

Молекулярный водород как средство повышения работоспособности футболистов

Д.Р. Хусаинов^{1,*}, А.В. Матвеев², А.И. Труханов³, Н.П. Мишин¹, А.В. Чайка¹, Е.И. Нагаева¹,
Е.А. Бирюкова¹

¹ ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»,
Симферополь, Республика Крым, Россия

² ООО «Митохонкер», Москва, Россия

³ ООО «МРИЯ», с. Оползневое, Республика Крым, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: определить выраженность и направленность влияния курсового использования ингаляций молекулярного водорода на работоспособность и показатели метаболизма футболистов.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 26 футболистов, которые были разделены на контрольную ($n = 12$; $18,8 \pm 0,35$ года) и основную ($n = 14$; $19,5 \pm 0,45$ года) группы. Спортсмены соответствовали этапу совершенствования спортивного мастерства. Футболисты основной группы прошли 10 30-минутных сеансов ингаляций молекулярного водорода. Работоспособность определялась в тесте с непрерывным повышением нагрузки на беговой дорожке. Также определялись общий метаболизм покоя и концентрация лактата.

Результаты. Участники основной группы продемонстрировали достоверный прирост скорости бега на анаэробном пороге на 11,57 % ($p = 0,0015$), пиковой скорости на 6,58 % ($p = 0,0005$), объема потребляемого кислорода на анаэробном пороге на 3,02 % ($p = 0,0200$) и снижение максимальной концентрации лактата на 20,66 % ($p = 0,0107$). На уровне тенденции увеличивался показатель максимального потребления кислорода — на 1,04 % ($p = 0,0562$). Среди участников контрольной группы статистически значимых изменений в отношении ни одного из анализируемых параметров обнаружено не было.

Заключение. Полученные данные свидетельствуют о позитивном эффекте курсового использования ингаляций (5 сеансов — 2 дня перерыв — 5 сеансов) молекулярного водорода на различные аспекты физической работоспособности футболистов, находящихся на этапе совершенствования спортивного мастерства.

Ключевые слова: молекулярный водород, водородные ингаляции, спортивная работоспособность, нагрузочная проба, футболист

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Хусаинов Д.Р., Матвеев А.В., Труханов А.И., Мишин Н.П., Чайка А.В., Нагаева Е.И., Бирюкова Е.А. Молекулярный водород как средство повышения работоспособности футболистов. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2026. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.2.4>

Поступила в редакцию: 27.03.2026

Принята к публикации: 26.06.2026

Online first: 03.09.2026

* Автор, ответственный за переписку

Molecular hydrogen as a means of enhancing the performance of soccer players

Denis R. Khusainov^{1,*}, Andrey V. Matveev², Arseniy I. Trukhanov³, Nikolay P. Mishin¹,
 Andrew V. Chajka¹, Elena I. Nagaeva¹, Elena A. Biryukova¹

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

² Mitohacker LLC, Moscow, Russia

³ LLC "Mriya", Opolznevoye, Russia

ABSTRACT

Purpose of the study: to determine the magnitude and type of the effects of hydrogen inhalation course on the work capacity and resting metabolic parameters of soccer players.

Materials and methods. The study was conducted on 26 soccer players who were divided into two groups: a control group ($n = 12$; 18.8 ± 0.35 years) and an experimental group ($n = 14$; 19.5 ± 0.45 years). The athletes corresponded to the stage of advanced sports mastery development. The players in the main group underwent 10 sessions of molecular hydrogen inhalation, each lasting 30 minutes. Work capacity was assessed using a test involving a continuous increase in workload on a treadmill. Resting metabolic rate and lactate concentration were also measured.

Results. Athletes in the experimental group demonstrated a significant increase in running speed at the anaerobic threshold by 11.57 % ($p = 0.0015$) compared with baseline values (before hydrogen inhalations), an increase in peak running speed by 6.58 % ($p = 0.0005$), an increase in oxygen uptake at the anaerobic threshold by 3.02 % ($p = 0.0200$), and a 20.66% reduction in maximal lactate concentration ($p = 0.0107$) during the treadmill test was observed. A trend toward an increase in maximal oxygen consumption (VO_{2max}) by 1.04 % ($p = 0.0562$) was also noted. No changes were observed in the control group during the twelve-day period.

Conclusion: The experiment demonstrated that ten hydrogen inhalation sessions (5 sessions – 2 days break – 5 sessions), each lasting 30 minutes with an H_2 flow rate of 5600 ml/min, contribute to an increase in the physical performance capacity of soccer players.

Keywords: molecular hydrogen, hydrogen inhalations, athlete performance, treadmill, soccer

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

For citation: Khusainov D.R., Matveev A.V., Trukhanov A.I., Mishin N.P., Chajka A.V., Nagaeva E.I., Biryukova E.A. Molecular hydrogen as a means of enhancing the performance of soccer players. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2026. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2026.2.4>

Received: 27 March 2026

Accepted: 26 June 2026

Online first: 03 September 2026

*Corresponding author

1. Введение

Работоспособность спортсменов в значительной степени связана с их соревновательными успехами [1, 2]. Выявление новых внутренировочных средств повышения работоспособности, не являющихся допингом, — одно из важных направлений спортивной физиологии [3, 4]. Эффективным средством повышения спортивной работоспособности может стать молекулярный водород (H_2), который обладает противовоспалительными [5] и антиоксидантными свойствами [6], улучшает работу митохондрий [7] и показатели обмена веществ [8], при этом не имеет явных негативных побочных эффектов и хорошо переносится организмом [9]. В последнее десятилетие накоплено значительное количество сведений о его эргогенных эффектах, однако полученные до настоящего времени данные не всегда убедительны, а где-то и противоречивы [10, 11].

Одной из причин этого, может быть, преобладание в ранее проведенных исследованиях акцента на краткосрочных эффектах воды, обогащенной H_2 . В то же время есть основания полагать, что именно курсовое использование ингаляций H_2 способно оказать наибольший

эффект на работоспособность спортсменов, так как именно они обладают лучшей биодоступностью [12] и более выраженным влиянием на метаболизм [13]. В связи с этим целью данного исследования было определение выраженности и направленности влияния курсового использования ингаляций молекулярного водорода на работоспособность и метаболизма покоя у футболистов.

2. Материалы и методы

В исследовании приняли участие 26 футболистов двух студенческих команд ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» в подготовительный период тренировок, которые были разделены на основную (14 спортсменов, средний возраст $19,5 \pm 0,45$ года) и контрольную (12 спортсменов, средний возраст $18,80 \pm 0,35$ года) группы.

Все спортсмены соответствовали этапу совершенствования спортивного мастерства. Каждая группа формировалась таким образом, что половина ее участников была из одной команды, а вторая половина — из другой.

Исследование одобрено этическим комитетом ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского» (протокол № 1 от 25 января 2022 г.).

Спортсмены основной группы посещали 10 сеансов ингаляций H_2 (99,99% чистоты H_2 , поток газа 5600 мл/мин), длительность каждого составлял 30 минут. Ингаляции осуществлялись по схеме: пять сеансов (понедельник — пятница) — перерыв в два выходных дня (суббота и воскресенье) — пять сеансов (понедельник — пятница). Ингаляции осуществлялись с помощью водородного генератора Hydrogenium-8400 (ООО «Митохакер», Россия). Для ингаляций использованы назальные канюли длиной 1 см со свободно располагающимся на верхней губе контактным элементом.

Для участников контрольной группы осуществлялась имитация ингаляций H_2 при включенном водородном генераторе и подведении и размещением назальных канюль идентично участникам основной группы. Они также находились в положении лежа на кушетке в состоянии покоя в течение 10 сеансов, длительность каждого из которого составляла 30 минут.

Участникам обеих групп перед началом эксперимента проводился одинаковый инструктаж и сообщалось, что ток газа через канюли практически не ощущается. Следовательно, для спортсменов, тренерского состава исследование было «слепым» и о деталях, в том числе о разделении на различные группы, им не сообщалось. Участникам рекомендовалось придерживаться своего обычного режима тренировок, но отказаться от высокоинтенсивных упражнений за день до нагрузочного тестирования, не употреблять кофе и алкоголь в день тестирования, а также не употреблять пищу не менее двух часов до исследования.

Перед нагрузочным тестированием массу тела футболистов измеряли с помощью медицинских весов ВМЭН Норма-04 («ТВЕС», Россия) и регистрировали процентный вклад окисления жиров (FAT%) и углеводов (CHO%) в общий метаболизм покоя с помощью метаболога Quark CPET (Cosmed, Италия) в течение 30 минут в положении лежа.

Спортивная работоспособность определялась в тесте с непрерывным повышением нагрузки (тредмил-тест) на беговой дорожке Valiant Sport (Lode B.V., Нидерланды) с эргоспирометрическим комплексом Quark CPET (Cosmed, Италия). Начальная скорость бега — 5 км/ч, прирост скорости составил 1 км/ч каждые 2 минуты. Перед тестом участникам давалась установка на достижение в тесте максимально возможной скорости бега. Работа выполнялась до отказа. Измерялась скорость бега на анаэробном пороге ($V_{АНП}$), максимальная скорость бега ($V_{пик}$), а также потребление кислорода на анаэробном пороге (VO_2 АНП) и максимальное потребление кислорода (МПК).

Концентрацию лактата в капиллярной крови определяли электрохимическим методом на анализаторе Lactate Plus (Nova Biomedical, США). Взятие капиллярной крови (5 мкл) из пальца производилось до нагрузки (базовый уровень), каждые три минуты нагрузки, на пике нагрузки, сразу после окончания нагрузки и на третьей

и пятой минутах восстановления. Анаэробный порог (АНП) фиксировался методом OBLA при концентрации лактата 4 ммоль/л [14].

Регистрация всех функциональных показателей проводилась до начала курса ингаляций H_2 (фон) и после десятого сеанса в основной группе спортсменов. В контрольной группе футболистов показатели также регистрировались дважды: первичная регистрация и на двенадцатый день — повторная.

Для сравнения выраженности и направленности изменений рассчитывалась разница (Δ) значения показателя после десяти сеансов ингаляций H_2 минус фоновое значение этого показателя в основной группе, например, $\Delta V_{АНП} = V_{АНП}$ (после 10-го сеанса) — $V_{АНП}$ (фон).

В контрольной группе выраженность изменений оценивалась как разница между повторной и первичной регистрациями соответствующих показателей футболистов.

Статистическая обработка данных осуществлялась программами GraphPad Prism 8 и R. Нормальность распределения остатков модели определяли тестами Шапиро — Уилка и Д'Агостино — Пирсона и ввиду существенного количества непараметрических данных различия между связанными выборками выявляли критерием Вилкоксона, а между несвязанными — критерием Манна — Уитни. Результаты представлены как медиана (Me) с первым и третьим квартилем (Q1; Q3). Размер эффекта (r_u) при использовании критерия Манна — Уитни определен по формуле Х. Вендта [15], а 95% доверительные интервалы (CI) рассчитаны методом статистического ресемплинга с 10 000 итераций [16].

3. Результаты

В нагрузочной пробе тредмил-тест анализировались прямо пропорциональные показателям работоспособности скоростные показатели спортсменов $V_{АНП}$ и $V_{пик}$, изменения которых после десяти водородных ингаляционных сеансов визуализировано на рисунке 1. Фоновое значение $V_{АНП}$ составило 14,25 км/ч (12,40; 15,63), после десяти ингаляций H_2 указанная скорость повышалась до 15,90 км/ч (14,55; 16,50) при $p = 0,0015$. Максимальная скорость бега футболистов также возрастала достоверно: с 16,70 (15,60; 17,58) до 17,80 км/ч (16,40; 18,58) при $p = 0,0005$.

Таким образом, десять ингаляций H_2 приводили к достоверному возрастанию $V_{АНП}$ на 11,57% и $V_{пик}$ на 6,58%, соответственно, что указывает на их выраженный положительный эффект в отношении работоспособности футболистов и, вероятно, на показатель их выносливости.

Далее были проанализированы показатели VO_2 АНП и МПК футболистов после десяти ингаляций H_2 . Фоновое значение VO_2 АНП по медиане равнялось 47,90 мл/мин/кг (43,53; 50,03), а после ингаляций H_2 оно повышалось до 49,35 мл/мин/кг (44,08; 50,83) при $p = 0,0200$.

Аналогичная ситуация выявлена и при анализе МПК, которое до курса ингаляций H_2 составляло

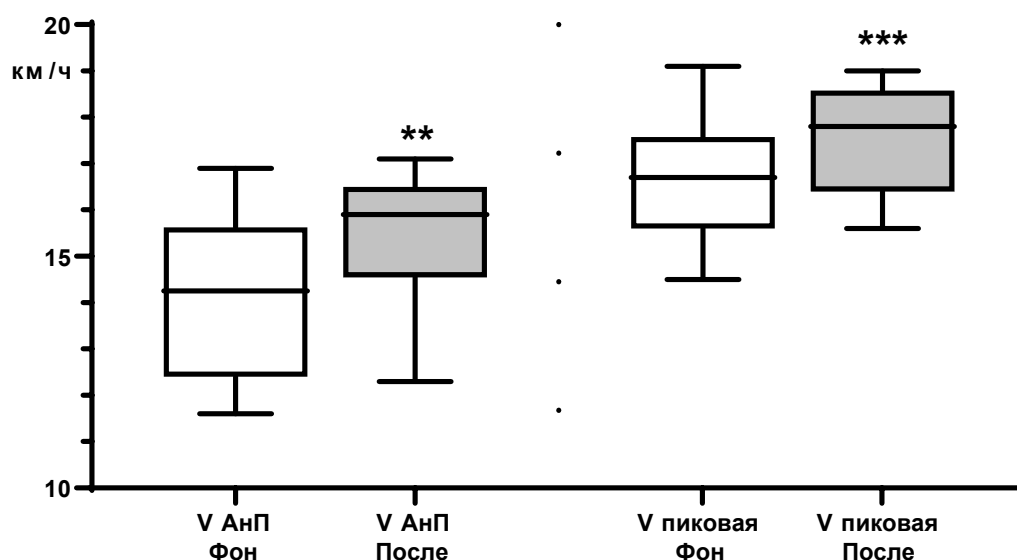


Рис. 1. Изменение показателей скорости футболистов основной группы после десяти водородных ингаляционных сеансов

Примечание: ящик (бокс) — представлены медиана (черта внутри ящика) и квантили (Q3 — верхняя граница ящика, Q1 — нижняя граница ящика); «усы» — диапазон от минимального значения к максимальному; $V_{\text{АнП}}$ Фон — показатель скорости бега спортсмена на анаэробном пороге (переходе) до сеансов водородных ингаляций; $V_{\text{АнП}}$ После — показатель скорости бега спортсмена на анаэробном пороге (переходе) после десяти водородных ингаляционных сеансов; $V_{\text{пиковая}}$ Фон — максимальная скорость бега спортсмена до сеансов водородных ингаляций; $V_{\text{пиковая}}$ После — максимальная скорость бега спортсмена после десяти водородных ингаляционных сеансов; ** — отличия от соответствующих фоновых (начальных) показателей спортсменов при $p < 0,01$; *** — отличия от соответствующих фоновых (начальных) показателей спортсменов при $p < 0,001$.

Fig. 1. Changes in running speed parameters of soccer players in the experimental group after ten hydrogen inhalation sessions

Note: the box represents the median (line inside the box) and quartiles (Q3 — upper boundary of the box, Q1 — lower boundary of the box); the whiskers indicate the range from the minimum to the maximum value. $V_{\text{АнП}}$ Фон — athlete's running speed at the anaerobic threshold before hydrogen inhalation sessions; $V_{\text{АнП}}$ После — athlete's running speed at the anaerobic threshold after ten hydrogen inhalation sessions; $V_{\text{пиковая}}$ Фон — athlete's maximal running speed before hydrogen inhalation sessions; $V_{\text{пиковая}}$ После — athlete's maximal running speed after ten hydrogen inhalation sessions; ** — differences compared with the corresponding baseline (initial) values at $p < 0,01$; *** — differences compared with the corresponding baseline (initial) values at $p < 0,001$.

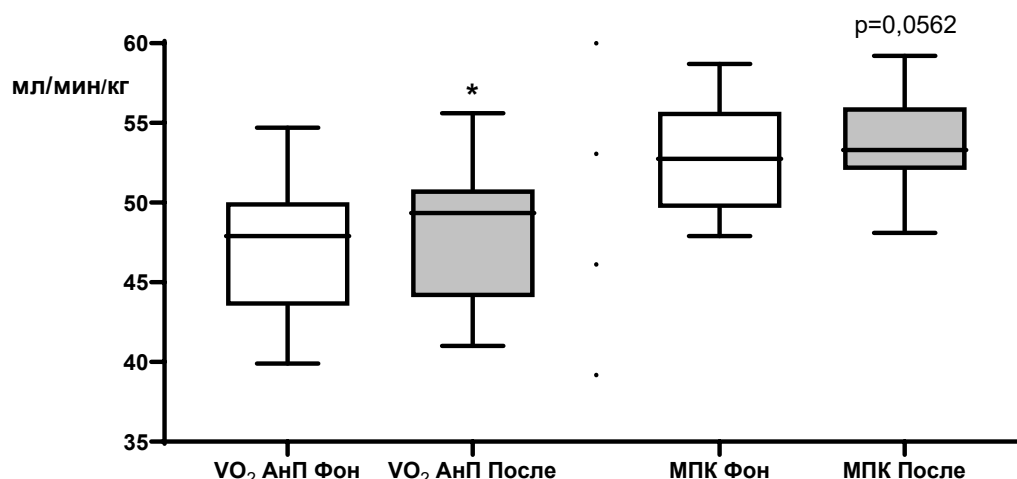


Рис. 2. Изменение показателей потребления кислорода футболистов основной группы после десяти водородных ингаляционных сеансов

Примечание: VO_2 АнП Фон — показатель потребления кислорода на анаэробном пороге (переходе) до сеансов водородных ингаляций; VO_2 АнП После — показатель потребления кислорода на анаэробном пороге (переходе) после десяти водородных ингаляционных сеансов; МПК Фон — показатель максимального потребления кислорода до сеансов водородных ингаляций; МПК После — показатель максимального потребления кислорода после десяти водородных ингаляционных сеансов; * — отличия от соответствующих фоновых (начальных) показателей спортсменов при $p < 0,05$; остальные обозначения, что и на рис. 1.

Fig. 2. Changes in oxygen consumption parameters of soccer players in the experimental group after ten hydrogen inhalation sessions

Note: VO_2 АнП Фон — oxygen consumption at the anaerobic threshold before hydrogen inhalation sessions; VO_2 АнП После — oxygen consumption at the anaerobic threshold after ten hydrogen inhalation sessions; МПК Фон — maximal oxygen consumption before hydrogen inhalation sessions; МПК После — maximal oxygen consumption after ten hydrogen inhalation sessions; * — differences compared with the corresponding baseline (initial) values at $p < 0,05$; other designations are the same as in Fig. 1.

52,75 мл/мин/кг (49,68; 55,70), а после него — 53,30 мл/мин/кг (52,05; 55,98) при $p = 0,0562$ (рис. 2). Таким образом, по МПК наблюдается прирост числового значения, но уровень статистической значимости свидетельствует только о тенденции к изменению. При этом $VO_{2\text{ АнП}}$ возрастает достоверно на 3,02 %.

При анализе пикового содержания лактата в крови спортсменов его фоновое значение по медиане составляло 9,05 мМ/л (7,57; 10,25), а после ингаляций H_2 — 7,50 мМ/л (6,82; 9,15) при $p = 0,0107$ (рис. 3).

Изменение содержания лактата в крови спортсменов на пиковой нагрузке при проведении тредмил-теста свидетельствует об улучшении их аэробной работоспособности и эффективности метаболизма. То есть, организм футболистов стал более эффективно использовать кислород для производства энергии и стал менее зависим от анаэробного гликолиза. Данный эффект косвенно указывает на возрастание вклада жиров в энергообеспечение организма, поэтому далее представлены результаты метаболизма покоя у участников исследования.

До курса ингаляций H_2 процентная доля вклада жиров (FAT %) в метаболизм покоя составила 68,40 % (62,65; 75,53), а после него — 69,25 % (62,78; 76,35) при $p = 0,0559$. Доля углеводов (CHO %) до курса ингаляций H_2 по медиане составляла 31,6 % (24,48; 37,35), а после него — 30,75 % (23,65; 37,23) при $p = 0,0559$. Также была проанализирована масса тела спортсменов: до ингаляций H_2 по медиане она составила 74,60 кг (69,73; 77,73), а после него — 74,05 кг (68,48; 76,48) при $p = 0,0049$.

Таким образом, десять сеансов ингаляций H_2 на уровне тенденции способствуют активизации жирового

катаболизма, что выражается в увеличении процентной доли вклада жиров в метаболизм покоя и снижении вклада углеводов. Возможно, именно увеличение процентной доли жиров в метаболизм покоя является одной из причин снижения массы тела футболистов после окончания курса ингаляций H_2 . Этот экспериментальный феномен требует дальнейших детальных исследований.

У участников контрольной группы регистрировались и анализировались идентичные показатели, что и у участников основной группы. Ни по одному из регистрируемых показателей достоверных отличий в двенадцатидневном интервале обнаружено не было (табл. 1).

Также было проведено сравнение выраженности изменения всех исследованных показателей футболистов контрольной и основной групп (табл. 2).

При сравнении $\Delta V_{\text{АнП}}$ и $\Delta V_{\text{пик}}$ выявлено, что в контрольной группе медиана изменения $\Delta V_{\text{АнП}}$ составляла 0,15 км/ч (минус 0,07; 0,27), в основной — 0,90 км/ч (0,37; 1,92) при $p = 0,0011$. Изменения $\Delta V_{\text{пик}}$ в контрольной группе не было (0,00 км/ч (минус 0,30; 0,29)), а у спортсменов основной группы оно составило 0,80 км/ч (0,17; 1,02) при $p = 0,0005$.

$\Delta VO_{2\text{ АнП}}$ в контрольной группе по медиане уменьшилась на 0,07 мл/мин/кг (минус 0,37; 0,32), а в основной группе — на 0,70 мл/мин/кг (минус 0,10; 2,47) при $p = 0,0391$. Изменение $\Delta\text{МПК}$ у футболистов контрольной группы колебалось от отрицательных к положительным значениям: минус 0,12 мл/мин/кг (минус 0,53; 0,15), а у спортсменов основной группы оно составило 0,70 мл/мин/кг (минус 0,05; 2,50) при $p = 0,0080$.

По изменению пиковой концентрации лактата (La-пик) в основной группе наблюдались преимущественно

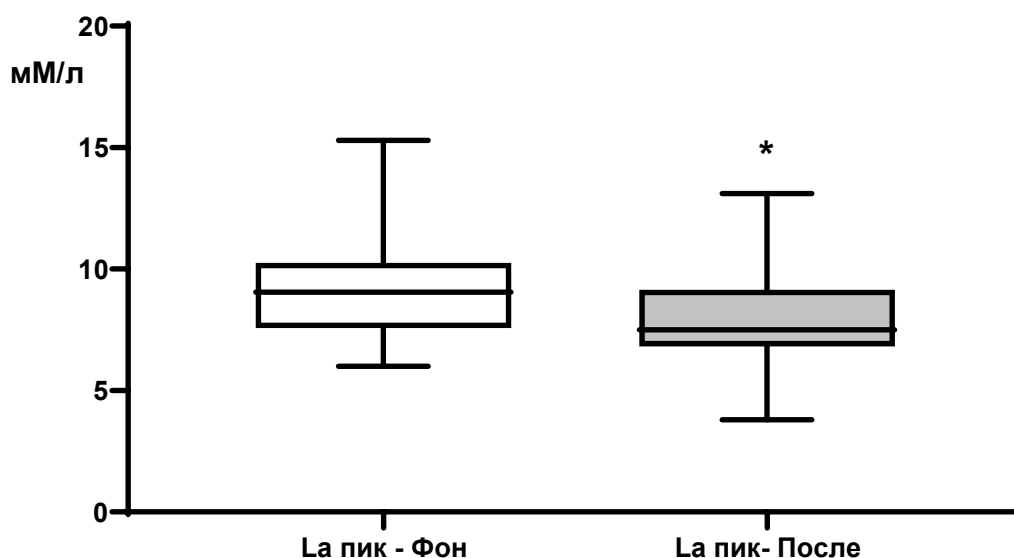


Рис. 3. Изменение максимальной концентрации лактата в крови футболистов основной группы после десяти водородных ингаляционных сеансов.

Примечание: La пик-Фон — показатель максимальной концентрации лактата в крови спортсменов до сеансов водородных ингаляций; La пик-После — показатель максимальной концентрации лактата в крови спортсменов после десяти водородных ингаляционных сеансов, остальные обозначения, что и на рис. 2.

Fig. 3. Changes in maximal blood lactate concentration in soccer players of the experimental group after ten hydrogen inhalation sessions
Note: La пик-Фон — maximal blood lactate concentration in athletes before hydrogen inhalation sessions; La пик-После — maximal blood lactate concentration in athletes after ten hydrogen inhalation sessions; other designations are the same as in Fig. 2.

Таблица 1

Изменение функциональных показателей футболистов контрольной группы (Me, Q1; Q3)

Table 1

Physical performance and metabolism of soccer players in the control group (Me, Q1; Q3)

Показатель	Первичная регистрация	Повторная регистрация	<i>p</i>
$V_{\text{АнП}}$ (км/ч)	14,50 (12,03; 15,48)	14,55 (12,08; 15,80)	0,1348
$V_{\text{пик}}$ (км/ч)	17,65 (16,65; 18,00)	17,55 (16,90; 18,08)	0,7988
$\text{VO}_{2\text{ АнП}}$ (мл/мин/кг)	48,91 (43,70; 52,83)	49,04 (43,96; 52,24)	0,9243
МПК (мл/мин/кг)	56,98 (55,95; 61,83)	56,75 (55,09; 61,53)	0,1953
Ла-пик (мм/л)	9,25 (8,33; 10,90)	9,20 (8,43; 10,68)	0,6953
FAT (%)	68,10 (58,43; 76,28)	69,50 (61,63; 73,95)	0,5693
CHO (%)	31,90 (23,73; 41,58)	30,50 (26,05; 38,38)	0,5693
Масса тела (кг)	73,85 (63,25; 83,38)	73,80 (63,63; 83,54)	0,7681

Примечание: *p* — уровень значимости внутригрупповых различий по критерию Вилкоксона; повторная регистрация — регистрация соответствующего показателя спортсменов на двенадцатый день, после первичной регистрации; $\text{VO}_{2\text{ АнП}}$ — показатель потребления кислорода на анаэробном пороге (переходе); $V_{\text{пик}}$ — максимальная скорость бега спортсмена; МПК — максимальное потребление кислорода; Лактат-пик — показатель максимальной концентрации лактата в крови спортсменов; FAT — доля жиров в метаболизме покоя; CHO — доля углеводов в метаболизме покоя.

Note: *p* — level of significance of within-group differences according to the Wilcoxon test; повторная регистрация — measurement of the corresponding parameters of the athletes on the twelfth day after the initial measurement; $\text{VO}_{2\text{ АнП}}$ — oxygen consumption at the anaerobic threshold; $V_{\text{пик}}$ — maximal running speed of the athlete; МПК — maximal oxygen consumption; Лактат-пик — maximal blood lactate concentration in athletes; FAT — proportion of fat in resting metabolism; CHO — proportion of carbohydrates in resting metabolism.

отрицательные значения и выраженность и направленность изменения достоверно отличалось от контрольной группы. Так, в контрольной группе медиана $\Delta\text{Ла}$ -пик составляла 0,00 мм/л (минус 0,07; 0,17), а в основной — минус 1,80 мм/л (минус 0,05; минус 3,45) при $p = 0,0025$.

Масса тела участников контрольной группы по медиане уменьшилась на 0,10 кг (минус 0,45; 0,36), а среди участников основной группы — на 0,85 кг (минус 1,42; 0,2) при $p = 0,0110$ по сравнению с контрольной группой. При сравнении ΔFAT и ΔCHO между участниками контрольной и основной групп достоверных отличий не выявлено.

Таким образом, при сравнении выраженности и направленности изменений $V_{\text{АнП}}$, $V_{\text{пик}}$, $\text{VO}_{2\text{ АнП}}$, МПК и Ла-пик участников контрольной и основной групп при нагрузочном тестировании получены статистически значимые уровни отличий, что подтверждает влияние курса ингаляций H_2 на эти показатели работоспособности спортсменов.

4. Обсуждение

МПК, уровень лактата и анаэробный порог являются широко признанными факторами оценки работоспособности спортсменов, отслеживания эффективности тренировок и прогнозирования спортивных

результатов [17–19]. Следовательно, футболисты с более высоким АнП способны преодолевать большее расстояние при высокоинтенсивном беге, что связано с более медленным накоплением лактата в крови при выполнении подобных нагрузок [17]. Хотя Valenta и соавт. [20] не обнаружили статистически значимого влияния H_2 на время бега и расстояние в тредмил-тесте до истощения у бегунов на средние дистанции, в других исследованиях сообщалось, что H_2 сокращает время пробега различных дистанций у футболистов [8, 21], откладывает время наступления истощения у бегунов на средние дистанции и здоровых добровольцев, повышая пиковую скорость бега [22, 23]. В свою очередь, в проведенном исследовании установлено, что ингаляции H_2 увеличивают $V_{\text{АнП}}$ и $V_{\text{пик}}$ при проведении тредмил-теста, что подтверждает поддерживающее влияние молекулярного водорода на прирост анаэробной работоспособности футболистов.

Что касается лактата, считающегося биохимическим маркером того, как организм переносит физические нагрузки [24], то литературные данные разнонаправлены. В одних исследованиях установлено, что H_2 снижает концентрацию лактата во время и/или после физической нагрузки [6, 25–29], в других же статистически значимых

Таблица 2

Сравнение выраженности изменений функциональных показателей футболистов основной и контрольной групп (Me, Q1; Q3)

Table 2

Effect size of H₂ inhalation on physical performance and metabolic parameters in soccer players (Me, Q1; Q3)

Показатель Δ	Контрольная группа	Основная группа (водородные ингаляции)	p	Размер эффекта r_u (CI)
$\Delta V_{\text{АнП}}$ (км/ч)	0,15 (-0,08; 0,28)	0,90** (0,38; 1,93)	0,0011	0,72 (0,36; 0,99)
$\Delta V_{\text{пик}}$ (км/ч)	0,00 (-0,30; 0,30)	0,80*** (0,18; 1,03)	0,0005	0,76 (0,45; 0,96)
ΔVO_2 АнП (мл/мин/кг)	-0,07 (-0,37; 0,32)	0,70* (-0,10; 2,48)	0,0391	0,48 (0,08; 0,82)
$\Delta \text{МПК}$ (мл/мин/кг)	-0,12 (-0,53; 0,15)	0,70** (-0,05; 2,50)	0,0080	0,60 (0,20; 0,92)
$\Delta \text{Ла-пик}$ (мм/л)	0,00 (-0,08; 0,18)	-1,80** (-3,45; -0,05)	0,0025	0,67 (0,32; 0,93)
ΔFAT (%)	0,95 (-2,25; 3,00)	2,30 (-0,13; 7,30)	0,2681	0,26 (0,01; 0,68)
ΔCHO (%)	-0,95 (-3,00; 2,25)	-2,30 (-7,30; 0,13)	0,2681	0,26 (0,01; 0,68)
$\Delta \text{Масса тела}$ (кг)	-0,1 (-0,45; 0,36)	-0,85* (-1,45; 0,20)	0,0111	0,58 (0,17; 0,89)

Примечание: p — значимость различий изменения (дельта) соответствующего показателя между контрольной и основной группами футболистов по критерию Манна — Уитни при $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**), $p < 0,001$ (***); размер эффекта r_u (CI) определен по формуле Х. Вендта, доверительные интервалы (CI) рассчитаны бутстреп-ресемплингом с 10 000 итераций; остальные обозначения что и в таблице 1.

Note: p — significance of differences in the change (Δ) of the corresponding parameter between the control and experimental groups of soccer players according to the Mann — Whitney test at $p < 0.05$ (*), $p < 0.01$ (**), $p < 0.001$ (***); effect size r_u (CI) — calculated using the formula proposed by H. Wendt; confidence intervals (CI) were estimated by bootstrap resampling with 10,000 iterations; other designations are the same as in Table 1.

отличий не обнаружено [20–22, 30–32]; встречаются публикации, в которых отмечается прирост концентрации лактата при длительном воздействии — количество водородных сеансов по медиане 33 (29; 47) [33]. При этом эргогенный эффект H₂ был обнаружен и когда лактат снижался [6, 28], и когда не изменялся [21, 22], и в случае его повышения [33]. Полученные же в проведенном исследовании данные демонстрируют, что ингаляции H₂ статистически значимо снижают пиковый уровень лактата на фоне увеличения $V_{\text{АнП}}$ и $V_{\text{пик}}$. При этом размер эффекта (r_u) для всех трех показателей колеблется от умеренного до очень сильного (табл. 2) согласно градации эффектов в спортивных исследованиях [34].

Влияние же H₂ на МПК как один из главных способов оценки аэробной работоспособности организма, а также его функционального состояния в целом [35] крайне противоречиво. Сведений о том, что H₂ статистически значимо не изменяет МПК [22, 28, 32, 36, 37] больше, чем тех, которые отмечают положительный эффект H₂ [32, 36]. В проведенном исследовании обнаружено, что H₂ увеличивает МПК на 0,70 мл/мин/кг, но при этом CI размера эффекта широкий, что указывает на существенную неопределенность в величине эффекта, которая может быть ближе к слабому, чем к сильному. Еще менее надежным выглядит увеличение $VO_{2\text{АнП}}$ на 0,70 мл/

мл/мин/кг после ингаляций H₂ при CI от 0,08 до 0,82. В литературе большинство авторов в своих публикациях также отмечают, что H₂ существенно не влияет на VO_2 [20, 26, 38, 39]. В связи с этим можно сделать вывод, что положительное влияние H₂ на показатели потребления кислорода остается предметом дискуссий и требует дальнейших детальных исследований.

Одним из возможных механизмов положительного влияния молекулярного водорода на работоспособность футболистов является его антиоксидантная и противовоспалительная активность [5, 6]. Интенсивные физические нагрузки истощают различные звенья антиоксидантной защиты [40] и в этот момент значимо «подключается» молекулярный водород, способствуя сохранности кислотно-основного равновесия и более высокой работоспособности спортсменов. В рамках высказанного предположения интересным направлением исследований является не только оценка маркеров кислотно-основного равновесия, но и других показателей крови, скелетных и сердечной мышц. На значимость различных маркеров сердечно-сосудистой системы в физиологии спорта указывают и другие авторы [41, 42]. В целом комплексная экспериментальная оценка влияния молекулярного водорода на показатели сердечно-сосудистой системы спортсменов, по нашему

мнению, является перспективным исследовательским направлением.

Отдельно необходимо отметить величину потока H_2 5600 мл/мин, что может привести к падению содержания кислорода до 17 % и умеренной гипоксии в том случае, если весь водород попадает во вдыхаемый поток и транспортируется к альвеолярному пространству. Однако возникновение такой ситуации маловероятно в силу ряда причин, в том числе особенностей проведения текущего исследования. Для ингаляций использованы подводные канюли, по сути, наружного расположения — их длина составляет 1 см и контактный элемент располагается свободно на верхней губе, поэтому проникновение в носовую полость составляет менее 1 см. При таких условиях испытуемые вдыхали практически смесь водорода с атмосферным воздухом. Следовательно, «конкуренция» водорода за объемную долю во вдыхаемом потоке, скорее всего, будет более значимо сказываться на содержании других газов, которые легче кислорода. Также H_2 характеризуется существенно большим коэффициентом диффузии по сравнению с кислородом и, вероятно, будет значимо диффундировать в окружающие ткани уже в верхних дыхательных путях и его содержание в альвеолярном пространстве снизится.

Эти данные соответствуют данным LeBaron и соавт.: при скорости вдоха около 30 л/мин и потоке водорода от 0,9 до 1,28 л/мин во вдыхаемом воздушном потоке будет формироваться содержание H_2 порядка 4 % (табл. 6), но в тексте указывается, что даже при потоке 1,2 л/мин доля H_2 может не достичь даже 1 % [43]. Следовательно, при потоке 5600 мл/мин содержание H_2 может колебаться в значительных пределах от 4,6 до 18,7 %. Кроме того, отмечается, что содержание водорода в альвеолярном воздухе ниже, чем во вдыхаемом потоке [43].

Необходимо отметить, что в случае возможного гипоксического воздействия у испытуемых в рамках компенсаторной реакции заметно увеличится скорость вдоха и частота дыхания. При этом увеличение скорости вдоха снижает содержание H_2 . Так, при скорости

вдоха около 40 л/мин для поддержания максимального содержания в 4 % требуется уже поток водорода 1,62 л/мин [43]. Следовательно, при скорости вдоха 40 л/мин и потоке 5600 мл/мин содержание H_2 может колебаться в пределах от 3,46 до 13,8 %.

Также в проведенном исследовании у участников обеих групп регулярно проводился опрос после ингаляций о их самочувствии, наличии головокружения, слабости, сонливости и т.д. Ни один из участников не указывал на наличие подобных ощущений, что косвенно указывает на отсутствие значимой гипоксии.

Таким образом, можно считать, что в конкретных условиях исследования значимой гипоксии не развивалось, но, безусловно, это важнейший вопрос, заслуживающий пристального внимания и дальнейшего глубокого изучения.

Воздействие H_2 на такие показатели, как FAT % и масса тела, также выглядит скорее незначительным. Хотя точечная оценка размера эффекта ($r = 0,58$) H_2 на массу тела предполагает сильный эффект, CI при этом широкий (0,17; 0,89), а изменения в FAT % не достигают статистической значимости (табл. 2). Некоторые исследователи сообщают, что H_2 усиливает окисление жиров у здоровых молодых мужчин и женщин [6, 8, 38, 44], а также может снижать массу тела у крыс [13, 45], но в результате воздействия длительностью шесть месяцев. Возможно, для получения стойкого эффекта по соотношению субстратов метаболизма покоя десяти ингаляций H_2 недостаточно, по крайней мере в случае здоровых футболистов.

5. Заключение

Десятидневный курс ингаляций H_2 приводит к улучшению работоспособности футболистов, что проявляется в увеличении V_{AnP} , V_{max} и снижении пикового уровня лактата. Таким образом, ингаляции молекулярного водорода представляют собой перспективное внутривенное средство повышения работоспособности футболистов и, вероятно, для представителей других видов спорта.

Authors' contributions:

Denis R. Khusainov — conception and design of the experimental study, data analysis and interpretation, writing the first draft of the manuscript, manuscript editing, final approval of the version of the article to be published, overall organization and coordination of the work.

Andrey V. Matveev — conception and design of the experimental study, manuscript editing, final approval of the version of the article to be published, overall organization and coordination of the work.

Arseniy I. Trukhanov — conception and design of the experimental study, manuscript editing, final approval of the version of the article to be published, overall organization and coordination of the work.

Nikolay P. Mishin — conception and design of the experimental study, conducting the experimental part of the study, manuscript editing, final approval of the version of the article to be published.

Вклад авторов:

Хусаинов Денис Рашидович — концепция и дизайн экспериментального исследования, анализ и интерпретация данных, написание первой версии текста, редактирование текста, окончательное одобрение варианта статьи для опубликования, общая организация и координация работы.

Матвеев Андрей Владимирович — редактирование текста, окончательное одобрение варианта статьи для опубликования, общая организация и координация работы.

Труханов Арсений Ильич — концепция и дизайн экспериментального исследования, редактирование текста, окончательное одобрение варианта статьи для опубликования, общая организация и координация работы.

Мишин Николай Петрович — концепция и дизайн экспериментального исследования, проведение экспериментальной части исследования, редактирование текста, окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

Чайка Андрей Владимирович — анализ и интерпретация данных, написание первой версии текста, редактирование текста, окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

Нагаева Елена Ивановна — проведение экспериментальной части исследования, редактирование текста, окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

Бирюкова Елена Александровна — редактирование текста, окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

Литература

1. Vijay S.A., Sivakumar C., Kumar P.V., Muralidharan C.K., Rajkumar K.V., Kannan K.R., Pradeepa M., Sivasankar P., Mariam A.A., Anand U.K.A. Lactate threshold training to improve long-distance running performance: A narrative review. *Montenegrin Journal of Sports Science & Medicine*. 2024;13(1):19–29. <https://doi.org/10.26773/mjssm.240303>
2. Rapp E., Laterza F., Manzi V., Von Walden F., Cardinale D.A. The effect of XC-running race Lidingöloppet on determinants of performance. *Front. Physiol.* 2025;16:1647810. <https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1647810>
3. Vicente-Salar N., Fuster-Muñoz E., Martínez-Rodríguez A. Nutritional ergogenic aids in combat sports: a systematic review and meta-analysis. *Nutrients*. 2022;14(13):2588. <https://doi.org/10.3390/nu14132588>
4. Goncharenko I.V., Pastukhova V.A., Lukyantseva H.V. Effectiveness of Plant Adaptogens in Sports: Bibliometric Study and Prospects for Use. *Trad. Integr. Med.* 2024;9(4):433–441. <https://doi.org/10.18502/tim.v9i4.17477>
5. Meng F., Liu Z., Qin S., Liu B. Oral administration of hydrogen-rich water: biomedical activities, potential mechanisms, and clinical applications. *Curr. Pharm. Des.* 2025;31(19):1537–1550. <https://doi.org/10.2174/0113816128330516241121150719>
6. 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>
7. Gvozdjáková A., Kucharská J., Kura B., Vančová O.G., Rausová Z., Sumbalová Z., Uličná O.G., Slezák J. A new insight into the molecular hydrogen effect on coenzyme Q and mitochondrial function of rats. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 2020;98(1):29–34. <https://doi.org/10.1139/cjpp-2019-0281>
8. Ryu S.H., Oh J.H., Noh K.W., Park S. Effects of high concentration hydrogen water intake on active oxygen and performance in soccer players. *Science & Sports*. 2024;39(4):358–368. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2023.10.001>
9. Rahman H., Bajgai J., Sharma S., Jeong E.S., Goh S.H., Jang Y.G., Kim C.S., Lee K.J. Effects of hydrogen gas inhalation on community-dwelling adults of various ages: a single-arm, open-label, prospective clinical trial. *Antioxidants*. 2023;12(6):1241. <https://doi.org/10.3390/antiox12061241>
10. 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>
11. Zhou K., Shang Z., Yuan C., Guo Z., Wang Y., Bao D., Zhou J. Can molecular hydrogen supplementation enhance physical performance in healthy adults? A systematic review and meta-analysis. *Front. Nutr.* 2024;11:1387657. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1387657>

Andrew V. Chajka — data analysis and interpretation, writing the first draft of the manuscript, manuscript editing, final approval of the version of the article to be published.

Elena I. Nagaeva — conducting the experimental part of the study, manuscript editing, final approval of the version of the article to be published.

Elena A. Biryukova — manuscript editing, final approval of the version of the article to be published.

12. Kawamura T., Higashida K., Muraoka I. Application of molecular hydrogen as a novel antioxidant in sports science. *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2020;(1):2328768. <https://doi.org/10.1155/2020/2328768>
13. Xie F., Jiang X., Yi Y., Liu Z.J., Ma C., He J., Xun Z.M., Wang M., Liu M.Y., Adzavon Y.M., Zhao P.X. Different effects of hydrogen-rich water intake and hydrogen gas inhalation on gut microbiome and plasma metabolites of rats in health status. *Sci. Rep.* 2022;12(1):7231. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11091-1>
14. Ji S., Sommer A., Bloch W., Wahl P. Comparison and performance validation of calculated and established anaerobic lactate thresholds in running. *Medicina (Kaunas)*. 2021;57(10):1117. <https://doi.org/10.3390/medicina57101117>
15. Куприянов И.В. Расчёт величины эффекта при применении непараметрических критериев сравнения выборок в психологических исследованиях с использованием программы R. *Инженерный вестник Дона* [интернет]. 2016;(2). Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3610> [Kupriyanov I.V. Calculation of effect size when using nonparametric sample comparison tests in psychological research with the R Program. *Engineering Journal of Don*. 2016;(2). Available at: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3610> (In Russ.)].
16. Kostanek J., Karolczak K., Kuliczowski W., Watala C. Bootstrap method as a tool for analyzing data with atypical distributions deviating from parametric assumptions: Critique and effectiveness evaluation. *Data*. 2024;9(8):95. <https://doi.org/10.3390/data9080095>
17. Modric T., Versic S., Sekulic D. Does aerobic performance define match running performance among professional soccer players? A position-specific analysis. *Res. Sports Med.* 2021;29(4):336–348. <https://doi.org/10.1080/15438627.2021.1888107>
18. Poole D.C., Rossiter H.B., Brooks G.A., Gladden L.B. The anaerobic threshold: 50+ years of controversy. *J. Physiol.* 2021;599(3):737–767. <https://doi.org/10.1113/JP279963>
19. Carrier B., Helm M.M., Cruz K., Barrios B., Navalta J.W. Validation of aerobic capacity (VO₂max) and lactate threshold in wearable technology for athletic populations. *Technologies*. 2023;11(3):71. <https://doi.org/10.3390/technologies11030071>
20. Valenta M., Botek M., Krejčí J., McKune A., Sládečková B., Neuls F., Bajgar R., Klimešová I. Acute pre-exercise hydrogen rich water intake does not improve running performance at maximal aerobic speed in trained track and field runners: A randomized, double-blind, placebo-controlled crossover study. *PLoS One*. 2022;17(12):e0279307. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0279307>
21. Botek M., Khanna D., Krejčí J., Valenta M., McKune A., Sládečková B., Klimešová I. Molecular hydrogen mitigates performance decrement during repeated sprints in professional soccer players. *Nutrients*. 2022;14(3):508. <https://doi.org/10.3390/nu14030508>
22. Javorac D., Stajer V., Ratgeber L., Betlehem J., Ostojic S. Short-term H₂ inhalation improves running performance and torso

strength in healthy adults. *Biol. Sport.* 2019;36(4):333–339. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2019.88756>

23. **Jebabli N., Ouerghi N., Abassi W., Yagin F.H., Khelifi M., Boujabli M., Bouassida A., Ben Abderrahman A., Ardigò 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 cross-over trial. *Front. Physiol.* 2023;14:1240871. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1240871>

24. **Casado A., Foster C., Bakken M., Tjelta L.I.** Does lactate-guided threshold interval training within a high-volume low-intensity approach represent the “next step” in the evolution of distance running training? *International J. Environ. Res. Public Health.* 2023;20(5):3782. <https://doi.org/10.3390/ijerph20053782>

25. **Drid P., Trivic T., Casals C., Trivic S., Stojanovic M., Ostojic S.M.** Is molecular hydrogen beneficial to enhance post-exercise recovery in female athletes? *Science & Sports.* 2016;31(4):207–213. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2016.04.010>

26. **Botek M., Krejčí J., McKune A.J., Sládečková B., Naumovski 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>

27. **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>

28. **Timón R., Olcina G., González-Custodio A., Camacho-Cardenosa M., Camacho-Cardenosa A., Guardado I.** Effects of 7-day intake of hydrogen-rich water on physical performance of trained and untrained subjects. *Biol. Sport.* 2021;38(2):269–275. <https://doi.org/10.5114/biolSport.2020.98625>

29. **Botek M., Krejčí J., McKune A., Valenta M., Sládečková B.** Hydrogen rich water consumption positively affects muscle performance, lactate response, and alleviates delayed onset of muscle soreness after resistance training. *J. Strength Cond. Res.* 2022;36(10):2792–2799. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000003979>

30. **Kawamura T., Gando Y., Takahashi M., Hara R., Suzuki K., Muraoka I.** Effects of hydrogen bathing on exercise-induced oxidative stress and delayed-onset muscle soreness. *Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med.* 2016;65(3):297–305. <https://doi.org/10.7600/jspfsm.65.297>

31. **Da Ponte A., Giovanelli N., Nigris D., Lazzer S.** Effects of hydrogen rich water on prolonged intermittent exercise. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 2018;58(5):612–621. <https://doi.org/10.23736/s0022-4707.17.06883-9>

32. **Hori A., Sobue S., Kurokawa R., Hirano S.I., Ichihara M., Hotta N.** Two-week continuous supplementation of hydrogenrich 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>

33. **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. [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. *Sports medicine: research and practice.* 2025;15(2):20–30. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2025.2.4>

34. **Yagin F.H., Pinar A., de Sousa Fernandes M.S.** Statistical effect sizes in sports science. *Journal of Exercise Science & Physi-*

cal Activity Reviews. 2024;2(1):164–171. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12601138>

35. **Ma X., Cao Z., Zhu Z., Chen X., Wen D., Cao Z.** VO₂max (VO₂peak) in elite athletes under high-intensity interval training: A meta-analysis. *Heliyon.* 2023;9(6):e16663. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16663>

36. **Mikami T., Tano K., Lee H., Lee H., Park J., Ohta F., LeBaron T.W., Ohta S.** Drinking hydrogen water enhances endurance and relieves psychometric fatigue: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 2019;97(9):857–862. <https://doi.org/10.1139/cjpp-2019-0059>

37. **Ooi C.H., Ng S.K., Omar E.A.** Acute ingestion of hydrogen-rich water does not improve incremental treadmill running performance in endurance-trained athletes. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2020;45(5):513–519. <https://doi.org/10.1139/apnm-2019-0553>

38. **Ito H., Kabayma S., Goto K.** Effects of electrolyzed hydrogen water ingestion during endurance exercise in a heated environment on body fluid balance and exercise performance. *Temperature (Austin).* 2020;7(3):290–299. <https://doi.org/10.1080/23328940.2020.1742056>

39. **Grepl P., Botek M., Krejčí J., McKune A.** Molecular hydrogen inhalation modulates resting metabolism in healthy females: findings from a randomized, double-blind, placebo-controlled crossover study. *Med. Gas Res.* 2025;15(3):367–373. <https://doi.org/10.4103/mgr.MEDGASRES-D-24-00085>

40. **Курашова Н.А., Юрьева А.А., Гутник И.Н., Гребенкина Л.А., Лобыгина А.В., Колесникова Л.И.** Изменение оксидантно-антиоксидантного статуса крови у борцов вольного стиля под влиянием физических нагрузок. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2023;13(3):30–36. [Kurashova N.A., Yureva A.A., Gutnik I.N., Grebenkina L.A., Labygina A.V., Kolesnikova L.I. Changes in the oxidative-antioxidant status of blood in freestyle wrestlers under the influence of physical exertion. *Sports medicine: research and practice.* 2023;13(3):30–36. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.3.9>

41. **Дикунец М.А., Федотова Е.В., Дудко Г.А., Вирюс Э.Д.** Динамика маркера повреждения миокарда тропонина Т у биатлонистов высокого класса на этапах подготовительного периода. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2024;14(3):46–54. [Dikunets M.A., Fedotova E.V., Dudko G.A., Virus E.D. Dynamics of the myocardial damage marker troponin T in elite biathlonsists at the stages of the early season. *Sports medicine: research and practice.* 2024;14(3):46–54. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.3.4>

42. **Даутова А.З., Мавлиев Ф.А., Дрожецкий Д.А., Зверев А.А., Назаренко А.С.** Оценка функционального состояния организма высококвалифицированных пловцов на основе анализа корреляций и динамики показателей морфологического состава крови после нагрузочного тестирования. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2024;14(2):24–33. [Dautova A.Z., Mavliev F.A., Drozhetsky D.A., Zverev A.A., Nazarenko A.S. Assessment of the functional state of the body of highly qualified swimmers based on the analysis of correlations and dynamics of indicators of the morphological composition of the blood after the stress test. *Sports medicine: research and practice.* 2024;14(2):24–33. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.1>

43. **LeBaron T.W., Ohno K., Salomez-Ihl C., Cinquin P., Boucher F., Sano M., Kheir J.N.** Respiratory-physiology modeling of therapeutic hydrogen inhalation: defining the fraction of inspired hydrogen (FiH₂) and flow-rate requirements. *Respir. Res.* 2026;27(1):259. <https://doi.org/10.1186/s12931-026-03664-9>

44. Hori A., Ichihara M., Kimura H., Ogata H., Kondo T., Hotta N. Inhalation of molecular hydrogen increases breath acetone excretion during submaximal exercise: a randomized, single-blinded, placebo-controlled study. *Med. Gas Res.* 2020;10(3):96–102. <https://doi.org/10.4103/2045-9912.296038>

45. Adzavon Y.M., Xie F., Yi Y., Jiang X., Zhang X., He J., Zhao P., Liu M., Ma S., Ma X. Long-term and daily use of molecular hydrogen induces reprogramming of liver metabolism in rats by modulating NADP/NADPH redox pathways. *Sci. Rep.* 2022;12(1):3904. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07710-6>

Информация об авторах

Хусаинов Денис Рашидович*, к.б.н., доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики, Институт биохимических технологий, экологии и фармации, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», Россия, 295007, Республика Крым, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, д. 4. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0974-6792> (gangliu@yandex.ru)

Матвеев Андрей Владимирович, д.мед.н., генеральный директор ООО «Митохакер», Россия, 107078, г. Москва, Каланчевская ул., д. 4/2 стр. 1, эт. 1, пом. I, ком 8. (montegrappa@mail.ru)

Труханов Арсений Ильич, д.б.н., руководитель Центра научно-исследовательской деятельности ООО «Мрия», Россия, 298688, Республика Крым, город-курорт Ялта р-н, с. Оползневое, ул. Генерала Острякова, д. 9, к. 1. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6398-6549> (at@asvomed.ru)

Мишин Николай Петрович, старший преподаватель кафедры теории и методики физической культуры, факультет медицинской реабилитации, физической культуры и спорта, ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт имени С.И. Георгиевского, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Россия, 295007, Республика Крым, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, д. 4. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4033-1157> (mishinnick@yandex.ru)

Чайка Андрей Владимирович, м.н.с. Научно-клинического центра «Технологии здоровья и реабилитации», ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Россия, 295051, Республика Крым, Симферополь, б-р Ленина, д. 5, стр. 4. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5193-1089> (andrewchajka@inbox.ru)

Нагаева Елена Ивановна, к.б.н., доцент кафедры теории и методики физической культуры, факультет медицинской реабилитации, физической культуры и спорта, ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт имени С. И. Георгиевского, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Россия, 295007, Республика Крым, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, д. 4. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0192-1752> (enagaeva75@mail.ru)

Бирюкова Елена Александровна, к.б.н., доцент кафедры физиологии человека и животных и биофизики, Институт биохимических технологий, экологии и фармации, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», Россия, 295007, Республика Крым, г. Симферополь, пр. Академика Вернадского, д. 4. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2628-0923> (biotema@mail.ru)

Information about the authors

Denis R. Khusainov*, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor at the Department of Human and Animal Physiology and Biophysics; Institute of Biochemical Technologies, Ecology and Pharmacy of V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 4 Akademika Vernadckogo ave., Simferopol, 295007, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0974-6792> (gangliu@yandex.ru)

Andrey V. Matveev, Dr. Sci. (Med.), General Director of Mitohacker LLC, 4/2, bldg. 1, floor 1, Premises I, room 8 Kalanchyovskaya str., Moscow, 107078, Russia. (montegrappa@mail.ru)

Arseniy I. Trukhanov, Dr. Sci. (Biology), Head of the Research Centre of the LLC "Mriya", 9, bldg. 1 Generala Ostryakova str., Opolznevoye, Yalta, 298688, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6398-6549> (at@asvomed.ru)

Nikolay P. Mishin, Senior Lecturer at the Department of Theory and Methodology of Physical Education, Faculty of Medical Rehabilitation, Physical Education and Sport, Order of the Red Banner of Labour Order of the S.I. Georgievsky Medical Institute, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 4 Akademika Vernadckogo ave., Simferopol, 295007, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4033-1157> (mishinnick@yandex.ru)

Andrew V. Chajka, Junior Researcher, Scientific and Clinical Center "Health and Rehabilitation Technologies", V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 5, bldg. 4 Lenin blvd., 295051, Simferopol, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5193-1089> (andrewchajka@inbox.ru)

Elena I. Nagaeva, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor at the Department of Theory and Methodology of Physical Education, Faculty of Medical Rehabilitation, Physical Education and Sport, Order of the Red Banner of Labour Order of the S.I. Georgievsky Medical Institute, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 4 Akademika Vernadckogo ave., Simferopol, 295007, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0192-1752> (enagaeva75@mail.ru)

Elena A. Biryukova, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor at the Department of Human and Animal Physiology and Biophysics; Institute of Biochemical Technologies, Ecology and Pharmacy of V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 4 Akademika Vernadckogo ave., 295007, Simferopol, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2628-0923> (biotema@mail.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author