

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДОРОДА В ЭКОЛОГИЧНОЙ И СПОРТИВНОЙ МЕДИЦИНЕ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

**А.А. Лапин<sup>1,2</sup>, О.Р. Каратаев<sup>2</sup>, И.Г. Гарифуллин<sup>3</sup>, С.Д. Литвинов<sup>4</sup>, В.Н. Зеленков<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Казанский государственный энергетический университет, Казань

<sup>2</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ, Казань

<sup>3</sup>Клиника экологичной медицины, Казань

<sup>4</sup>Медицинский университет «Реавиз», Самара

<sup>5</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, Москва

**Резюме.** Актуальность исследований молекулярного водорода в мире значительно увеличились, так как он оказался чрезвычайно уникальным реагентом, поскольку обладает способностью действовать на клеточном уровне. Водород способен преодолевать гематоэнцефалический барьер, проникать в митохондрии и другие области клеток, где он проявляет антиоксидантные, антиапоптотические, противовоспалительные и цитопротективные свойства. Целью научного обзора является теоретическое обоснование современного состояния применения молекулярного водорода и водородной воды в экологичной и спортивной медицине. Для этого предоставлены доказательства относительно влияния потребления молекулярного водорода и водородной воды на изменения физиологических и биохимических параметров с учетом окислительного стресса, вызванного физическими нагрузками. Кроме того, в настоящем обзоре освещаются возможные будущие направления в этой области исследований.

**Ключевые слова:** молекулярный водород, антиоксидантные свойства, экологичная медицина, спортивная медицина, оксидативный стресс, терапевтический антиоксидант, цитотоксические кислородные радикалы.

**Для цитирования:** Лапин А.А., Каратаев О.Р., Гарифуллин И.Г., Литвинов С.Д., Зеленков В.Н. Перспективы использования молекулярного водорода в экологичной и спортивной медицине (обзор литературы). *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». Реабилитация, Врач и Здоровье.* 2021;11(6):33-41.

<https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2021.6.PHYS.2>



## PROSPECTS FOR USING MOLECULAR HYDROGEN IN ENVIRONMENTAL AND SPORT MEDICINE (LITERATURE REVIEW)

A.A. Lapin<sup>1,2</sup>, O.R. Karataev<sup>2</sup>, I.G. Garifullin<sup>3</sup>, S.D. Litvinov<sup>4</sup>, V.N. Zelenkov<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Kazan State Power Engineering University, Kazan

<sup>2</sup>Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan

<sup>3</sup>Clinic of Ecological Medicine, LLC, Kazan

<sup>4</sup>Medical University "Reaviz", Samara

<sup>5</sup>All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Moscow

**Abstract.** The relevance of research on molecular hydrogen in the world has increased significantly, since it turned out to be an extremely unique reagent, since it has the ability to act at the cellular level. Hydrogen is able to cross the blood-brain barrier, penetrate into mitochondria and other areas of cells, where it exhibits antioxidant, anti-apoptotic, anti-inflammatory and cytoprotective properties. The aim of the scientific review is to theoretically substantiate the current state of the use of molecular hydrogen and hydrogen water in environmentally friendly and sports medicine. For this, evidence has been provided regarding the effect of consumption of molecular hydrogen and hydrogen water on changes in physiological and biochemical parameters, taking into account the oxidative stress caused by exercise. In addition, this review highlights possible future directions in this area of research.

**Key words:** molecular hydrogen, antioxidant properties, environmentally friendly medicine, sports medicine, oxidative stress, therapeutic antioxidant, cytotoxic oxygen radicals.

**Cite as:** Lapin A.A., Karataev O.R., Garifullin I.G., Litvinov S.D., Zelenkov V.N. Prospects for using molecular hydrogen in environmental and sport medicine (literature review). *Bulletin of the Medical Institute "REAVIZ". Rehabilitation, Doctor and Health.* 2021;11(6):33-41. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2021.6.PHYS.2>

В течение многих лет считалось, что молекулярный водород (МВ) является инертным газом в живых организмах, но исследования на животных показали, что его вдыхание снижает окислительный стресс и подавляет повреждение головного мозга, вызванное ишемией и реперфузией, благодаря его антиоксидантным свойствам, которые были доказаны многочисленными исследованиями [1–11, 19, 21, 24–27], в том числе и с участием авторов данного обзора [13–15, 17, 18].

В 2007 году японский исследователь Ohsawa M. с соавторами выпустил обзор в журнале «Природная медицина» о том, что водород действует как терапевтический антиоксидант, избирательно уменьшая цитотоксические кислородные радикалы [25]. По данным M. Ichihara (2015) за 8 лет, к июлю 2015 года, данный обзор был

процитирован 533 раза (!), а количество оригинальных статей по терапевтической эффективности водорода, большая часть из которых выполнена в Японии, Китае и США, превысило 300 [9].

Актуальность исследований МВ в мире значительно увеличилась, так как он оказался чрезвычайно уникальным реагентом, поскольку обладает способностью действовать на клеточном уровне. Водород способен преодолевать гематоэнцефалический барьер, проникать в митохондрии и другие области клеток, где он проявляет антиоксидантные, антиапоптотические, противовоспалительные и цитопротективные свойства [4].

Из выявленных нами тридцати публикаций девятнадцать цитируются в международной базе данных Scopus [1–4, 6–9, 11, 19–20, 23–30]; четыре – Web of Science [12, 14, 27, 29]; две – Google

Scholar [10, 27]; три – Elsevier [1, 5, 30]; четыре – Chemical Abstracts [13, 15, 16, 18]. Среди публикаций отмечается наличие восьми обзорных статей, посвященных данной тематике [1, 2, 9, 10, 12, 18, 25, 30], из которых три российские [9, 10, 18].

За последние годы МВ возник и укрепился в качестве новейшего терапевтического средства, обладающего антиоксидантными, противовоспалительными и антиапоптотическими свойствами, что было продемонстрировано многочисленными исследованиями на моделях различных заболеваний животных и исследованиями на пациентах. Благоприятные воздействия молекулярного водорода в клинических условиях особенно заметны на заболеваниях, спровоцированных стрессовыми ситуациями, таких как сахарный диабет 2-го типа, инфаркт ствола головного мозга, ревматоидный артрит или нейродегенеративные заболевания. В более поздних исследованиях многими авторами было показано, что МВ влияет на передачу сигналов в клетках и действует как подщелачивающее средство. Эти новые выявленные механизмы воздействия МВ обладают потенциалом для еще большего расширения его применения в клинической медицине. В частности, водородная терапия может оказаться специфическим и эффективным инновационным средством воздействия на оксидативный стресс, вызванный большими физическими нагрузками и спортивными травмами, а также она имеет потенциал повышения эффективности тренировок. В обзоре подведены итоги результатов последних исследований, связанных с клиническими аспектами использования МВ с упором на его применение в области спортивной медицины [1].

В следующем обзоре японских ученых приведены результаты исследований по применению молекулярного водорода в качестве нового антиоксиданта в спортивной науке [2]. Цель обзора состоит в том, чтобы представить доказательства о влиянии приема МВ на изменения физиологических и биохимических параметров, в первую очередь на вызванный физическими нагрузками окислительный стресс.

В большинстве исследований сообщалось о влиянии МВ на такие заболевания, как рак, диабет, инфаркт мозга и болезнь Альцгеймера. Однако мало что известно о его влиянии на здоровых людей и физические упражнения. Авторы обзорной статьи [2] считают, что до сих пор только шесть работ изучали влияние МВ на физические упражнения. МВ является самой маленькой молекулой в природе и поэтому может легко проникать через клеточную мембрану и быстро диффундировать в органеллы. Считается, что он способен избирательно восстанавливать гидроксильные радикалы и пероксинитрит и при этом не влиять на другие физиологически активные виды химических соединений (например, перекись водорода  $H_2O_2$ ).

В совокупности антиоксидантное действие МВ не только прямое, селективное удаление активных форм [3] и подавление свободнорадикальных цепных реакций перекисного окисления липидов [11], но и опосредованное, индуцирование экспрессии антиоксидантных ферментов. Кроме того, необходимо учитывать, что МВ подавляет экспрессию воспалительных цитокинов [3, 4–8]. МВ может подаваться в организм разными способами, такими как ингаляции, пероральный прием водородной воды (ВВ) [9, 10], внутрибрюшное, внутритрахеальное введение [9], купание в ВВ [2, 23], внутривенное введение физиологического раствора МВ, а также он может использоваться в виде глазных капель для антиоксидантной терапии глазных болезней [9]. При этом побочные эффекты минимальны, так как МВ выводится из организма при выдохе. Несмотря на ряд недостатков (табл. 1, обзора [2]), вышеупомянутые преимущества использования МВ, как ожидается, приведут к увеличению исследований по его применению в спортивной науке.

Вода регулирует температуру тела спортсменов и смазывает суставы, а также помогает питательным веществам давать энергию и играет важную роль в обеспечении хорошего уровня здоровья [11, 12].

В обзорной статье [14] также указывается, что усталость к концу тренировки может быть вызвана скорее

обезвоживанием, чем недостатком питания. Производительность во время упражнений снижается, если организм обезвожен на 2 % от массы тела. Потери воды более чем на 5 % от массы тела снижают производительность на 30 %. Обезвоживание относится как к гипогидратации (обезвоживанию, вызванному до тренировки), так и к вызванному физической нагрузкой обезвоживанию (обезвоживанию, развивающемуся во время тренировки). Последнее снижает показатели аэробной выносливости и приводит к повышению температуры тела, частоты сердечных сокращений, воспринимаемой физической нагрузки и, возможно, к увеличению зависимости от углеводов в качестве источника топлива. Хотя отрицательное влияние вызванного физическими упражнениями обезвоживания на физическую работоспособность было ясно продемонстрировано в 1940-х годах, спортсмены продолжали верить в течение многих последующих лет, что потребление жидкости не приносит пользы. Эффекты гипогидратации могут варьироваться в зависимости от того, индуцируется ли она диуретиками или воздействием сауны, которые существенно уменьшают объем плазмы, или предшествующей физической нагрузкой, которая оказывает гораздо меньшее влияние на объем плазмы. Гипогидратация снижает аэробную выносливость, но ее влияние на мышечную силу и выносливость не является последовательным и требует дальнейшего изучения.

Прием перед физической нагрузкой ВВ снижает уровень лактата в крови и улучшает вызванное физическими упражнениями снижение функции мышц и может быть подходящим средством от гипогидратации [11].

Сокращение мышц при интенсивных упражнениях в течение короткого времени вызывает окислительный стресс, который играет определенную роль в развитии симптомов перетренированности, включая повышенную усталость, приводящую к микротравмам мышц или их воспалению. Японские ученые исследовали влияние ВВ на окислительный стресс и мышечную усталость в ответ на острую физическую нагрузку, так как она проявляет антиоксидантные свойства [13–19]. У

испытуемых острые физические нагрузки приводили к повышению уровня лактата в крови, тогда как пероральный прием ВВ предотвращал это. Пиковый крутящий момент РW значительно снижался во время максимального изокинетического разгибания колена, что свидетельствовало о мышечной усталости, но пиковый крутящий момент ВВ не уменьшался на ранней фазе. Не было обнаружено существенных изменений в маркерах окислительного повреждения крови (d-ROMs и BAP) или креатинкиназе после физической нагрузки [19].

Как было показано также японскими исследователями, повторные спринтерские упражнения могут нарушить внутримышечный окислительно-восстановительный баланс и вызвать системный окислительный стресс и повреждение мышц. Существует все больше доказательств того, что молекулярный водород противодействует окислительной и/или воспалительной реакции. Поэтому они исследовали влияние ВВ на интенсивные физические упражнения. Было разработано одиночное слепое перекрестное рандомизированное контролируемое испытание. Восемь мужчин-добровольцев выполнили два 3-дневных последовательных физических теста в двух условиях: ВВ и плацебо-вода (ПВ). Упражнение включало в себя прыжок в контрморье, максимальное добровольное изометрическое сокращение разгибателей колена и спринтерскую езду. Спринтерское велосипедное упражнение состояло из трех повторений 10-секундного максимального кручения педалей с сопротивлением 7,5 % массы тела и 110-секундного активного отдыха (кручение педалей без нагрузки). До и после нагрузочного теста участники выпивали 500 мл ВВ (при концентрации  $H_2$   $5,14 \pm 0,03$  %) или ПВ (при концентрации  $H_2$   $0,00 \pm 0,00$  ‰). За 7 часов до первого теста с физической нагрузкой (1-й день) в качестве исходного уровня и через 16 часов после теста с физической нагрузкой на каждый день были получены образцы крови. Физические упражнения в обоих условиях существенно не отличались в течение трех последовательных дней. В исследовании с ПВ относительные изменения биологического антиоксидантного потенциала/диакрон-реактивных

метаболизм кислорода, как показателя системного антиоксидантного потенциала, от исходного уровня постепенно снижались по мере прохождения дня. Однако ВВ подавляла снижение биологического антиоксидантного потенциала/диахрон-реактивных кислородных метаболитов, наблюдаемое при употреблении ПВ. Употребление ВВ способствовало поддержанию окислительно - восстановительного статуса в течение последовательных дней напряженных физических упражнений и могло помочь предотвратить хроническую мышечную усталость [20].

В исследовании 2012 года о пользе ВВ для спортсменов ученые работали с командой профессиональных футболистов. Эксперименты показали, что сокращение мышц во время интенсивных упражнений вызывает окислительный стресс, который влияет на проявление повышенной усталости, микротравм в мышцах или воспалений, крепатуры синдрома отсроченной мышечной боли после тренировки (DOMS – Delayed onset muscle soreness). С использованием водородной воды спортсменам было легче провести активную тренировку, а неприятные последствия были предотвращены. Ученые сделали вывод, что активное употребление ВВ уменьшает количество молочной кислоты в мышцах, которая является причиной крепатуры, общая нагрузка на мышцы уменьшается, повреждения тканей – микротравмы в мышцах – заживают быстрее в несколько раз. Именно поэтому многие спортсмены в Америке, Канаде, Германии пьют вместо обычной воды только ВВ до, во время и после тренировок как разрешенный и самый доступный «допинг» для повышения результатов в спорте [21].

Сотни научных исследований о пользе водорода были проведены в лабораториях по всему миру. В Америке профессиональные спортсмены и целые спортивные команды и астронавты выбрали ВВ. Если Вы профессиональный спортсмен или просто занимаетесь спортом, очень важно понимать, что Вы имеете достаточный уровень гидратации организма до, во время и после тренировки, идеально было бы восполнять

потери воды с помощью ВВ с хорошим уровнем концентрации водорода. В сети Интернет представлены многочисленные положительные отзывы спортсменов о ВВ. Они отмечают прилив сил во время тренировок, быстрое восстановление, повышение выносливости и отсутствие спазмов [22].

Как было показано ранее, употребление ВВ способствовало поддержанию окислительно - восстановительного статуса в течение нескольких последовательных дней напряженных физических упражнений и могло оказать помощь в предотвращении хронической мышечной усталости [20].

Хроническая усталость – это клиническое состояние организма, характеризующееся стойкой усталостью, длящейся более шести месяцев. В настоящее время синдром хронической усталости (СХУ) или идиопатическая хроническая усталость являются серьезной проблемой, поскольку не существует специальных методов её лечения, за исключением изменения образа жизни, что приводит к хроническому ухудшению качества жизни в связи с дефицитом концентрации, потерей памяти, мышечной болью и недосыпанием [23].

Синдром хронической усталости является распространенным, но плохо изученным. Появляющиеся в литературе данные убедительно свидетельствуют о том, что причина заболевания заключается в несогласованной активации иммунной системы, такой как воспаление, а также может быть вызвана нарушением регуляции окислительно - восстановительного баланса и энергетического метаболизма. Авторы научного обзора приводят данные по измерению усталости, распространенности и смешивающим факторам, таким как депрессия, нарушения сна и боль, а также описывают и объясняют модели усталости и усталостной сигнализации с акцентом на цитокины и поведение болезни, окислительный стресс, митохондриальную дисфункцию и влияние определенных генов на усталость [24].

Изучено влияние употребления ВВ лабораторными мышами при принудительном плавании [25]. В приведенном в обзоре [25] авторами

указывается, что водород хорошо известен как терапевтический антиоксидант, избирательно очищающий цитотоксические активные формы кислорода (АФК) в тканях [26]. Поскольку водород является газообразной молекулой, вдыхание может быть наиболее быстрым способом получения эффекта очистки, но для работы с мышцами была выбрана водородная вода, так как её проще использовать при проведении испытаний, чем газообразный водород. Опубликованные в обзоре исследования показали эффективность употребления ВВ при атеросклерозе, химиотерапевтической нефротоксичности и травме головного мозга, а также метаболическом синдроме, таком как резистентность к инсулину [26–28].

Поскольку ВВ может легко проникать через кожу и затем распределяться с током крови по всему организму, в терапевтических целях возможно применение тёплых ванн с ВВ, т. е. прямой диффузии водорода [9].

Авторы обзора [25] исследовали влияние еженедельного купания в ВВ на окислительный стресс, вызванный физическими упражнениями, и воспалительные реакции, а также повреждение мышц и их болезненность с отсроченным началом (DOMS) после скоростного спуска [28].

Другой коллектив авторов значительно позже опубликовал статью о влиянии купания в насыщенной ВВ на биомаркеры мышечного повреждения и восприятия болезненности у молодых мужчин, подвергнутых высокоинтенсивным эксцентрическим упражнениям [29].

Тёплая ВВ подавляет образование морщин на коже человека, образующихся от УФ-лучей, способствует выработке коллагена I типа, снижает окислительный стресс в фибробластах и предотвращает повреждение клеток в кератиноцитах [30].

Авторы обзора выражают благодарность всем исследователям, данные которых приведены в нашей статье.

### **Заключение**

Проведено обобщение, систематизация публикаций и теоретическое обоснование современного состояния применения молекулярного водорода и водородной воды в экологичной и спортивной медицине. Основной задачей работы являлось выявление перспектив использования молекулярного водорода, применения водородной воды от усталости (в том числе хронической), вызванной обезвоживанием организма спортсменов под действием физических нагрузок.

В настоящее время существуют многочисленные исследования, направленные на применение молекулярного водорода и его эффективности в медицине и спорте, но на наш взгляд необходимо исследовать и опубликовать отдаленные результаты его воздействия на организм человека, учитывая то, что он имеет ряд преимуществ по сравнению с применением обычных антиоксидантов (витамины С и Е), и поэтому необходимо продолжать работы в различных направлениях применения молекулярного водорода в экологичной, спортивной медицине и для реабилитации.

**Литература/References**

- 1 Ostoich S.M. Molecular hydrogen in sports medicine: new therapeutic perspectives. *International Journal of Sports Medicine*. 2015;36(4):273-279. <https://doi.org/10.1186/1476-5918-8-1>
- 2 Kawamura T., Higashida K., Muraoka I. Application of Molecular Hydrogen as a Novel Antioxidant in Sports Science. *Oxid Med Cell Longev*. 2020;2020. <https://doi.org/10.1155/2020/2328768>. Hindawi.com. Article ID2328768
- 3 Huang C.S., Kawamura T., Toyoda Y. and Nakao A. Recent advances in hydrogen research as a therapeutic medical gas. *Free Radical Research*. 2010;44(9):971-982. <https://doi.org/10.3109/10715762.2010.500328>
- 4 Dixon B.J., Tang J., Zhang J.H. The evolution of molecular hydrogen: a noteworthy potential therapy with clinical significance. *Medical Gas Research*. 2013;3(1):10. <https://doi.org/10.1186/2045-9912-3-10>
- 5 Ohta S. Molecular hydrogen as a preventive and therapeutic medical gas: initiation, development and potential of hydrogen medicine. *Pharmacology & Therapeutics*. 2014;144(1):1-11. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2014.04.006>
- 6 Ichihara M., Sobue S., Ito M., Ito M., Hirayama M., Ohno K. Beneficial biological effects and the underlying mechanisms of molecular hydrogen - comprehensive review of 321 original articles. *Medical Gas Research*. 2015;5(12):1-21. <https://doi.org/10.1186/s13618-015-0035-1>
- 7 Ge L., Yang M., Yang N. N., Yin X. X., Song W. G. Molecular hydrogen: a preventive and therapeutic medical gas for various diseases. *Oncotarget*. 2017;8(60):102653-102673. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.21130>
- 8 Iuchi K., Kamimura N., Nishimaki K., Imoto A. Molecular hydrogen regulates gene expression by modifying the free radical chain reaction-dependent generation of oxidized phospholipid mediators. *Scientific Reports*. 2016;6(1):18971. <https://doi.org/10.1038/srep18971>
- 9 Рахманин Ю.А., Егорова Н.А., Михайлова Р.И. и др. Молекулярный водород: биологическое действие, возможности применения в здравоохранении (обзор). *Гигиена и Санитария*. 2019;98(4):359-365. <https://doi.org/10/18821/0016-9900-2019-98-4-359-365> [Rakhmanin Yu. A., Egorova N. A., Mikhailova R.I. et al. Molecular hydrogen: biological action, possibilities of application in healthcare (review). *Hygiene & Sanitation (Russian Journal)*. 2019;98(4):359-365. <https://doi.org/10/18821/0016-9900-2019-98-4-359365> (In Russ)].
- 10 Чепур С.В., Плужников Н.П., Хурцилава О.Г. и др. Биологические эффекты молекулярного водорода и возможности его применения в клинической практике. *Успехи современной биологии*. 2017;137(3):311-318. [Chepur S.V., Pluzhnikov N.P., Khurtsilava O.G. et al. Biological effects of molecular hydrogen and the possibility of its use in clinical practice. *Successes of modern biology*. 2017;137(3):311-318 (In Russ)].
- 11 Kosuke A., Atsunori N., Takako A., et al, 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>
- 12 Barr S. I. Effects of dehydration on exercise performance. *Can J Appl Physiol*. 1999;24(2):164-172. <https://doi.org/10.1139/h99-014>
- 13 Лапин А.А., Чугунов Ю.В., Филиппов С.Д. Суммарная антиоксидантная активность водных систем, насыщенных водородом. *Бутлеровские сообщения*. 2015;44(12):61-66. ROI: jbc-01/15-44-12-61 [Lapin A.A., Chugunov Yu.V., Filippov S.D. The total antioxidant activity of the aqueous systems, saturated with hydrogen. *Butlerov Communications*. 2015;44(12):61-66. ROI: jbc-02/15-44 (In Russ)].
- 14 Lapin A.A., Filippov S.D., Zelenkov V.N., Kalayda A.A. Biochemical effect of molecular hydrogen in aqueous systems. *International Scientific and Practical Conference: Water Power Energy Forum 2018 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 288 (2019) 012054 IOP Publishing <https://doi.org/10.1088/17551315/288/1/012054>
- 15 Лапин А.А., Хачатрян А.П. Антиоксидантные свойства водных сред с молекулярным водородом. Часть 2. Обоснование применения ёмкостей «Акваспектр» для насыщения водных сред активным водородом с использованием биохимического показателя суммарной антиоксидантной активности. *Бутлеровские сообщения*. 2020;61(3):59-65. <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-01/20-61-2-3-59> [Lapin A.A., Khachatryan A.P. Antioxidant properties of aqueous media with molecular hydrogen. Part 2. Justification for the use of "Aquaspectrum" containers for saturation of aqueous media with active

- hydrogen using a biochemical indicator of total antioxidant activity. *Butlerov Communications*. 2020;61(3):59-65. <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-01/20-61-2-3-59> (In Russ)].
- 16 Лапин А.А., Чугунов Ю.В. Влияние температуры на антиоксидантную активность воды. *Бутлеровские сообщения*. 2012;30(6):113-119. ROI: jbc-01/12-30-6-113 [Lapin A.A., Chugunov Yu.V. Effect of temperature on the antioxidant activity of water. *Butlerov Communications*. 2012;30(6):113-119. ROI: jbc-02/12-30-6-113 (In Russ)]
- 17 Лапин А.А., Гарифуллин И.Г., Литвинов С.Д., Зеленков В.Н. Антиоксидантные свойства водных сред с молекулярным водородом и их применение в экологичной медицине. *Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье*. Изд-во: Медицинский университет «Реавиз» (Самара). 2020;44(2):13-20. eLIBRARY ID: 43327447 [Lapin A.A., Garifullin I.G., Litvinov S.D. and Zelenkov V.N. Antioxidant properties of aqueous media with molecular hydrogen and their use in eco friendly medicine. *Bulletin of the Medical Institute "Reaviz": rehabilitation, doctor and health*. Publishing house: Medical University "Reaviz" (Samara). 2020;44(2):13-20. eLIBRARY ID: 43327447 (In Russ)]
- 18 Каратаев О.Р., Лапин А.А., Зеленков В.Н. Современное состояние электрохимических методов анализа для исследования водных систем. *Бутлеровские сообщения*. 2021;67(8):89-97. <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-B/21-1-2-5> [Karataev O.R., Lapin A.A., Zelenkov V.N. The current state of electrochemical methods of analysis for the study of water systems. *Butlerov Communications*. 2021;67(8):89-97. <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-B/21-1-2-5> (In Russ)]
- 19 Dobashi S., Takeuchi K, Koyama K. Hydrogen-rich water suppresses the reduction in blood total antioxidant capacity induced by 3 consecutive days of severe exercise in physically active males. *Med Gas Res*. 2020; 10(1):21-26. <https://doi.org/10.4103/2045-9912.279979>. PMID: 32189665
- 20 Lee N.H. and Son Ch.G. Fatigue severity of patients with idiopathic chronic fatigue compared to healthy subjects. *Journal of Traditional Chinese Medicine*. 2012;32(3):355-357. [https://doi.org/10.1016/S0254-6272\(13\)60037-0](https://doi.org/10.1016/S0254-6272(13)60037-0)
- 21 Norheim K.B., Jonsson G. and Omdal R. Biological mechanisms of chronic fatigue. *Rheumatology (Oxford, England)*. 2011;50(6):1009-1018. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/keq454>
- 22 Ara J., Fadriquel A., Ahmed M.D.F. et al. Hydrogen Water Drinking Exerts Antifatigue Effects in Chronic Forced Swimming Mice via Antioxidative and Anti-Inflammatory Activities. *BioMed Research International*. 2018;2018:1-9. <https://doi.org/10.1155/2018/2571269>
- 23 Ohsawa M., Ishikawa K. Takahashi et al. Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals. *Nature Medicine*. 2007;13(6):688-694. <https://doi.org/10.1038/nm1577>
- 24 Nakashima-Kamimura N., Mori T., Ohsawa I., Asoh S., and Ohta S. Molecular hydrogen alleviates nephrotoxicity induced by an anti-cancer drug cisplatin without compromising antitumor activity in mice. *Cancer Chemotherapy and Pharmacology*. 2009;64(4):753-761. <https://doi.org/10.1007/s00280-008-0924-2>
- 25 Sato Y., Kajiyama S., Amano A., Kondo Y., Sasaki T. and Handa S. Biochemical and Biophysical Research Communications. Hydrogen-rich pure water prevents superoxide formation in brain slices of vitamin C-depleted SMP30/GNL knockout mice. *PubMed*. 2008;375(3):346-350. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2008.08.020>
- 26 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. *Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*. 2016;65(3):297-305. <https://doi.org/10.7600/jspfsm.65.297>
- 27 Todorovic N., Javorac D., Stajer V., Ostojic S.M. et al. The effect of Supersaturated Hydrogen-Rich Water Bathing on Biomarkers of Muscular Damage and Soreness Perception in Young Men Subjected to High Intensity Eccentric Exercise. *J. Sports Med (Hindawi Publ Corp)*. 2020;1(5):8836070. <https://doi.org/10.1155/2020/8836070>
- 28 Kato Sh., Saitoh Y., Iwai K., Miwa N. Hydrogen-rich electrolyzed warm water represses wrinkle formation against UVA ray together with type-I collagen production and oxidative-stress diminishment in fibroblasts and cell-injury prevention in keratinocytes. *J. Photochem Photobiol B*. 2012;106:24-33. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2011.09.006>

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Competing interests.** The authors declare no competing interests.

**Финансирование.** Исследование проводилось без спонсорской поддержки.

**Funding.** This research received no external funding.

#### Авторская справка

**Лапин Анатолий  
Андреевич**

кандидат химических наук, доцент кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура», Казанский государственный энергетический университет, Казань, Республика Татарстан, Россия старший научный сотрудник кафедры «Информационные технологии», Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ, Казань, Республика Татарстан, Россия старший научный сотрудник кафедры «Экономика и управления в спорте», Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма. Деревня Универсиады, Казань, Республика Татарстан, Россия e-mail: lapinanatol@mail.ru  
ORCID 0000-0001-9142-0403

Вклад в статью 20 % – анализ литературы, написание обзора, подведение итогов

**Каратаев Оскар  
Робиндарович**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии», Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ, Казань, Республика Татарстан, Россия доцент кафедры «Экономика и управления в спорте», Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма. Деревня Универсиады, Казань, Республика Татарстан e-mail: oskar\_karataev@mail.ru  
ORCID 0000-0003-2232-4754

Вклад в статью 20 % – анализ литературы, написание обзора, подведение итогов

**Гарифуллин Ирек  
Гаязович**

директор ООО «Клиника экологичной медицины», Казань, Республика Татарстан, Россия e-mail: ireknl@mail.ru  
ORCID 0000-0003-0854-0004

Вклад в статью 20 % – анализ литературы, написание обзора, подведение итогов

**Литвинов Сергей  
Дмитриевич**

профессор, доктор фармацевтических наук, академик МАНЭБ, кафедра естественнонаучных дисциплин, Медицинский университет «Реавиз», Самара, Россия e-mail: litar21@yandex.ru  
ORCID 0000-0001-7094-3870

Вклад в статью 20 % – анализ литературы, написание обзора, подведение итогов

**Зеленков Валерий  
Николаевич**

кандидат химических наук, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, Москва, Россия e-mail: zelenkov-raen@mail.ru  
ORCID 0000-0001-5481-2723

Вклад в статью 20 % – анализ литературы, написание обзора, подведение итогов

Статья поступила 28.10.2021

Одобрена после рецензирования 02.12.2021

Принята в печать 07.12.2021

Received October, 28<sup>th</sup> 2021

Approved after reviewing December, 2<sup>th</sup> 2021

Accepted for publication December, 7<sup>th</sup> 2021