

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.4>

УДК: 796.015.6; 615.03; 577.2+661.961

Тип статьи: Оригинальная статья / Original research



Влияние водородных ингаляций на функциональные характеристики и газовые биомаркеры кишечника у спортсменов-борцов при физической нагрузке

О.С. Медведев^{1,2}, А.А. Южаков³, О.Л. Коннова⁴, О.В. Поварова^{1,*}

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва, Россия

² Научно-исследовательский институт экспериментальной кардиологии имени академика В.Н. Смирнова ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии имени академика Е.И. Чазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

³ Региональная физкультурно-спортивная общественная организация «Федерация смешанного боевого единоборства (ММА) Пермского края», Пермь, Россия

⁴ ГБУЗ Пермского края «Врачебно-физкультурный диспансер», Пермь, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: изучение влияния периодических ингаляций молекулярного водорода в течение одного месяца на основные характеристики работоспособности, уровень лактата и другие биохимические показатели, определяемые в крови молодых спортсменов-борцов после физической нагрузки.

Материалы и методы. В проспективном клиническом исследовании приняли участие 10 здоровых добровольцев-спортсменов, которым проводился анализ уровня водорода и метана в выдыхаемом воздухе, общеклинический и биохимический анализы крови, оценивались физиологические параметры состояния сердечно-сосудистой системы и основные характеристики работоспособности после физической нагрузки до и после ингаляций молекулярного водорода.

Результаты. Ингаляции с молекулярным водородом привели к снижению уровня метана в выдыхаемом воздухе (преимущественно у метанопродукторов), уменьшению щелочной фосфатазы, увеличению тромбинового времени, активированного частичного тромбопластинового времени, а также снижению уровня лактата до физических нагрузок с увеличением после физических нагрузок. В общеклиническом анализе крови статистически значимых изменений выявлено не было. При проведении тредмил-теста ингаляции молекулярного водорода приводили к снижению диастолического артериального давления на уровне аэробного порога и анаэробного порога с увеличением дыхательного коэффициента. В тесте на гребном тренажере после ингаляций молекулярного водорода было выявлено увеличение дистанции, пройденной за две минуты, а также более быстрое восстановление систолического артериального давления на пятой минуте после окончания нагрузки.

Заключение. Полученные данные свидетельствуют о положительном влиянии ингаляций молекулярного водорода на состояние свертывающей системы крови и состояние сердечно-сосудистой системы, что вносит вклад в улучшение показателей работоспособности и выносливости при физической нагрузке у спортсменов.

Ключевые слова: ингаляции с молекулярным водородом, концентрация водорода и метана в выдыхаемом воздухе, лактат, свертывающая система крови, тредмил-тест, гребной тренажер

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности: авторы выражают глубокую признательность всем добровольцам — спортсменам Пермского клуба ММА Центр, принявшим участие в данном исследовании. Авторы признательны всем медицинским сотрудникам ГБУЗ ПК «Врачебно-физкультурный диспансер», принявшим активное участие в проведении данного исследования: Сиротину А. Б., Клестову В. В., Гининой Е. В., Журавлевой В. В., Захарову С. Г., Новикову Д. В., Симоненкову С. И., Шиловой С. Н., Капитоновой Л. С.

Для цитирования: Медведев О.С., Южаков А.А., Коннова О.Л., Поварова О.В. Влияние водородных ингаляций на функциональные характеристики и газовые биомаркеры кишечника у спортсменов-борцов при физической нагрузке. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2025;15(2):20–30. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.4>

Поступила в редакцию: 04.07.2025

Принята к публикации: 01.09.2025

Online first: 06.11.2025

Опубликована: 14.11.2025

* Автор, ответственный за переписку

Effect of hydrogen inhalation on functional characteristics and intestinal gas biomarkers in wrestlers during physical exercise

Oleg S. Medvedev^{1,2}, Aleksey A. Uzhakov³, Olga L. Konnova⁴, Oxana V. Povarova^{1,*}

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²Scientific Research Institute of Experimental Cardiology named after Academician V.N. Smirnov, "National Medical Research Centre of Cardiology named after Academician E.I. Chazov", Moscow, Russia

³Perm City Federation of Martial Arts, Perm, Russia

⁴Sports Medicine Dispensary, Perm, Russia

ABSTRACT

Purpose of the study: to investigate the effect of periodic hydrogen inhalations for one month on the main performance characteristics, lactate levels and other biochemical parameters determined in the blood of young wrestlers after physical activity.

Materials and methods. 10 healthy volunteer athletes took part in a prospective clinical study. The analysis of hydrogen and methane levels in exhaled air, complete blood count and biochemical blood parameters, physiological parameters of the cardiovascular system, the main performance characteristics after physical activity before and after hydrogen inhalations were carried out.

Results. Hydrogen inhalations led to a decrease in the methane level in the exhaled air mainly of methane producers. A decrease in alkaline phosphatase, an increase in thrombin time, activated partial thromboplastin time, a decrease in lactate levels before exercise with an increase after exercise were noted. No changes were found in the complete blood count. A decrease in diastolic blood pressure at the aerobic threshold and anaerobic threshold with an increase in the respiratory coefficient was noted in the treadmill test. An increase in the distance covered in 2 minutes, as well as a faster recovery of systolic blood pressure at the 5th minute were found in the rowing machine test.

Conclusion. The obtained data indicate a positive effect of hydrogen inhalation on the blood coagulation and cardiovascular system, alkaline phosphatase, which makes an important contribution to improving performance and endurance during physical exercise in athletes.

Keywords: molecular hydrogen inhalation, hydrogen and methane concentration in exhaled air, lactate, blood coagulation system, treadmill test, rowing machine test

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments: the authors express their deep gratitude to all volunteer athletes of the Perm MMA Center club who took part in this study. The authors are grateful to all medical staff of the State Budgetary Healthcare Institution of the Perm Region "Sports medicine dispensary" who took an active part in conducting this study: Sirotin A.B., Klestov V.V., Ginina E.V., Zhuravleva V.V., Zakharov S.G., Novikov D.V., Simonenkov S.I., Shilova S.N., Kapitonova L.S.

For citation: Medvedev O.S., Uzhakov A.A., Konnova O.L., Povarova O.V. Effect of hydrogen inhalation on functional characteristics and intestinal gas biomarkers in wrestlers during physical exercise. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2025;15(2):20–30. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.4>

Received: 07 July 2025

Accepted: 01 September 2025

Online first: 06 November 2025

Published: 14 November 2025

*Corresponding author

1. Введение

Известно, что физические нагрузки вызывают развитие окислительного стресса, при котором активные формы кислорода (АФК) появляются в сокращающихся скелетных мышцах человека и животных, и их можно зарегистрировать как в мышцах, так и в крови [1, 2]. Образование АФК в скелетных мышцах может влиять на здоровье и функцию скелетных мышц как положительно, так и отрицательно, что зависит от баланса между интенсивностью их образования и функциональными характеристиками антиоксидантных систем клеток организма, защищающих последние от избытка активных радикалов. В последние годы было показано, что регулярные физические нагрузки не только не вызывают

развитие хронического окислительного стресса в скелетных мышцах, но малые средние уровни АФК способствуют развитию адаптации скелетных мышц к физической нагрузке. Основные механизмы положительного воздействия умеренных концентраций АФК, прежде всего перекиси водорода (H₂O₂), на функцию и адаптацию скелетных мышц к выполнению физических нагрузок подробно описаны в обзоре Powers и соавт., опубликованном в 2024 году [2]. Напротив, высокие уровни АФК, возникающие при интенсивных или длительных субмаксимальных нагрузках, вызывают повреждение скелетных мышц и являются одним из факторов развития мышечного утомления. Состояние организма, при котором высокие концентрации АФК при высокоинтенсивных

нагрузках вызывают повреждение тканей, обозначается термином «гормесис» (hormesis) [3]. Установление важной роли АФК как в механизмах адаптации к выполнению нагрузки (при умеренных концентрациях), так и в повреждении скелетных мышц (при высоких концентрациях) логично вызвало интерес к изучению эффектов антиоксидантов. Идеальными представляются антиоксиданты, которые не влияли бы на механизмы развития адаптации, но подавляли эффекты наиболее агрессивных АФК типа -ОН или пероксинитрита.

Именно к таким антиоксидантам относится молекулярный водород, антиоксидантные свойства которого были установлены в 2007 году [4]. Он способен оказывать антиоксидантное действие путем нейтрализации -ОН или пероксинитрита, не оказывая прямого действия на уровень перекиси водорода [5, 6] и, таким образом, не подавляя положительные эффекты низких концентраций АФК при умеренном повышении их уровней в скелетных мышцах.

В спортивной медицине выполнено достаточно большое количество исследований по изучению эффектов молекулярного водорода, при которых преимущественно используются два вида введения — в виде насыщенной водородом воды и в виде ингаляций, содержащих разные концентрации водорода (от 2 до 66 %) во вдыхаемом воздухе. С учетом особенностей фармакокинетики водорода ингаляционный путь введения представляется более перспективным, так как при нем концентрация водорода в скелетных мышцах может поддерживаться на более высоком уровне в течение всего периода ингаляции. Тогда как при приеме воды, насыщенной водородом, последний полностью элиминируется из организма в течение 40–45 минут с выдыхаемым воздухом [7].

Обзор результатов употребления воды, насыщенной водородом, в суточной дозе от 500 до 2520 мл в небольших группах спортсменов (от 8 до 37 человек) показал возможность ускорения бега у спринтеров, возрастание пиковой и средней нагрузки, тогда как уровень лактата после физической нагрузки снижался в одних работах и не изменялся в других. В большинстве исследований отмечалось снижение болезненных ощущений в скелетных мышцах после тренировок и снижение индекса утомляемости [8]. Длительное применение «водородной воды» (в течение 28 дней) у элитных спортсменок, получаемой при растворении магнийсодержащих таблеток, сопровождалось увеличением мышечной массы, максимальной силы сокращений мышц и ускорением восстановления после физической нагрузки [9]. Механизмы, ответственные за положительные эффекты молекулярного водорода, включают стимуляцию митогенеза с большей продукцией АТФ, белков теплового шока, подавление образования провоспалительных цитокинов [10].

В исследовании Dong и соавт. ингаляции водорода в концентрации около 4% применялись перед тестированием максимально переносимой нагрузки на велоэргометре у 24 молодых спортсменов. Их применение

сопровождалось снижением утомления, вызванного ступенчато возрастающей нагрузкой, сохранением функциональных возможностей и снижением уровней гидроксильных радикалов и уровня молочной кислоты после нагрузки [11].

Противоречивость опубликованных в литературе данных о влиянии молекулярного водорода на максимальную мощность выполняемой работы, на уровень лактата при выполнении физической нагрузки явилось причиной выполнения настоящей работы. Основной целью проведенного исследования было изучение влияния периодических ингаляций молекулярного водорода в течение одного месяца на основные характеристики работоспособности, уровень лактата в крови, а также на ряд биохимических параметров, определяемых в крови после физической нагрузки в группе молодых спортсменов-борцов.

2. Материалы и методы

Проспективное клиническое исследование проводилось на базе ГБУЗ Пермского края «Врачебно-физкультурный диспансер» в период с сентября по декабрь 2024 г. Исследование было одобрено Локальным этическим комитетом (протокол № 131 от 30 августа 2024 г.). В исследовании приняли участие здоровые спортсмены смешанных спортивных единоборств мужского пола ($n = 10$). Среди участников были выступающие, действующие спортсмены и любители. Средний возраст участников составил 20 лет (19; 26). Дизайн исследования представлен на рисунке 1.

Ингаляции с молекулярным водородом проводились с помощью генератора водорода MN-H0900 (компания Xiamen Moneng Technology Co., Ltd, Китай) их длительность варьировалась от 30 до 120 минут. Для ингаляций использовались индивидуальные канюли, через которые участники получали 600 мл водорода и 300 мл кислорода (смесь 66% водорода и 34% кислорода).

До и после проведения сеансов ингаляций молекулярного водорода у участников исследования проводился гематологический скрининг, в который входили общий анализ крови с развернутой лейкоцитарной формулой и биохимический анализ крови.

Общий анализ крови проводился на автоматическом гематологическом анализаторе Mindray BC-5380 (компания Shenzhen Mindray Bio-Medical Electronics Co., Ltd, Китай). Анализ крови на глюкозу, лактат, гемоглобин проводился на анализаторе SUPER GL compact (компания Dr. Muller Geratbau GmbH, Германия). Анализ биохимических показателей крови (общий белок, альбумин, креатинин, общий билирубин, связанный билирубин, аланинаминотрансфераза (АЛТ), аспартатаминотрансфераза (АСТ), щелочная фосфатаза (ЩФ), общий холестерин, триглицериды, гликированный гемоглобин, калий, натрий, С-реактивный белок (СРБ), а также показатели коагулограммы (активированное частичное

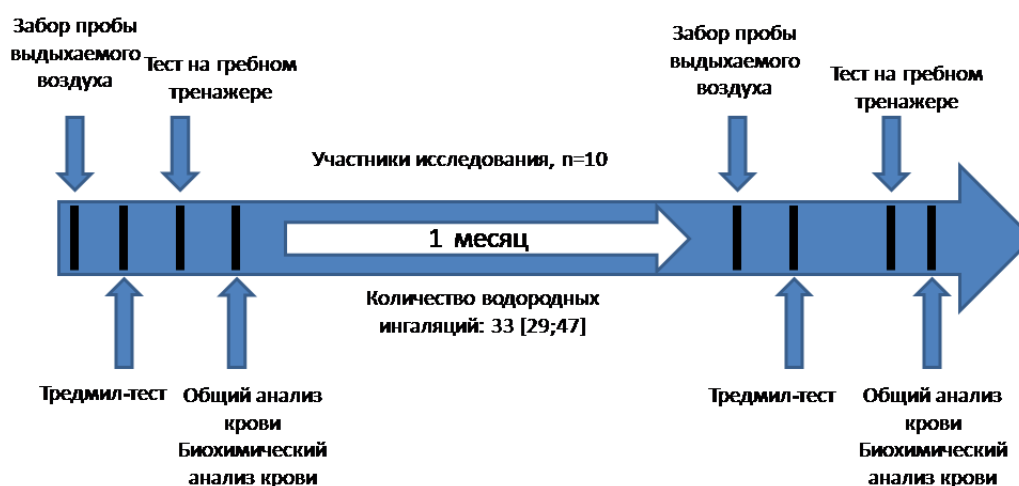


Рис. 1. Дизайн исследования
Fig. 1. Study design

тромбопластиновое время (АЧТВ), тромбиновое время (ТВ), протромбиновый индекс (ПТИ), протромбиновое время (ПТВ), международное нормализованное отношение (МНО), фибриноген) проводился на оборудовании клинической лаборатории согласно общепринятой методике.

В протокол исследования входили два теста с физической нагрузкой: тредмил-тест с газоанализатором и тест на гребном тренажере.

Тесты с нагрузкой проводились до начала сеансов с ингаляцией с молекулярным водородом и после их окончания.

Тредмил-тест с газоанализатором проводился в соответствии с общепринятым протоколом для нагрузочного тестирования спортсменов на беговой дорожке (компания Treadmill QS600, Китай) с газоанализатором под контролем электрокардиограммы с использованием программного обеспечения CardioSoft и MetaSoft. Использовался протокол многоступенчатой нагрузки, включающий 11 ступеней (длительность каждой ступени — 2 минуты), с максимальным углом подъема 12%. В ходе тредмил-теста оценивались частота сердечных сокращений (ЧСС), артериальное давление (АД), частота дыхания, объем вентиляции, время наступления аэробного и анаэробного порогов, максимальное потребление кислорода и дыхательный коэффициент.

Тест на гребном тренажере для академической гребли проводился согласно общепринятой методике. Тренажер использовался для фиксации ускорения восстановления спортсменов при физической нагрузке. Регистрация показателей сердечно-сосудистой системы (ЧСС и АД) проводилась с использованием кардиомонитора. Спортсмены выполняли упражнение на тренажере в течение 2 минут на нагрузке «16», после окончания упражнения каждую минуту производилась оценка ЧСС и АД в течение 5 минут. При проведении теста на гребном тренажере оценивались индивидуальная норма ЧСС — максимум для каждого участника (220 минус возраст),

дистанция, пройденная за две минуты (в метрах), ЧСС перед началом теста, АД систолическое и диастолическое перед началом теста, максимальная ЧСС, динамика восстановления ЧСС и АД в течение 5 минут после окончания теста.

В ходе исследования дважды (в начале и в конце исследования) оценивалось содержание водорода и метана в выдыхаемом воздухе участников исследования. Методика сбора проводилась согласно общепринятым правилам сбора. Пробы с выдыхаемым воздухом собирались в алюминиевые пакеты (компания Guangzhou Itingbaby Tech Co., Китай), из которых воздух анализировали на содержание водорода (H_2), метана (CH_4) и кислорода (O_2) на газоанализаторе Gastroch4eck (компания Bedfont, Великобритания) не позже чем через семь дней после забора образцов выдыхаемого воздуха. Концентрации H_2 и CH_4 были скорректированы с учетом истинного содержания кислорода для стандартизации по уровням альвеолярного газа и представлены в ppm (parts per million, частей на миллион).

Статистические методы

Нормальность распределения проверялась с помощью критерия Шапиро — Уилка. Для сравнения данных для зависимых выборок с ненормальным распределением использовался дисперсионный анализ с критерием Фридмана. Корреляции рассчитывались с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Все данные представлены как медиана [квартиль 1; квартиль 3] (Me [Q1; Q3]). Статистический анализ результатов проведен с использованием программного обеспечения IBM SPSS Statistics, версия 26.

3. Результаты исследования

В исследовании приняли участие 10 спортсменов мужского пола смешанных спортивных единоборств (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика участников исследования

Table 1

Characteristics of the study participants

Количество участников	10
Возраст (лет)	20 (19; 26)
Пол (муж/жен)	10/0
Вес (кг)	72 (67; 73)
ИМТ (кг/м ²)	21 (20; 22)
Водородные сеансы, <i>n</i>	33 (29; 47)

Примечание: данные представлены в виде медианы с указанием межквартильного размаха 25-й и 75-й процентиля (Me (Q1; Q3)).

Note: The data are presented as medians with an interquartile range (Me [Q1; Q3]).

Таблица 2

Анализ газового состава (H₂ и CH₄) выдыхаемого воздуха у участников исследования до проведения сеансов с водородом и после

Table 2

Analysis of the gas composition (H₂ and CH₄) of exhaled air in study participants before and after hydrogen inhalation

Показатели	Исходный уровень		После ингаляций с водородом	
	H ₂ -продуценты (<i>n</i> = 7)	CH ₄ -продуценты (<i>n</i> = 3)	H ₂ -продуценты (<i>n</i> = 7)	CH ₄ -продуценты (<i>n</i> = 3)
	Me (Q1; Q3)	Me (Q1; Q3)	Me (Q1; Q3)	Me (Q1; Q3)
H ₂ , ppm	22 (14;35)	16 (9; 18)	10 (9; 26)	8 (5; 23)
CH ₄ , ppm	0	36 (21; 44)	0	4 (3; 7)*

Примечание: результаты представлены в виде медианы с указанием межквартильного размаха 25-й и 75-й процентиля (Me (Q1; Q3)); * *p* = 0,014 относительно исходного уровня.

Note: The data are presented as medians with an interquartile range (Me [Q1; Q3]); * *p* = 0.014 relative to baseline.

Продукция кишечных газов оценивалась до начала исследования и в конце исследования (табл. 2).

Из 10 участников исследования семь являлись водородопродуцентами, а трое — метанопродуцентами. У всех участников после ингаляций с водородом отмечалось снижение содержания метана в выдыхаемом воздухе, которое было статистически значимым в группе метанопродуцентов (*p* = 0,014).

Показатели общеклинического анализа крови после ингаляций водорода достоверно не изменялись. На фоне ингаляций водорода отмечались статистически значимые изменения показателей биохимического анализа крови (табл. 3).

Ингаляции водорода достоверно снижали уровень щелочной фосфатазы (*p* = 0,005) и уровня лактата до физической нагрузки (*p* = 0,032). После ингаляций водорода отмечалось двукратное повышение лактата на фоне физической нагрузки (*p* = 0,005) и отмечалось статистически незначимое снижение уровней АЛТ и АСТ, общего холестерина. Ингаляции водорода сопровождалась изменением показателей свертывающей системы крови в сторону гипокоагуляции: уменьшение протромбинового индекса (ПТИ) (*p* = 0,041), увеличение

тромбинового времени (ТВ) (*p* = 0,05), активированного парциального (частичного) тромбoplastинного времени (АЧТВ) (*p* = 0,007). Отмечалось снижение уровня фибриногена без статистически значимой разницы между измерениями до сеансов водорода и после.

В ходе исследования проведены два теста с физической нагрузкой в виде тредмил-теста и теста на гребном тренажере. Каждый из тестов проводился дважды: до ингаляций водородом и после (табл. 4 и 5).

Во время тестов с физической нагрузкой (тредмил-тест и тест на гребном тренажере) до и после ингаляций спортсмены чувствовали себя хорошо, жалоб не предъявляли. В процессе проведения тредмил-теста патологических изменений на электрокардиограмме выявлено не было. При повторном тестировании наблюдалось замедление прироста частоты сердечных сокращений (4 участника), замедление прироста артериального давления (3 участника), повышение максимального потребления кислорода (1 участник) и улучшение восстановительного периода (4 участника).

При сравнении показателей тредмил-теста у участников до и после ингаляций молекулярного водорода было выявлено статистически значимое снижение

Таблица 3

Показатели биохимического анализа крови участников исследования до проведения водородных ингаляций и после

Table 3

Biochemical blood test results of study participants before and after hydrogen inhalation

Показатели	До сеансов	После сеансов	p
	Me (Q1; Q3)	Me (Q1; Q3)	
ЩФ, Ед/л	97 (90; 144)	89 (75; 118)	0,005
ПТИ, %	93,0 (86,5; 97,5)	84,5 (79,0; 88,8)	0,041
АЧТВ, сек	25,5 (25; 27)	28,5 (27,2; 30)	0,007
ТВ, сек	13 (13; 13)	14 (14; 15)	0,05
Лактат до нагрузки, ммоль/л	2,05 (1,8; 2,5)	1,55 (1,4; 1,6)	0,032
Лактат после нагрузки, ммоль/л	6,9 (6,3; 7,2)	13 (9,3; 17,4)	0,005

Примечание: результаты представлены в виде медианы с указанием межквартильного размаха 25-й и 75-й процентиля (Me (Q1; Q3)); ЩФ — щелочная фосфатаза; ПТИ — протромбиновый индекс; АЧТВ — активированное частичное тромбопластиновое время; ТВ — тромбиновое время.

Note: the data are presented as medians with an interquartile range (Me [Q1; Q3]); ALP — alkaline phosphatase; PTI — prothrombin index; АРТТ — activated partial thromboplastin time; TT — thrombin time.

Таблица 4

Показатели тредмил-теста участников исследования до проведения водородных ингаляций и после

Table 4

Treadmill test results of study participants before and after hydrogen inhalation

Показатели	До сеансов	После сеансов	p
	Me (Q1; Q3)	Me (Q1; Q3)	
ЧСС исходно, уд/мин	80 (74; 90)	82 (76; 90)	0,05
АДс исходно, мм рт. ст.	120 (116; 120)	120 (114; 121)	0,05
АДд исходно, мм рт. ст.	80 (72; 80)	78 (74; 80)	0,05
Время переносимости до ПАНО, мин	13 (13; 13)	13 (12; 15)	0,05
АП, время, мин	7 (6; 8)	7 (7; 7)	0,05
АП, ЧСС, уд/мин	130 (121; 134)	126 (125; 150)	0,05
АП, АД с, мм рт. ст.	135 (130; 147)	140 (135; 146)	0,05
АП, АД д, мм рт. ст.	75 (60; 80)	60 (58; 70)	0,024
АП VO ₂ , л/мин	2,03 (2,01; 2,2)	2,1 (1,99; 2,26)	0,05
АП, ДК	0,85 (0,85; 0,85)	0,85 (0,85; 0,85)	0,05
ПАНО, время мин	13 (13; 14)	13 (12; 14)	0,05
ПАНО, ЧСС, уд/мин	175 (167; 183)	179 (171; 186)	0,05
ПАНО, АДс, мм рт. ст.	160 (150; 167)	160 (160; 168)	0,05
ПАНО, АДд, мм рт. ст.	60 (60; 75)	50 (50; 50)	0,039
ПАНО, VO ₂ , л/мин	3 (3; 4)	3 (3; 4)	0,05
ПАНО, ДК	1,00 (0,98; 1,03)	1,05 (1,01; 1,07)	0,043
МПК, мл/мин/кг	48 (44; 50)	47 (43; 51)	0,05
Восстановительный период			
ЧСС 5 мин, уд/мин	92 (87; 96)	93 (91; 106)	0,05
АДс 5 мин, мм рт. ст.	120 (120; 135)	120 (118; 120)	0,05
АДд 5 мин, мм рт. ст.	80 (80; 80)	80 (70; 80)	0,05

Примечание: результаты представлены в виде медианы с указанием межквартильного размаха 25-й и 75-й процентиля (Me (Q1; Q3)); ЧСС — частота сердечных сокращений; АДс — систолическое артериальное давление; АДд — диастолическое артериальное давление; АП — аэробный порог; ПАНО — анаэробный порог; МПК — максимальное потребление кислорода; ДК — дыхательный коэффициент, рассчитанный как отношение образовавшегося углекислого газа к потребленному кислороду.

Note: the data are presented as medians with an interquartile range (Me [Q1; Q3]); HR — heart rate; SBP — systolic blood pressure; DBP — diastolic blood pressure; AerT — aerobic threshold; AnT — anaerobic threshold; VO₂ max — peak oxygen consumption per kilogram of body weight per minute, ml/min/kg; RQ — respiratory quotient, calculated as the ratio of the formed carbon dioxide to the consumed oxygen.

Таблица 5

Показатели теста на гребном тренажере у участников исследования до проведения водородных ингаляций и после

Table 5

Rowing machine test results of study participants before and after hydrogen inhalation

Показатели	До сеансов	После сеансов	p
	Me (Q1; Q3)	Me (Q1; Q3)	
Дистанция, пройденная за 2 мин, м	379 (318; 413)	439 (426; 465)	0,015
ЧСС исходно	72 (72; 84)	84 (72; 84)	> 0,05
ЧСС тах на 1 мин, уд/мин	177 (163; 178)	177 (170; 177)	> 0,05
ЧСС на 5 мин, уд/мин	97 (82; 107)	107 (95; 114)	> 0,05
АДс исходно, мм рт. ст.	133 (113; 135)	123 (116; 129)	> 0,05
АДс тах-1 мин, мм рт. ст.	160 (153; 160)	163 (150; 169)	> 0,05
АДс на 5 мин, мм рт. ст.	140 (136; 140)	130 (130; 139)	0,016
АДд исходно, мм рт. ст.	80 (80; 80)	80 (70; 80)	> 0,05
АДд тах на 1 мин, мм рт. ст.	65 (53; 70)	70 (60; 79)	> 0,05
АДд на 5 мин, мм рт. ст.	75 (70; 80)	80 (71; 80)	> 0,05

Примечание: результаты представлены в виде медианы с указанием межквартильного размаха 25-й и 75-й процентиля (Me (Q1; Q3)); ЧСС — частота сердечных сокращений; АДс — систолическое артериальное давление; АДд — диастолическое артериальное давление. *Note:* the data are presented as medians with an interquartile range (Me [Q1; Q3]); HR — heart rate; SBP — systolic blood pressure; DBP — diastolic blood pressure.

диастолического артериального давления как на фоне аэробной нагрузки ($p = 0,039$), так и на фоне постанэробной нагрузки ($p = 0,043$), а также показаний дыхательного коэффициента ($p = 0,043$).

При сравнении показателей теста на гребном тренажере у участников до и после ингаляций молекулярного водорода были выявлены статистически значимое увеличение дистанции, которое участники преодолевают за две минуты ($p = 0,015$). Отмечалось снижение систолического артериального давления, регистрируемого у участников на пятой минуте исследования ($p = 0,016$).

Также были выявлены статистически значимые корреляционные взаимосвязи между целым рядом показателей общеклинического анализа крови, биохимического анализа крови, а также физиологических параметров, оцениваемых в тредмил-тесте и тесте на гребном тренажере) у участников до и после ингаляций (табл. 6, 7).

4. Обсуждение

У всех участников после ингаляций с молекулярным водородом отмечалось снижение содержания метана в выдыхаемом воздухе, статистически значимое в группе метанопродукторов ($p = 0,014$). H_2 и CH_4 являются продуктами метаболизма микробиоты кишечника [12]. H_2 является продуктом ферментации углеводов, преимущественно содержащихся в пищевых волокнах, участвует в антиоксидантной защите организма. Метан образуется из водорода и других углеродсодержащих продуктов метаболизма в кишечнике, уменьшая антиоксидантное действие водорода. Полученные в нашем

исследовании результаты о снижении уровня метана у спортсменов-метанопродукторов свидетельствуют о положительном влиянии ингаляций водорода на организм спортсменов.

В проведенном исследовании не было выявлено статистически значимых изменений показателей общего анализа крови после ингаляций водорода, что согласуется с опубликованными ранее в литературе экспериментальными и клиническими исследованиями с различными путями введения водорода на фоне физических нагрузок [13]. При анализе влияния ингаляций водорода на биохимические показатели было выявлено достоверное снижение уровня щелочной фосфатазы (ЩФ), которая отвечает за выработку фосфата, необходимого для формирования костей [14]. У людей ЩФ кодируется четырьмя гомологичными генами, из которых три (плацентарная ЩФ, герминогенная ЩФ и кишечная ЩФ) являются тканеспецифичными с крайне ограниченной экспрессией. Четвертая изоформа, тканенеспецифичная ЩФ присутствует во многих тканях, но особенно много в костной ткани, почках и центральной нервной системе [15]. В последние годы появились данные об участии четвертой формы ЩФ в кальцификации сосудов [16]. В опубликованных на данный момент исследованиях с физической нагрузкой мы не нашли информации о влиянии водорода на уровень щелочной фосфатазы. Снижение уровня щелочной фосфатазы можно оценить как позитивное влияние водорода на состояние гепатоцитов, костно-мышечной системы участников исследования.

Таблица 6

Корреляционные взаимосвязи между показателями общеклинического анализа крови, биохимического анализа крови и физиологическими параметрами, оцениваемыми в тредмил-тесте, тесте на гребном тренажере у участников исследования до проведения водородных ингаляций

Table 6

Correlation relationships between the parameters of a complete blood count, a biochemical blood test and physiological parameters assessed in a treadmill test, a rowing machine test in study participants before hydrogen inhalation

Показатель	Показатель	r^2 , с указанием «-» или «+»	p
H ₂	Билирубин общий	-0,804	0,005
H ₂	ТВ	0,742	0,014
H ₂	АП АДс (тредмил-тест)	0,774	0,009
H ₂	ПАНО АДс	-0,667	0,035
H ₂	ПАНО, ДК (тредмил-тест)	-0,732	0,016

Примечание: ТВ — тромбиновое время; АП — аэробный порог; АДс — систолическое артериальное давление; ПАНО — анаэробный порог; ДК — дыхательный коэффициент, рассчитанный как отношение образовавшегося углекислого газа к потребленному кислороду за этот же промежуток времени.

Note: TT — thrombin time; AerT — aerobic threshold; SBP — systolic blood pressure; AnT — anaerobic threshold; RQ — respiratory quotient, calculated as the ratio of formed carbon dioxide to consumed oxygen over the same period of time.

Таблица 7

Корреляционные взаимосвязи между показателями общеклинического анализа крови, биохимического анализа крови и физиологическими параметрами, оцениваемыми в тредмил-тесте, тесте на гребном тренажере у участников исследования после проведения водородных сеансов

Table 7

Correlation relationships between the parameters of a complete blood count, a biochemical blood test and physiological parameters assessed in a treadmill test, a rowing machine test in study participants after hydrogen inhalation

Показатель	Показатель	r^2 , с указанием «-» или «+»	p
CH ₄	Фибриноген	0,802	0,005
CH ₄	ТВ	-0,714	0,02
CH ₄	РСТ (тромбоцит)	0,71	0,021
H ₂	Время переносимости нагрузки в тредмил-тесте до ПАНО	0,981	0,0001
H ₂	МПК	0,782	0,038
CH ₄	МПК	-0,757	0,049
H ₂	ЧСС max на 1 мин (тест на гребном тренажере)	-0,829	0,006
CH ₄	АД с на 5 мин (тест на гребном тренажере)	0,756	0,131

Примечание: ТВ — тромбиновое время; АДс — систолическое артериальное давление; ПАНО — анаэробный порог; ЧСС — частота сердечных сокращений; МПК — максимальное потребление кислорода; РСТ — тромбоцит.

Note: TV — thrombin time; BPS — systolic blood pressure; AnT — anaerobic threshold; HR — heart rate; VO₂max — maximum oxygen consumption; PCT — thrombocrit.

Влияние водорода на уровень лактата выразилось в статистически значимом снижении уровня лактата после физической нагрузки с повышением уровня лактата после физической нагрузки. В опубликованных на данный момент экспериментальных и клинических исследованиях отмечается противоречивость влияния водорода в различных лекарственных формах на уровень лактата на фоне физической нагрузки [13, 17]. Отмечается

как отсутствие значимых изменений [18–20], так и снижение уровня лактата [21, 22].

В проведенном исследовании впервые были получены данные о влиянии ингаляций молекулярного водорода на состояние свертывающей системы крови в сторону гипокоагуляции в виде статистически значимого снижения уровня ПТИ, увеличения времени АЧТВ и ТВ. Корреляционный анализ показателей

свертывающей системы крови и уровня водорода и метана в выдыхаемом воздухе подтвердил наличие статистически значимой положительной взаимосвязи между CH_4 и уровнем фибриногена ($r = 0,802, p = 0,005$), отрицательной взаимосвязи между CH_4 и ТВ после ингаляций ($r = -0,714, p = 0,02$). Полученные результаты согласуются с опубликованными результатами исследований *ex vivo*, подтверждающие антиагрегантные свойства водорода [23], способность улучшать реологические свойства крови [24]. Повышенный уровень метана показал себя положительным предиктором повышенного уровня фибриногена ($\beta = 0,547, p = 0,018$) и уменьшения ТВ ($\beta = 0,888, p = 0,010$).

В проведенном исследовании после ингаляций с водородом были выявлены корреляционные взаимосвязи между уровнем выдыхаемых газов и максимальным потреблением кислорода (МПК): положительная с водородом и отрицательная с метаном. Сходные результаты были опубликованы Nogi et al., которые на фоне длительного (2 недели) приема воды, обогащенной водородом, у спортсменов отметили повышение пикового потребления кислорода VO_2 на фоне повышения аэробной нагрузки [19].

Влияние ингаляций молекулярного водорода на состояние сердечно-сосудистой системы проявилось в статистически значимом снижении уровня диастолического давления в тредмил-тесте как на этапе аэробного порога (АП), так и в постанэробном периоде (ПАНО). В тесте на гребном тренажере отмечалось статистически значимое снижение систолического артериального давления на 5-й минуте после физической нагрузки по сравнению с исходным уровнем до ингаляций. В проведенном исследовании не было выявлено достоверного влияния ингаляций водорода на ЧСС в отличие от результатов Dong G. et al., которые отметили снижение ЧСС у спортсменов-гребцов после недельного приема воды, обогащенной водородом [25].

В проведенном исследовании в тесте на гребном тренажере ингаляции с водородом сопровождались

Вклад авторов:

Медведев Олег Стефанович — написание текста статьи, редактирование, утверждение финальной версии статьи.

Южаков Алексей Анатольевич — сбор материала.

Коннова Ольга Львовна — сбор материала.

Поварова Оксана Викторовна — написание текста статьи, сбор и статистическая обработка материала, редактирование финальной версии статьи.

Литература / References

1. Davies K.J., Quintanilha A.T., Brooks G.A., Packer L. Free radicals and tissue damage produced by exercise. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 1982;107(4):1198–1205. [https://doi.org/10.1016/s0006-291x\(82\)80124-1](https://doi.org/10.1016/s0006-291x(82)80124-1)
2. Powers S.K., Deminice R., Ozdemir M., Yoshihara T., Bomkamp M.P., Hyatt H. Exercise-induced oxidative stress:

улучшением работоспособности в виде увеличения дистанции, пройденной за две минуты исследования ($p < 0,05$). Полученные нами результаты не согласуются с данными исследования Dong G. et al., в котором у спортсменов-гребцов после недельного приема воды, обогащенной водородом, не отмечалось значительного увеличения преодоленной дистанции [25]. Полученное в нашем исследовании увеличение дистанции может быть связано с более пролонгированным (один месяц) периодом водородотерапии. После ингаляций в тредмил-тесте отмечалась прямая корреляционная взаимосвязь между уровнем водорода и временем переносимости нагрузки до уровня достижения анаэробного порога (ПАНО) ($p < 0,01$). В настоящее время опубликованы результаты клинических исследований, подтверждающие позитивное влияние водорода на основные характеристики работоспособности спортсменов [9, 26, 27].

Ограничением проведенного пилотного исследования является малая выборка испытуемых и отсутствие группы контроля, в связи с чем планируется проведение исследований с большим количеством участников для подтверждения полученных результатов.

5. Заключение

Полученные данные свидетельствуют о положительном влиянии ингаляций водорода на показатели свертывающей системы крови, уровень щелочной фосфатазы, состояние сердечно-сосудистой системы, что, по-видимому, определяет повышение работоспособности и выносливости при физической нагрузке у спортсменов. Важным является обнаруженный факт снижения уровня метана в выдыхаемом воздухе после ингаляций водорода, механизм которого остается до конца неясным и требует дальнейших исследований. Выявленные корреляционные взаимосвязи между уровнем водорода и метана в выдыхаемом воздухе участников и биохимическими показателями крови в связи с малой выборкой требуют проведения исследований с большим количеством участников.

Author contributions:

Oleg S. Medvedev — article text writing, editing, approval of the article final version.

Aleksey A. Uzhakov — collection of material.

Olga L. Konnova — collection of material.

Oxana V. Povarova — article text writing, collection and processing of material, editing of the article final version.

Friend or foe? *J. Sport Health Sci.* 2020;9(5):415–425. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.04.001>

3. Radak Z., Ishihara K., Tekus E., Varga C., Posa A., Balogh L., Boldogh I., Koltai E. Exercise, oxidants, and antioxidants change the shape of the bell-shaped hormesis curve. *Redox Biol.* 2017;12:285–290. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2017.02.015>

4. Ohsawa I., Ishikawa M., Takahashi K., Watanabe M., Nishimaki K., Yamagata K., Katsura K., Katayama Y., Asoh S.,

Ohta S. Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals. *Nat. Med.* 2007;13(6):688–694. <https://doi.org/10.1038/nm1577>

5. **Медведев О.С.** Современные взгляды на функциональную роль водорода и его кинетику в человеческом организме. *Пульмонология.* 2024;34(1):7–18. [Medvedev O.S. Current views on the functional role of hydrogen and its kinetics in the human body. *Pulmonologiya.* 2024;34(1):7–18. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2024-34-1-7-18>

6. **Russell G.** Theoretical evaluation of the biological activity of hydrogen. *Med. Gas Res.* 2025;15(2):266–275. <https://doi.org/10.4103/mgr.MEDGASRES-D-24-00083>

7. **Понуровский Я.Я., Ставровский Д.Б., Широков И.В., Романихин Ф.И., Бондаренко Г.Н., Литвинов А.В., Этрекова М.О., Карабиненко А.А., Климник В.А., Медведев О.С.** Новые возможности для анализа биологической роли водорода, метана и других биомаркеров активности микробиоты кишечника при использовании перестраиваемой диодной лазерной спектроскопии поглощения и селективных сенсоров водорода и кислорода. *Оптика и спектроскопия.* 2024;132(3):303–309. [Ponurovskii Ya.Ya., Stavrovskiy D.B., Shirokov I.V., Romanikhin F.I., Bondarenko G.N., Litvinov A.V., Etrekova M.O., Karabinenko A.A., Klimnik V.A., Medvedev O.S. New possibilities for analyzing the biological role of hydrogen, methane and other biomarkers of gut microbiota activity using tunable diode laser absorption spectrometry and selective hydrogen and oxygen sensors. *Optics and Spectroscopy.* 2024;132(3):303–309. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.61011/OS.2024.03.58150.35-24>

8. **Zhou Q., Li H., Zhang Y., Zhao Y., Wang C., Liu C.** Hydrogen-Rich Water to Enhance Exercise Performance: A Review of Effects and Mechanisms. *Metabolites.* 2024;14(10):537. <https://doi.org/10.3390/metabo14100537>

9. **Ogannisyan M., Slivin A., LeBaron T.W., Tarnava A., Karmazin V., Bazanovich S., Dolgachev V., Vychik A., Strizhkov A., Parastayev S.** Hydrogen-Rich Water Decreases Muscle Damage and Improves Power Endurance in Elite Athletes: A Randomized, Double-Blinded, Placebo-Controlled Trial. *J. Lifestyle Med.* 2025;15(1):8–17. <https://doi.org/10.15280/jlm.2025.15.1.8>

10. **LeBaron T.W., Laher I., Kura B., Slezak J.** Hydrogen gas: from clinical medicine to an emerging ergogenic molecule for sports athletes 1. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 2019;97(9):797–807. <https://doi.org/10.1139/cjpp-2019-0067>

11. **Dong G., Wu J., Hong Y., Li Q., Liu M., Jiang G., Bao D., Manor B., Zhou J.** Inhalation of Hydrogen-rich Gas before Acute Exercise Alleviates Exercise Fatigue: A Randomized Crossover Study. *Int. J. Sports Med.* 2024;45(13):1014–1022. <https://doi.org/10.1055/a-2318-1880>

12. **Medvedev O., Povarova O., Fadeev N., Fatima G., Zolotikov U., Toshchakov S.** Correlation of High Gut Microbiota Archaea Methanogenesis with Health Characteristics of Humans and Animals. In: **Beloborodova N.V.** (ed.). *Gut Microbiota — A Key Player in Overall Human Pathologies* [Working Title]. IntechOpen; 2025. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1010612>

13. **Kawamura T., Higashida K., Muraoka I.** Application of Molecular Hydrogen as a Novel Antioxidant in Sports Science. *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2020;2020:2328768. <https://doi.org/10.1155/2020/2328768>

14. **Robison R.** The possible significance of hexosephosphoric esters in ossification. *Biochem. J.* 1923;17(2):286–293. <https://doi.org/10.1042/bj0170286>

15. **Millán J.L.** Alkaline Phosphatases: Structure, substrate specificity and functional relatedness to other members of a large superfamily of enzymes. *Purinergic Signal.* 2006;2(2):335–341. <https://doi.org/10.1007/s11302-005-5435-6>

16. **Azpiazu D., Gonzalo S., Villa-Bellosta R.** Tissue Non-Specific Alkaline Phosphatase and Vascular Calcification: A Potential Therapeutic Target. *Curr. Cardiol. Rev.* 2019;15(2):91–95. <https://doi.org/10.2174/1573403X14666181031141226>

17. **Li Y., Bing R., Liu M., Shang Z., Huang Y., Zhou K., Bao D., Zhou J.** Can molecular hydrogen supplementation reduce exercise-induced oxidative stress in healthy adults? A systematic review and meta-analysis. *Front. Nutr.* 2024;11:1328705. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1328705>

18. **Da Ponte A., Giovanelli N., Nigris D., Lazzer S.** Effects of hydrogen rich water on prolonged intermittent exercise. *J. Sports Med. Phys. Fit.* 2018;58(5):612–621. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.17.06883-9>

19. **Hori A., Sobue S., Kurokawa R., Hirano S.I., Ichihara M., Hotta N.** Two-week continuous supplementation of hydrogen-rich water increases peak oxygen uptake during an incremental cycling exercise test in healthy humans: a randomized, single-blinded, placebo-controlled study. *Med. Gas Res.* 2020;10(4):163–169. <https://doi.org/10.4103/2045-9912.304223>

20. **Botek M., Khanna D., Krejci J., Valenta M., McKune A., Sladeckova B., Klimesova I.** Molecular Hydrogen Mitigates Performance Decrement during Repeated Sprints in Professional Soccer Players. *Nutrients.* 2022;14(3):508. <https://doi.org/10.3390/nu14030508>

21. **Aoki K., Nakao A., Adachi T., Matsui Y., Miyakawa S.** Pilot study: effects of drinking hydrogen-rich water on muscle fatigue caused by acute exercise in elite athletes. *Med. Gas Res.* 2012;2:12. <https://doi.org/10.1186/2045-9912-2-12>

22. **Botek M., Krejci J., McKune A. J., Sládečková B., Naimovski N.** Hydrogen rich water improved ventilatory, perceptual and lactate responses to exercise. *Int. J. Sports Med.* 2019;40(14):879–885. <https://doi.org/10.1055/a-0991-0268>

23. **Takeuchi S., Wada K., Nagatani K., Osada H., Otani N., Nawashiro H.** Hydrogen may inhibit collagen-induced platelet aggregation: an ex vivo and in vivo study. *Intern. Med.* 2012;51(11):1309–1313. <https://doi.org/10.2169/internalmedicine.51.7161>

24. **Kato S., Hokama R., Okayasu H., Saitoh Y., Iwai K., Miwa N.** Colloidal platinum in hydrogen-rich water exhibits radical-scavenging activity and improves blood fluidity. *J. Nanosci Nanotechnol.* 2012;12(5):4019–4027. <https://doi.org/10.1166/jnn.2012.6163>

25. **Dong G., Fu J., Bao D., Zhou J.** Short-Term Consumption of Hydrogen-Rich Water Enhances Power Performance and Heart Rate Recovery in Dragon Boat Athletes: Evidence from a Pilot Study. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2022;19(9):5413. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095413>

26. **Jebabli N., Ouerghi N., Abassi W., Yagin F.H., Khelifi M., Boujabli M., Bouassida A., Ben Abderrahman A., Ardigo L.P.** Acute effect of hydrogen-rich water on physical, perceptual and cardiac responses during aerobic and anaerobic exercises: A randomized, placebo-controlled, double-blinded crossover trial. *Front. Physiol.* 2023;14:1240871. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1240871>

27. **Zhou K., Yuan C., Shang Z., Jiao W., Wang Y.** Effects of 8 days intake of hydrogen-rich water on muscular endurance performance and fatigue recovery during resistance training. *Front. Physiol.* 2024;15:1458882. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1458882>

Информация об авторах:

Медведев Олег Стефанович, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой фармакологии МНОИ, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Россия, 119991, г. Москва, Ломоносовский проспект, д. 27, корп. 1; заведующий лабораторией экспериментальной фармакологии Научно-исследовательского института экспериментальной кардиологии имени академика В.Н. Смирнова ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии имени академика Е.И. Чазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Россия, 121552, г. Москва, ул. Академика Чазова, 15а. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8942-4851>; SPIN-код: 7696-368. (oleg.medvedev@gmail.com)

Южаков Алексей Анатольевич, вице-президент Региональной физкультурно-спортивной общественной организации «Федерация смешанного боевого единоборства (ММА) Пермского края», Россия, 614000, г. Пермь, ул. Ленина, 92. (metallmach@gmail.com)

Коннова Ольга Львовна, главный врач, ГБУЗ Пермского края «Врачебно-физкультурный диспансер», Россия, 614068, Пермь, ул. Екатеринбургская, д. 224. (fizdisp@bk.ru)

Поварова Оксана Викторовна*, к.м.н., старший научный сотрудник кафедры фармакологии МНОИ, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Россия, 119991, г. Москва, Ломоносовский проспект, д. 27, корп. 1, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1820-299X>; SPIN-код: 6244-2772 (oxpovarova@gmail.com)

Information about the authors:

Oleg S. Medvedev, M.D., D.Sc. (Medicine), Professor, Head of the Department of Pharmacology, Medical Scientific and Educational Institute, M.V. Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskiye Gory str., Moscow, 119991, Russia; Head of the Laboratory of Experimental Pharmacology, Scientific Research Institute of Experimental Cardiology named after Academician V.N. Smirnov, National Medical Research Centre of Cardiology named after Academician E.I. Chazov of the Ministry of Health of the Russian Federation, 15A Akademika Chazova str., Moscow, 121552, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8942-4851> (oleg.medvedev@gmail.com)

Aleksey A. Uzhakov, Vice President, Perm City Federation of Martial Arts, 92 Lenina str., Perm, 614000, Russia. (metallmach@gmail.com)

Olga L. Konnova, Sports Medicine Dispensary, 224, Ekaterininskaya str., Perm, 614068, Russia. (fizdisp@bk.ru)

Oxana V. Povarova*, M.D., Ph.D. (Medicine), Senior Researcher, Department of Pharmacology, Medical Scientific and Educational Institute, M.V. Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskiye Gory str., Moscow, 119991, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1820-299X> (oxpovarova@gmail.com)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author