Дата публикации: 01.06.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_02_7
УДК 612.135

Publication date: 01.06.2026
DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_02_7
UDC 612.135

СОСТОЯНИЕ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ВОЗРАСТНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДОРОДА

А.А. Кустова[1,2], А.В. Дерюгина[1]

[1]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород, Россия

[2]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Система микроциркуляции, играющая ключевую роль в поддержании гомеостаза и адаптационного резерва организма, с возрастом подвергается структурным и регуляторным изменениям, что ведет к снижению ее функциональных возможностей. В этой связи актуальной задачей становится поиск средств, направленных на повышение адаптационного потенциала микрососудистого русла. Одним из перспективных направлений в этой области может являться использование молекулярного водорода, что обусловлено широким спектром его биологических эффектов. ***Методы.*** В работе исследовано действие молекулярного водорода на микроциркуляцию различных возрастных групп путем лазерной допплеровской флоуметрии с использованием лазерного анализатора капиллярного кровотока «ЛАЗМА СТ». ***Результаты.*** 14-дневное использование молекулярного водорода определило рост амплитуды эндотелиального компонента в 1 группе (средний возраст – 50,0±2,8 лет), а также нейрогенного и миогенного ритмов в 3 группе (средний возраст – 65,5±2,0 лет) по отношению к показателям до воздействия, что сопровождалось тенденцией к увеличению перфузии тканей и значимым снижением восстановленного никотинамидадениндинуклеотида фосфата и флавинадениндинуклеотида во всех возрастных группах. ***Заключение.*** Полученные результаты свидетельствуют о регулирующем действии молекулярного водорода на микроциркуляцию в большей степени через локальные механизмы, что способствует увеличению перфузии и усилению метаболизма тканей.

Ключевые слова: микроциркуляция, возраст, молекулярный водород.

MICROCIRCULATION IN DIFFERENT AGE GROUPS UNDER THE EXPOSURE OF MOLECULAR HYDROGEN

A.A. Kustova[1,2], A.V. Deryugina[1]

[1]Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

[2]Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. ***Introduction.*** The microcirculation system, which plays a key role in maintaining homeostasis and the body's adaptive reserve, undergoes structural and regulatory changes with age, leading to a decrease in its functional capacity. Therefore, the search for methods aimed at increasing the adaptive potential of the microvascular bed has become a pressing issue. One of the promising directions in this area may be the use of molecular hydrogen due to a wide range of its biological effects. ***Methods.*** In this work, the effect of molecular hydrogen on microcirculation of different age groups was investigated with Laser Doppler Flowmetry using the LAZMA ST laser capillary blood flow analyzer. ***Results.*** 14-day use of molecular hydrogen has determined the increase in the amplitude of the endothelial component in group 1 (average age – 50.0±2.8 years) and neurogenic, myogenic rhythms in group 3 (average age – 65.5±2.0 years) in relation to the indicators before exposure, which was accompanied by a tendency to increase tissue perfusion and a significant decrease in nicotinamide adenine dinucleotide (reduced form) and flavin adenine dinucleotide in all age groups. ***Conclusion.*** The results obtained indicate that molecular hydrogen regulates microcirculation largely through local mechanisms, which contributes to increased perfusion and enhanced tissue metabolism.

Keywords: microcirculation, age, molecular hydrogen.

Введение. В наши дни для экономически развитых стран характерна тенденция увеличения продолжительности жизни, которая напрямую связана с сохранением здоровья населения [1]. Продолжительность жизни определяется функциональным состоянием органов и тканей, а их индивидуальный срок службы – от системы микроциркуляции [2]. Старение организма – процесс, во многом обусловленный и неразделимо связанный со старением сердечно-сосудистой системы. С возрастом происходит ряд изменений микроциркуляторного русла, таких как снижение плотности сосудов, нарушение ангиогенеза (уменьшение количества сосудов) [2]. Кроме того, по мере старения происходит перестройка механизмов регуляции микроциркуляции, что обосновано структурными изменениями в системе микроциркуляции. Данные изменения могут служить одной из основных причин старения и возрастных заболеваний [3, 4].

Кроме того, необходимо учитывать значимость периферического кровотока в развитии адаптационных возможностей тканевого метаболизма, трофики органов, который определяет транскапиллярный обмен и выступает в качестве важнейшего компонента системы гомеостаза.

Известно, что молекулярный водород (H_2) эффективно используется для коррекции нарушений со стороны микроциркуляторного русла, что подтверждают положительные результаты его применения на экспериментальных моделях ряда органов [5]. Однако до сих пор не до конца известно его влияние на поддержание гомеостаза [6]. Показано, что обогащенная H_2 вода может улучшить некоторые характеристики, связанные со старением, уменьшить различные воспалительные реакции, которые могут способствовать предотвращению запрограммированной гибели клеток [7], улучшить метаболизм питательных веществ [8].

H_2 – самый легкий газ, без цвета и запаха. Способен восстанавливать другие соединения, характеризуется нейтральностью по отношению к нормальному метаболизму и редокс-реакциям [6]. В качестве терапевтических преимуществ H_2 выделяют: малый размер молекул, позволяющий проникать через любые биологические мембраны; селективность действия, поскольку водород нейтрализует преимущественно цитотоксические радикалы, не проявляет токсических свойств даже при длительном воздействии [9, 10].

Действие H_2 характеризуется антиоксидантным, антиапоптическим; антишоковым [6]. H_2 подавляет аллергические [11] и воспалительные сигнальные пути [12]. Многообразие эффектов H_2 реализуется за счет взаимодействия его с ионами металлов (в составе сложных белков) и молекулами сигнальной трансдукции. В ходе такого взаимодействия происходят перераспределение электронной плотности и изменение свойств молекул [13].

При многообразии эффектов H_2 и доказанности его использования в коррекции многих патологических эффектов организма, которые в том числе обусловлены старением, не изучены возможности H_2 в профилактике микроциркуляторных изменений с возрастом. В мировой клинической практике до сих пор не существует единого протокола оценки состояния системной микроциркуляции. Многие диагностические методы используются ограничено [14]. Среди диагностических методов изучения тканевого кровотока наиболее перспективным и широко используемым считается лазерная допплеровская флоуметрия. Данная методика дает возможность как изучить индивидуальную адаптацию сосудов микроциркуляторного русла, так и раскрыть механизмы их регуляции [15].

Цель работы – оценить влияние H_2 на микроциркуляцию и показатели энергетического метаболизма у лиц разных возрастных категорий населения.

Методы и организация исследования. В исследование была включена группа из 30 здоровых добровольцев в возрасте 30-67 лет. У всех добровольцев не было системных или периферических сосудистых заболеваний, заболеваний соединительной ткани и дерматоза. Все обследуемые добровольцы имели не отягощенный вредными привычками (курение, алкоголизм, наркомания и др.) анамнез. Согласно классификации Всемирной организации здравоохранения, было сформировано три группы по 10 субъектов: группа 1 (молодого

возраста) – 18-44 лет (средний возраст составил 29,5±2,2 лет); группа 2 (среднего возраста) – 45-59 лет (средний возраст – 50,0±2,8 лет); группа 3 (пожилого возраста) – 60-74 лет (средний возраст – 65,5±2,0 лет). Группы не имели достоверных отличий по полу (1-я группа включала лиц мужского и женского полов 50/50%, 2-я группа – 55/45%, 3-я группа – 55/45% соответственно). Испытуемые были проинформированы и дали согласие на включение в исследование. Все исследования выполнялись с соблюдением следующих условий: перед началом регистрации микроциркуляции испытуемые находились около 20 мин. в спокойном состоянии в помещении с контролируемой температурой и влажностью (температура – 20-23°С, влажность – 40-60%). Перед исследованием испытуемые не принимали пищу или напитки, изменяющие состояние микроциркуляции. Тестирование проводилось в 10 ч утра в весенний период. Тестируемая область была открыта.

Употребление для питья воды с растворенным в ней H_2 – наиболее простой, удобный и эффективный метод введения H_2 в организм [16], добровольцы пили ежедневно 250 мл воды 1 раз в день на протяжении 7-и и 14-и суток. Для насыщения питьевой воды H_2 использовали генератор водорода «СПУТНИК-3»/Н-200 (Китай). Чистота водорода составляет 99,99%, поток водорода – 200±10%. Количество вырабатываемого молекулярного водорода – 200 мл/мин.

Регистрацию параметров микроциркуляции проводили путем лазерной допплеровской флоуметрии с использованием лазерного анализатора капиллярного кровотока «ЛАЗМА СТ» (ООО НПП «ЛАЗМА», Россия). Оценивали амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) отраженного сигнала. Для расчета АЧХ использовали вейвлет-анализ осцилляций кровотока и в соответствующих частотных диапазонах анализировали амплитуды эндотелиального (Аэ, пф.ед.), нейрогенного (Ан, пф.ед.), миогенного (Ам, пф.ед.), дыхательно (Ад, пф.ед.) и кардиального (Ас, пф.ед.) ритмов. Регистрировали показатель перфузии (М, перфузионные единицы – пф.ед.). Показатели энергетического обмена оценивали по амплитуде флуоресценции никотинамидадениндинуклеотид фосфата (НАДН) и флавинадениндинуклеотида (ФАД) с использованием спектральных фильтров: ультрафиолетовый – 365 нм для НАДН и синий – 450 нм для ФАД [17].

Экспериментальные данные обрабатывали статистически с использованием Microsoft Excel. Рассчитывали такие параметры, как среднее арифметическое выборочной совокупности и стандартное отклонение по критерию Стьюдента с поправкой Бонферрони. Различия считали достоверными при уровне значимости $p<0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ полученных в работе результатов показал, что действие H_2 в течение 7 суток не привело к значимым изменениям исследуемых показателей. Воздействие H_2 в течение 14 суток определило рост осцилляций кровотока в 1 возрастной группе по эндотелиальному компоненту на 33% относительно значений до использования H_2, в 3 группе по нейрогенному и миогенному компонентам на 35% и 13% соответственно относительно значений до использования H_2 (табл. 1). Также в 3 группе при использовании H_2 был отмечен рост Ас в 2 раза по сравнению со значениями до использования H_2, тогда как во 2 возрастной группе этот показатель увеличивался по отношению к значению, полученному при использовании H_2 в течение 7 дней, что составило рост показателя в 2,5 раза. При этом показатель перфузии тканей имел тенденцию к увеличению и значимо увеличивался в 3 возрастной группе при 14-дневном использовании H_2 на 26% относительно значений при действии H_2 в течение 7 дней.

Регистрация метаболической активности показала, что после действия H_2 происходило уменьшение НАДН и ФАД во всех возрастных группах по сравнению с показателями групп без воздействия H_2 (табл. 2).

Факторы, регулирующие диаметр просвета сосудов, подразделяются на две группы – активные и пассивные. К активным факторам микроциркуляции относятся нейрогенный, эндотелиальный и миогенный. Эти факторы напрямую оказывают генерализованное влияние на микроциркуляторное русло, тем самым модулируют ток крови со стороны сосудистой стенки и

осуществляются с помощью мышечной составляющей. К пассивным факторам регуляции относят кардиальный или сердечный, второй фактор – дыхательный или респираторный. Эти факторы регуляции кровотока оказывают регулировку вне системы микроциркуляции [17]. Полученные результаты указывают на действие H_2 как через пассивные механизмы регуляции кровотока за счет роста пульсовых колебаний, так и через активные механизмы регуляции (рост амплитуд эндотелиального, нейрогенного и миогенного компонентов). При этом выявленное в работе при действии H_2 повышение значений амплитуд осцилляций эндотелиального, нейрогенного и миогенного диапазонов свидетельствуето большем вкладе активных факторов регуляции кровотока, что связано со снижением сосудистого тонуса, приводящего к увеличению общего притока крови в систему микроциркуляции, наблюдаемом при дилатации артериол [18]. Результаты согласуются с данными, которые показали, что употребление богатой H_2 воды усиливает сосудорасширяющие реакции, направленные на улучшение кровотока [19]. В свою очередь, отмеченное снижение показателей ФАД и НАДН свидетельствует о том, что при действии H_2 метаболизм усиливается во всех возрастных группах, что обусловлено положением, что основная масса флавопротеидов образуется при окислении продуктов с участием кислорода, а НАДН – при анаэробных процессах. Увеличение гликолиза и/или цикла Кребса и окислительного фосфорилирования приводит к аккумуляции данных соединений [20].

Таблица 1

Амплитудно-частотные характеристики микроциркуляции в разных возрастных группах при действии молекулярного водорода (H_2)

Показатель	Группы	До воздействия H_2	Использование H_2	
			7 суток	14 суток
Аэ, пф.ед.	1	0,72±0,13	0,91±0,24	0,96±0,20*
	2	0,66±0,09	0,72±0,06	0,81±0,30
	3	0,82±0,13	0,99±0,42	0,98±0,16
Ан, пф.ед.	1	0,67±0,22	1,03±0,29	1,03±0,21
	2	0,70±0,08	0,62±0,05	0,73±0,20
	3	0,78±0,05	1,08±0,23	1,05±0,15*
Ам, пф.ед.	1	0,57±0,15	0,67±0,16	0,83±0,14
	2	0,59±0,05	0,78±0,25	0,69±0,14
	3	0,72±0,01	0,70±0,46	0,92±0,06*
Ад, пф.ед.	1	0,31±0,03	0,28±0,04	0,34±0,05
	2	0,35±0,04	0,43±0,11	0,43±0,05
	3	0,37±0,06	0,44±0,17	0,45±0,04
Ас, пф.ед.	1	1,69±0,43	1,32±0,28	2,04±0,17
	2	1,02±0,22	0,73±0,18#	1,84±0,56
	3	1,73±0,35	1,84±1,04	$3,50±0,09^{*,X}$
М, пф.ед.	1	16,92±2,52	17,35±2,25	21,49±2,93
	2	20,24±1,60	18,81±0,92	23,13±4,01
	3	22,03±2,20	19,57±1,18	$24,63±1,13^{X}$

Примечание: Аэ – амплитуда эндотелиального ритма; Ан – амплитуда нейрогенного ритма; Ам – амплитуда миогенного ритма; Ад – амплитуда дыхательного ритма; Ас – амплитуда сердечного ритма; М – показатель перфузии; * – $p<0,05$, статистическая значимость показателей по отношению к показателям до воздействия H_2; # – $p<0,05$, статистическая значимость показателей по отношению к 1 группе; ^{X} – $p<0,05$, статистическая значимость показателей между 2 и 3 группами.

Таблица 2

Показатели метаболизма в разных возрастных группах при действии молекулярного водорода (H_2)

Показатель	Группы	До воздействия H_2	Использование H_2	
			7 суток	14 суток
НАДН	1	1,93±0,30	0,42±0,05*	0,37±0,08*
	2	0,96±0,12	0,29±0,08*	0,41±0,08*
	3	2,72±0,09	0,44±0,03*	0,46±0,21*
ФАД	1	3,03±0,52	1,78±0,29*	1,46±0,40*
	2	3,02±0,26	0,58±0,33*#	1,48±0,11*
	3	3,04±0,33	1,89±0,11*	1,50±0,24*

Примечание: НАДН – восстановленная форма кофермента никотинамидадениндинуклеотид фосфата; ФАД – окисленная форма кофермента флавинадениндинуклеотида; * – $p<0,05$, статистическая значимость показателей по отношению к показателям до воздействия H_2; # – $p<0,05$, статистическая значимость показателей по отношению к 1 группе.

Факторы, регулирующие диаметр просвета сосудов, подразделяются на две группы – активные и пассивные. К активным факторам микроциркуляции относятся нейрогенный, эндотелиальный и миогенный. Эти факторы напрямую оказывают генерализованное влияние на микроциркуляторное русло, тем самым модулируют ток крови со стороны сосудистой стенки и осуществляются с помощью мышечной составляющей. К пассивным факторам регуляции относят кардиальный или сердечный, второй фактор – дыхательный или респираторный. Эти факторы регуляции кровотока оказывают регулировку вне системы микроциркуляции [17]. Полученные результаты указывают на действие H_2 как через пассивные механизмы регуляции кровотока за счет роста пульсовых колебаний, так и через активные механизмы регуляции (рост амплитуд эндотелиального, нейрогенного и миогенного компонентов). При этом выявленное в работе при действии H_2 повышение значений амплитуд осцилляций эндотелиального, нейрогенного и миогенного диапазонов свидетельствует о большем вкладе активных факторов регуляции кровотока, что связано со снижением сосудистого тонуса, приводящего к увеличению общего притока крови в систему микроциркуляции, наблюдаемом при дилатации артериол [18]. Результаты согласуются с данными, которые показали, что употребление богатой H_2 воды усиливает сосудорасширяющие реакции, направленные на улучшение кровотока [19]. В свою очередь, отмеченное снижение показателей ФАД и НАДН свидетельствует о том, что при действии H_2 метаболизм усиливается во всех возрастных группах, что обусловлено положением, что основная масса флавопротеидов образуется при окислении продуктов с участием кислорода, а НАДН – при анаэробных процессах. Увеличение гликолиза и/или цикла Кребса и окислительного фосфорилирования приводит к аккумуляции данных соединений [20].

Обсуждая механизмы действия H_2 следует отметить, прежде всего, его способность избирательно нейтрализовывать токсичные активные формы кислорода (АФК) и оказывать антиапоптотическое, антиоксидантное, противовоспалительное действие [11]. При этом возрастные изменения в организме обусловлены накоплением свободных радикалов, когда защитные механизмы не справляются с повреждениями, вызванными АФК, особенно в митохондриях [20]. Митохондрии – важнейшие органеллы, отвечающие за выработку энергии посредством окислительного фосфорилирования, которое необходимо для жизнедеятельности клеток и синтеза аденозинтрифосфата [21]. Следовательно, H_2, обладая антиоксидантным действием, может вызывать улучшение состояния мембран как митохондрий, так и сосудистой стенки, что будет способствовать улучшению метаболизма и состоянию микроциркуляции. Кроме того, H_2 может снижать

экспрессию миелопероксидазы [22], уменьшать активность митохондриальной оксидоредуктазы [23] и стабилизировать мембранный потенциал митохондрий [15], тем самым снижая повреждение тканей в результате окислительного стресса.

Заключение. При действии H_2 отмечается улучшение микроциркуляции и перфузии тканей, что сопряжено с улучшением метаболических процессов. Влияя на клеточный метаболизм и сохраняя тканевую перфузию действие H_2, по всей видимости, определяет увеличение адаптационных возможностей организма в целом. Увеличение продолжительности употребления H_2 оказывает более выраженное действие за счет активации пассивных и активных механизмов регуляции микроциркуляции.

Конфликт интересов. Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Состояние кожной микроциркуляции у больных пожилого и старческого возраста с сердечно-сосудистой патологией / А.А. Шелеляева, Д.А. Рощина, В.С. Гулакова [и др.] // Смоленский медицинский альманах. – 2021. – № 3. – С. 172-174.
2. Jin, K. A microcirculatory theory of aging / K. Jin // Aging and disease. – 2019. – No. 3. – P. 676-683.
3. Microcirculatory dysfunction in cardiogenic shock / H. Merdji, B. Levy, C. Jung [et al.] // Annals of Intensive Care. – 2023. – No. 13(38). – P. 1-15.
4. Ковалева, М.А. Обзор прямых методов изучения микроциркуляции и оценки полученных данных / М.А. Ковалева, К.В. Жмеренецкий // Журнал медико-биологических исследований. – 2020. – № 8(1). – С. 79-88.
5. Медведев, О.С. Современные взгляды на функциональную роль водорода и его кинетику в человеческом организме / О.С. Медведев // Пульмонология. – 2024. – № 34(1). – С. 7-11.
6. Механизм воздействия молекулярного водорода в комплексном лечении ран мягких тканей и общей хирургической инфекции / А.А. Андреев, А.Ю. Лаптиева, А.А. Глухов [и др.] // Актуальные проблемы медицины. – 2021. – № 4. – С. 460-470.
7. Hydrogen-Rich water reduces inflammatory responses and prevents apoptosis of peripheral blood 21. Cells in healthy adults: a randomized, double-blind, controlled trial / M. Sim, C.S. Kim, W.J. Shon [et al.] // Sci. Rep. – 2020. – No. 10(1). – P. 12130.
8. Natto and viscous vegetables in a Japanese-Style breakfast improved insulin sensitivity, lipid metabolism and oxidative stress in overweight subjects with impaired glucose tolerance / A. Taniguchi-Fukatsu, H. Yamanaka-Okumura, Y. Naniwa-Kuroki [et al.] // Br. J. Nutr. – 2012. – No. 107. – P. 1184-1191.
9. Влияние молекулярного водорода на оксидантные процессы при хирургической коррекции приобретенных пороков сердца в условиях искусственного кровообращения / А.В. Дерюгина, Д.А. Данилова, Ю.Д. Бричкин [и др.] // Биорадикалы и Антиоксиданты. – 2020. – № 3. – С. 145-154.
10. Использование молекулярного водорода при операциях на сердце в условиях искусственного кровообращения / Д.А. Данилова, Ю.Д. Бричкин, А.П. Медведев [и др.] // Современные технологии медицины. – 2021. – № 1. – С. 71-77.
11. Beneficial biological effects and the underlying mechanisms of molecular hydrogen – comprehensive review of 321 original articles / M. Ichihara, S. Sobue, M. Ito [et al.] // Med. Gas Res. – 2015. – No. 5(12). – P. 1-21.
12. Molecular hydrogen inhibits lipopolysaccharide/interferon γ-induced nitric oxide production through modulation of signal transduction in Macrophages / T. Itoh, N. Hamada, R. Terazawa [et al.] // Biochem. Biophys. Res. Commun. – 2011. – No. 411. – P. 143-149.
13. Антиоксидантные свойства водных сред с молекулярным водородом и их применение в экологичной медицине / А.А. Лапин, И.Г. Гарифуллин, С.Д. Литвинов, В.Н. Зеленков // Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». – 2020. – № 2. – С. 13-20.
14. Ладожская-Гапеенко, Е.Е. Возможности лазерной допплеровской флоуметрии с использованием ортостатической пробы в оценке функционального состояния микроциркуляции / Е.Е. Ладожская-Гапеенко, К.Н. Храпов // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2020. – № 19(3). – С. 39-45.
15. Анализ ЛДФ-грамм у крыс стока Wistar в условиях моделирования гипоксии / Ф.И. Алистратова, Я.Г. Торопова, С.А. Осипова, М.Л. Васютина // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. – 2020. – № 3. – С. 18-32.
16. Молекулярный водород: биологическое действие, возможности применения в здравоохранении (обзор) / Ю.А. Рахманин, Н.А.

Егорова, Р.И. Михайлова [и др.] // Гигиена и санитария. – 2019. – № 98(4). – С. 359-365.
17. Autofluorescence imaging to valuate cellular metabolism / A. Theodossiou, L. Hu, N. Wang [et al.] // J Vis Exp. – 2021. – No. 15. – P. 177.
18. Крупаткин, А.И. Колебания кровотока – новый диагностический язык в исследовании микроциркуляции / А.И. Крупаткин // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2014. – № 13(1). – С. 83-99.
19. Intraperitoneally administered, hydrogen-rich physiologic solution protects against postoperative ileus and is associated with reduced nitric oxide production / A. Okamoto, K. Kohama, M. Aoyama-Ishikawa [et al.] // Surgery. – 2016. – No. 160(3). – P. 623-631.
20. Метаболический имиджинг в исследовании онкологических процессов / М.М. Лукина, М.В. Ширманова, Т.Ф. Сергеева, Е.В. Загайнова // Современные технологии в медицине. – 2016. – № 8(4). – С. 113-126.
21. Nicolson, G.L. Mitochondrial dysfunction and chronic disease: treatment with natural supplements / G.L. Nicolson // Integr. Med. (Boulder). – 2014. – No. 13. – P. 35-43.
22. Inhalation of hydrogen gas elevates urinary 8-hydroxy-2′-deoxyguanine in Parkinson's disease / M. Hirayama, M. Ito, T. Minato [et al.] // Med. Gas Res. – 2018. – No. 8. – P. 144-149.
23. Molecular hydrogen suppresses free-radical-induced cell death by mitigating fatty acid peroxidation and mitochondrial dysfunction / K. Iuchi, K. Nishimaki, N. Kamimura, S. Ohta // Can. J. Physiol. Pharm. – 2019. – No. 97. – P. 999-1005.
24. Ishibashi, T. Therapeutic efficacy of molecular hydrogen: a new mechanistic insight / T. Ishibashi // Curr. Pharm. Des. – 2019. – No. 25. – P. 946-955.

REFERENCES

1. Shelelyaeva A.A., Roshchina D.A., Gulakova V.S. et al. Condition of skin microcirculation in elderly and senile patients with various forms of cardiovascular pathology. *Smolenskij meditsinskij almanakh*, 2021, no. 3, pp. 172-174. (in Russ.)
2. Jin K. A microcirculatory theory of aging. *Aging and disease*, 2019, no. 3, pp. 676-683.
3. Merdji H., Levy B., Jung C. et al. Microcirculatory dysfunction in cardiogenic shock. *Annals of Intensive Care*, 2023, no. 13(38), pp. 1-15.
4. Kovaleva M.A., Zhmerenetsky K.V. Review of Direct Methods for Studying Microcirculation and Evaluating the Data Obtained. *Journal of Medical and Biological Research*, 2020, no. 8(1), pp. 79-88. (in Russ.)
5. Medvedev O.S. Current views on the functional role of hydrogen and its kinetics in the human body. *Pulmonologiya*, 2024, no. 34(1), pp. 7-11. (in Russ.)
6. Andreev A.A., Laptieva A.Yu., Glukhov A.A. et al. Mechanism of exposure to molecular hydrogen in complex treatment of soft tissue wounds and general surgical infection. *Challenges in modern medicine*, 2021, no. 4, pp. 460-470. (in Russ.)
7. Sim M., Kim C.S., Shon W.J. et al. Hydrogen-Rich water reduces inflammatory responses and prevents apoptosis of peripheral blood 21. Cells in healthy adults: a randomized, double-blind, controlled trial. *Sci. Rep*, 2020, no. 10(1), pp. 12130.
8. Taniguchi-Fukatsu A., Yamanaka-Okumura H., Naniwa-Kuroki Y. et al. Natto and viscous vegetables in a Japanese-Style breakfast improved insulin sensitivity, lipid metabolism and oxidative stress in overweight subjects with impaired glucose tolerance. *Br. J. Nutr*, 2012, no. 107, pp. 1184-1191.
9. Deryugina A.V., Danilova D.A., Brichkin Yu.D. et al. The effect of molecular hydrogen on oxidative processes during surgical correction of acquired heart defects under artificial circulation. *Bioradikaly i antioksidanty*, 2020, no. 3, pp. 145-154. (in Russ.)
10. Danilova D.A., Brichkin Yu.D., Medvedev A.P. et al. Application of Molecular Hydrogen in Heart Surgery under Cardiopulmonary Bypass. *Sovremennye tehnologii v medicine*, 2021, no. 1, pp. 71-77. (in Russ.)
11. Ichihara M., Sobue S., Ito M. et al. Beneficial biological effects and the underlying mechanisms of molecular hydrogen – comprehensive review of 321 original articles. *Med. Gas Res*, 2015, no. 5(12), pp. 1-21.
12. Itoh T., Hamada N., Terazawa R. et al. Molecular hydrogen inhibits lipopolysaccharide/interferon γ-induced nitric oxide production through modulation of signal transduction in Macrophages. *Biochem. Biophys. Res. Commun*, 2011, no. 411, pp. 143-149.
13. Lapin A.A., Garifullin I.G., Litvinov S.D., 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)*, 2020, no. 2, pp. 13-20. (in Russ.)
14. Ladozhskaya-Gapeenko E.E., Khrapov K.N. Possibilities of Laser-Doppler Flowmetry in assessment of functional state of microcirculation. *Regional blood circulation and microcirculation*, 2020, no. 19(3), pp. 39-45. (in Russ.)
15. Alistratova F.I., Toropova Ya.G., Osipova S.A., Vasyutina M.L. Analysis of LDF-grams in Wistar runoff rats under hypoxia modeling conditions. *Scientific Notes of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University*, 2020, no. 3, pp. 18-32. (in Russ.)
16. Rakhmanin Yu.A., Egorova N.A. et al. Molecular hydrogen: biological effects, possibilities of application in health care. Review. *Hygiene and Sanitation*, 2019, no. 98(4), pp. 359-365. (in Russ.)

17. Theodossiou A., Hu L., Wang N. et al. Autofluorescence imaging to evaluate cellular metabolism. *J Vis Exp*, 2021, no. 15, p. 177.
18. Krupatkin A.I. Blood flow oscillations – new diagnostic language in microvascular research. *Regional blood circulation and microcirculation*, 2014, no. 13(1), pp. 83-99. (in Russ.)
19. Okamoto A., Kohama K. et al. Intraperitoneally administered, hydrogen-rich physiological solution protects against postoperative ileus and is associated with reduced nitric oxide production. *Surgery*, 2016, no. 160(3), pp. 623-631.
20. Lukina M.M., Shirmanova M.V., Sergeeva T.F., Zagaynova E.V. Metabolical imaging for the study of oncological processes (review). *Sovremennye tehnologii v medicine*, 2016, no. 8(4), pp. 113-126. (in Russ.)
21. Nicolson G.L. Mitochondrial dysfunction and chronic disease: treatment with natural supplements. *Integr. Med. (Boulder)*, 2014, no. 13, pp. 35-43.
22. Hirayama M., Ito M., Minato T. et al. Inhalation of hydrogen gas elevates urinary 8-hydroxy-2′-deoxyguanine in Parkinson's disease. *Med. Gas Res*, 2018, no. 8, pp. 144-149.
23. Iuchi K., Nishimaki K., Kamimura N., Ohta S. Molecular hydrogen suppresses free-radical-induced cell death by mitigating fatty acid peroxidation and mitochondrial dysfunction. *Can. J. Physiol. Pharm*, 2019, no. 97, pp. 999-1005.
24. Ishibashi T. Therapeutic efficacy of molecular hydrogen: a new mechanistic insight. *Curr. Pharm. Des*, 2019, no. 25, pp. 946-955.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Александра Андреевна Кустова – аспирант кафедры физиологии и анатомии, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, ассистент кафедры биохимии им. Г.Я. Городисской, Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород.
Анна Вячеславовна Дерюгина – доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой Физиологии и анатомии, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Aleksandra A. Kustova – Postgraduate Student of the Department of Physiology and Anatomy, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod; Assistant Professor in the Department of Biochemistry named after G.Ya. Gorodisskaya, Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod.
Anna V. Deryugina – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Physiology and Anatomy, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod.

Для цитирования: Кустова, А.А. Состояние микроциркуляции различных возрастных групп населения при действии молекулярного водорода / А.А. Кустова, А.В. Дерюгина // Современные вопросы биомедицины. – 2026. – Т. 10. – № 2(37). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_02_7

For citation: Kustova A.A., Deryugina A.V. Microcirculation in different age groups under the exposure of molecular hydrogen. *Modern Issues of Biomedicine*, 2026, vol. 10, no. 2(37). DOI: 10.24412/2588-0500-2026_10_02_7