

ВОДОРОД – МЕДИЦИНСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ

¹С.Н.Мальченко,²В.Н.Ростовцев,¹Л.Е.Можей,²Т.И.Терехович

¹Рекреационный центр Леонида Можея, ул. Шоссейная, 9, п.Звенячи,
223024, Минский район, Минская область, Республика Беларусь

²Республиканский научно-практический центр медицинских технологий,
информатизации, управления и экономики здравоохранения (РНПЦ МТ),
ул. П.Бровки, 7а, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

В статье рассматриваются биологические свойства молекулярного водорода, вызывающие многочисленные эффекты в клетках и тканевых структурах, в том числе, антиоксидантные, противовоспалительные, антиаллергенные и аутофагические. Кроме снижения оксидативного стресса, H₂ рассматривается как молекула-регулятор внутриклеточных сигнальных путей. Отмечается также, что H₂ индуцирует экспрессию различных генов. Обобщены результаты, свидетельствующие о перспективах применения H₂ в оздоровлении и терапии заболеваний человека.

Ключевые слова: молекулярный водород; оксидативный стресс; водородная терапия.

Введение. В последнее время появилось большое количество информации о биологических свойствах молекулярного водорода и его применении в профилактических и лечебных целях. Масштабное исследование терапевтических свойств водорода началось в 2007 году после публикации статьи «Водород действует как терапевтический антиоксидант, селективно уменьшая количество цитотоксичных радикалов кислорода» в одном из самых авторитетных изданий мира – научном медицинском журнале Nature Medicine [1]. С тех пор вышло более 1000 научных статей о терапевтическом потенциале водорода. Проводятся международные конференции по данной тематике. Создан Институт молекулярного водорода в США. Большая часть исследований посвящена изучению действия H₂ в экспериментах на животных. Вместе с тем, в последнее время наблюдается значительный рост клинических испытаний терапевтических эффектов H₂ при различных заболеваниях человека. Лидерами в данном направлении исследований являются Япония, Китай, США.

Основные физико-химические свойства водорода и его получение. Водород – самый легкий и распространенный элемент Вселенной. В обычном состоянии существует в виде H₂. Основная масса водорода находится в виде химических соединений. В молекулярной форме встречается нечасто (нефтяные и горючие газы, при разложении органических веществ, биофотолиз). В нормальных условиях водород – бесцветный и нетоксичный газ, без запаха и вкуса.

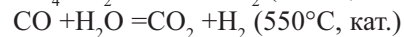
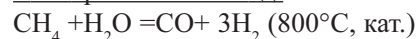
Исключительная прочность химической связи в молекуле водорода обуславливает высокие энергии активации химических реакций с его участием. Поэтому при обычных условиях реакционная способность водорода, как правило, невысокая, и при нормальных условиях он не вступает в химические реакции со многими веществами.

Однако, водород не столь безобиден. При определенных условиях он может реагировать со многими веществами и, в частности, с кислородом. Эта цепная химическая реакция протекает с высокой скоростью, приводящей к взрыву и выделению большого количества энергии. В таблице приведены пределы воспламенения водорода с кислородом и воздухом.

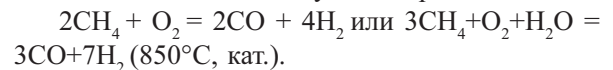
Водород плохо растворяется в воде, еще хуже в органических растворителях. Но он хорошо растворим во многих твердых металлах. При 20°C и нормальном давлении в литре воды может раствориться только 0,0016г водорода (1600ppb или максимум 0,018л).

Получение водорода в промышленных условиях.

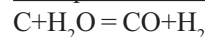
Конверсионный метод:



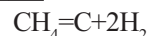
Неполное окисление углеводородов:



Газификация твердого топлива:



Термическое разложение (пиролиз) углеводородов:



Пределы воспламенения водорода

Смесь H ₂	Нижний предел об % H ₂	Верхний предел об % H ₂	Температура воспламенения, °С
С кислородом	4,5	95	450
С воздухом	4,1	74,2	510

Электролиз воды («зеленый водород»)

Самый перспективный, но дорогой. Уменьшение затрат возможно за счет использования возобновляемых источников энергии.

Биотехнологическое получение водорода.

1. Биохимический метод, основанный на выделении водорода различными бактериями, например, *Rodobacters periodes*, *Enterobacter cloacae*.

2. Биофототиз. Водород производят зеленые водоросли, например *Chlamydomonas reihardtii*. Водоросли могут производить водород из морской воды и канализационных стоков.

Важно отметить, что водород не является вредным и «чужим» газом для человека. Водород в виде газа нетоксичен даже при высоких концентрациях. Еще в прошлом веке аквалангистами использовались газовоздушные смеси, содержащие водород, кислород и гелий для глубоководного погружения с целью предотвращения у них кессонной болезни, газовой эмболии и азотного наркоза [2–4]. При этом, концентрации водорода в газовоздушной смеси на порядок выше, чем требуется для терапевтического использования и хорошо переносятся организмом без хронических токсических эффектов. Сотни исследований по водороду при бактериальном производстве, глубоководном дайвинге и недавние медицинские исследования не выявили прямых вредных побочных эффектов введения водорода в терапевтических дозах. Такой высокий уровень безопасности можно считать парадоксальным, поскольку химические вещества, которые оказывают биологические эффекты, как правило, должны обладать как полезными, так и вредными свойствами в зависимости от дозировки, времени, местоположения, продолжительности применения, наличия у человека хронических заболеваний и т.д.

Биохимические свойства водорода. Молекулярный водород (H₂) – незаряженная, неполярная, двухатомная молекула с низкой молекулярной массой 2,016г/моль. Эти характеристики делают водород очень благоприятным для использования его в медицине, поскольку они позволяют водороду диффундировать как через мембрану клетки, так и через мембраны органелл, таких как

митохондрии. Распределение водорода по мембранам не подвержено влиянию электрохимических градиентов и может проходить через гидрофобную фазу липидных бислоев. Это позволяет молекулярному водороду влиять на цитозольные реакции и биохимию органелл. Эти фундаментальные свойства делают водород идеальным терапевтическим средством для борьбы с дисфункциональными внутриклеточными процессами, регуляции метаболизма и окислительно-восстановительного потенциала.

То, что водород образуется у нас в организме, это тоже известный факт. У человека отсутствуют ферментные системы эндогенного образования H₂, тем не менее, в организме он образуется за счет анаэробной ферментации кишечной микрофлорой непереваренных углеводов с последующей его абсорбцией в кишечнике. Выделяемый кишечной микрофлорой в количестве 150–12000мл/день, H₂ частично поступает в систему воротной вены и с током крови разносится по организму. [5–7]. В работе [7] установлено, что концентрация H₂ при спокойном дыхании в выдыхаемом воздухе изменялась у испытуемых добровольцев в диапазоне от 1х10⁻⁵ до 13,5х10⁻⁵об.%. В среднем она составляла 5х10⁻⁵об.%. Введение в организм глюкозы не приводило к существенным изменениям содержания H₂, тогда как физические нагрузки и введение спирта значительно сокращали его концентрацию во выдыхаемом воздухе. Введение в организм лактозы напротив, заметно повышало концентрацию водорода. В работе [6] выявлена зависимость между количеством выделяемого при дыхании молекулярного водорода и заболеванием кишечника (синдром раздраженного кишечника). Были усовершенствованы и внедрены в клиническую практику подходы к лечению пациентов с данным заболеванием, основанные на измерении количества выдыхаемого водорода.

Уникальные физико-химические свойства водорода – гидрофобность, нейтральность, размер молекулы, малая масса, возможность вступать избирательно в окислительно-восстановительные реакции и др. благоприятствуют его проникнове-

нию через биомембраны для достижения ядер клеток и мембраны органелл, таких как митохондрии, где водород оказывает свое терапевтическое действие (рис.1). Кроме того, водород, в отличие от большинства антиоксидантных соединений, путем газовой диффузии легко проникает через гематоэнцефалический, плацентарный и гематосеменниковый барьеры [8–10]. Важно, как уже отмечалось выше, что молекулярный водород нетоксичен даже при высоких концентрациях.

Согласно существующим представлениям, у всех живых организмов свободнорадикальные процессы и деятельность антиоксидантных систем составляют единое целое – окислительный метаболизм, являющийся одним из базовых компонентов обмена веществ. Данная совокупность биохимических реакций определяется текущим уровнем и взаимопревращениями различных радикалов, которые способны, вступая в многочисленные взаимодействия, оказывать как позитивное, так и негативное действие [11].

Известно, что большую роль в протекании окислительно-восстановительных биохимических реакций играют различные кислородсодержащие радикалы и молекулы, обладающие разной химической активностью (рис.2). Поэтому оксидативный стресс – это не всегда плохо. Активные формы кислорода участвуют в естественных физиологических процессах. Например, они помогают бороться с инфекциями, усиливают иммунную защиту. При гриппе макрофаг продуцирует активные формы кислорода именно для того, чтобы бороться с вирусом.

Однако, повышенное содержание активных форм кислорода (АФК), таких как ОН-радикалов и активных форм азота ONOO-в условиях окислительного стресса считается существенным, если не самым главным элементом, провоцирующим развитие многих болезней (ишемический инсульт, инфаркт, при трансплантации органов, операционные кровотечения, воспаления, ревматические, гастроинтестинальные, нейродегенеративные, онкологические заболевания, заболевания репродук-

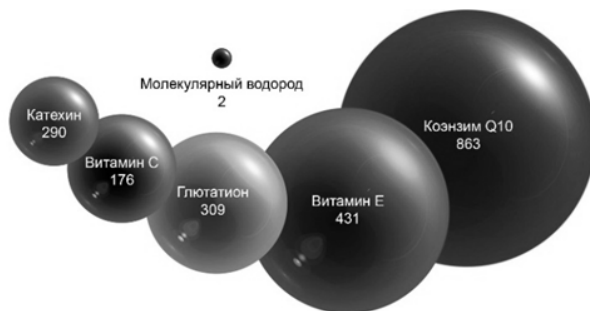


Рис. 1. Сравнение молекулярных масс и примерных размеров известных антиоксидантов

тивной системы, болезни печени, поджелудочной железы, кожи, глаз, тканевые дисфункции, травмы мозга, острые респираторные заболевания, мышечные боли и других) [8,10–19].

Практически всегда АФК образуются в организме человека как побочные продукты окислительного метаболизма, при потреблении кислорода во время дыхания. Способствовать увеличению их концентрации и формированию хронического окислительного стресса могут такие факторы, как курение, злоупотребление алкоголем, ультрафиолетовое и радиоактивное излучение, тяжелые физические нагрузки, экологические нагрузки, неправильное питание. В случае, если образование АФК превышает компенсаторные возможности внутренних антиоксидантов (к ним относятся ферменты супероксиддисмутазы, пероксидазы, каталазы и др.), начинаются процессы окислительного повреждения клеточных макромолекул, которые в итоге приводят к нарушениям функционирования клеток, их гибели, и к развитию вышеперечисленных заболеваний.

Поэтому перед медициной встала сложная задача. С одной стороны, необходимо убрать лишние самые сильные и вредные оксиданты. С другой – оставить физиологически важные. Проведенные многочисленные исследования показали, что известные антиоксиданты имеют лишь ограниченное применение в терапевтической практике. Клинически тестированные антиоксиданты оказались малоэффективными в предупреждении рака, инфаркта миокарда, атеросклероза и других, связанных с окислительным стрессом заболеваний в силу их применения в узких границах терапевтических доз из-за выраженной токсичности самих веществ. Поэтому сохранялась необходимость поиска эффективных антиоксидантов со слабо выраженным побочным действием или вообще им не обладающих [8; 11; 15; 18; 19].

Исследования показали, что у молекулярного водорода есть очень большое преимущество. Как антиоксидант, он взаимодействует только с самыми сильными оксидантами (ОН-, ONOO-), которые способны неконтролируемо вступать в реакции с нуклеиновыми кислотами, липидами и белками, вызывая фрагментацию ДНК и окисление последних. А те АФК, которые менее активны, продолжают выполнять свою биохимическую функцию (рис.2). Исходя из этого и учитывая целый ряд уникальных свойств молекулярного водорода, можно заключить, что на сегодняшний день он является самым перспективным из известных антиоксидантов.

Особое внимание исследователей привлекла возможность водородной терапии церебральных

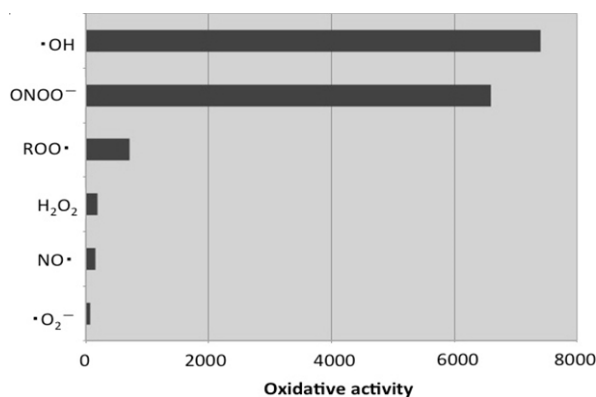


Рис. 2. Сравнение окислительной активности различных кислородсодержащих радикалов и H₂O₂

патологий – инсультов, травматических повреждений мозга и дегенеративных заболеваний – болезни Паркинсона и Альцгеймера, последствий неонатальной асфиксии и гипоксии [16; 18–25]. И для этого имелись основания. Мозг получает от 20 до 50% общего потребления кислорода в организме, хотя сам он составляет только около 2% массы тела. Это означает, что функции мозга сильно зависят от постоянного поступления кислорода. Поскольку около 2–5% кислорода, потребляемого клетками, превращаются в активные формы кислорода в качестве побочного продукта клеточного дыхания, следует ожидать, что клетки мозга будут подвергаться наиболее вероятному повреждению со стороны АФК. Проведенные исследования указывают на клинический потенциал H₂ в профилактике и лечении церебральной патологии [18; 19; 25; 27; 29; 30; 31].

Но снятие оксидативного стресса – это далеко не все, что может делать водород. В ряде исследований было отмечено, что H₂ может рассматриваться как молекула – регулятор внутриклеточных сигнальных путей, обеспечивающих координацию биохимических процессов, протекающих в клетках организма. H₂, как и другие газообразные сигнальные молекулы (например, NO, CO, H₂S), модулирует передачу сигналов, фосфорилирование белка, что обеспечивает его противовоспалительные, противоаллергические и антиапоптотические защитные эффекты на множестве моделей заболеваний, включая респираторные, метаболические и неврологические заболевания [10; 14; 17; 26; 32–36; 41]. В частности, сообщается, что применение водорода (H₂) при лечении респираторных заболеваний человека, в том числе, вызванных COVID-19, может снижать острый и вредный цитокиновый шторм [8; 10; 12].

Установлено, что H₂ модулирует экспрессию различных генов [2; 10; 14; 17–19; 37]. Проникая в ядро клеток, водород способен воздействовать

на структуру ДНК. Как сигнальная молекула, он повышает активность генов, отвечающих за активность ферментов, участвующих в процессе синтеза АТФ, а также оказывает влияние на гены, отвечающие за выработку медиаторов воспаления. Таким образом, можно сделать вывод о том, что водород настраивает работу организма на уровне генетической информации.

Действительно многочисленные исследования, проведенные в лабораторных и клинических условиях в различных странах подтверждают целесообразность использования водорода в профилактике и лечении различных заболеваний [14; 18; 19; 25; 34–43] (рис.3). К настоящему времени исследовано более 166 моделей заболеваний у людей и животных [19].

Способы введения водорода в организм. Существует несколько путей поступления молекулярного водорода в организм [8; 14; 18; 19; 25; 43].

1. *Ингаляции водорода.* Вдыхание газообразного водорода является простым терапевтическим методом. Для ингаляционного воздействия обычно 1–4 об.% H₂ в смеси с воздухом (довзрывные концентрации водорода) используют вентиляцию легких (ИВЛ), назальные канюли и лицевые маски. При вдыхании H₂ поступает в организм достаточно быстро, что позволяет использовать его при остром окислительном стрессе. Однако, при этом трудно контролировать концентрацию водорода и дозировку. Отмечается, что такой вид ингаляции не влияет на физиологические показатели крови, артериальное давление и температуру, а также безопасен и эффективен в борьбе с острым окислительным стрессом и воспалительными реакциями, вызванным тяжелыми состояниями. Имеются данные об ингаляции с повышенным содержанием H₂ и O₂ (66:33 об.%; H₂:O₂). Однако, при таких высоких концентрациях водорода и кислорода ингаляции проводятся в клинических условиях с соблюдением соответствующих мер безопасности.

Национальная Комиссия здравоохранения Китайской Народной Республики предоставила подробную стратегию терапии COVID-19, которая включает в себя введение различных противовирусных препаратов (например, лопинавира, ритонавира, хлорохина фосфата) вместе с ингаляцией молекулярного водорода и кислорода (66:33 об.%; H₂:O₂) в качестве дополнительного терапевтического средства, который может вводиться через носовые канюли [40].

2. *Употребление для питья воды с растворенным в ней водородом (водородная вода).* Наи-



Рис. 3. Использование водорода в профилактике и лечении различных заболеваний

более простой, удобный и эффективный метод введения водорода в организм. Он пригоден для постоянного использования с целью предупреждения развития окислительного стресса из-за различных неблагоприятных воздействий факторов окружающей среды в повседневной жизни. Этот метод наиболее распространен в практике и позволяет более точно контролировать дозировку и концентрацию водорода, чем при вдыхании. Однако, некоторая часть его все равно теряется в результате улетучивания. Следует учитывать, что при данном методе трудно контролировать концентрацию поступающего в организм водорода.

3. *Внутривенное, интратекальное, интравитреальное, внутривнутрибрюшинное, внутритрахеальное введение водорода.* Осуществляется путем инъекции насыщенного водородом физиологического раствора. Позволяет наиболее точно дозировать количество вводимого водорода.

4. *Водородные ванны.* Поскольку водород может легко проникать через кожу и затем распределяться с током крови по всему организму, в терапевтических целях возможно применение теплых ванн с H_2 -водой. Существует возможность принимать «сухие ванны». Через кожу водород попадает в кровоток, и в тех участках организма,

где это необходимо, будет снимать воспаление, замедлять разрушение клеток, укреплять иммунитет организма. Отмечается, что водородные ванны, безусловно, эффективны при различных кожных заболеваниях.

5. *Глазные капли.* Насыщенный водородом физиологический раствор может использоваться в виде глазных капель для антиоксидантной терапии глазных болезней.

6. *Увеличение выработки водорода кишечными бактериями.* Водород спонтанно продуцируется в организме путем ферментации непереваренных углеводов резидентной энтеробактериальной флорой. Диетическая куркума и лактулоза способствуют продуцированию H_2 кишечными бактериями и, тем самым, – профилактике и лечению воспалительных процессов в кишечнике. Механизм терапевтического действия такого водорода требует изучения.

Заключение. Высокий интерес специалистов к потенциалу медицинского применения молекулярного водорода сегодня не вызывает сомнения. Можно с уверенностью утверждать, что молекулярный водород является новым и весьма перспективным натуропатическим средством оздоровления, а также средством профилактики и лече-

ния распространенных неинфекционных и инфекционных заболеваний. Его применение заслуживает внимания врачей различных специальностей.

Литература

- Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals / I.Ohsawa [et al.] // *Nature Medicine*. – 2007. – V.13, No.6. – P.688–694.
- Clinical effects of hydrogen administration: from animal and human diseases to exercise medicine / G.L.Nicolson [et al.] // *International Journal of Clinical Medicine*. – 2016. – V.7, No.1. – P.32–76.
- Changes in maximal performance in inspiratory and skeletal muscles during and after the 7.1-MPa Hydra 10 record human dive / P.Fontanari [et al.] // *European Journal Applied Physiology*. – 2000. – V.81, No.4. – P.325–328.
- Psychophysiological reactions in humans during an open sea dive to 500m with a hydrogen-helium-oxygen mixture / J.H.Abraini [et al.] // *Journal of Applied Physiology*. – 1994. – V.76, No.3. – P.1113–1118.
- Production, metabolism, and excretion of hydrogen in the large intestine / S.U.Christl [et al.] // *Gastroenterology*. – 1992. – V.102, No.4 Pt1. – P.1269–1277.
- Козлов, В.О. Роль и место лактулозного водородного дыхательного теста в диагностике и лечении нарушений моторно-эвакуаторной функции желудочно-кишечного тракта: автореф. дис. ... канд. мед. наук / В.О.Козлов; Национальный медицинский университет. – Киев, 2011. – 29с.
- Измерение концентрации молекулярного водорода в выдыхаемом воздухе у человека масс-спектрометрическим газоанализатором / Б.И.Веркин [и др.] – Харьков: ФТИНТ, 1982. – 24с. – (Препринт / АН УССР, Физ.-техн. ин-т низ.температур. 11-82).
- A New Approach for the Prevention and Treatment of Cardiovascular Disorders. Molecular Hydrogen Significantly Reduces the Effects of Oxidative Stress / T.W.LeBaron [et al.] // *Molecules*. – 2019. – V.24. – P.2076. <https://doi.org/10.3390/molecules24112076>
- Ishibashi, T. Therapeutic efficacy of molecular hydrogen: a mechanistic insight / T.Ishibashi // *Curr. Pharm. Design*. – 2019. – V.25, No.9. – P.946–955.
- Oshta, S. Molecular hydrogen as a preventive and therapeutic medical new gas: initiation, development and potential of hydrogen medicine / S.Oshta // *Pharmacology & Therapeutics*. – 2014. – V.144, No.1. – P.1–11.
- Мартусевич, А.К. Оксидативный стресс и его роль в формировании дезадаптации и патологии / А.К. Мартусевич, К.А.Карузин // *Биорадикалы и антиоксиданты*. – 2015. – Т.2, №2. – С.5–19.
- Hydrogen Gas Inhalation Treatment in Acute Cerebral Infarction: A Randomized Controlled Clinical Study on Safety and Neuroprotection [Electronic resource] / Hirohisa Ono [et al.] // *J. Stroke Cerebrovasc Dis*. – 2017. – V.26, No.11. – P.2587–2594. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.06.012>. Epub 2017 Jun 29. – Date of access: 05.06.2022.
- Molecular Hydrogen as an Emerging Therapeutic Medical Gas for Neurodegenerative and Other Diseases [Electronic resource] / K.Ohno [et al.] // Hindawi Publishing Corporation *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. – 2012. – Mode of access: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22720117/>. – Date of access: 15.06.2022.
- Молекулярный водород: биологическое действие, возможности применения в здравоохранении / Ю.А.Рахманин [и др.] // *Гигиена и санитария*. – 2019. – Т.98, №4. – С.359–365.
- Механизм воздействия молекулярного водорода в комплексном лечении ран мягких тканей и общей хирургической инфекции / А.А.Андреев [и др.] // *Актуальные проблемы медицины*. – 2021. – Т.44, №4. – С.460–470.
- Hydrogen-rich saline improves memory function in a rat model of amyloid-beta-induced Alzheimer's disease by reduction of oxidative stress [Electronic resource] // J.Li [et al.] // *Brain Res*. – 2010. – P.152–161. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.02.046>. Epub 2010 Feb.19. – Date of access: 16.06.2022.
- Hydrogen-rich saline provides protection against hyperoxic lung injury / Qiang Sun [et al.] // *Surg Res*. – 2011 Jan. – V.165, No.1. – P.43–49.
- Molecular hydrogen: a preventive and therapeutic medical gas for various diseases / Li Ge [et al.] // *Oncotarget*. – 2017. – V.8. – P.102653–102673.
- Beneficial biological effects and the underlying mechanisms of molecular hydrogen – comprehensive review of 321 original articles [Electronic resource] / M.Ichihara [et al.] // *Med Gas Res*. – 2015. – V.5, No.12. – Mode of access: <https://medicalgasresearch.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13618-015-0035-1>. – Date of access: 10.06.2022.
- Iketani, M. Molecular hydrogen as a neuroprotective agent / M.Iketani, I.Ohsawa // *Curr Neuropharmacol*. – 2017. – V.15, No.2. – P.324–331.
- Liu, C.L. Hydrogen therapy: from mechanism to cerebral diseases / C.L.Liu, K.Zhang, G.Chen // *Med Gas Res*. – 2016. – V.6, No.1. – P.48–54.
- Molecular hydrogen in the treatment of acute and chronic neurological conditions: mechanisms of protection and routes of administration / K.Dohi [et al.] // *J Clin Biochem Nutr*. – 2017. – V.61, No.1. – P.1–5.
- Hydrogen-rich saline alleviates early brain injury through inhibition of necroptosis and neuroinflammation via the ROS/HO1 signaling pathway after traumatic brain injury [Electronic resource] / Yun Hu [et al.] // *Experimetal and therapeutic medicine*. – 2021. – V.23, Iss.2. – Mode of access: <https://doi.org/10.3892/etm.2021.11049>. – Date of access: 30.05.2022.
- Drinking hydrogen water and intermittent hydrogen

- gas exposure, but not lactulose or continuous hydrogen gas exposure, prevent 6-hydroxydopamine-induced Parkinson's disease in rats / M.Ito [et al.] // *Med. Gas Res.* – 2012. – V.2, No.1. – P.15.
25. Current Progress in Molecular Hydrogen Medication: Protective and Therapeutic Uses of Hydrogen against Different Disease Scenarios [Electronic resource] / Tarekegn Gebreyesus Abisso [et al.] // *Int. J. Mol. Sci.* – 2021. – V.22, No.16. – P.8724. – Mode of access: <https://www.longdom.org/open-access/current-progress-in-molecular-hydrogen-medication-protective-and-therapeutic-uses-of-hydrogen-against-different-disease-scenarios-45423.html>. – Date of access: 25.05.2022.
 26. Application of molecular hydrogen in heart surgery under cardiopulmonary bypass / D.A.Danilova [et al.] // *Sovremennye tehnologii v medicine.* – 2021. – V.13, No.1. – P.71–77.
 27. Васенина, Е.Е. Окислительный стресс в патогенезе нейродегенеративных заболеваний: возможности терапии / Е.Е.Васенина, О.С.Левин // *Современная терапия в психиатрии и неврологии.* – 2013. – №3–4. – С.39–46.
 28. Свободнорадикальное окисление и сердечно-сосудистая патология: коррекция антиоксидантами / А.П.Голиков [и др.] // *Лечащий врач.* – 2003. – №4. – С.70–74.
 29. A mitochondrial superoxide theory for oxidative stress diseases and aging / H.P.Indo [et al.] // *Clin Biochem Nutr.* – 2015. – V.56, No.1. – P.1–7.
 30. Andersen, K. Oxidative stress in neurodegeneration: cause or consequence? / K.Andersen // *Nature Medicine.* – 2004. – Jul.10. – P.18–25.
 31. Nishimaki, K. Effects of molecular hydrogen assessed by an animal model and a randomized clinical study on mild cognitive impairment / K.Nishimaki, T.Asada, I.Ohsawa // *Curr Alzheimer Res.* – 2018. – V.15, No.5. – P.482–492.
 32. Maise, K. New insights for oxidative stress and diabetes mellitus [Electronic resource] / K.Maise // *Oxidative Medicine and Cellular Longevity.* – 2015. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/276265355_New_Insights_for_Oxidative_Stress_and_Diabetes_Mellitus. – Date of access: 05.06.2022.
 33. An update on the role of free radicals and antioxidant defense in human disease / G.Vendemiale [et al.] // *International Journal of Clinical Laboratory Research.* – 1999. – V.29, No.2. – P.49–55.
 34. Molecular hydrogen: a preventive and therapeutic medical gas for various diseases / L.Ge [et al.] // *Oncotarget.* – 2017. – V.8, No.60. – P.102653–102673.
 35. Promising novel therapy with hydrogen gas for emergency and critical care medicine / Motoaki Sano [et al.] // *Acute Medicine & Surgery.* – 2018. – V.5. – P.113–118. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ams2.320>
 36. Anti-inflammatory and antitumor action of hydrogen via reactive oxygen species / Y.Yang [et al.] // *Oncol Lett.* – 2018. – V.16, No.3. – P.2771–2776.
 37. Molecular Hydrogen as a Novel Antitumor Agent: Possible Mechanisms Underlying Gene Expression [Electronic resource] / Shin-Ichi Hirano [et al.] // *Int. J. Mol. Sci.* – 2021. – V.22, No.16. – Mode of access: doi: 10.3390 /ijms22168724. – Date of access: 05.06.2022.
 38. Molecular hydrogen is a potential protective agent in the management of acute lung injury [Electronic resource] / Y.Zhang [et al.] // *Mol. Med.* – 2022. – V.28. – Mode of access: <https://molmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s10020-022-00455-y>. – Date of access: 05.04.2022.
 39. Preventive and therapeutic application of molecular hydrogen in situations with excessive production of free radicals [Electronic resource] // J.Slezak [et al.] // *Physiol Res.* – 2016. – V.65, Suppl.1. – S.11–28. – Mode of access: http://www.biomed.cas.cz/physiolres/pdf/65%20Suppl%201/65_S11.pdf. – Date of access: 01.06.2022.
 40. Guidelines for the diagnosis and treatment of coronavirus disease 2019 (COVID-19) in China / Y.Xu [et al.] // *Global Health Med.* – 2020. – V.2. – P.66–72.
 41. Hydrogen gas: from clinical medicine to an emerging ergogenic molecule for sports athletes (1) / T.W.LeBaron [et al.] // *Physiol Pharmacol.* – 2019. – V.97, No.9. – P.797–807.
 42. Ингаляционный водород в реабилитационной программе медицинских работников, перенесших COVID-19 [Электронный ресурс] / Л.В.Шогенова [и др.] // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика.* – 2021. – Т.20, №6. – Режим доступа: <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2986>. – Дата доступа: 01.06.2022.
 43. Назаров, Е.И. Адаптационный подход к объяснению терапевтического действия озона, ксенона и водорода / Е.И.Назаров // *Вестник физиотерапии и курортологии.* – 2019. – №3. – С.9–48.

HYDROGEN – MEDICAL RESEARCH AND APPLICATIONS

¹C.N.Malchenko, ²V.N.Rostovtsev, ¹L.E.Mozhey, ²T.I.Tserakhovich

¹Leonid Mozhey Recreation Center, Zvenyachi village, 9, Shosseynaya Str., 223024, Minsk District, Minsk Region, Republic of Belarus

²Republican Scientific and Practical Center for Medical Technologies, Informatization, Administration and Management of Health (RSPC MT), 7a, P.Brovki Str., 220013, Minsk, Republic of Belarus

Biological properties of molecular hydrogen causing numerous effects in cells and tissue structures, including antioxidant, anti-apoptotic, anti-inflammatory, anti-allergenic and autophagic, have been discussed in the article. In addition to reducing oxidative stress, H₂ is considered as a regulatory molecule of intracellular signaling pathways. It is also noted that H₂ induces expression of various genes.

Results indicating prospects of using H₂ in rehabilitation and therapy of human diseases are summarized.

Keywords: molecular hydrogen; oxidative stress; hydrogen therapy.

Сведения об авторах:

Мальченко Сергей Николаевич, канд. хим. наук, доцент, академик Межд. Академии наук, г.Москва; рекреационный центр Можея Л.Е., консультант; тел.: (+37529) 6687537; e-mail: malchenko@tut.by.

Ростовцев Владимир Николаевич, д-р мед. наук, профессор; ГУ «Республиканский научно-практический центр медицинских технологий, ин-

форматизации, управления и экономики здравоохранения», лаборатория организационных технологий первичной медицинской помощи, главный научный сотрудник; тел. (+37517) 2923191; e-mail: vnrst@rambler.ru.

Можей Леонид Егорович; рекреационный центр Можея Л.Е., консультант; тел.: (+37529) 6867777; e-mail: info@recr.by.

Терехович Татьяна Ивановна, канд. мед. наук, доцент; ГУ «Республиканский научно-практический центр медицинских технологий, информатизации, управления и экономики здравоохранения», зав. лабораторией организационных технологий первичной медицинской помощи; тел. (+37517) 2923191; e-mail: tt_gem@mail.ru.

УДК 616.379-008.64-084: 614.253.5

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОМАНДЫ ВРАЧА ОБЩЕЙ ПРАКТИКИ: РОЛЬ ПОМОЩНИКА ВРАЧА И МЕДИЦИНСКОЙ СЕСТРЫ В ПРОФИЛАКТИКЕ САХАРНОГО ДИАБЕТА

¹Т.В.Матвейчик, ²Т.И.Терехович

¹Международное научное общественное объединение «Международная академия информационных технологий», ул. Сурганова, 6, 220012, г. Минск, Республика Беларусь

²Республиканский научно-практический центр медицинских технологий, информатизации, управления и экономики здравоохранения (РНПЦ МТ), ул. П.Бровки, 7а, 220213, г. Минск, Республика Беларусь

Для оправдания доверия и последовательного улучшения качества медицинской помощи на уровне первичной медицинской помощи (ПМП) необходимо совершенствование междисциплинарного профилактически направленного взаимодействия команды специалистов в области особенно таких распространенных факторов риска неинфекционных заболеваний, как сахарный диабет (СД). Следует обратить внимание на постоянное внедрение инноваций в обучении.

Ключевые слова: врач общей практики; медицинская сестра; помощник врача по амбулаторно-поликлинической помощи; профилактика; сахарный диабет.

Актуальность. На уровне первичной медицинской помощи (ПМП) в Республике Беларусь пациенты сегодня наблюдаются у врача общей практики (ВОП) и помощника врача по амбулаторно-поликлинической помощи (Пвр). Для оправдания доверия и последовательного улучшения качества медицинской помощи необходимо совершенствование междисциплинарного профилактически направленного взаимодействия команды специалистов в области особенно таких распространенных факторов риска неинфекционных заболеваний, как сахарный диабет (СД).

Следует обратить внимание на постоянное внедрение инноваций в обучении [1–7]. Присоединение Республики Беларусь к достижению Целей устойчивого развития (ЦУР) на основе улучшения здоровья населения за счет усиления профилактической направленности опирается на широкое вовлечение людей в здоровый образ жизни (ЗОЖ). Цель №3 «Обеспечение здорового образа жизни и содействие благополучию для всех в любом возрасте» [8] контролируется по 13 показателям с помощью 27 национальных индикаторов, координируется Методическим со-