69–78. <https://doi.org/10.24884/1607-4181-2025-32-1-69-78>.

* Автор для связи: Екатерина Александровна Князева, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, 603022, Россия, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23. E-mail: EKnyazeva.kt@yandex.ru.

Ekaterina A. Knyazeva^{1*}, Anna V. Deryugina¹, Pavel V. Yastrebov¹, Gennady A. Boyarinov^{1,2}

¹ Lobachevsky State University

23, Gagarin ave., Nizhny Novgorod, Russia, 603022

² Privolzhsky Research Medical University

10/1, Minin and Pozharsky sq., Nizhny Novgorod, Russia, 603005

BIOCHEMICAL BLOOD COUNTS IN THE APPLICATION OF FISH OIL PREPARATIONS IN CONDITIONS OF INTENSE PHYSICAL ACTIVITY

Received 05.10.2024; accepted 25.02.2025

Summary

The objective was to evaluate the effect of fish oil and ozonated fish oil in the dynamics of biochemical parameters of blood plasma while modeling physical activity up to "to failure" in rats.

Methods and materials. The animals were divided into 4 groups of 16 rats. Saline was administered orally to control animals (group 1). Rats (group 2) were fed fish oil (dose 35 mg/kg) (FO), rats of group 3 received ozonated fish oil (dose 35 mg/kg, ozonide number 3000) (OFO 3000), group 4 — ozonated fish oil (dose 35 mg/kg, ozonide number 1500) (OFO 1500). Physical activity was simulated by the method of forced swimming of rats «to failure» with a load of 10 % of body weight. Blood sampling was performed from the hyoid vein 6 times: the initial level of indicators was determined, after stress tests (4 times) and after drug withdrawal (on day 3). The blood samples were assessed for glucose, lactate, urea, creatinine, AST, ALT.

Results. Physical activity caused a decrease in glucose concentration in all groups at the stages of loading tests with its subsequent recovery after drug withdrawal. The use of OFO 3000 showed exclusion because the index remained decreased after the drugs cancellation. Physical activity in the control group was accompanied by the most pronounced increase in lactate. The use of FO and OFO 1500 levelled the increase in lactate compared to the control group. The concentration of urea increased in the control group, with the action of FO, OFO 3000 and remained at the level of initial values with the use of OFO 1500. The concentration of creatinine increased in all groups, the least pronounced at the action of use of FO and OFO 1500. Creatinine concentration increased most strongly with OFO 3000 and did not recover after drug withdrawal. AST and ALT after physical activity increased at stages after exercise tests in all groups. However, with the use of FO and OFO 1500, a decrease in indices by the 4th exercise test and a pronounced recovery after drug cancellation were observed.

Conclusion. Oral administration of OFO 1500 with physical exertion of significant intensity to a greater extent caused the preservation of muscle tissue and a reduction in the recovery time of the body after excessive physical exertion «to failure».

Keywords: physical activity, fish oil, ozonated fish oil, creatinine, aspartate transaminase, alanine transaminase, lactate, glucose

For citation: Knyazeva E. A., Deryugina A. V., Yastrebov P. V., Boyarinov G. A. Biochemical blood counts in the application of fish oil preparations in conditions of intense physical activity. *The Scientific Notes of Pavlov University*. 2025;32(1):69–78. (In Russ.). <https://doi.org/10.24884/1607-4181-2025-32-1-69-78>.

* **Corresponding author:** Ekaterina A. Knyazeva, Lobachevsky State University, 23, Gagarin ave., Nizhny Novgorod, 603022, Russia. E-mail: EKnyazeva.kt@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Напряженная мышечная деятельность сопровождается значительными метаболическими и гематологическими изменениями [1]. При интенсивной физической активности в организме происходит мобилизация энергетических ресурсов и перераспределение их к органам и тканям, подвергающимся нагрузке [2]. В большинстве случаев организм, до определенных пределов, изыскивает возможности адаптации и восстановления физиологических функций, но в случаях, когда резервы исчерпаны, происходят глубокие изменения и нарушения физиологических процессов [3]. На фоне запредельной активности происходят серьезные изменения в системах энергообеспечения организма, мышцах, сердечно-сосудистой системе, что впоследствии может привести к развитию патологических процессов [2, 4–6]. В связи с отмеченным для поддержания устойчивости организма к значительным физическим нагрузкам требуется применение адаптогенов — природных веществ, которые помогают организму адаптироваться к стрессу, поддерживать или нормализовать метаболические функции и стабилизировать гомеостаз [7].

Один из вариантов адаптогенов — рыбий жир, который служит источником дополнительной энергии для клеточных процессов в организме. Он включает эйкозапентаеновую кислоту (ЭПК) и докозагексаеновую кислоту (ДГК), которые снижают состояние окислительного стресса, возникающее в результате острых нагрузок, воспаление и сердечно-сосудистые риски. Огромное внимание уделяется повышению метаболических процессов, замедлению наступления утомления, улучшению нервно-мышечной передачи при использовании рыбьего жира [8–10].

Показано, что добавки с омега-3 (n-3 ПНЖК) могут свести к минимуму повреждение мышц, вызванное физическими нагрузками, благодаря своим противовоспалительным свойствам, однако их эффективность остается неясной [11]. Полиненасыщенные жирные кислоты омега-3 (n-3 ПНЖК) имеют двойную связь, которая находится ближе всего к метиловому концу (—CH₃) ацильной цепи. N-3 ПНЖК встраиваются в фосфолипиды, изменяя клеточные мембраны, которые обычно содержат большое количество арахидоновой кислоты. Это приводит к повышенному накоплению

эйкозапентаеновой кислоты и докозагексаеновой кислоты и параллельному снижению уровня арахидоновой кислоты [12]. Добавки с омега-3 (n-3 ПНЖК) снижают уровень провоспалительных цитокинов и выработку АФК и, следовательно, могут напрямую влиять на восстановление после интенсивных тренировок и маркеры воспаления [13]. При этом линолевая кислота в омега-6 (n-6 ПНЖК) играет особую и уникальную роль в поддержании структурной целостности и барьерной функции [14]. Использование линолевой кислоты в качестве частичной замены насыщенных жирных кислот способствует снижению уровня общего холестерина и холестерина липопротеинов низкой плотности в крови, что, вероятно, снижает риск различных заболеваний [15]. Арахидоновая кислота, содержащаяся в омега-6 (n-6 ПНЖК), участвует в передаче и регулировании воспалительных реакций [16], которые играют ключевую роль в воспалении. Однако воспалительные реакции на ранних стадиях также связаны с выработкой эйкозатриеновой кислоты и, следовательно, с развитием воспаления. Показано, что употребление арахидоновой кислоты может улучшить физическую форму и снизить воспаление [17, 19]. Это подчеркивает важность поддержания баланса ПНЖК в нашем организме. По рекомендациям ВОЗ, соотношение поступающих с пищей омега-3 и омега-6 кислот должно быть 1:2 – 1:5, то есть, омега-6 нужно потреблять в 2 – 5 раз больше, чем омега-3. Об омега-9 обычно не пишут, так как организм способен синтезировать ее сам. Идеальный баланс омега-6/омега-3, позволяющий сохранить здоровье = 5:1. К сожалению, при современном питании существенно преобладают омега-6 ПНЖК, смещая соотношение до 15:1 [19].

Поскольку рыбий жир по химическому строению представляет собой смесь омега-3 и омега-6 ПНЖК, его использование позволяет поддерживать баланс омега-6/омега-3 – один из «базовых» принципов спортсменов к повышению их работоспособности и реализации наработанных навыков в соревновательной деятельности. При этом озонированный рыбий жир (ОРЖ) содержит активные формы кислорода (АФК) и жирнокислотные энергетически значимые продукты, что обеспечивает повышение адаптационных возможностей на клеточном, тканевом и организменном уровнях за счет усиления процессов образования энергии, необходимой в процессе жизнедеятельности клетки, для повышения регенераторных возможностей тканей, работоспособности различных органов и систем организма [20]. Ранее ОРЖ в качестве адаптогена в практике спортивных тренировок не применялся.

С этих позиций, целью работы ставился анализ действия рыбьего жира и озонированного рыбьего жира при моделировании физической нагрузки «до отказа» у крыс на динамику биохимических показателей плазмы крови, которые позволяют оценить состояние организма в целом.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Объектом исследования служили лабораторные белые крысы самки линии Wistar массой 200 ± 20 г. Для проведения эксперимента 64 животных были разделены на 4 группы по 16 крыс в каждой. Животные содержались при контролируемой температуре ($18 - 22^\circ\text{C}$) и влажности (65 %), на стандартном пищевом рационе.

Эксперименты одобрены локальным этическим комитетом по проведению научных исследований с участием животных в качестве объектов исследования ННГУ им. Н. И. Лобачевского (протокол № 66 от 13.10.2022 г.) и выполнены в соответствии с принципами Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях от 18 марта 1986 г. и ФЗ РФ «О защите животных от жестокого обращения» от 01.01.1997 г.

Контрольным животным перорально вводили физраствор (1 группа). Крыс 2 группы кормили рыбьим жиром (доза 35 мг/кг), крыс 3 группы – озонированным рыбьим жиром (доза 35 мг/кг, озонидное число 3000), 4 группа – озонированным рыбьим жиром (доза 35 мг/кг, озонидное число 1500).

Данные сертификата анализа исходного рыбьего жира: MEG-3 1812 TG Oil. Серия № PC00004320, произведено в Перу. Характеристики рыбьего жира: цвет по Гарднеру – 5; свободная жирная кислота (Олеиновая) – 0,10 %; кислотное число – 0,2 мг КОН/г; анизидиновое число – 6; пероксидное число (на момент выпуска) 0 meq/кг; влажность 0,0 %; тест на холод: остается чистым при 0°C – 3 часа; общий коэффициент окисления – 6; неомыляемое вещество – 1,1 %; абсорбция (233 нм) – 0,3; олигомеры – 0,9 %. Массовое содержание эйкоза-5,8,11,14,17-пентаеновой кислоты и докоза-4,7,10,13,16,19-гексаеновой кислоты в исходном рыбьем жире составляло 16,03 % и 9,09 %, соответственно (ГХ-МС).

Образцы вышепредставленного рыбьего жира подвергали озонированию, используя концентратор кислорода «HG5» (Shenyang Santa Medical TECH. Co., Ltd, Китай), 5 л/мин, 0,04 – 0,08 Мра, 220В, 50 Гц и генератор озона УОТА-60-01 (ООО «Медозон», Москва, Россия). Рыбий жир обрабатывали кислород-озоновой смесью по стандартной методике путем барботирования с концентрацией озона на выходе установки 50 мг/л в течение 24 часов и более при комнатной температуре. В условиях проведенного технологического процесса получали озонированный рыбий жир с озонидным числом 3000 мэкв O_2 /кг.

Для получения озонированного рыбьего жира с озонидным числом 1500 мэкв-моль O_2 /кг (ОРЖ, 1500) смешивали озонированный рыбий жир с озонидным числом 3000 мэкв-моль O_2 /кг с исходным рыбьим жиром.

Исследования РЖ и ОРЖ выполняли в ФБУ «Государственный региональный центр стандар-

тизации, метрологии и испытаний» в Москве, протокол испытаний № 20423 от 01.02.2018 г. Рыбий жир (исходный образец) и озонированный рыбий жир контролировали по пероксидному числу (ПЧ, мэкв/кг). Пероксидное число возрастает от количества активных форм кислорода: чем оно выше, тем больше в объекте активных форм кислорода [21].

«Вынужденное плавание с грузом» осуществляли при моделировании плавания «до отказа» и строили по принципу предъявляемой плавательной нагрузки до формирования, выраженного утомления и отказа животных от дальнейшего выполнения исследований. Нагрузку осуществляли в соответствии со стандартной методикой плавания животных с грузом 10 % от массы тела в воде комфортной температуры (28 °С). Лабораторным животным после взвешивания за 1 час до нагрузки с помощью внутрижелудочного зонда перорально вводили в исследуемых группах расчетную дозу изучаемого препарата, а в контрольной группе вводили эквивалентное количество физиологического раствора. За 15–20 мин до начала тестирования животных (для сглаживания возможной стресс-реакции) к крысам фиксировали подобранный груз.

При начале исследования животное без резких движений погружали в воду бассейна. Критерием прекращения исследования в тесте предельного плавания являлось погружение животного на дно бассейна. В этот момент животное извлекали из воды, проводили забор крови из подъязычной вены в количестве 1,0 мл и затем обсушивали сухим полотенцем.

Этапы исследования:

1-й этап покоя (исходный) — проводили забор крови.

2-й этап — тест «до отказа» (1-й нагрузочный тест) — 4-й день эксперимента. В первые три дня до выполнения теста «до отказа» крысы ежедневно получали перорально в исследуемых группах расчетную дозу изучаемого препарата, а в контрольной группе эквивалентное количество физраствора. Накануне проведения теста «до отказа» животных на ночь оставляли без корма при свободном доступе к воде. В день проведения теста «до отказа» (4-й день) животным за 1 час до нагрузки перорально вводили в исследуемых группах расчетную дозу изучаемого препарата, а в контрольной группе — эквивалентное количество физраствора.

3-й этап — период постнагрузочного восстановления. В период постнагрузочного восстановления (в течение 5 дней) крысы ежедневно получали перорально в исследуемых группах расчетную дозу изучаемого препарата, а в контрольной группе эквивалентное количество физраствора. Накануне проведения теста «до отказа» животных на ночь оставляли без корма при свободном доступе к воде.

4-й этап — тест «до отказа» (2-й нагрузочный тест на 6-й день восстановительного периода). В день проведения теста «до отказа» животным

за 1 час до нагрузки перорально вводили в исследуемых группах расчетную дозу изучаемого препарата, а в контрольной группе — эквивалентное количество физраствора.

5-й этап — период постнагрузочного восстановления.

6-й этап — тест «до отказа» (3-й нагрузочный тест).

7-й этап — период постнагрузочного восстановления.

8-й этап — тест «до отказа» (4-й нагрузочный тест).

9-й этап — период остаточного действия препаратов на исследуемые показатели (после отмены препаратов на 3-й день после 4-го нагрузочного теста).

Забор крови проводили из подъязычной вены 6 раз: определяли исходный уровень показателей, после нагрузочных тестов (4 раза) и после отмены препаратов (на 3-й день).

В пробах крови оценивали содержание глюкозы, лактата, мочевины, креатинина, АсТ, АлТ. Биохимические показатели крови измеряли на биохимическом анализаторе («Stat Fax 3300», США). Использовались наборы реагентов для определения уровня глюкозы, мочевины, креатинина, АсТ и АлТ фирмы «Диакон-АС» и реагенты фирмы «АБРИС +» для определения лактата.

Полученные экспериментальные данные рассчитывали как среднее значение (Mean) с ошибкой среднего (SEM). Сравнительный анализ данных проводили с помощью пакетов прикладных программ Statistica 6.0 и Microsoft Excel. Для проверки гипотезы о виде распределения применялся метод Шапиро — Уилка. Изучение статистических закономерностей осуществлялось с применением параметрического (критерий Стьюдента с поправкой Бонферрони) метода статистики. За величину уровня статистической значимости различий принимали $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении биохимических показателей при интенсивной физической нагрузке было проведено исследование глюкозы и лактата для характеристики энергетического обмена, связанного с анаэробным путем обеспечения энергией организма и включения экстренных механизмов адаптации к повышению физической активности. Физическая нагрузка «до отказа» вызывала динамическое снижение концентрации глюкозы в ходе всего эксперимента во всех исследуемых группах, что характеризовалось снижением показателя после 2 нагрузочного теста. В восстановительный период после отмены физической активности концентрация глюкозы во всех группах восстанавливалась, исключение составила группа с использованием ОРЖ 3000, в которой концентрация глюкозы сохранилась на пониженном уровне. При сравнении экспериментальных групп максимальная выраженность изменения данного показателя регистрировалась при использовании ОРЖ 3000, что

Таблица 1

Концентрация глюкозы и лактата в плазме крови крыс исследуемых групп

Table 1

The concentration of glucose and lactate in the blood plasma of the rats of the studied groups

Концентрация глюкозы и лактата		Исходный уровень	Этапы нагрузочных тестов				После 3-дневного перерыва
			1	2	3	4	
Контроль	Глюкоза, ммоль/л	6,48±0,12	6,22±0,12	5,56±0,11*	5,06±0,11*	5,22±0,13*	6,29±0,14
	Лактат, ммоль/л	2,94±0,9	5,01±0,3*	5,25±0,9*	4,76±0,6*	4,72±0,6*	3,73±0,4
РЖ	Глюкоза, ммоль/л	6,52±0,11	6,44±0,12	6,12±0,11* #	5,56±0,12* #	5,44±0,11*	6,35±0,14
	Лактат, ммоль/л	2,95±0,5	3,86±0,4* #	3,77±0,3* #	3,62±0,6 #	2,69±0,7 #	2,54±0,6
ОРЖ 3000	Глюкоза, ммоль/л	6,46±0,10	6,16±0,16*	5,88±0,11*	5,35±0,12*	5,08±0,11*	5,95±0,19*
	Лактат, ммоль/л	2,97±0,3	4,68±0,4*	4,96±0,8*	4,88±0,7*	4,87±0,6*	3,72±0,5
ОРЖ 1500	Глюкоза, ммоль/л	6,44±0,11	6,36±0,11	6,18±0,12* #	5,81±0,12* #	5,92±0,14* #	6,45±0,11
	Лактат, ммоль/л	2,96±0,4	3,64±0,6 #	3,51±0,6 #	3,72±0,3* #	3,13±0,3 #	3,34±0,1

Примечание: # — статистически значимые отклонения по отношению к контролю ($p \leq 0,05$), * — статистически значимые отклонения по отношению к исходному значению ($p \leq 0,05$), РЖ — рыбий жир, ОРЖ 3000 — озонированный рыбий жир с озонидным числом 3000 и ОРЖ 1500 — озонированный рыбий жир с озонидным числом 1500.

характеризовалось продолжительным уменьшением концентрации глюкозы ниже значений контрольной группы начиная с 1-го нагрузочного теста и определило максимальное снижение глюкозы на этапах исследования (табл. 1).

Исследование концентрации лактата выявило рост показателя в контрольной группе на всех этапах исследования, при использовании РЖ зафиксирован статистически выраженный рост показателя ($p \leq 0,05$) после 1-го и 2-го нагрузочного теста относительно исходных значений, при действии ОРЖ 3000 с 1-го по 4-й нагрузочный тест, при ОРЖ 1500 после 3-го нагрузочного теста. В экспериментальных группах при использовании РЖ и ОРЖ 1500 изменения показателя были меньше по сравнению с группой контроля, при действии ОРЖ 3000 — сопоставимы с контролем.

Состояние белкового обмена при физической активности и использование препаратов рыбьего жира оценивали по содержанию мочевины — конечного продукта распада белков и креатинина, который позволяет судить о распаде белка, участвуя в энергетическом обмене мышечной ткани. Анализ концентрации мочевины в динамике эксперимента выявил увеличение показателя у контрольной группы на 2-ом — 4-ом этапах нагрузочных тестов, при использовании РЖ показатель увеличивался после 2-го — 3-го нагрузочных тестов, при использовании ОРЖ 3000 регистрировалось увеличение со 2-го нагрузочного теста и до конца исследования относительно исходных значений. Введение животным ОРЖ 1500 сохраняло концентрацию показателя без изменений (табл. 2).

Содержание креатинина после физических нагрузок возрастало: в контрольной группе и в группе при введении животным ОРЖ 3000 регистрировался

рост показателя после всех нагрузочных тестов, причем в группе с использованием ОРЖ 3000 после отмены препарата значения креатинина сохранялись на высоком уровне (табл. 2). При использовании РЖ и ОРЖ 1500 рост концентрации креатинина был менее выражен. Во всех группах за исключением действия ОРЖ 3000 после отмены препаратов показатель восстанавливался до исходных значений.

Анализ ферментов трансаминирования — АсТ и АлТ — характеризующих состояние печени и миокарда показал рост их активности во всех группах. Анализ активности АсТ и АлТ в динамике эксперимента выявил повышение показателя у контрольной группы начиная с первых этапов нагрузочных тестов, при использовании РЖ и ОРЖ 1500 показатели также возрастали после 1-го нагрузочного теста, но постепенно снижались к 4-му этапу и восстанавливались после отмены введения препаратов (табл. 3).

В группе ОРЖ 3000 после отмены препаратов показатель оставался высоким по отношению к исходному уровню, демонстрируя наибольшую нагрузку на печень и сердце у животных данной группы в течении эксперимента.

Анализ полученных результатов свидетельствует, что повышенная физическая нагрузка «до отказа» приводила к усилению анаэробного энергетического обмена, опосредованного окислением глюкозы в процессе гликолиза с последующим увеличением лактата [22]. Лактат является важным биомаркером для диагностирования утомленности и кислородного голодания организма при чрезмерных физических нагрузках [1, 22]. Увеличение концентрации лактата приводит к нарушению сократительной функции скелетной мышцы и ухудшению физической работоспособности [23]. При этом показано, что лактат в первой фазе аэробной

Таблица 2

Концентрация мочевины и креатинина в плазме крови крыс исследуемых групп

Table 2

The concentration of urea and creatinine in the blood plasma of the rats of the studied groups

Концентрация мочевины и креатинина		Исходный уровень	Этапы нагрузочных тестов				После 3-дневного перерыва
			1	2	3	4	
Контроль	Мочевина, ммоль/л	9,20±0,6	9,59±0,2	10,22±0,4*	10,81±0,4*	10,99±0,6*	9,48±0,6
	Креатинин, мкмоль/л	76,69±2,7	96,24±3,5*	94,02±4,6*	103,48±3,9*	106,32±5,6*	82,59±4,9
РЖ	Мочевина, ммоль/л	9,16±0,4	9,43±0,5	9,94±0,4*	10,52±0,4*	10,01±0,5	9,23±0,3
	Креатинин, мкмоль/л	77,12±2,6	80,54±3,2 #	84,18±2,9* #	89,26±4,5* #	85,02±3,5 #	75,23±4,2
ОРЖ 3000	Мочевина, ммоль/л	9,19±0,5	10,09±0,6	10,48±0,6*	10,90±0,6*	11,02±0,6*	10,22±0,5*
	Креатинин, мкмоль/л	77,81±2,9	86,56±4,2* #	93,24±3,2*	114,11±3,5* #	119,22±4,6* #	102,23±5,7* #
ОРЖ 1500	Мочевина, ммоль/л	9,25±0,5	9,98±0,6	9,20±0,3 #	9,93±0,6	9,67±0,5 #	9,31±0,7
	Креатинин, мкмоль/л	77,54±2,6	87,10±5,6* #	86,80±4,8*	82,18±4,9 #	83,40±5,3 #	78,32±4,8

Примечание: # — статистически значимые отклонения по отношению к контролю ($p \leq 0,05$), * — статистически значимые отклонения по отношению к исходному значению ($p \leq 0,05$), РЖ — рыбий жир, ОРЖ 3000 — озонированный рыбий жир с озонидным числом 3000 и ОРЖ 1500 — озонированный рыбий жир с озонидным числом 1500.

Таблица 3

Активность АСТ и АЛТ в плазме крови крыс исследуемых групп

Table 3

Activity of AST and ALT in blood plasma of the rats of the studied groups

Активность АСТ и АЛТ		Исходный уровень	Этапы нагрузочных тестов				После 3-дневного перерыва
			1	2	3	4	
Контроль	АСТ, Е/л	4,92±0,62	5,36±0,41	5,87±0,52	6,25±0,42*	6,04±0,63*	5,66±0,35
	АЛТ, Е/л	5,26±0,68	6,68±0,47*	7,45±0,72*	7,82±0,62*	7,92±0,66*	6,34±0,53
РЖ	АСТ, Е/л	4,86±0,54	5,22±0,57	5,79±0,61	5,87±0,40*	5,26±0,42	4,95±0,56
	АЛТ, Е/л	5,05±0,48	5,98±0,71	6,49±0,76	6,89±0,58*	6,82±0,52*	6,10±0,67
ОРЖ 3000	АСТ, Е/л	4,90±0,49	5,46±0,42	5,76±0,65	6,58±0,62*	6,83±0,49*	6,62±0,42* #
	АЛТ, Е/л	5,15±0,73	6,89±0,83*	7,75±0,61*	8,24±0,60*	8,48±0,76*	7,31±0,44* #
ОРЖ 1500	АСТ, Е/л	4,88±0,47	5,48±0,71	5,82±0,40*	6,14±0,52*	5,76±0,46*	5,12±0,60
	АЛТ, Е/л	5,20±0,65	6,02±0,60	5,91±0,68 #	6,60±0,55*	6,31±0,48 #	5,89±0,68

Примечание: # — статистически значимые отклонения по отношению к контролю ($p \leq 0,05$), * — статистически значимые отклонения по отношению к исходному значению ($p \leq 0,05$), РЖ — рыбий жир, ОРЖ 3000 — озонированный рыбий жир с озонидным числом 3000 и ОРЖ 1500 — озонированный рыбий жир с озонидным числом 1500.

реакции не нейтрализуется полностью. Во второй фазе происходит его накопление в ведущих задействованных мышцах двигательного акта, что оказывает непосредственное влияние на трофику тканей, провоцирует развитие в организме гиперлактатемии с повреждением тканей работающих мышц [24]. На фоне применения РЖ и ОРЖ 1500 уровень лактата был существенно ниже по сравнению с группой контроля, что свидетельствует об уменьшении негативных проявлений на мышцах.

При этом показано, что у животных и человека рыбий жир ускоряет катаболизм ЛПОНП за счет

усиления кровообращения капиллярных липаз или экспрессии липаз [25]. Можно предположить, что менее выраженное снижение концентрации глюкозы при использовании РЖ и его озонированной формы связано с усилением липолиза жиров при физической нагрузке.

Следует отметить, что при использовании РЖ и в большей степени при использовании ОРЖ 1500 наблюдалось сохранение концентрации мочевины на уровне исходных значений до нагрузки. Вероятно, данный факт можно рассматривать как показатель адаптации организма к физической

активности и сохранности белковых структур, которые, как показано для запредельной физической нагрузки, могут использоваться для восстановления углеводных запасов [20]. Средне- и короткоцепочечные жирные кислоты — продукты озонолиза рыбьего жира, служат активными инициаторами энергетического метаболизма. Они обеспечивают дополнительное увеличение выработки энергии в результате активации энзимозависимых путей образования энергии из продуктов как углеводной природы, так и жиров [26, 27].

В свою очередь, значительное повышение уровня креатинина в контрольной группе и при использовании ОРЖ 3000 может говорить о поражении мышечной ткани ввиду чрезмерных физических нагрузок и отсутствии адекватной адаптивной реакции организма. По увеличению концентрации креатинина можно судить о состоянии креатинфосфокиназной системы [28] и задействованной в энергетическое обеспечение не только гликолиза, но креатинфосфокиназного механизма энергообразования [2, 29].

Кроме того, высокий уровень креатинина в крови позволяет выявить наличие повреждения мышечной ткани [6, 30]. Высокие физические нагрузки могут привести к увеличению уровня активных форм кислорода, повышению проницаемости клеточных мембран, повреждению мышечных волокон, что приводит к повышению креатинина [30]. Более того, повышенный распад мышечной ткани может свидетельствовать о наибольшей интенсивности ПОЛ в группе ОРЖ 3000. Литературные данные показывают, что озонированный рыбий жир в высокой концентрации содержит большое количество озонидов — биологически активных окислителей, которые приводят к увеличению процессов ПОЛ и, как следствие, накоплению продуктов свободнорадикального окисления и снижению функциональной способности мышечной ткани [31].

Анализ АлТ и АсТ свидетельствует об одностороннем повышении активности данных ферментов как в контрольной, так и в экспериментальных группах. Факт повышения активности АлТ в крови можно расценивать двойственно: во-первых, это формальный признак поражения печени; во-вторых, с метаболической точки зрения это признак активации глюкозоаланинового шунта. Его активация служит для компенсации возможной гипогликемии [5]. В целом повышение активности АлТ и АсТ в спортивной практике до 65 % может отражать повышение функциональной работы печени и сердца [32]. Существенное повышение активности ферментов на фоне отдыха после физической нагрузки выступает как маркер перетренированности. Биохимические маркеры адаптации высококвалифицированных спортсменов к различным физическим нагрузкам [33]. Данное состояние отмечено только при действии ОРЖ 3000.

Учитывая, что для полного восстановления после тренировки может потребоваться от 2 до 7 дней

можно говорить, что использование РЖ и ОРЖ 1500 способствует не только повышению адаптационных возможностей организма при сверхнагрузках, но и восстановлению после нагрузок [34].

Итак, анализируя выше представленные результаты проведенного исследования, можно заключить, что основная биологическая активность озонированного РЖ обусловлена двумя образующимися в нем важными продуктами, участвующими в синтезе энергии на клеточном уровне — активные формы кислорода (первичные озониды — 1,2,3-триоксоланы и вторичные озониды — 1,2,4-триоксоланы) и средне- и короткоцепочечные жирные кислоты. При этом следует обратить внимание, что в настоящее время имеются лишь отдельные сообщения о механизмах действия 1,2,4-триоксоланов на организм при пероральном применении, в которых, однако, показано благоприятное их влияние на окислительный и энергетический метаболизм в условиях гипоксии и иммобилизационного стресса, при лечении язвы желудка и ожогов у крыс [27, 35, 36]. Выявлена активация NADP/H и NAD/H-зависимых ферментов (глутатионредуктазы, глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы, лактатдегидрогеназы, альдегиддегидрогеназы), а также супероксиддисмутазы и каталазы, нормализация показателей перекисного окисления липидов под действием 1,2,4-триоксоланов [37].

Следует также заметить, что средне- и короткоцепочечные жирные кислоты, по сравнению с длинноцепочечными ЖК, быстрее метаболизируются в клетках, повышая их энергетический потенциал [38, 39].

При этом важным фактором является степень озонирования РЖ, что может в значительной степени отразиться на усилении окислительных процессов и вызвать негативное влияние на фоне физической активности «до отказа».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, использование РЖ и ОРЖ вызывает увеличение адаптации организма к повышенным нагрузкам. При этом на фоне использования ОРЖ 1500 наблюдается более выраженная сохранность мышечной ткани и сокращение времени восстановления организма после чрезмерных физических нагрузок «до отказа».

Конфликт интересов

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

Authors declare no conflict of interest.

Соответствие нормам этики

Авторы подтверждают, что соблюдены права людей, принимавших участие в исследовании, включая получение информированного согласия в тех случаях, когда оно необходимо, и правила обращения с животными в случаях их использования в работе. Подробная информация содержится в Правилах для авторов.

Compliance with ethical principles

The authors confirm that they respect the rights of the people participated in the study, including obtaining informed consent when it is necessary, and the rules of treatment of animals when they are used in the study. Author Guidelines contains the detailed information.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутова О. А., Масалов С. В. Адаптация к физическим нагрузкам: анаэробный метаболизм мышечной ткани // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. – 2011. – № 1. – С. 123–128.
2. Рахманов Р. С., Сапожникова М. А., Блинова Т. В. и др. Оценка некоторых биохимических показателей системы энергообеспечения организма при значительных физических нагрузках // Медицинский альманах. – 2015. – № 1 (36). – С. 141–143.
3. Хабибулин И. М. Влияние физических нагрузок и адаптогенов на морфофункциональные характеристики организма хомяков: дисс. кандидат наук: 03.03.01 – Физиология. ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева». – 2021. – 144 С.
4. Васильев Д. И., Антоненко М. Н., Зотин В. В. Озонотерапия как метод реабилитации спортсменов // Форум молодых ученых. – 2018. – № 5. – С. 8–9.
5. Ермолаева Н. Е., Кривохижина Л. В. Индикаторы повреждения при физических нагрузках различной интенсивности // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 1 (9). – С. 1815–1821.
6. Banfi G., Colombini A., Lombardi G., Lubkowska A. Metabolic markers in sports medicine // Adv Clin Chem. – 2012. – Vol. 56, № 1. – P. 1–54. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-394317-0.00015-7>.
7. Irfan M., Kwak Y. S., Han C. K. et al. Adaptogenic effects of Panax ginseng on modulation of cardiovascular functions // Journal of Ginseng Research. – 2020. – Vol. 44, № 4. – P. 538–543. <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2020.03.001>.
8. Квицинская Н. А., Зайцев А. Б., Слепов А. В., Марков С. Н. Внешнее дыхание на фоне системной озонотерапии // Вестник физиотерапии и курортологии. – 2016. – № 2. – С. 17.
9. Da Boit M., Hunter A. M., Gray S. R. Fit with good fat? The role of n-3 polyunsaturated fatty acids on exercise performance // Metabolism. – 2017. – № 66. – P. 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2016.10.007>.
10. Barquilha G., Dos Santos C. M. M., Caçula K. G. et al. Fish Oil Supplementation Improves the Repeated-Bout Effect and Redox Balance in 20–30-Year-Old Men Submitted to Strength Training // Nutrients. – 2023. – Vol. 15, № 7. – P. 1708. <https://doi.org/10.3390/nu15071708>.
11. Kyriakidou Y., Wood C., Ferrier C. et al. The effect of Omega-3 polyunsaturated fatty acid supplementation on exercise-induced muscle damage // Journal of the International Society of Sports Nutrition. – 2021. – Vol. 18, № 1. – P. 45–54. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00405-1>.
12. Calder P. C. Omega-3 fatty acids and inflammatory processes: from molecules to man // Biochem Soc Trans. – 2017. – Vol. 45, № 5. – P. 1105–1115. <https://doi.org/10.1042/BST20160474>.
13. Shei R. J., Lindley M. R., Mickleborough T. D. Omega-3 polyunsaturated fatty acids in the optimization of physical performance // Mil Med. – 2014. – № 179. – P. 144–156.
14. Feingold K. R. The outer frontier: the importance of lipid metabolism in the skin // J Lipid Res. – 2009. – № 50. – P. 417–422. <https://doi.org/10.1194/jlr.R800039-JLR200>.
15. Froyen E., Burns-Whitmore B. The effects of linoleic acid consumption on lipid risk markers for cardiovascular disease in healthy individuals: a review of human intervention trials // Nutrients. – 2020. – № 12. – P. 12. <https://doi.org/10.3390/nu12082329>.
16. Pereira M., Liang J., Edwards-Hicks J. et al. Arachidonic acid inhibition of the NLRP3 inflammasome is a mechanism to explain the anti-inflammatory effects of fasting // Cell reports. – 2024. – Vol. 43, № 2. – P. 113700. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2024.113700>.
17. De Souza E. O., Lowery R. P., Wilson J. M. et al. Effects of arachidonic acid supplementation on acute anabolic signaling and chronic functional performance and body composition adaptations // PLoS One. – 2016. – Vol. 11, № 5. – e0155153. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155153>.
18. Roberts M. D., Iosia M., Kerkick C. M. et al. Effects of arachidonic acid supplementation on training adaptations in resistance-trained males // Journal of the International Society of Sports Nutrition. – 2007. – Vol. 4. – P. 21. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-4-21>.
19. Mullins V. A., Snider J. M., Michael B. et al. Impact of fish oil supplementation on plasma levels of highly unsaturated fatty acid-containing lipid classes and molecular species in American football athletes // Nutrition & metabolism. – 2024. – Vol. 21, № 1. – P. 43. <https://doi.org/10.1186/s12986-024-00815-x21>.
20. Машкин А. И., Зацепина Е. В., Коломыцев М. В., Перепелица К. Н. Уровень мочевины в крови как маркер степени восстановления в гребном спорте // E-Scio. – 2022. – № 9(72). – С. 2–7.
21. Дерюгина А. В., Бояринов Г. А., Ястребов П. В. и др. Влияние рыбьего жира и озонированного рыбьего жира на клинико-лабораторные показатели красной крови и функциональную активность крыс при сверхпороговой физической нагрузке в эксперименте // Вестник новых медицинских технологий. – 2024 – Т. 31, № 3. – С. 83–89.
22. Мухамеджанов Э. К. Лактат – важнейший регулятор гомеостаза глюкозы / Научные известия. – 2022. – № 29. – С. 98–104.
23. Lindinger M., Kowalchuk J. M., Heigenhauser G. J. Applying physicochemical principles to skeletal muscle acid-base status. American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology. – 2006. – Vol. 289, № 3. – P. 891–894. <https://doi.org/10.1152/ajp-regu.00225.2005>.
24. Спасский А. А., Мяжкова М. А., Левашова А. И. и др. Методология комплексной оценки адаптационного потенциала спортсменов к нагрузке // Спортивная медицина: наука и практика. – 2019. – Т. 9, № 3. – С. 49–61.
25. Slivkoff-Clark K. M., James A. P., Mamo J. C. The chronic effects of fish oil with exercise on postprandial lipaemia and chylomicron homeostasis in insulin resistant visceraally obese men // Nutr Metab (Lond). – 2012. – Vol. 9. – P. 9. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-9-9>.
26. Киселевич В. Е., Бессонова Н. Е., Бояринов Г. А. и др. Комплекс озонированных ненасыщенных жирных кислот и его применение. Патент Бюл. № 19. 08.07.2020. RU 2725980 C 1.
27. Melnikova N. B., Malygina D. S., Yastrebov P. V. et al. The effect of 1,2,4-trioxolanes with betulin in fish oil on oxidative and energy metabolism under hypoxia and immobilization stress in rats // Opera Medica et Physiologica. – 2023. – Vol. 10, № 3. – P. 32–48. <https://doi.org/10.24412/2500-2295-2023-3-32-48>.
28. Горохов Н. М., Тимощенко Л. В. Изменение активности отдельных ферментов сыворотки крови у спортсменов разных специализаций при кратковременной физической нагрузке // Теория и практика физической культуры. – 2007. – № 10. – С. 26–28.
29. Шамитова Е. Н., Александрова Н. Л., Михайлова К. Н. Биохимический контроль реакции организма на повышенную физическую нагрузку // Научное обозрение. Биологические науки. – 2018. – № 2. – С. 27–31.

30. Алиев С. А. Влияние интенсивных физических нагрузок на оксидативный стресс и антиоксидантные изменения организма спортсменов // *Кронос: естественные и технические науки*. – 2020. – № 2(30). – С. 17–22.

31. Дерюгина А. В., Ястребов П. В., Бояринов Г. А. и др. Влияние рыбьего жира и озонированного рыбьего жира на окислительный статус животных при моделировании физической нагрузки // *Учёные записки Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета имени академика И. П. Павлова*. – 2024. – Т. 31, № 1. – С. 28–36. <https://doi.org/10.24884/1607-4181-2024-31-1-28-36>.

32. Гулеп И. Л., Будко А. Н., Гаврилова С. О., Кочерина Н. В., Шведова Н. В. Определение референтных интервалов биохимических показателей крови с учетом вида спорта при выполнении тренировочных нагрузок различной направленности // *Прикладная спортивная наука*. – 2021. – № 1 (13). – С. 28–35.

33. Раджаббадиев Р. М. Биохимические маркеры адаптации высококвалифицированных спортсменов к различным физическим нагрузкам // *Наука и спорт: современные тенденции*. – 2019. – Т. 23, № 2. – С. 81–91.

34. Peak J. M., Neubauer O., Della Gatta P. A., Nosaka K. Muscle damage and inflammation during recovery from exercise // *J Appl Physiol*. – 2017. – № 122. – P. 559–570.

35. Малыгина Д. С., Ястребов П. В., Фаянс А. Э. и др. Фармацевтическая композиция 1,2,4-триоксоланов с бетулином в рыбьем жире. Влияние на окислительный и энергетический метаболизм при лечении ожогов у крыс // *Acta Biomedica Scientifica*. – 2024. – Т. 9, № 2. – С. 253–263.

36. Zamora Z., Gonzalez R., Guanche D. et al. Antioxidant mechanism is involved in the gastroprotective effects of ozonized sunflower oil in ethanol-induced ulcers in rats // *Mediators Inflamm*. – 2007. – Vol. 2007. – 65873. <https://doi.org/10.1155/2007/65873>.

37. Zamora Z., Gonzalez R., Guanche D., Merino N., Menendez S., Hernandez F., Alonso Y., Schulz S. Ozonized sunflower oil reduces oxidative damage induced by indomethacin in rat gastric mucosa // *Inflamm Res*. – 2008. – Vol. 57, № 1. – P. 39–43. <https://doi.org/10.1007/s00011-007-7034-1>.

38. Mickleborough T. D. Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids in Physical Performance Optimization // *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. – 2013. – № 23. – P. 83–96.

39. Joumard-Cubizolles L., Lee J. C., Vigor C. et al. Insight into the contribution of isoprostanooids to the health effects of omega 3 PUFAs // *Prostaglandins & Other Lipid Mediators*. – 2017. – № 133. – P. 111–122. <https://doi.org/10.1016/j.prostaglandins.2017>.

REFERENCES

1. Butova O. A., Masalov S. V. Adaptation to physical exercise: anaerobic metabolism of muscular tissue // *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo*. 2011;(1):123–128. (In Russ.).

2. Rahmanov R. S., Sapozhnikova M. A., Blinova T. V. et al. Evaluation of several biochemical parameters of the system of body energy supply at significant physical loads // *Medicinskij al'manah*. 2015;(1):141–143. (In Russ.).

3. Habibulin I. M. The effect of physical exertion and adaptogens on the morphological and functional characteristics of the hamster organism]. Diss. cand. med. sciences: 03.03.01 – Fiziologiya. FGBOU VO «Rossijskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet – MSHA imeni K. A. Timiryazeva». 2021:144. (In Russ.).

4. Vasil'ev D. I., Antonenko M. N., Zotin V. V. Ozonotherapy as a method of rehabilitation of athletes // *Forum molodyh uchenyh*. 2018;(5):8–9. (In Russ.).

5. Ermolaeva N. E., Krivohizhina L. V. Indicators of damage during physical exertion of varying intensity // *Fundamental'nye issledovaniya*. 2015;(1(9)):1815–1821. (In Russ.).

6. Banfi G., Colombini A., Lombardi G., Lubkowska A. Metabolic markers in sports medicine // *Adv Clin Chem*. 2012;56(1):1–54. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-394317-0.00015-7>.

7. Irfan M., Kwak Y. S., Han C. K. et al. Adaptogenic effects of Panax ginseng on modulation of cardiovascular functions // *Journal of Ginseng Research*. 2020;44(4):538–543. <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2020.03.001>.

8. Квицинская Н. А., Зайцев А. Б., Слепов А. В., Марков С. Н. Внешнее дыхание на фоне системной озонотерапии // *Вестник физиотерапии и курортологии*. 2016. № 2. С. 17.

9. Da Boit M., Hunter A. M., Gray S. R. Fit with good fat? The role of n-3 polyunsaturated fatty acids on exercise performance // *Metabolism*. 2017;(66):45–54. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2016.10.007>.

10. Barquilha G., Dos Santos C. M. M., Caçula K. G. et al. Fish Oil Supplementation Improves the Repeated-Bout Effect and Redox Balance in 20–30-Year-Old Men Submitted to Strength Training // *Nutrients*. 2023;15(7):1708. <https://doi.org/10.3390/nu15071708>.

11. Kyriakidou Y., Wood C., Ferrier C. et al. The effect of Omega-3 polyunsaturated fatty acid supplementation on exercise-induced muscle damage // *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2021;18(1):45–54. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00405-1>.

12. Calder P.C. Omega-3 fatty acids and inflammatory processes: from molecules to man // *Biochem Soc Trans*. 2017;45(5):1105–1115. <https://doi.org/10.1042/BST20160474>.

13. Shei R. J., Lindley M. R., Mickleborough T. D. Omega-3 polyunsaturated fatty acids in the optimization of physical performance // *Mil Med*. 2014;(179):144–156.

14. Feingold K. R. The outer frontier: the importance of lipid metabolism in the skin // *J Lipid Res*. 2009;(50):417–422. <https://doi.org/10.1194/jlr.R800039-JLR200>.

15. Froyen E., Burns-Whitmore B. The effects of linoleic acid consumption on lipid risk markers for cardiovascular disease in healthy individuals: a review of human intervention trials // *Nutrients*. 2020;(12):12. <https://doi.org/10.3390/nu12082329>.

16. Pereira M., Liang J., Edwards-Hicks J. et al. Arachidonic acid inhibition of the NLRP3 inflammasome is a mechanism to explain the anti-inflammatory effects of fasting // *Cell reports*. 2024;43(2):113700. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2024.113700>.

17. De Souza E. O., Lowery R. P., Wilson J. M. et al. Effects of arachidonic acid supplementation on acute anabolic signaling and chronic functional performance and body composition adaptations // *PLoS One*. 2016;11(5):e0155153. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155153>.

18. Roberts M. D., Iosia M., Kerksick C. M. et al. Effects of arachidonic acid supplementation on training adaptations in resistance-trained males // *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2007;4:21. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-4-21>.

19. Mullins V. A., Snider J. M., Michael B. et al. Impact of fish oil supplementation on plasma levels of highly unsaturated fatty acid-containing lipid classes and molecular species in American football athletes // *Nutrition & metabolism*. 2024;21(1):43. <https://doi.org/10.1186/s12986-024-00815-x21>.

20. Mashkin A. I., Zacepina E. V., Kolomycev M. V., Perepelica K. N. The level of urea in the blood as a marker of the degree of recovery in rowing // *E-Scio*. 2022;(9(72)):2–7. (In Russ.).

21. Deryugina A. V., Bojarinov G. A., Jastrebov P. V. et al. The effect of fish oil and ozonated fish oil on clinical and

laboratory parameters of red blood and functional activity of rats under excessive exercise in the experiment // *Vestnik novykh medicinskih tekhnologij*. 2024;31(3):83–89. (In Russ.).

22. Muhamedzhanov E. K. Lactate is the most important regulator of glucose homeostasis // *Nauchnye izvestiya*. 2022;(29):98–104. (In Russ.).

23. Lindinger Mi., Kowalchuk J. M., Heigenhauser G. J. Applying physicochemical principles to skeletal muscle acid-base status // *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*. 2006;289(3):891–894. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00225.2005>.

24. Spasskij A. A., Myagkova M. A., Levashova A. I. et al. Methodology of comprehensive assessment of the athlete's adaptive potential to the load // *Sportivnaya medicina: nauka i praktika*. 2019;9(3):49–61. (In Russ.).

25. Slivkoff-Clark K. M., James A. P., Mamo J. C. The chronic effects of fish oil with exercise on postprandial lipaemia and chylomicron homeostasis in insulin resistant visceraally obese men // *Nutr Metab (Lond)*. 2012;9:9. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-9-9>.

26. Kiselevich V. E., Bessonova N. E., Bojarinov G. A. et al. The complex of ozonated unsaturated fatty acids and its application. Patent. Bjul. № 19. 08.07.2020. R U 2725980 C 1. (In Russ.).

27. Melnikova N. B., Malygina D. S., Yastrebov P. V. et al. The effect of 1,2,4-trioxolanes with betulin in fish oil on oxidative and energy metabolism under hypoxia and immobilization stress in rats // *Opera Medica et Physiologica*. 2023;10(3):32–48. <https://doi.org/10.24412/2500-2295-2023-3-32-48>.

28. Gorohov N. M., Timoshchenko L. V. Changes in the activity of individual serum enzymes in athletes of different specializations during short-term physical activity // *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*. 2007;(10):26–28.

29. Shamitova E. N., Aleksandrova N. L., Mihajlova K. N. Biohimicheskij kontrol' reakcii organizma na povyshennuju fizicheskuyu nagruzku [Biochemical control of the body's response to increased physical activity // *Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki*. 2018;(2):27–31. (In Russ.).

30. Aliev C. A. The effect of intense physical exertion on oxidative stress and antioxidant changes in the body of athletes // *Kronos: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2020;(2(30)):17–22. (In Russ.).

31. Deryugina A. V., Jastrebov P. V., Bojarinov G. A. et al. The effect of fish oil and ozonated fish oil on the oxidative status of animals during exercise simulation // *Uchjonye zapiski Pervogo Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta imeni akademika I. P. Pavlova*. 2024;31(1):28–36. (In Russ.). <https://doi.org/10.24884/1607-4181-2024-31-1-28-36>.

32. Gilep I. L., Budko A. N., Gavrilova S. O. et al. Determination of reference intervals of biochemical blood parameters, taking into account the type of sport when performing training loads of various orientations // *Prikladnaja sportivnaja nauka*. 2021;(1(13)):28–35. (In Russ.).

33. Radzhabkadiyev R. M. Biochemical markers of adaptation of highly qualified athletes to various physical activities // *Nauka i sport: sovremennye tendencii*. 2019;(2):81–89. (In Russ.).

34. Peak J. M., Neubauer O., Della Gatta P. A., Nosaka K. Muscle damage and inflammation during recovery from exercise // *J Appl Physiol*. 2017;(122):559–570.

35. Malygina D. S., Jastrebov P. V., Fajans A. Je. et al. Pharmaceutical composition of 1,2,4-trioxolanes with betulin in fish oil. Effects on oxidative and energy metabolism in the treatment of burns in rats // *Acta Biomedica Scientifica*. 2024;9(2):253–263.

36. Zamora Z., Gonzalez R., Guanche D. et al. Antioxidant mechanism is involved in the gastroprotective effects of ozonized sunflower oil in ethanol-induced ulcers in rats // *Mediators Inflamm*. 2007;2007:65873. <https://doi.org/10.1155/2007/65873>.

37. Zamora Z., Gonzalez R., Guanche D., Merino N., Menendez S., Hernandez F., Alonso Y., Schulz S. Ozonized sunflower oil reduces oxidative damage induced by indomethacin in rat gastric mucosa // *Inflamm Res*. 2008;57(1):39–43. <https://doi.org/10.1007/s00011-007-7034-1>.

38. Mickleborough T. D. Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids in Physical Performance Optimization // *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2013;(23):83–96.

39. Joumard-Cubizolles L., Lee J. C., Vigor C. et al. Insight into the contribution of isoprostanooids to the health effects of omega 3 PUFAs // *Prostaglandins & Other Lipid Mediators*. 2017;(133):111–122. <https://doi.org/10.1016/j.prostaglandins.2017>.

Информация об авторах

Князева Екатерина Александровна, магистр кафедры физиологии и анатомии Института биологии и биомедицины, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского (г. Нижний Новгород, Россия), ORCID: 0009-0009-8753-4841; **Дерюгина Анна Вячеславовна**, доктор биологических наук, доцент, зав. кафедрой физиологии и анатомии Института биологии и биомедицины, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского (г. Нижний Новгород, Россия), ORCID: 0000-0001-8812-8559; **Ястребов Павел Викторович**, младший научный сотрудник кафедры физиологии и анатомии Института биологии и биомедицины, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского (г. Нижний Новгород, Россия), ORCID: 0009-0008-0443-9527; **Бояринов Геннадий Андреевич**, доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник кафедры физиологии и анатомии Института биологии и биомедицины, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского; профессор кафедры анестезиологии, реаниматологии и трансфузиологии, Приволжский исследовательский медицинский университет (г. Нижний Новгород, Россия), ORCID: 0000-0002-7557-0564.

Information about authors

Knyazeva Ekaterina A., Master of the Department of Physiology and Anatomy of the Institute of Biology and Biomedicine, Lobachevsky State University (Nizhny Novgorod, Russia), ORCID: 0009-0009-8753-4841; **Deryugina Anna V.**, Dr. of Sci. (Biol.), Professor, Head of the Department of Physiology and Anatomy of the Institute of Biology and Biomedicine, Lobachevsky State University (Nizhny Novgorod, Russia), ORCID: 0000-0001-8812-8559; **Yastrebov Pavel V.**, Junior Research Fellow of the Department of Physiology and Anatomy of the Institute of Biology and Biomedicine, Lobachevsky State University (Nizhny Novgorod, Russia), ORCID: 0009-0008-0443-9527; **Bojarinov Gennady A.**, Dr. of Sci. (Med.), Professor, Leading Research Fellow of the Department of Physiology and Anatomy of the Institute of Biology and Biomedicine, Lobachevsky State University; Professor of the Department of Anesthesiology, Reanimatology and Transfusiology, Privolzhsky Research Medical University (Nizhny Novgorod, Russia), ORCID: 0000-0002-7557-0564.