

УДК 612.01:573.6:796/799

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-4-50-61

МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ВОДОРОД КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СПОРТСМЕНОВ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

**Чайка А. В.¹, Аблаев А. Я.¹, Хусаинов Д. Р.¹, Нагаева Е. И.¹, Бирюкова Е. А.¹,
Матвеев А. В.², Окунева Д. В.³, Костромитин И. С.¹**

¹ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Российская Федерация

²ООО «Митохакер», Москва, Российская Федерация

³АНО «Водородные технологии», Москва, Российская Федерация

E-mail: andrewchajka@inbox.ru

В данном обзоре литературы рассматривается вопрос наличия и выраженности эргогенного эффекта у молекулярного водорода, который может быть обусловлен его антиоксидантным влиянием, воздействием на кислотно-основное равновесие, а также на показатели метаболизма и воспаления. Анализируются выраженность и направленность влияния молекулярного водорода на исследуемые показатели испытуемых, методологические особенности исследований; акцентируется внимание на противоречивости результатов, которые получены различными авторами. Обосновывается актуальность исследований по выяснению влияния водорода на кислотно-основное равновесие, метаболизм и другие показатели спортсменов. По итогу проведенного обзора литературных источников констатируется, что молекулярный водород является перспективным средством увеличения спортивной работоспособности, но требуются направленные структурированные исследования по доказательству его эрготропного эффекта.

Ключевые слова: водород, работоспособность, метаболизм, эргогенный эффект, антиоксидантный эффект, противовоспалительный эффект.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших направлений в спортивной физиологии является поиск новых внутренировочных средств повышения работоспособности, которые не являются допингом [1, 2]. В последнее десятилетие пристальное внимание сосредоточено на изучении влияния молекулярного водорода (H₂) на функциональные показатели организма человека, в том числе работоспособность спортсменов различного уровня квалификации.

Подавляющее большинство первых исследований было посвящено исследованию влияния воды, обогащённой водородом (BOV). Так Aoki с соавторами [3] изучали эффекты BOV на мышечное утомление у элитных спортсменов. В двойном слепом перекрёстном эксперименте участвовали 10 профессиональных японских футболистов (20,9 ± 1,3 лет), употреблявших 1,5 л BOV (0,92–1,02 ммоль/л H₂) в течение суток (3 раза по 0,5 л). В результате было

зафиксировано, что H_2 снижает пост-нагрузочную концентрацию лактата в крови на 25 % ($p < 0,05$) в сравнении с плацебо. Авторы также сообщают, что H_2 незначительно замедлял снижение сократительной способности мышц в тесте на изокинетическое разгибание колена. Такие результаты хотя и не убеждают в наличии выраженного эргогенного эффекта у H_2 , но этот пилотный эксперимент в 2012 году стал важным толчком для изучения данной темы. К текущему моменту исследовательские работы по изучению, в том числе, эргогенного эффекта молекулярного водорода ведутся достаточно интенсивно и результаты таких исследований широко представлены в научной литературе. Следует сказать, что эти исследования характеризуются широким разнообразием способов введения молекулярного водорода, его дозировкой, кратностью и длительностью воздействия, выбором групп испытуемых, методами и методиками оценки эффектов молекулярного водорода и т.д. В связи с этим в настоящем литературном обзоре мы сосредоточились на рассмотрении трех важных составляющих в эффектах молекулярного водорода, которые могут лежать в основе его эргогенного влияния: антиоксидантное и противовоспалительное влияние, воздействие на кислотно-основное равновесие и метаболизм.

АНТИОКСИДАНТНЫЙ ЭФФЕКТ H_2 И ФАКТОР ТРЕНИРОВАННОСТИ ОРГАНИЗМА

Значимым исследованием по влиянию H_2 на физическую работоспособность спортсменов является работа Javogac и соавторов [4], выполненная в формате рандомизированного двойного слепого плацебо-контролируемого перекрёстного эксперимента. В нём приняли участие 20 физически активных сербских добровольцев ($22,9 \pm 1,5$ лет), которые получали 4 % H_2 в смеси с воздухом посредством 20-минутных ингаляций в течение 7 дней. В результате H_2 , по сравнению с плацебо, приводил к увеличению пиковой скорости бега на 1 процентный пункт (п.п.) и замедлению падения максимальной изометрической силы мышц торса на 3 п.п. (оба – $p < 0,05$), т.е. снижал мышечное утомление. Авторы связывают такие эффекты с сильными антиоксидантными свойствами H_2 , которые впервые были подтверждены ещё в 2007 году Ohsawa и соавторами [5]. Позже Shibayama и соавторы [6] смогли подтвердить данное предположение – они установили, что H_2 снижает концентрацию маркера окислительного стресса 8-OHdG в моче испытуемых ($p < 0,05$), и это коррелирует ($r = -0,78$, $p < 0,01$) с высотой повторного вертикального прыжка с контрдвижением (CMJ). Таким образом, определена связь между H_2 -вызванным снижением окислительного стресса и повышением работоспособности. Впрочем, стоит отметить, что это перекрёстное исследование проводилось на малой выборке японских добровольцев ($n = 8$; $20,9 \pm 0,3$ лет). В литературе присутствуют и другие работы, в которых показан антиоксидантный эффект H_2 [7–11], но корреляции с улучшением спортивных результатов либо не обнаружено, либо задача её выявить изначально не ставилась.

Известно, что ёмкость антиоксидантной системы и её ответ на накопление активных форм кислорода во время физической нагрузки зависит от уровня тренированности организма [12, 13]. Значит, физическая подготовка испытуемых

может влиять на выраженность эффектов H_2 . И Timon с соавторами [14] нашли этому экспериментальные доказательства. Они сравнили между собой влияние, которое оказывает H_2 (BOB, 7 дней по 1,9–2,2 л/день, 1,9 ppm) на испанских велосипедистов-любителей ($n = 12$; $25,5 \pm 5,5$ лет) и нетренированных людей со средним уровнем физической активности ($n = 15$; $26,3 \pm 5,9$ лет). Авторы установили, что в аэробном тесте на велоэргометре H_2 повлиял только на уровень лактата велосипедистов: наблюдалось снижение на 9 % ($p < 0,05$). Однако, в анаэробном тесте H_2 у велосипедистов повышал среднюю мощность на 9 %, пиковую мощность на 8 %, а индекс утомления снижал на 2,5 п.п. (всё – $p < 0,05$) по сравнению с плацебо, при этом у нетренированных лиц статистически значимых изменений не наблюдалось.

Более выраженные эффекты H_2 у тренированных лиц также отмечались в работе Mikami и соавторов [15], где после однократного употребления BOB (0,5 л, 1 мг/л) у людей, занимающихся фитнесом ($n = 60$, 20–70 лет), наблюдалось увеличение максимального потребления кислорода (VO_{2max}) на 9 п.п. по сравнению с плацебо ($p < 0,05$), когда в группе нетренированных ($n = 99$, 40–70 лет) такого эффекта не обнаружено.

Установлено, что спортсмены элитного уровня, достигшие высоких результатов на соревнованиях, имеют более высокий анаэробный порог и VO_{2max} [16, 17]. Свидетельства, что H_2 улучшает VO_{2max} менее убедительны [15, 18], в отличие от повышения работоспособности в анаэробных тестах [9, 14, 19]. Это позволяет предположить, что эргогенные эффекты H_2 лучше проявляются при анаэробных нагрузках, хотя в исследовании Jebabli и соавторов [20] на 22 тунисских бегунах на средние дистанции BOB (0,5 л за 30 мин до нагрузки, 0,55–0,65 ммоль/л H_2) оказала эргогенный эффект только в аэробных тестах, но не анаэробных. Следовательно, представленные результаты исследований влияния молекулярного водорода на работоспособность спортсменов отличаются и, порой, противоположны друг-другу. В связи с указанным фактом, по нашему мнению, и мнению других авторов, например, Zhou K. с соавторами [21] выяснение специфики влияния H_2 на аэробную и анаэробную работоспособность, в том числе, спортсменов требует дальнейших специальных детальных исследований.

H_2 И КИСЛОТНО-ОСНОВНОЕ РАВНОВЕСИЕ

В покое энергетический метаболизм обеспечивается балансом между аэробными и анаэробными процессами, а также работой буферных систем, содержащих акцепторы ионов водорода (H^+), такие как бикарбонат (HCO_3^-) [22, 23]. Однако, интенсивные физические нагрузки могут нарушать метаболический баланс [24, 25]. Это проявляется в снижении pH крови [26, 27], падении концентрации HCO_3^- [28, 29] и уровня парциального давления углекислого газа (pCO_2) [30, 31], что приводит к развитию ацидоза. При этом, закисление крови и мышечной ткани считается одной из причин снижения работоспособности и возникновения утомления [32–34] и показано, что H_2 может этому противодействовать [35, 36].

Так Ostojic и Stojanovic [35] провели исследование на сербских спортсменах-добровольцах ($n = 52$, 20–30 лет), которые 14 дней пили BOB (2 л/день,

окислительно-восстановительный потенциал -372 ± 52 мВ) и установили, что H_2 в покое повышает рН крови в лучевой артерии на 1 п.п. и HCO_3^- – на 7 п.п. по сравнению с плацебо ($p < 0,05$). После тредмил-тестирования, результаты стали ещё ярче: H_2 повышал рН крови на 1 п.п., HCO_3^- – на 6 п.п. и pCO_2 – тоже на 6 п.п. ($p < 0,05$). Впрочем, рН ВОВ, используемой в данном эксперименте, был весьма высок (9,3) – по причине того, что ВОВ получали путём насыщения воды магнием ($Mg + 2H_2O \rightarrow Mg(OH)_2 + H_2$) – из-за чего возникает вопрос, наблюдаемый защелачивающий эффект вызван H_2 или всё же $Mg(OH)_2$? Этот вопрос в представленных публикациях не нашел своего ответа.

В другом эксперименте этой же исследовательской группы [36] на дзюдоистках ($n = 8$; $21,4 \pm 2,2$ лет) установлено, что ВОВ (0,3 л за 30 мин до нагрузки) через 5 минут после специального дзюдо-теста приводит к повышению рН в латеральной подкожной вене руки на 0,7 % ($7,47$ vs $7,42$; $p < 0,05$) и снижению уровня лактата на 30 % ($6,81$ vs $9,67$ ммоль/л H_2 ; $p < 0,01$). Однако, авторы не указывают ни концентрацию H_2 в ВОВ, ни её рН, а в других подобных исследованиях на спортсменах не было обнаружено влияния H_2 на показатели кислотно-основного равновесия крови [37–39].

Что же касается лактата, также являющегося маркером ацидоза, но не его причиной [40, 41], то помимо ранее уже упомянутых исследований о том, что H_2 способен снижать его концентрацию во время и после нагрузки, достаточно много работ отмечают, что эффекта нет [4, 18, 37, 42–44]. Единичные исследования также сообщают, что H_2 может повышать уровень гемоглобина в крови [7, 45], а значит, в теории, улучшать работу гемоглобинового буфера.

Таким образом, есть основания полагать, что часть эргогенных эффектов H_2 может быть связана с его влиянием на кислотно-основное равновесие, но серьёзных доказательств этому нет, что обуславливает необходимость дальнейших исследований по воздействию H_2 на показатели кислотно-основного равновесия спортсменов и связи этих эффектов с работоспособностью.

ВЛИЯНИЕ H_2 НА МЕТАБОЛИЗМ И МАРКЕРЫ ВОСПАЛЕНИЯ

Установлено, что H_2 также способен оказывать воздействие на обмен веществ [39, 46, 47], и это может объяснять часть его эргогенных эффектов. Так Grepl и соавторы [47] в рандомизированном двойном слепом плацебо-контролируемом исследовании на 20 чешских спортсменках-студентках ($22,1 \pm 1,6$ лет) выявили, что 60-минутная ингаляция H_2 (300 мл/мин, 99,8 % чистоты) в состоянии покоя снижает минутную вентиляцию лёгких (VE) на 13 %, объём выдыхаемого углекислого газа ($\dot{V}CO_2$) – на 5 %, дыхательный коэффициент RER – на 3 %, а окисление жиров (FATox) при этом увеличивается с 47 до 56 % (всё – $p < 0,001$) по сравнению с плацебо, что говорит о более эффективной работе метаболизма. И хотя авторы сообщают, что различия в общем обмене покоя статистически незначимы, в другом исследовании, за авторством Ito и коллег [39], такие отличия всё же были обнаружены: у японских студентов-триатлонистов ($n = 12$; $20,0 \pm 1,3$ лет) однократное употребление ВОВ (0,9 л) приводило к снижению расхода энергии во

время тестирования на велоэргометре, с 13,7 до 13,2 ккал/мин ($p < 0,05$), но при этом уровень работоспособности не отличался от контроля.

H_2 также обладает потенциально клинически значимым противовоспалительным эффектом [48–52], однако в спортивной физиологии присутствуют лишь единичные сведения того, что H_2 снижает концентрацию маркеров воспаления [7, 11], и только в уже упомянутой ранее работе Javorac и соавторов [4] отмечается эргогенный эффект H_2 на фоне снижения уровня С-реактивного белка на 43 % (0,7 мг/л vs 0,4 мг/л; $p < 0,05$) в венозной крови по сравнению с плацебо.

Следовательно, вопрос влияния H_2 как на показатели метаболизма спортсменов, так и на содержание маркеров воспаления остается открытым и, более того, необходимы направленные исследования по выяснению взаимосвязи этих эффектов молекулярного водорода с работоспособностью спортсменов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, H_2 обладает широким спектром биологических эффектов, которые, вероятно, ответственны за его эргогенный потенциал. Однако, в спортивной физиологии используются различные способы введения H_2 (ВОВ, ингаляции, ванны и др.), дозировки и длительность применения (от острого до хронического). Перечисленные факты значительно влияют на выраженность эффектов H_2 , которые к тому же проявляются не у всех испытуемых. Отметим, что наиболее перспективным методом введения молекулярного водорода в организм человека, по мнению ряда авторов, является применение ингаляций H_2 , которые способны вызывать более выраженное воздействие на организм из-за лучшей биодоступности [53–55].

В итоге, H_2 является перспективным внутренировочным средством увеличения спортивной работоспособности, а ингаляции – многообещающим видом его введения. При этом, требуются направленные структурированные исследования влияния H_2 на показатели работоспособности спортсменов с формированием адекватных групп сравнения [21, 56].

Список литературы

1. Goncharenko I.V. Effectiveness of plant adaptogens in sports: bibliometric study and prospects for use / I. V. Goncharenko, V. A. Pastukhova, H. V. Lukyantseva // *Traditional and Integrative Medicine*. – 2024. – Vol. 9, No 4. – P. 433–441.
2. Vicente-Salar N. Nutritional ergogenic aids in combat sports: a systematic review and meta-analysis / N. Vicente-Salar, E. Fuster-Muñoz, A. Martínez-Rodríguez // *Nutrients*. – 2022. – Vol. 14, No 13. – P. 2588.
3. Aoki K. Pilot study: effects of drinking hydrogen-rich water on muscle fatigue caused by acute exercise in elite athletes / K. Aoki, A. Nakao, T. Adachi [et al.] // *Medical gas research*. – 2012. – Vol. 2, No 1. – P. 12.
4. Javorac D. Short-term H_2 inhalation improves running performance and torso strength in healthy adults / D. Javorac, V. Stajer, L. Ratgeber [et al.] // *Biology of Sport*. – 2019. – Vol. 36, No 4. – P. 333–339.
5. Ohsawa I. Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals / I. Ohsawa, M. Ishikawa, K. Takahashi [et al.] // *Nature medicine*. – 2007. – Vol. 13, No 6. – P. 688–694.
6. Shibayama Y. Impact of hydrogen-rich gas mixture inhalation through nasal cannula during post-exercise recovery period on subsequent oxidative stress, muscle damage, and exercise performances in men / Y. Shibayama, S. Dobashi, T. Arisawa [et al.] // *Medical Gas Research*. – 2020. – Vol. 10, No 4. – P. 155–162.

7. Sha J. B. Effects of the long-term consumption of hydrogen-rich water on the antioxidant activity and the gut flora in female juvenile soccer players from Suzhou, China / J. B. Sha, S. S. Zhang, Y. M. Lu [et al.] // *Medical gas research*. – 2018. – Vol. 8, No 4. – P. 135–143.
8. Chaoqun L. A comparison of the antioxidant effects between hydrogen gas inhalation and vitamin C supplementation in response to a 60-min treadmill exercise in rat gastrocnemius muscle / L. Chaoqun, Z. Yuqi, Z. Shi [et al.] // *Frontiers in Physiology*. – 2021. – Vol. 12. – P. 745194.
9. Dong G. Inhalation of hydrogen-rich gas before acute exercise alleviates exercise fatigue: a randomized crossover study / G. Dong, J. Wu, Y. Hong [et al.] // *International Journal of Sports Medicine*. – 2024. – Vol. 45, No 13. – P. 1014–1022.
10. Sakurai T. Effect of hydrogen gas inhalation on skeletal muscle during exercise / T. Sakurai, K. Sato // *JPFMS: Metabolism*. – 2024. – Vol. 13, No 6. – P. 199.
11. Zhao Y. Hydrogen gas inhalation prior to high-intensity training reduces attenuation of nitric oxide bioavailability in male rugby players / Y. Zhao, C. Li, S. Zhou [et al.] // *PeerJ*. – 2024. – Vol. 12. – P. e18503
12. Koltai E. Master athletes have higher miR-7, SIRT3 and SOD2 expression in skeletal muscle than age-matched sedentary controls / E. Koltai, Z. Bori, P. Osvath [et al.] // *Redox biology*. – 2018. – Vol. 19. – P. 46–51.
13. Botek M. Hydrogen-rich water supplementation and up-hill running performance: Effect of athlete performance level / M. Botek, J. Krejčí, A. J. McKune [et al.] // *International Journal of Sports Physiology and Performance*. – 2020. – Vol. 15, No 8. – P. 1193–1196.
14. Timón R. Effects of 7-day intake of hydrogen-rich water on physical performance of trained and untrained subjects / R. Timón, G. Olcina, A. González-Custodio [et al.] // *Biology of sport*. – 2021. – Vol. 38, No 2. – P. 269–275.
15. Mikami T. Drinking hydrogen water enhances endurance and relieves psychometric fatigue: a randomized, double-blind, placebo-controlled study / T. Mikami, K. Tano, H. Lee [et al.] // *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*. – 2019. – Vol. 97, No 9. – P. 857–862.
16. Mitic P. Differences in the psychological profiles of elite and non-elite athletes / P. Mitic, J. Nedeljkovic, Z. Bojanic [et al.] // *Frontiers in psychology*. – 2021. – Vol. 12. – P. 635651.
17. Parshukova O. I. Features of metabolic support of physical performance in highly trained cross-country skiers of different qualifications during physical activity at maximum load / O. I. Parshukova, N. G. Varlamova, N. N. Potolitsyna [et al.] // *Cells*. – 2021. – Vol. 11, No 1. – P. 39.
18. Hori A. 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 / A. Hori, S. Sobue, R. Kurokawa [et al.] // *Medical Gas Research*. – 2020. – Vol. 10, No 4. – P. 163–169.
19. Alharbi A. A. D. The acute effects of a single dose of molecular hydrogen supplements on responses to ergogenic adjustments during high-intensity intermittent exercise in humans / A. A. D. Alharbi, N. Iwamoto, N. Ebine [et al.] // *Nutrients*. – 2022. – Vol. 14, No 19. – P. 3974.
20. Jebabli N. 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 / N. Jebabli, N. Ouerghi, W. Abassi [et al.] // *Frontiers in physiology*. – 2023. – Vol. 14. – P. 1240871
21. Zhou K. Can molecular hydrogen supplementation enhance physical performance in healthy adults? A systematic review and meta-analysis / K. Zhou, Z. Shang, C. Yuan [et al.] // *Frontiers in Nutrition*. – 2024. – Vol. 11. – P. 1387657.
22. Tucker A. M. Acid-base disorders: a primer for clinicians / A. M. Tucker, T. N. Johnson // *Nutrition in Clinical Practice*. – 2022. – Vol. 37, No 5. – P. 980–989.
23. Barletta J. F. A systematic approach to understanding acid-base disorders in the critically ill / J. F. Barletta, J. Muir, J. Brown [et al.] // *Annals of Pharmacotherapy*. – 2024. – Vol. 58, No 1. – P. 65–75.
24. Rydzik Ł. Acid–base balance, blood gases saturation, and technical tactical skills in Kickboxing bouts according to K1 rules / Ł. Rydzik, M. Mardyla, Z. Obmiński [et al.] // *Biology*. – 2022. – Vol. 11, No 1. – P. 65.
25. Hagele A. M. Naturally bicarbonated water supplementation does not improve anaerobic cycling performance or blood gas parameters in active men and women / A. M. Hagele, J. L. Boring, J. M. Moon [et al.] // *Nutrients*. – 2023. – Vol. 15, No 24. – P. 5052.

26. Baranauskas M. Dietary acid-base balance in high-performance athletes / M. Baranauskas, V. Jablonskienė, J. A. Abaravičius [et al.] // *International journal of environmental research and public health*. – 2020. – Vol. 17, No 15. – P. 5332.
27. Álvarez-Herms J. Summatory effects of anaerobic exercise and a 'westernized athletic diet' on gut dysbiosis and chronic low-grade metabolic acidosis / J. Álvarez-Herms // *Microorganisms*. – 2024. – Vol. 12, No 6. – P. 1138.
28. Hausen M. Physical capacities and combat performance characteristics of male and female Olympic boxers / M. Hausen, L. Taylor, F. Bachini [et al.] // *Research Quarterly for Exercise and Sport*. – 2024. – Vol. 95, No 4. – P. 813–823.
29. Ušaj A. The effects of sodium hydrogen carbonate ingestion during the recovery period between two 200-m front-crawl time trials / A. Ušaj, R. Marčun, B. Štrumbelj // *European journal of applied physiology*. – 2024. – Vol. 124, No 11. – P. 3191–3199.
30. Ribas M. R. Acid-base and electrolyte balance responses in the performance of female ultramarathon runners in a 45 km mountain race / M. R. Ribas, D. I. R. Ribas, P. Fernandes [et al.] // *Nutrients*. – 2025. – Vol. 17, No 5. – P. 751.
31. Zagatto A. M. Is the time to task failure during severe-intensity exercise associated with muscle, blood, and respiratory changes? / A. M. Zagatto, R. A. de Poli, E. S. Malta [et al.] // *Physiological Genomics*. – 2025. – Vol. 57, No 4. – P. 227–239.
32. de Menezes R. O. Efeitos da suplementação de bicarbonato de sódio sobre a performance física de corredores de rua / R. O. de Menezes, I. E. L. de Santana, R. de Jesus Silva [et al.] // *Revista Brasileira de Fisiologia do Exercício*. – 2022. – Vol. 21, No 3. – P. 172–183.
33. Kryściak J. Effects of short bout small-sided game training on acid-base balance markers in youth male soccer players / J. Kryściak, T. Podgórski, P. Chmura [et al.] // *Scientific reports*. – 2023. – Vol. 13, No 1. – P. 3510.
34. Bartoloni B. The multiple roles of lactate in the skeletal muscle / B. Bartoloni, M. Mannelli, T. Gamberi [et al.] // *Cells*. – 2024. – Vol. 13, No 14. – P. 1177.
35. Ostojic S. M. Hydrogen-rich water affected blood alkalinity in physically active men / S. M. Ostojic, M. D. Stojanovic // *Research in Sports Medicine*. – 2014. – Vol. 22, No 1. – P. 49–60.
36. Drid P. Is molecular hydrogen beneficial to enhance post-exercise recovery in female athletes? / P. Drid, T. Trivic, C. Casals [et al.] // *Science & Sports*. – 2016. – Vol. 31, No 4. – P. 207–213.
37. Da Ponte A. Effects of hydrogen rich water on prolonged intermittent exercise / A. Da Ponte, N. Giovanelli, D. Nigris [et al.] // *J Sports Med Phys Fitness*. – 2018. – Vol. 58, No 5. – P. 612–621.
38. Ooi C. H. Acute ingestion of hydrogen-rich water does not improve incremental treadmill running performance in endurance-trained athletes / C. H. Ooi, S. K. Ng, E. A. Omar // *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. – 2020. – Vol. 45, No 5. – P. 513–519.
39. Ito H. Effects of electrolyzed hydrogen water ingestion during endurance exercise in a heated environment on body fluid balance and exercise performance / H. Ito, S. Kabayma, K. Goto // *Temperature*. – 2020. – Vol. 7, No 3. – P. 290–299.
40. Brooks G. A. Lactate in contemporary biology: a phoenix risen / G. A. Brooks, J. A. Arevalo, A. D. Osmond [et al.] // *The Journal of physiology*. – 2022. – Vol. 600, No 5. – P. 1229–1251.
41. Ferrara L. Post-exercise fatigue, lactate, and natural nutritional strategy / L. Ferrara, S. D'Angelo // *Journal of Physical Education and Sport*. – 2023. – Vol. 23, No 9. – P. 2274–2283.
42. Kawamura T. Effects of hydrogen bathing on exercise-induced oxidative stress and delayed-onset muscle soreness / T. Kawamura, Y. Gando, M. Takahashi [et al.] // *Jpn J Phys Fitness Sports Med*. – 2016. – Vol. 65, No 3. – P. 297–305.
43. Botek M. Molecular hydrogen mitigates performance decrement during repeated sprints in professional soccer players / M. Botek, D. Khanna, J. Krejčí [et al.] // *Nutrients*. – 2022. – Vol. 14, No 3. – P. 508.
44. Valenta M. 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 / M. Valenta, M. Botek, J. Krejčí [et al.] // *PLoS One*. – 2022. – Vol. 17, No 12. – P. e0279307.
45. Cole A. R. Safety of prolonged inhalation of hydrogen gas in air in healthy adults / A. R. Cole, F. Sperotto, J. A. DiNardo [et al.] // *Critical care explorations*. – 2021. – Vol. 3, No 10. – P. e543.

46. Ryu S. H. Effects of high concentration hydrogen water intake on active oxygen and performance in soccer players / S. H. Ryu, J. H. Oh, K. W. Noh [et al.] // *Science & Sports*. – 2024. – Vol. 39, No 4. – P. 358–368.
47. Grepl P. Molecular hydrogen inhalation modulates resting metabolism in healthy females: findings from a randomized, double-blind, placebo-controlled crossover study / P. Grepl, M. Botek, J. Krejčí [et al.] // *Medical Gas Research*. – 2025. – Vol. 15, No 3. – P. 367–373.
48. de Deus J. L. Inhaled molecular hydrogen reduces hippocampal neuroinflammation, glial reactivity and ameliorates memory impairment during systemic inflammation / J. L. de Deus, M. R. Amorim, R. M. P. da Silva Junior [et al.] // *Brain, Behavior, & Immunity-Health*. – 2023. – Vol. 31. – P. 100654.
49. Liu H. Hydrogen gas ameliorates acute alcoholic liver injury via anti-inflammatory and antioxidant effects and regulation of intestinal microbiota / H. Liu, X. Kang, P. Ren [et al.] // *International Immunopharmacology*. – 2023. – Vol. 120. – P. 110252.
50. Nascimento G. C. Effects of hydrogen gas inhalation on L-DOPA-induced dyskinesia / G. C. Nascimento, B. M. Santos, J. F. Pedrazzi [et al.] // *Brain, Behavior, & Immunity-Health*. – 2023. – Vol. 30. – P. 100623.
51. Xie F. Therapeutic potential of molecular hydrogen in metabolic diseases from bench to bedside / F. Xie, Y. Song, Y. Yi [et al.] // *Pharmaceuticals*. – 2023. – Vol. 16, No 4. – P. 541.
52. Shih W. L. Hydrogen gas inhalation treatment for coronary artery lesions in a Kawasaki Disease mouse model / W. L. Shih, T. M. Yeh, K. D. Chen [et al.] // *Life*. – 2024. – Vol. 14, No 7. – P. 796.
53. Xun Z. M. Effects of long-term hydrogen intervention on the physiological function of rats / Z. M. Xun, Q. H. Zhao, Y. Zhang [et al.] // *Scientific Reports*. – 2020. – Vol. 10, No 1. – P. 18509.
54. Adzavon Y. M. Long-term and daily use of molecular hydrogen induces reprogramming of liver metabolism in rats by modulating NADP/NADPH redox pathways / Y. M. Adzavon, F. Xie, Y. Yi [et al.] // *Scientific reports*. – 2022. – Vol. 12, No 1. – P. 3904.
55. Xie F. Different effects of hydrogen-rich water intake and hydrogen gas inhalation on gut microbiome and plasma metabolites of rats in health status / F. Xie, X. Jiang, Y. Yi [et al.] // *Scientific Reports*. – 2022. – Vol. 12, No 1. – P. 7231
56. Todorovic N. Recent advances in hydrogen research for exercise science: Modulating circadian rhythm, immunity, and athlete recovery / N. Todorovic, S. M. Ostojic // *Science & Sports*. – 2025. – Vol. 40, No 3. – P. 224–232.

APPLICATION OF MOLECULAR HYDROGEN AS A PERFORMANCE- ENHANCING AGENT: A NARRATIVE REVIEW

**Chajka A. V.¹, Ablav A. Ya.¹, Khusainov D. R.¹, Nagaeva E. I.¹, Biryukova E. A.¹,
Matveev A. V.², Okunova D. V.³, Kostromitin I. S.¹**

¹*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation*

²*LLC Mithohacker, Moscow, Russia*

³*ANPO «Hydrogen Technologies», Moscow, Russia*

E-mail: andrewchajka@inbox.ru

This literature review examines the ergogenic potential of molecular hydrogen, which may be due to its diverse biological effects: antioxidant, anti-inflammatory, metabolic, and possible impact on blood acid-base balance.

The antioxidant properties of molecular hydrogen are considered by many authors to be the most important in terms of its ergogenic effects. In sports physiology, considerable data has accumulated regarding the antioxidant properties of molecular hydrogen, but a correlation with improved performance in an exercise test has only been established in one study. In other cases, it is simply assumed that if the ergogenic effect of hydrogen is accompanied by improvements in indicators characterizing antioxidant status, then there is

a cause-and-effect relationship. Although this may seem obvious, the results of some studies indicate that the ergogenic effect of hydrogen is not necessarily accompanied by improvements in oxidative stress indicators, and vice versa – the antioxidant properties of hydrogen do not guarantee an ergogenic effect. Furthermore, the physical fitness level is important, as it is known to influence antioxidant capacity. Studies show that molecular hydrogen has a more pronounced ergogenic effect on trained individuals, while untrained individuals may not show any statistically significant improvement in performance.

The anti-inflammatory properties of molecular hydrogen have been well-described and proven in various preclinical disease models, and even in some clinical studies. However, in sports physiology, this issue has been poorly studied, particularly in terms of its relationship with ergogenic effects.

It is known that physical exercise, especially intense exercise, causes metabolic acidosis, acidification of the blood and muscle tissue, and this is believed to be one of the causes of muscle fatigue. Accordingly, alkalizing agents should, in theory, improve performance, and in the last decade, various substances that counteract acidosis have been tested for their ergogenic effects. Molecular hydrogen is no exception; however, there is still no convincing evidence that hydrogen has any significant effect on the acid-base balance of athletes, either alkalizing or acidifying. The situation is further complicated by the fact that some hydrogen-enriched sports drinks have a high pH and may have an alkalizing and ergogenic effect unrelated to the hydrogen. There is evidence that hydrogen significantly reduces lactate during and after exercise; however, other publications have not observed such an effect. Furthermore, lactate, according to current thinking, is only an indirect marker of acidosis and is more indicative of how well the body tolerates a given physical activity.

Researchers have obtained more definitive results regarding the effect of molecular hydrogen on metabolism. It has been established that hydrogen can increase lipid oxidation, decrease carbohydrate oxidation, and generally make metabolism more energy-efficient. This is manifested by a decrease in pulmonary ventilation and a reduction in the amount of exhaled carbon dioxide, among other things. However, linking this to improved athletic performance in exercise tests is not always possible. Furthermore, there is reason to believe that for significant and lasting metabolic effects, hydrogen should be administered for weeks or even months.

Molecular hydrogen has ergogenic effects, manifested as increased running speed, muscle strength, and performance in bicycle ergometry and jump tests. Presumably, its antioxidant and metabolic properties are primarily responsible for this. However, a detailed examination of such studies raises many questions: small sample sizes, controversial methodology, and the plethora of different methods for assessing athletic performance. Furthermore, the use of molecular hydrogen also varies greatly: the route of administration (enriched water, inhalation, baths), dosage, and duration (from a single dose to chronic use). There is reason to believe that hydrogen inhalation should be the most effective, as its bioavailability should be higher. Therefore, sports physiology still urgently needs high-quality research into the ergogenic effects of hydrogen, establishing a connection with its biological effects, and standardizing experiments so that the results obtained in different laboratories can be compared with each other without difficulty and a number of caveats.

Keywords: hydrogen, performance, metabolism, ergogenic effect, antioxidant effect, anti-inflammatory effect.

References

1. Goncharenko I. V., Pastukhova V. A., Lukyantseva H. V. Effectiveness of Plant Adaptogens in Sports: Bibliometric Study and Prospects for Use. *Traditional and Integrative Medicine*, **9(4)**, 433 (2024).
2. Vicente-Salar N., Fuster-Muñoz E., Martínez-Rodríguez A. Nutritional ergogenic aids in combat sports: a systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, **14(13)**, 2588 (2022).
3. 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. *Medical gas research*, **2(1)**, 12 (2012).
4. Javorac D., Stajer V., Ratgeber L., Betlehem J., Ostojic S. Short-term H₂ inhalation improves running performance and torso strength in healthy adults. *Biology of Sport*, **36(4)**, 333 (2019).
5. Ohsawa I., Ishikawa M., Takahashi K., Watanabe M., Nishimaki K., Yamagata K., Katsura K. I., Katayama Y., Asoh S., Ohta S. Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals. *Nature medicine*, **13(6)**, 688 (2007).
6. Shibayama Y., Dobashi S., Arisawa T., Fukuoka T., Koyama K. Impact of hydrogen-rich gas mixture inhalation through nasal cannula during post-exercise recovery period on subsequent oxidative stress, muscle damage, and exercise performances in men. *Medical Gas Research*, **10(4)**, 155 (2020).
7. Sha J. B., Zhang S. S., Lu Y. M., Gong W. J., Jiang X. P., Wang J. J., Qiao T. L., Zhang H. H., Zhao M. Q., Wang D. P., Xia H. Effects of the long-term consumption of hydrogen-rich water on the antioxidant activity and the gut flora in female juvenile soccer players from Suzhou, China. *Medical gas research*, **8(4)**, 135 (2018).
8. Chaoqun L., Yuqi Z., Shi Z., Zhenghui Y., Li W. A comparison of the antioxidant effects between hydrogen gas inhalation and vitamin C supplementation in response to a 60-min treadmill exercise in rat gastrocnemius muscle. *Frontiers in Physiology*, **12**, 745194 (2021).
9. 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. *International Journal of Sports Medicine*, **45(13)**, 1014 (2024).
10. Sakurai T., Sato K. Effect of hydrogen gas inhalation on skeletal muscle during exercise. *JPFMS: Metabolism*, **13(6)**, 199 (2024).
11. Zhao Y., Li C., Zhou S., Xu Z., Huang X., Wen L. Hydrogen gas inhalation prior to high-intensity training reduces attenuation of nitric oxide bioavailability in male rugby players. *PeerJ*, **12**, e18503 (2024).
12. Koltai E., Bori Z., Osvath P., Ihasz F., Peter S., Toth G., Degens H., Rittweger J., Boldogh I., Radak Z. Master athletes have higher miR-7, SIRT3 and SOD2 expression in skeletal muscle than age-matched sedentary controls. *Redox biology*, **19**, 46 (2018).
13. Botek M., Krejčí J., McKune A. J., Sládečková B. Hydrogen-rich water supplementation and up-hill running performance: Effect of athlete performance level. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, **15(8)**, 1193 (2020).
14. 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. *Biology of sport*, **38(2)**, 269 (2021).
15. 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. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, **97(9)**, 857 (2019).
16. Mitic P., Nedeljkovic J., Bojanic Z., Francesko M., Milovanovic I., Bianco A., Drid P. Differences in the psychological profiles of elite and non-elite athletes. *Frontiers in psychology*, **12**, 635651 (2021).
17. Parshukova O. I., Varlamova N. G., Potolitsyna N. N., Lyudinina A. Y., Bojko E. R. Features of metabolic support of physical performance in highly trained cross-country skiers of different qualifications during physical activity at maximum load. *Cells*, **11(1)**, 39 (2021).
18. 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. *Medical Gas Research*, **10**(4), 163 (2020).
19. Alharbi A. A. D., Iwamoto N., Ebine N., Nakae S., Hojo T., Fukuoka Y. The acute effects of a single dose of molecular hydrogen supplements on responses to ergogenic adjustments during high-intensity intermittent exercise in humans. *Nutrients*, **14**(19), 3974 (2022).
 20. 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 cross-over trial. *Frontiers in physiology*, **14**, 1240871(2023).
 21. 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. *Frontiers in Nutrition*, **11**, 1387657 (2024).
 22. Tucker A. M., Johnson T. N. Acid-base disorders: A primer for clinicians. *Nutrition in Clinical Practice*, **37**(5), 980 (2022).
 23. Barletta J. F., Muir J., Brown J., Dzierba A. A systematic approach to understanding acid-base disorders in the critically ill. *Annals of Pharmacotherapy*, **58**(1), 65 (2024).
 24. Rydzik Ł., Mardyla M., Obmiński Z., Więcek M., Maciejczyk M., Czarny W., Jaszczur-Nowicki J., Ambroży T. Acid–base balance, blood gases saturation, and technical tactical skills in Kickboxing bouts according to K1 rules. *Biology*, **11**(1), 65 (2022).
 25. Hagele A. M., Boring J. L., Moon J. M., Sunderland K. L., Mumford P. W., Kerksic C. M. Naturally bicarbonated water supplementation does not improve anaerobic cycling performance or blood gas parameters in active men and women. *Nutrients*, **15**(24), 5052 (2023).
 26. Baranauskas M., Jablonskienė V., Abaravičius J. A., Samsonienė L., Stukas R. Dietary acid-base balance in high-performance athletes. *International journal of environmental research and public health*, **17**(15), 5332 (2020).
 27. Álvarez-Herms J. Summatory effects of anaerobic exercise and a ‘westernized athletic diet’ on gut dysbiosis and chronic low-grade metabolic acidosis. *Microorganisms*, **12**(6), 1138 (2024).
 28. Hausen M., Taylor L., Bachini F., Freire R., Pereira G., Itaborahy A. Physical capacities and combat performance characteristics of male and female Olympic boxers. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, **95**(4), 813 (2024).
 29. Ušaj A., Marčun R., Štrumbelj B. The effects of sodium hydrogen carbonate ingestion during the recovery period between two 200-m front-crawl time trials. *European journal of applied physiology*, **124**(11), 3191 (2024).
 30. Ribas M. R., Ribas D. I. R., Fernandes P., Badicu G., Legnani E., Paulo A. C., Ardigo L. P., Bassan J. C. Acid–base and electrolyte balance responses in the performance of female ultramarathon runners in a 45 km mountain race. *Nutrients*, **17**(5), 751 (2025).
 31. Zagatto A. M., de Poli R. A., Malta E. S., Fleitas-Paniagua P. R., Diefenthaler F., Murias J. M., Castro A. Is the time to task failure during severe-intensity exercise associated with muscle, blood, and respiratory changes?. *Physiological Genomics*, **57**(4), 227 (2025).
 32. de Menezes R. O., de Santana I. E. L., de Jesus Silva R., Gomes J. H., Mendes R. R. Efeitos da suplementação de bicarbonato de sódio sobre a performance física de corredores de rua. *Revista Brasileira de Fisiologia do Exercício*, **21**(3), 172 (2022).
 33. Kryściak J., Podgórski T., Chmura P., Konefał M., Chmura J., Brazaitis M., Modric T., Andrzejewski M. Effects of short bout small-sided game training on acid-base balance markers in youth male soccer players. *Scientific reports*, **13**(1), 3510 (2023).
 34. Bartoloni B., Mannelli M., Gamberi T., Fiaschi T. The multiple roles of lactate in the skeletal muscle. *Cells*, **13**(14), 1177 (2024).
 35. Ostojic S. M., Stojanovic M. D. Hydrogen-rich water affected blood alkalinity in physically active men. *Research in Sports Medicine*, **22**(1), 49 (2014).
 36. 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*, **31**(4), 207 (2016).
 37. Da Ponte A., Giovanelli N., Nigris D., Lazzar S. Effects of hydrogen rich water on prolonged intermittent exercise. *J Sports Med Phys Fitness*, **58**(5), 612 (2018).

38. 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. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, **45**(5), 513 (2020).
39. 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*, **7**(3), 290 (2020).
40. Brooks G. A., Arevalo J. A., Osmond A. D., Leija R. G., Curl C. C., Tovar A. P. Lactate in contemporary biology: a phoenix risen. *The Journal of physiology*, **600**(5), 1229 (2022).
41. Ferrara L., D'Angelo S. Post-exercise fatigue, lactate, and natural nutritional strategy. *Journal of Physical Education and Sport*, **23**(9), 2274 (2023).
42. 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*, **65**(3), 297 (2016).
43. 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*, **14**(3), 508 (2022).
44. 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*, **17**(12), e0279307 (2022).
45. Cole A. R., Sperotto F., DiNardo J. A., Carlisle S., Rivkin M. J., Sleeper L. A., Kheir J. N. Safety of prolonged inhalation of hydrogen gas in air in healthy adults. *Critical care explorations*, **3**(10), e543. (2021).
46. 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*, **39**(4), 358 (2024).
47. 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. *Medical Gas Research*, **15**(3), 367 (2025).
48. de Deus J. L., Amorim M. R., da Silva Junior R. M. P., Jesus A. A., de Barcellos Filho P. C. G., Cárnio E. C., Cunha A. O. S., Leao R. M., Branco L. G. Inhaled molecular hydrogen reduces hippocampal neuroinflammation, glial reactivity and ameliorates memory impairment during systemic inflammation. *Brain, Behavior, & Immunity-Health*, **31**, 100654 (2023).
49. Liu H., Kang X., Ren P., Kuang X., Yang X., Yang H., Shen X., Yan H., Kang Y., Zhang F., Wang X. Hydrogen gas ameliorates acute alcoholic liver injury via anti-inflammatory and antioxidant effects and regulation of intestinal microbiota. *International Immunopharmacology*, **120**, 110252 (2023).
50. Nascimento G. C., Santos B. M., Pedrazzi J. F., Silva-Amaral D., Bortolanza M., Harris G. T., Del Bel E., Branco L. G. Effects of hydrogen gas inhalation on L-DOPA-induced dyskinesia. *Brain, Behavior, & Immunity-Health*, **30**, 100623 (2023).
51. Xie F., Song Y., Yi Y., Jiang X., Ma S., Ma C., Li J., Zhanghuang Z., Liu M., Zhao P., Ma X. Therapeutic potential of molecular hydrogen in metabolic diseases from bench to bedside. *Pharmaceuticals*, **16**(4), 541 (2023).
52. Shih W. L., Yeh T. M., Chen K. D., Leu S., Liu S. F., Huang Y. H., Kuo H. C. Hydrogen gas inhalation treatment for coronary artery lesions in a Kawasaki Disease mouse model. *Life*, **14**(7), 796 (2024).
53. Xun Z. M., Zhao Q. H., Zhang Y., Ju F. D., He J., Yao T. T., Zhang X. K., Yi Y., Ma S. N., Zhao P. X., Jin X. Y. Effects of long-term hydrogen intervention on the physiological function of rats. *Scientific Reports*, **10**(1), 18509. (2020).
54. 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. *Scientific reports*, **12**(1), 3904 (2022).
55. 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. *Scientific Reports*, **12**(1), 7231 (2022).
56. Todorovic N., Ostojic S. M. Recent advances in hydrogen research for exercise science: modulating circadian rhythm, immunity, and athlete recovery. *Science & Sports*, **40**(3), 224 (2025).