УДК 613.68 : 612.015 DOI: 10.25016/2541-7487-2022-0-4-76-82

С.А. Бычков[1], Д.П. Зверев[2], И.Р. Кленков[2], А.М. Ярков[1], З.М. Исрафилов[2]

БИОХИМИЧЕСКИЙ СТАТУС У ВОДОЛАЗОВ-ГЛУБОКОВОДНИКОВ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ ВОДНОЙ СРЕДЫ

[1] Центр подводных исследований Русского географического общества (Россия, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А);
[2] Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова (Россия, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 6)

Актуальность. Водолазное оборудование и методики водолазных спусков постоянно совершенствуются, что позволяет человеку более эффективно выполнять различные задачи под водой. Водолазный дыхательный аппарат с замкнутым циклом дыхания и электронным управлением более 20 лет используется в любительском дайвинге в нашей стране. Оценка биохимического статуса у водолазов-глубоководников в данном снаряжении необходима для доказательства безопасности и возможности использования его профессиональными водолазами и ведомственными структурами.

Цель – оценка биохимического статуса у водолазов-глубоководников в аппаратах с замкнутой схемой дыхания с электронным управлением со схожим уровнем внутрисосудистого декомпрессионного газообразования при воздействии факторов водной среды.

Методология. При проведении исследования оценивали 9 биохимических показателей крови с помощью аппарата «Fujifilm DRI-CHEM NX500» у 6 водолазов до и после глубоководных спусков. Всего было выполнено 14 водолазных спусков в аппаратах с замкнутой схемой дыхания на глубину от 60 до 100 м. Также после каждого водолазного спуска производили оценку уровня внутрисосудистого декомпрессионного газообразования с помощью ультразвуковой локации с эффектом Допплера постоянно волнового типа.

Результаты и их анализ. В результате данных исследований было установлено достоверное увеличение значений аланинаминотрансферазы, аспартатаминотрансферазы и мочевины, связанное с повышенным парциальным давлением кислорода в гипербарической водной среде. По результатам проведенного анализа выявлены следующие корреляционные связи: у показателей кислородной интоксикации ЦНС со значениями концентрации ионов K^+ и уровнем глюкозы; взаимосвязь концентрации ионов Na^+ и ионов Cl^-, а также обратная взаимосвязь концентрации мочевины и креатинина с уровнем внутрисосудистого декомпрессионного газообразования. Примечательно, что была обнаружена корреляционная связь между уровнем внутрисосудистого декомпрессионного газообразования и кислородной интоксикацией ЦНС, при которой усиление кислородной интоксикации ЦНС приводит к увеличению уровня внутрисосудистого декомпрессионного газообразования.

Заключение. Исследуемые биохимические показатели крови не выходили за пределы референсных значений и имели незначительные индивидуальные вариации, что подтверждает безопасность технологии спусков в водолазных дыхательных аппаратах с замкнутой схемой дыхания с электронным управлением на глубину свыше 60 м. Результаты корреляционного анализа выявили изменения углеводного и водно-электролитного обмена в организме водолазов после глубоководного спуска из-за действия повышенного парциального давления кислорода и внутрисосудистого декомпрессионного газообразования.

Ключевые слова: подводная медицина, водолаз, водолазный дыхательный аппарат, биохимический показатель крови, декомпрессия, гипербария, глубоководный водолазный спуск, кислородная интоксикация ЦНС.

Введение

Число людей, выполняющих свои профессиональные обязанности в условиях измененного давления водной среды, увеличивается. Вместе с этим, технологии водолазного спуска и снаряжение, которые позволяют эффективно выполнять глубоководные работы с длительной экспозицией, совершенствуются. Совершенствования нацелены, в первую очередь, на повышение требований безопасности

✉ Бычков Сергей Анатольевич – врач водолазной медицины, Центр подвод. исслед. Рус. географич. о-ва (Россия, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А), ORSID: 0000-0002-8506-7815, e-mail: markis86@mail.ru;

Зверев Дмитрий Павлович – канд. мед. наук доц., нач. каф. физиол. подвод. плавания, Воен.-мед. акад. им. С.М. Кирова (Россия, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 6), ORCID: 0000-0003-3333-6769, e-mail: z.d.p@mail.ru;

Кленков Ильяс Рифатьевич – канд. мед. наук, препод. каф. физиол. подвод. плавания, Воен.-мед. акад. им. С.М. Кирова (Россия, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 6), ORCID: 0000-0002-1465-1539, e-mail: klen.ir@mail.ru;

Ярков Андрей Михайлович – канд. мед. наук, врач водолазной медицины, Центр подвод. исслед. Рус. географич. о-ва (Россия, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д. 3, лит. А), ORCID: 0000-0001-9349-0085, e-mail: a.yarkov@urc-rgs.ru;

Исрафилов Загир Маллараджабович – адъюнкт каф. физиол. подвод. плавания, Воен.-мед. акад. им. С.М. Кирова (Россия, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 6), ORCID 0000-0002-3524-7412, e-mail: warag05@mail.ru

и снижение риска развития специфических водолазных заболеваний.

Воздействие факторов водной среды вызывает физиологические изменения, которые до конца еще не изучены. Большинство исследований в области гипербарической физиологии и медицины проводились в условиях повышенного давления газовой среды в барокамере, что связано со сложностью организации исследований на поверхности воды у места водолазного спуска. При этом в барокамере нет влияния факторов глубоководного спуска под водой (воздействие гидростатического давления, низких температур воды, повышенной физической нагрузки и стресса, связанного с непосредственным нахождением в среде, не приспособленной для поддержания жизнедеятельности) [7, 16]. Эти факторы существенно влияют на изменение биохимических показателей крови и уровень внутрисосудистого декомпрессионного газообразования (ВДГ). Биохимические показатели, наряду с уровнем ВДГ, могут быть индикаторами развития острой декомпрессионной болезни и служить для ее профилактики [6, 15].

Анализ клинико-биохимических показателей крови может являться составляющей контроля состояния организма человека при водолазных спусках и быть объектом изучения процессов адаптации к условиям измененного давления [2].

Цель – оценка биохимического статуса у водолазов-глубоководников со схожим уровнем внутрисосудистого декомпрессионного газообразования после воздействия факторов водной среды.

Материал и методы

Исследования провели на Голубом озере в Республике Кабардино-Балкария, расположенном на высоте 809 м над уровнем моря. В них приняли участие 6 водолазов в возрасте от 31 до 51 года, средний возраст – (39 ± 3,6) года, имеющих стаж работы по специальности от 9 до 20 лет и водолазных часов от 470 до 3260.

В ходе глубоководных экспериментальных водолазных спусков были проведены комплексные исследования физиологических параметров, биохимических показателей крови и уровня ВДГ у водолазов. Водолазные спуски осуществляли в рамках ежегодных водолазно-тренировочных сборов Центра подводных исследований Русского географического общества совместно с кафедрой физиологии подводного плавания Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (Санкт-Петербург) при содействии компании «Р-Фарм». В комплексном исследовании провели 14 водолазных спусков на глубину от 60 до 100 м.

Спуски проходили в водолазных дыхательных аппаратах с замкнутой схемой дыхания и электронным управлением. На вдох водолазам поступала газовая среда, формируемая в дыхательном контуре аппаратов, на основе 10 % кислородно-азотно-гелиевой смеси (10 % кислорода, 40 % азота, 50 % гелия) с поддержанием постоянного парциального давления кислорода – 1,3 кг/см^2.

Анализ биохимических показателей крови производили до и после водолазного спуска с помощью аппарата «DRI–CHEM NX500» (фирма «Fujifilm», Япония), габариты и эксплуатационные характеристики которого позволили использовать его в экспедиционных условиях на месте водолазного спуска. Также на месте водолазного спуска провели ультразвуковые исследования аппаратом «Edje 1» (фирма «Sonosite», США) на основе эффекта Допплера по 4-балльной шкале Спенсера [5, 12].

Обработку статистических данных осуществляли по программе IBM SPSS Statistics 24. В тексте представлены средние арифметические оценки и их ошибки (M ± m), медиана, верхний и нижний квартиль Me [q_{75}; q_{75}]. Такой вариант представления данных демонстрирует характер (нормальность или ненормальность) распределения и аргументирует возможность анализа данных, полученных в малых группах. Кроме того, предоставление всего спектра структурных средних облегчает дальнейшее использование данных при сравнении с другими опубликованными сведениями по проблеме. Корреляционный анализ полученных результатов провели с использованием непараметрического метода Спирмана.

Результаты и их анализ

Проведена оценка биохимических показателей крови у водолазов-глубоководников: АЛТ, АСТ, глюкоза, креатинин, общий белок, мочевина, натрий, калий и хлор до и после глубоководного водолазного спуска, также в эти периоды определяли уровень ВДГ (таблица).

При сравнении биохимических показателей в плазме крови до и после водолазного спуска выявлено:

– концентрация АСТ выросла на 9,4 % ($p < 0,01$) (рис. 1), что связано с активацией трансаминирования и разрушением аминокислот, которые окисляются до α-кетокислот и «сгорают» в цикле Кребса при высокой фи-

Биохимические показатели крови у водолазов-глубоководников до и после водолазного спуска

Показатель	Период водолазного спуска				Степень изменения, Δ, %	Референсные значения
	до		после			
	X ± Sx	Me [q_{25}; q_{75}]	X ± Sx	Me [q_{25}; q_{75}]		
АСТ, ЕД/л	24,14 ± 1,70	22,5 [19; 28]	26,64 ± 1,60	26 [20; 32]	10,4	8–38
АЛТ, ЕД/л	25,71 ± 2,50	24,5 [20; 35]	26,71 ± 2,60	26,5 [21; 36]	3,9	4–44
Глюкоза, ммоль/л	5,27 ± 0,10	5,15 5,0; 5,5]	5,76 ± 0,30	5,4 [4,9; 6,3]	9,3	3,9–6,1
Креатинин, ммоль/л	75,21 ± 1,50	76 [72; 79,]	74,57 ± 1,60	76 [71; 78]	–0,85	53–97
Общий белок, г/л	76,64 ± 0,80	77 [76; 79]	80,0 ± 1,0	80 [77; 83]	4,4	67–83
Мочевина, ммоль/л	5,68 ± 0,30	5,86 [5,03; 6,15]	6,09 ± 0,30	6,17 [4,94; 7,17]	7,2	3,2–7,3
Натрий, ммоль/л	143,64 ± 0,20	143,5 [143; 144]	143,9 ± 0,4	143,5 [143;145]	0,2	136–149
Калий, ммоль/л	4,23 ± 0,10	4,2 [4,1; 4,4]	4,43 ± 0,10	4,40 4,1; 4,7]	4,7	3,8–5,0
Хлор, ммоль/л	104,36 ± 0,70	104,5 [102; 106]	103,64 ± 0,70	104,5 [101; 105]	-0,7	98–106

зической нагрузке водолаза при спуске под воду [9];

– концентрация АЛТ увеличилась на 3,8 % ($p < 0,05$) (см. рис. 1), что, вероятно, вызвано ускоренным цитолизом гепатоцитов вследствие их разрушения свободными радикалами на фоне оксидативного стресса [6] и более высокой интенсивностью катаболических процессов [10]. В целом, изменение активности трансаминаз в плазме крови может быть связано с повышенным парциальным давлением кислорода в гипербарической водной среде. Известно, что при повышенном парциальном давлении кислорода увеличивается проницаемость клеточных мембран, что способствует усиленному выходу ферментов в кровь и общему повышению их активности в плазме. В исследовании Л.Г. Медведева и соавт. выявлено увеличение активности АЛТ и АСТ после воздействия повышенного давления кислорода в так называемый токсический период [8];

– концентрация глюкозы имеет тенденцию к увеличению после окончания водолазного спуска на 3,7 % (рис. 2), что характерно для проявления изменений углеводного обмена

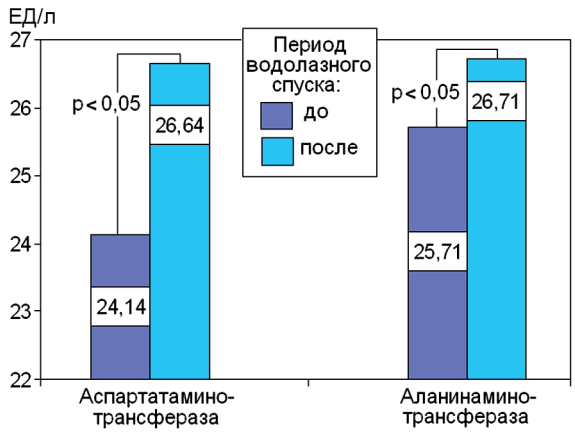

Рис. 1. Изменение показателей трансаминаз в крови водолазов до и после спуска под воду.

в организме после воздействия повышенного давления окружающей среды [3]. Возможным фактором гипергликемии может являться гипербарический стресс, вызывающий возбуждение нейронов гипоталамуса и ствола мозга, что приводит к выбросу адреналина и норадреналина, стимулирующих гликогенолиз [6];

– концентрация общего белка увеличилась на 4,2 % ($p < 0,01$) (см. рис. 2). Повышение содержания общего белка в крови происходит в основном за счет глобулиновых фракций при уменьшении альбумино-глобулинового коэффициента [12];

– концентрация мочевины увеличилась на 6,7 % ($p < 0,05$) (см. рис. 2), вероятный механизм повышения может быть связан с увеличением парциального давления кислорода, запускающего компенсаторные процессы трансмембранного выхода мочевины, аммиака и глутамина в периферическую кровь для дальнейшей экскреции [1];

– концентрация креатинина уменьшилась незначительно, менее 1 %;

– концентрация ионов K^+ выросла в среднем на 4,5 %. Вероятным механизмом возникновения гиперкалиемии на фоне ВДГ являлся выход ионов K^+ из поврежденных эритроцитов и других клеток вследствие интенсивного выделения гистамина и существенного ацидоза при гипербарическом стрессе [10];

– концентрации ионов Cl^-, Na^+ изменились незначительно, менее 1 %.

По результатам ультразвукового исследования ВДГ с помощью эффекта Допплера по шкале Спенсера после водолазного спуска были получены следующие результаты: 1 балл выявили в 12 случаях, 2 балла – в 2 случаях [5].

После водолазного спуска регистрировали показатель кислородной интоксикации ЦНС, который является расчетным параметром токсического действия кислорода на ЦНС, зависящий от времени нахождения на глубине

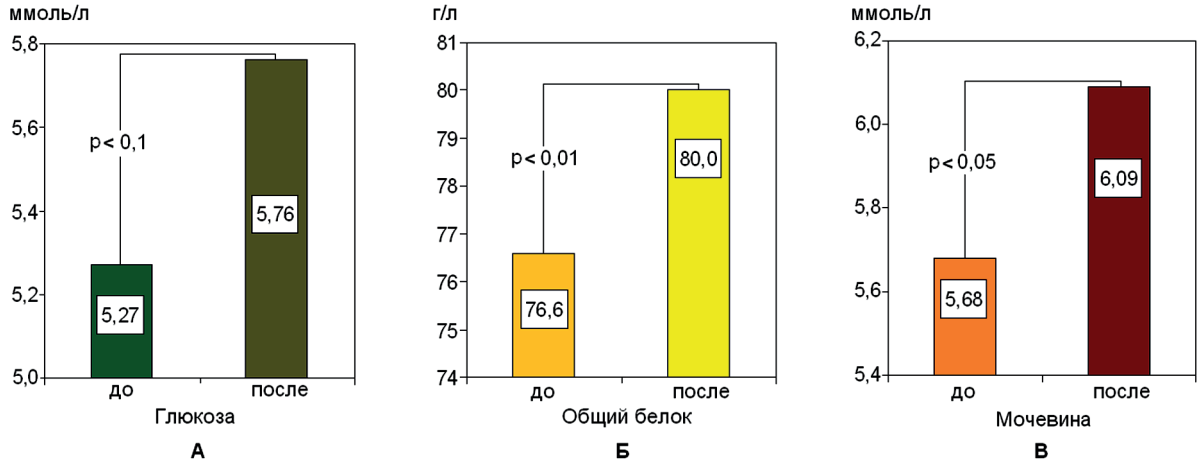

Рис. 2. Изменение показателей глюкозы (А), общего белка (Б) и мочевины (В) в крови водолазов до и после водолазного спуска.

и суммарного парциального давления кислорода за весь период погружения [11, 13]. В водолазных дыхательных аппаратах эта функция рассчитывается с помощью встроенного алгоритма, опираясь на значение показания кислородных датчиков в аппарате. Среднее значение кислородной интоксикации ЦНС составило (79,1 ± 7,6)%.

Проведен корреляционный анализ для определения взаимосвязи полученных биохимических показателей с уровнем ВДГ и кислородной интоксикацией ЦНС (рис. 3). По результатам анализа выявлены следующие корреляционные связи: у показателей кислородной интоксикации ЦНС со значениями концентрации ионов K^+ ($r = 0,480$; $p < 0,05$) и уровнем глюкозы ($r = 0,557$, $p < 0,05$) (см. рис. 3). Это объяснимо действием повышенного парциального давления кислорода на клеточные мембраны, приводящим к выходу ионов K^+ в кровяное русло, и активизацией процессов гликогенолиза в результате выброса глюкокортикостероидных гормонов в ответ на токсическое действие кислорода на эндотелий сосудов [9].

Выявлены взаимосвязь концентрации ионов Na^+ ($r = 0,484$, $p < 0,05$) и ионов Cl^- ($r = 0,458$, $p < 0,05$), а также обратная взаимосвязь концентрации мочевины ($r = –0,456$, $p < 0,05$) и креатинина ($r = –0,507$, $p < 0,05$) с уровнем ВДГ (см. рис. 3) [14]. Это связано с возникающей во время глубоководного водолазного спуска гиповолемией, обусловленной потерей жидкости через дыхание, повышенным слюноотделением, мочеотделением и длительностью водолазного спуска [17].

Примечательно, что имеется корреляционная связь уровня ВДГ с кислородной интоксикацией ЦНС ($r = 0,406$, $p = 0,15$), таким образом, уровень ВДГ повышается, в том числе, в результате кислородной интоксикации организма. Это актуально для глубоководных водолазных спусков, где в зависимости от глубины и экспозиции показатель кислородной интоксикации ЦНС может превышать в 4 раза.

Таким образом, в проведенных исследованиях биохимические показатели крови, уровень ВДГ и кислородная интоксикация ЦНС не

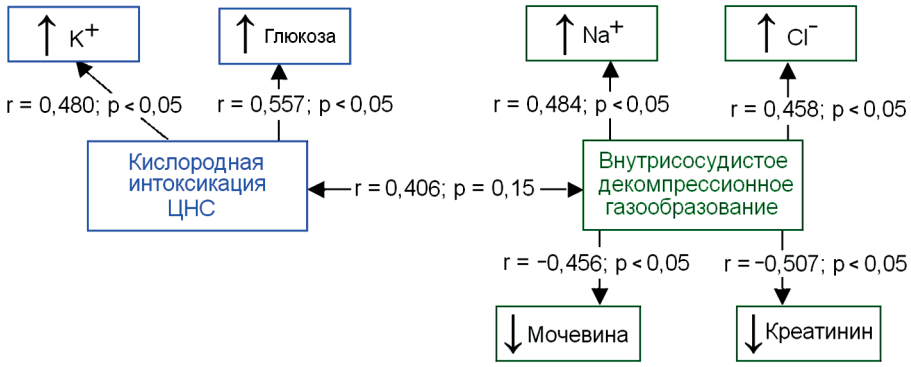

Рис. 3. Взаимосвязь биохимических показателей, ВДГ и кислородной интоксикации ЦНС.

превысили референсные значения, что свидетельствует об отсутствии неблагоприятного эффекта использования технологии глубоководного спуска в водолазных дыхательных аппаратах на организм водолаза. Полученные данные показывают, что при медицинском обеспечении глубоководных водолазных спусков важно и необходимо контролировать углеводный и водно-электролитный обмены в организме водолазов во избежание усиления патологического действия кислорода на ЦНС и внутрисосудистого декомпрессионного газообразования на организм водолаза.

Заключение

Отсутствие каких-либо отклонений от референсных значений биохимических показателей крови у водолазов после глубоководных спусков подтверждает безопасность технологии спусков в водолазных дыхательных аппаратах на глубину свыше 60 м. Результаты корреляционного анализа выявили изменения углеводного и водно-электролитного обмена в организме водолазов после глубоководного спуска из-за действия повышенного парциального давления кислорода и внутрисосудистого декомпрессионного газообразования.

Литература

1. Баишев И.С. [и др.]. Руководство по гипербарической медицине / под ред. С.А. Байдина, А.Б. Граменицкого, Б.А. Рубинчика. М. : Медицина, 2008. 561 с.

2. Буравкова Л.В., Попова Ю.А. Влияние гипербарической среды различного газового состава на метаболические показатели крови человека // Физиология человека. 2007. Т. 33, № 5. С. 102–112.

3. Головяшкин Г.В., Глушков В.А. Пособие по организации и медицинскому обеспечению добычи морепродуктов водолазным способом с использованием гипероксических кислородных смесей. СПб : Пресс-сервис, 2006. 203 с.

4. Горохов Н.М., Тимощенко Л.В. Изменение активности отдельных ферментов сыворотки крови у спортсменов разных специализаций при выполнении кратковременной физической нагрузки // Теория и практика физ. культуры. 2007. № 10, С. 44–46.

5. Зверев Д.П., Бычков С.А., Мясников А.А. [и др.]. Возможности ультразвуковых способов в диагностике декомпрессионной болезни // Мор. медицина. 2021. № 7. С. 75–83. DOI: 10.22328/2413-5747-2021-7-4-75-83.

6. Иванов А.М., Старовойт А.В. Клинико-лабораторная оценка метаболических нарушений при воздействии повышенного и пониженного давления и подходы к их коррекции / Гл. воен.-мед. упр. Минобороны России, Воен.-мед. акад. им. С.М. Кирова. СПб., 2011. 305 с.

7. Котенко П.К., Шевцов В.И., Киреев С.Г. [и др.]. Организация медицинского обеспечения специалистов и сотрудников системы МЧС России в режиме повседневной деятельности [Электронный ресурс]. СПб. : Наукоемкие технологии, 2018. 351 с.

8. Медведев Л.Г., Кулешов В.И., Шевченко С.Б. Изменение обмена веществ при гипербарической оксигенации // Космич. биология и авиакосмич. медицина. 1991. № 25. С. 27–30.

9. Новиков М.В., Свистов А.С., Чумаков А.В. [и др.]. О влиянии некоторых потенциально опасных факторов гипербарии на состояние микроциркуляторного русла водолазов Военно-морского флота // Вестн. Рос. воен.-мед. акад. 2015. № 3. С. 41–44.

10. Смолин В.В., Соколов Г.М., Павлов Б.Н. Глубоководные водолазные спуски и их медицинское обеспечение. М. : Слово, 2003. Т. 1. 592 с.

11. Aviner B., Arieli R., Yalov A. Power equation for predicting the risk of central nervous system oxygen toxicity at rest // Front. Physiol. 2020. Vol. 11. P. 1007. DOI: 10.3389/fphys.2020.01007.

12. Fichtner A., Brunner B.P., Pohl T. [et. al.]. A Doppler ultrasound self-monitoring approach for detection of relevant individual decompression stress in scuba diving // Intern. Emerg. Med. 2022. Vol. 17, N 1. P. 173–180. DOI: 10.1007/s11739-021-02802-z.

13. Fock A., Millar I. Oxygen toxicity in recreational and technical diving // Diving Hyperb. Med. 2008. Vol. 38, N 2. P. 86–90.

14. Jauchem R.J., Waligora J.M., Johnson P.C. Blood biochemical and cellular changes during decompression and simulated extravehicular activity // Int. Arch. Occup. Environ. Health. 1990. Vol. 62, N 5. P. 391–396. DOI: 10.1007/BF00381370.

15. Kelly R.K., Arrington L.J., Bernards J.R., Jensen A.E. Prolonged extreme cold water diving and the acute stress response during military dive training // Front. Physiol. 2022. Vol. 13. P. 842612. DOI:10.3389/fphys.2022.842612.

16. Lundell R.V., Tuominen L.O., Ojanen T. [et al.]. Diving responses in experienced rebreather divers: short-term heart rate variability in cold water diving // Front. Physiol. 2021. Vol. 12. P. 649319. DOI: 10.3389/fphys.2021.649319.

17. Wang Q., Guerrero F., Theron M. Pre-hydration strongly reduces decompression sickness occurrence after a simulated dive in the rat // Diving Hyperb. Med. 2020. Vol. 50, N 3. P. 288–291. DOI: 10.28920/dhm50.3.288-291.

Поступила 02.10.2022 г.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией статьи. Коллектив авторов выражает благодарность Фокину Сергею Георгиевичу – исполнительному директору Центра подводных исследований Русского географического общества за организацию водолазных спусков, в течение которых были проведены данные исследования, и компании «Р-Фарм» за предоставленный аппарат «Fujifilm DRI-CHEM NX500», который позволил оценить биохимические параметры водолазов непосредственно на месте водолазного спуска.

Вклад авторов: С.А. Бычков – методология и дизайн, планирование цели и задач исследования, анализ литературных данных, организация сбора первичных клинических данных и отбора биопроб, редактирование окончательного варианта статьи; Д.П. Зверев – методология и дизайн исследования, организация сбора первичных клинических данных и отбора биопроб, анализ литературных данных; И.Р. Кленков – планирование цели и задач эксперимента, участие в написании статьи, статистический анализ первичных данных, редактирование окончательного варианта статьи; А.М. Ярков – методология и дизайн исследования, участие в написании статьи, подготовка иллюстративного материала, редактирование окончательного варианта статьи; З.М. Исрафилов – организация сбора первичных клинических данных и отбора биопроб, статистический анализ первичных данных.

Для цитирования. Бычков С.А., Зверев Д.П., Кленков И.Р., Ярков А.М., Исрафилов З.М. Биохимический статус у водолазов-глубоководников после воздействия факторов водной среды // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2022. № 4. С. 76–82. DOI: 10.25016/2541-7487-2022-0-4-76-82.

Biochemical effects in deep-sea divers exposed to aquatic environmental factors

Bychkov S.A.[1], Zverev D.P.[2], Klenkov I.R.[2], Yarkov A.M.[1], Israfilov Z.M[2]

[1] Center for Underwater Research of the Russian Geographical Society
(3-A, Zakhar'evskaya Str., St. Petersburg, 191123, Russia)
[2] Kirov Military Medical Academy (6, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, 194044, Russia)

✉ Sergei Anatol'evich Bychkov – diving medicine doctor of the autonomous non-profit organization, Center for Underwater Research of the Russian Geographical Society (3-A, Zakhar'evskaya Str., St. Petersburg, 191123, Russia), ORSID: 0000-0002-8506-7815, e-mail: markis86@mail.ru;

Dmitrii Pavlovich Zverev – PhD Med. Sci., Associate Prof., Head Department of Diving, Kirov Military Medical Academy (6, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, 194044, Russia), ORCID: 0000-0003-3333-6769, e-mail: z.d.p@mail.ru;

Il'yas Rifat'evich Klenkov – PhD Med. Sci., Lecturer, Department of Physiology of Diving, Kirov Military Medical Academy (6, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, 194044, Russia), ORCID: 0000-0002-1465-1539, e-mail: klen.ir @mail.ru;

Andrei Mikhailovich Yarkov – PhD Med. Sci., Doctor of Diving Medicine, Center for Underwater Research of the Russian Geographical Society (3-A, Zakharyevskaya Str., St. Petersburg, 191123, Russia), e-mail: a.yarkov@urc-rgs.ru, ORCID: 0000-0001-9349-0085;

Zagir Mallaradzhabovich Israfilov – PhD Student, Department of Diving Physiology, Kirov Military Medical Academy (6, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, 194044, Russia), ORCID: 0000-0002-3524-7412, e-mail: warag05@mail.ru,

Abstract

Relevance. Diving equipment and diving launch techniques witness continuous improvements, which allow individuals to more effectively perform various tasks underwater. A controlled electronic closed circuit rebreather has been used in amateur diving in our country for more than 20 years. It is therefore necessary to assess the biochemical effects in deep-sea divers wearing deep sea diving equipment to ensure its safety and functionality in professional diving and the activities of dedicated departmental structures.

The objective is to assess the biochemical effects in deep-sea divers in controlled electronic closed circuit rebreather, with a similar level of intravascular decompression gas formation under the influence of aquatic environment factors.

Methods. During the study, 9 blood biochemical parameters were evaluated using the Fujifilm DRI-CHEM NX500 apparatus in 6 divers before and after deep-sea descents. In total, 14 diving descents were performed in a controlled electronic closed circuit rebreather to depths from 60 to 100 m. Also, after each diving descent, the level of intravascular decompression gas formation was assessed using ultrasonic location with the constant-wave Doppler effect.

Results and Discussion. As a result of these studies, a significant increase in the values of transaminases (ALT, AST) and urea was established, associated with increased partial pressure of oxygen in hyperbaric aquatic environment. The results of the analysis revealed that indicators of the CNS oxygen intoxication correlated with K+ ions concentration and glucose levels; a correlation between Na+ ions and Cl^- ions concentration was established, as well as the inverse relationship between the concentration of urea and creatinine and the level of intravascular decompression gas formation. It is noteworthy that a correlation was found between the level of intravascular decompression gas formation and the CNS oxygen intoxication, whereby an increase in the CNS oxygen intoxication leads to increased levels of intravascular decompression gas formation.

Conclusion. The studied blood biochemical parameters did not go beyond the reference values and had slight individual variations, which confirms the safety of the technology of descents in diving breathing apparatus with a controlled electronic

closed circuit rebreather at depths of more than 60 m. The results of the correlation analysis revealed changes in carbohydrate and water-electrolyte metabolism in the body of divers after a deep-sea descent due to the action of an increased partial pressure of oxygen and intravascular decompression gas formation.

Keywords: Closed circuit diving rebreathers, biochemical parameters of blood, intravascular decompression gas formation, deep-sea diving descents, oxygen intoxication of the CNS.

References

1. Baishev I.S. [et al.]. Rukovodstvo po giperbaricheskoi meditsine [A guide to hyperbaric medicine]. Eds.: S.A. Baidin, A.B. Gramenitskii, B.A. Rubinchik. Moscow. 2008. 561 p. (In Russ.)

2. Buravkova L.V., Popova Yu.A. Vliyanie giperbaricheskoi sredy razlichnogo gazovogo sostava na metabolicheskie pokazateli krovi cheloveka [Effects of various hyperbaric gas mixtures on metabolic parameters of human blood]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 2007; (33):102–112. (In Russ.)

3. Golovyashkin G.V., Glushkov V.A. Posobie po organizatsii i meditsinskomu obespecheniyu dobychi moreproduktov vodolaznym sposobom s ispol'zovaniem giperoksicheskikh kislorodnykh smesei [Manual on the organization and medical support of seafood production by diving using hyperoxic oxygen mixtures]. St. Petersburg. 2006. 203 p. (In Russ.)

4. Gorokhov N.M., Timoshchenko L.V. Izmenenie aktivnosti otdel'nykh fermentov syvorotki krovi u sportsmenov raznykh spetsializatsiy pri vypolnenii kratkovremennoi fizicheskoi nagruzki [Activity change of single enzymes of blood serum in athletes of various specialization at short-term physical loading performance]. *Teoriya i praktika fizicheskoi kul'tury* [Theory and Practice of Physical Culture]. 2007; (10):44–46. (In Russ.)

5. Zverev D.P., Bychkov S.A., Myasnikov A.A. [et al.]. Vozmozhnosti ul'trazvukovykh sposobov v diagnostike dekompressionnoi bolezni [Possibilities of ultrasound methods in the diagnosis of decompression sickness]. *Morskaya meditsina* [Marine Medicine]. 2021; (7):75–83. DOI: 10.22328/2413-5747-2021-7-4-75-83. (In Russ.)

6. Ivanov A.M., Starovoit A.V. Kliniko-laboratornaya otsenka metabolicheskikh narushenii pri vozdeistvii povyshennogo i ponizhennogo davleniya i podkhody k ikh korrektsii [Clinical and laboratory assessment of metabolic disorders under the influence of high and low blood pressure and approaches to their correction: a report on research]. St. Petersburg. 2011. 305 p. (In Russ.)

7. Kotenko P.K., Shevtsov V.I., Kireev S.G. [et al.]. Organizatsiya meditsinskogo obespecheniya spetsialistov i sotrudnikov sistemy MChS Rossii v rezhime povsednevnoi deyatel'nosti [Organization of medical support for specialists and employees of the system of the EMERCOM of Russia in the mode of daily activities]. St. Petersburg. 2018. 351 p. (In Russ.)

8. Medvedev L.G., Kuleshov V.I., Shevchenko S.B. Izmenenie obmena veshchestv pri giperbaricheskoi oksigenatsii [Changes in metabolism during hyperbaric oxygenation]. *Kosmicheskaya biologiya i aviakosmicheskaya meditsina* [Aerospace and environmental medicine]. 1991; (25):27–30. (In Russ.)

9. Novikov M.V., Svistov A.S., Chumakov A.V. [et al.]. O vliyanii nekotorykh potentsial'no opasnykh faktorov giperbarii na sostoyanie mikrotsirkulyatornogo rusla vodolazov Voenno-morskogo flota [About influence of some potentially dangerous hyperbaric factors on microcirculation of Navy divers]. *Vestnik Rossiyskoi Voenno-meditsinskoi akademii* [Bulletin of the Russian military medical academy]. 2015; (3):41–44. (In Russ.)

10. Smolin V.V., Sokolov G.M., Pavlov B.N. Glubokovodnye vodolaznye spuski i ikh meditsinskoe obespechenie [Deep-sea diving descents and their medical support]. Moscow. 2003. Vol. 1. 592 p. (In Russ.)

11. Aviner B., Arieli R., Yalov A. Power equation for predicting the risk of central nervous system oxygen toxicity at rest. *Front. Physiol*. 2020 ; 11:1007. DOI: 10.3389/fphys.2020.01007.

12. Fichtner A., Brunner B.P., Pohl T. [et. al.]. A Doppler ultrasound self-monitoring approach for detection of relevant individual decompression stress in scuba diving. *Intern. Emerg. Med*. 2022; 17(1):173–180. DOI: 10.1007/s11739-021-02802-z.

13. Fock A., Millar I. Oxygen toxicity in recreational and technical diving. *Diving Hyperb. Med*. 2008; 38(2): 86–90.

14. Jauchem R.J., Waligora J.M., Johnson P.C. Blood biochemical and cellular changes during decompression and simulated extravehicular activity. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*. 1990; 62(5):391–396. DOI: 10.1007/BF00381370.

15. Kelly R.K., Arrington L.J., Bernards J.R., Jensen A.E. Prolonged extreme cold water diving and the acute stress response during military dive training. *Front. Physiol*. 2022; 13:842612. DOI:10.3389/fphys.2022.842612.

16. Lundell R.V., Tuominen L.O., Ojanen T. [et al.]. Diving responses in experienced rebreather divers: short-term heart rate variability in cold water diving. *Front. Physiol*. 2021; 12:649319. DOI: 10.3389/fphys.2021.649319.

17. Wang Q., Guerrero F., Theron M. Pre-hydration strongly reduces decompression sickness occurrence after a simulated dive in the rat. *Diving Hyperb. Med*. 2020; 50(3):288–291. DOI: 10.28920/dhm50.3.288-291.

Received 09.11.2022

For citing: Bychkov S.A., Zverev D.P., Klenkov I.R., Yarkov A.M., Israfilov Z.M. Biokhimicheskii status u vodolazov-glubokovodnikov posle vozdeistviya faktorov vodnoi sredy**.** *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2022; (4):76–82. **(In Russ.)**

Bychkov S.A., Zverev D.P., Klenkov I.R., Yarkov A.M., Israfilov Z.M. Biochemical effects in deep-sea divers exposed to aquatic enviromental factors. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2022; (4):76–82. DOI: 10.25016/2541-7487-2022-0-4-76-82