

ФИЗИОЛОГИЯ И ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА
PHYSIOLOGY AND PSYCHOPHYSIOLOGY OF HUMAN PROFESSIONAL ACTIVITY

УДК 612.275

<https://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2021-7-3-49-61>

© Зверев Д.П., Мясников А.А., Шитов А.Ю., Андрусенко А.Н., Чернов В.И., Кленков И.Р., Исрафилов З.М., 2021 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИЙ ПОЧЕК ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ВОДОЛАЗОВ К ГИПОКСИЧЕСКОЙ ГИПОКСИИ

Д. П. Зверев, А. А. Мясников, А. Ю. Шитов*, А. Н. Андрусенко, В. И. Чернов, И. Р. Кленков,
З. М. Исрафилов

Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

Цель: с помощью пероральных нагрузочных почечных проб выявить изменения функций почек и водно-электролитного обмена у водолазов с разной исходной устойчивостью к гипоксической гипоксии.

Материалы и методы. Проведено обследование 44 мужчин. У всех испытуемых оценивалась исходная устойчивость к гипоксической гипоксии. Для определения состояния функций почек были проведены пероральные нагрузочные почечные пробы.

Результаты и их обсуждение. Для отбора водолазов необходимо проводить пероральные нагрузочные пробы с водой, 10% раствором калия хлорида и 7,5% раствором лактата кальция. У водолазов, имеющих низкую и среднюю устойчивость к гипоксической гипоксии, отмечается ухудшение кальций- и калийуретической функции почек после пероральных нагрузочных почечных проб. Методика определения устойчивости водолазов к гипоксической гипоксии должна быть дополнена разработанной нами закономерностью.

Ключевые слова: морская медицина, водолаз, гипоксическая гипоксия, пероральные нагрузочные почечные пробы, выделительная система, водно-электролитный обмен

*Контакт: Шитов Арсений Юрьевич, arseniyshitov@mail.ru

© Zverev D.P., Myasnikov A.A., Shitov A.Yu., Andrusenko A.N., Chernov V.I., Klenkov I.R., Israfilov Z.M., 2021

STUDY OF RENAL FUNCTION INDICES TO DETERMINE HYPOXIC HYPOXIA RESISTANCE IN DIVERS

Dmitriy P. Zverev, Aleksey A. Myasnikov, Arseniy Yu. Shitov*, Andrey N. Andrusenko,
Vasiliy I. Chernov, Ilyas R. Klenkov, Zagir M. Israfilov
S. M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia

Aim: using oral stress kidney tests to reveal changes in renal function and water-electrolyte metabolism in divers with different initial resistance to hypoxic hypoxia.

Materials and methods. 44 men were studied. All subjects were evaluated for their initial resistance to hypoxic hypoxia. Oral renal stress tests were performed to determine the status of kidney function.

Results and their discussion. For the selection of divers, it is necessary to carry out oral stress tests with water, 10% potassium chloride solution and 7.5% calcium lactate solution. In divers with low and medium resistance to hypoxic hypoxia, there is a deterioration in the calcium and potassium uretic function of the kidneys after oral stress renal tests. The method for determining the resistance of divers to hypoxic hypoxia should be supplemented by the regularity developed by us.

Key words: marine medicine, diver, hypoxic hypoxia, oral stress kidney tests, excretory system, water-electrolyte metabolism

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Зверев Д.П., Мясников А.А., Шитов А.Ю., Андрусенко А.Н., Чернов В.И., Кленков И.Р., Исрафилов З.М. Исследование показателей функций почек для определения устойчивости водолазов к гипоксической гипоксии // *Морская медицина*. 2021. Т. 7, № 3. С. 49-61. <https://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2021-7-3-49-61>.

Conflict of interest: the authors have declared no conflict of interest.

For citation: Zverev D.P., Myasnikov A.A., Shitov A.Yu., Andrusenko A.N., Chernov V.I., Klenkov I.R., Israfilov Z.M. Study of renal function indices to determine hypoxic hypoxia resistance in divers // *Marine Medicine*. 2021. Vol. 7, No. 3. P. 49-61. <https://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2021-7-3-49-61>.

*Contact: Shitov Arseniy Yurievich, arseniyshitov@mail.ru

Введение. Необходимость определения устойчивости к гипоксической гипоксии (ГГ) обусловлена высокой частотой развития ее острой формы при подводных погружениях и подъемах на высоту [1, с. 28–30; 2, с. 129–130]. Устойчивость к ГГ имеет значительную вариабельность у людей, поэтому ее определение является одним из элементов профессионального отбора водолазов по физиологическим (функциональным) показателям [3, с. 207–208; 4, с. 745–746; 5, с. 1002–1003]. Вместе с этим методика, используемая для определения устойчивости водолазов к ГГ, разработанная около 20 лет назад, нуждается в корректировке^{1,2,3}. Это связано, с одной стороны, с необходимостью совершенствования самой методики, которая является «нагрузочной» для организма, и при ее проведении есть вероятность возникновения острых состояний, особенно у неадаптированных к гипоксии лиц. С другой стороны, в развитии механизмов устойчивости к гипоксической гипоксии играют роль множество малоисследованных факторов [6, с. 10–11]. Такими факторами могут быть особенности энергетического обмена, заключающиеся в поддержании необходимого баланса между системами акцепторов водорода и макроэргов, а также кинетические характеристики ферментных комплексов дыхательной цепи [7, с. 49–50]. Кроме того, установлено, что устойчивость к гипоксии зависит от соотношения процессов перекисного окисления липидов и активности антиоксидантных систем. Обнаружено, что у высокоустойчивых к гипоксической гипоксии животных повышается степень сопряженности процессов окисления и фосфорилирования, а также снижается скорость дыхания митохондрий [7, с. 50–51; 8, с. 952–953].

В последние годы большое значение в успешности адаптации к гипоксии придают кислородчувствительному протеиновому

комплексу, обладающему транскрипционной активностью — гипоксия-индуцируемому ядерному транскрипционному фактору HIF (hypoxia inducible factor). HIF представляет собой белок, состоящий из конститутивной β -субъединицы и одной из трех чувствительных к кислороду альтернативных изоформ α -субъединицы (HIF-1 α , HIF-2 α и наименее изученной HIF-3 α) [9, с. 52–53].

Считается, что HIF является ведущим регулятором генов млекопитающих, ответственных за реакцию организма на гипоксию. Особо следует отметить, что HIF в основном образуется в трубчатом эпителии клеток почек. При этом HIF функционирует как один из главных регуляторов клеточной адаптации к гипоксии. Исследователи предполагают, что адаптация почечных клеток к гипоксии осуществляется с помощью специфических внутриклеточных механизмов, опосредованных через HIF [9, с. 51–52]. Сейчас стало очевидным, что HIF- α не только участвует в адаптации клеток почечной ткани к гипоксии, но и может прямо вовлекаться в патологические процессы, лежащие в основе развития и прогрессирования гипоксического гломерулосклероза и тубулоинтерстициального фиброза. Считается, что в условиях острой гипоксии в почках активируется фактор HIF, при этом формируется неполноценное микрососудистое русло, усиливается ангиогенез, происходит дополнительная пролиферация клеток, развивается интерстициальный фиброз. При продолжающейся гипоксии HIF индуцирует апоптоз, что приводит к некрозу почечных клеток [10, с. 64–65].

Таким образом, одним из перспективных направлений в исследовании механизмов, определяющих устойчивость человека к гипоксии, является изучение состояния водно-электролитного обмена и параметров функционирования выделительной системы, в частности

¹ Инструкция о порядке медицинского освидетельствования водолазного состава Военно-Морского Флота, Главное Командование ВМФ. 2003. 10 с. [Instructions on the procedure for medical examination of diving personnel of the Navy, the Main Command of the Navy, 2003, 10 p. (In Russ.).]

² Постановление Правительства Российской Федерации от 4 июля 2013 года № 565 «Об утверждении положения о военно-врачебной экспертизе» [Resolution of the Government of the Russian Federation No. 565 of July 4, 2013 «On approval of the Regulations on military medical examination» (In Russ.).]

³ Приказ Министра обороны Российской Федерации от 20 октября 2014 года № 770 «О мерах по реализации в Вооруженных Силах Российской Федерации правовых актов по вопросам проведения военно-врачебной экспертизы» [Order of the Minister of Defense of the Russian Federation No. 770 of October 20, 2014 «On measures for the implementation of legal acts in the Armed Forces of the Russian Federation on the issues of military medical examination» (In Russ.).]

почек [11, с. 1761–1762; 12, с. 57–58]. Необходимо отметить, что среди крупных органов почки занимают первое место по потреблению кислорода [12, с. 58–59]. Важность исследования функций выделительной системы объясняется и тем, что она является ответственной за регуляцию кислотно-щелочного состояния и сохранение необходимой величины щелочного резерва организма [13, с. 44–50].

Известно, что в условиях гипоксической гипоксии происходит значительное уменьшение щелочного резерва плазмы крови, при этом понижение его, как правило, происходит параллельно падению парциального давления кислорода во вдыхаемой газовой смеси. Именно поэтому нам представляется, что в условиях гипоксической гипоксии значительную роль будут играть функциональный почечный резерв и возможность почек компенсировать происходящие неблагоприятные изменения гомеостаза организма.

Тем не менее до настоящего времени опубликовано небольшое количество исследований, посвященных оценке связи устойчивости человека к острой гипоксической гипоксии с показателями функций почек и потреблением различных жидкостей [14, с. 51–52]. Большая часть таких исследований проводилась в условиях высокогорья и в основном касалась изменений функций организма в условиях хронической гипоксии. В этих условиях исследователи почти всегда отмечали снижение диуреза, связанное с понижением фильтрации и увеличением реабсорбции [15, с. 18–20; 16, с. 49–50; 17, с. 850–851].

В условиях последствия хронической гипоксической гипоксии отмечается компенсаторное увеличение диуреза, объясняемое понижением реабсорбции и повышением фильтрации, что является следствием перестройки эритропоэза и тканевого обмена, тогда как при острой гипоксии развиваются экстренные компенсаторные реакции, связанные с изменениями в деятельности дыхательной, сердечно-сосудистой и, вероятно, гормональной систем [13, с. 44–50].

Известно, что при физических нагрузках в условиях гипоксической гипоксии проис-

ходит снижение выведения натрия, калия и мочевины, направленное на сохранение осмотической концентрации плазмы и объема циркулирующей крови, сопровождающееся повышением минералокортикостероидной активности коры надпочечников [18, с. 82–83].

Большинство исследователей считают, что гипоксия вызывает канальцевое повреждение. При этом проксимальные канальцы сильно зависят от аэробного окислительного метаболизма и не способны эффективно переключаться на анаэробный гликолиз. Кислород необходим для поддержания активной трансфулярной реабсорбции растворенных веществ, в первую очередь натрия. Поражение тубулярных клеток приводит к нарушению работы клубочкового аппарата за счет канальцевой обструкции. Кроме того, при гипоксии почечной ткани с высокой вероятностью нарушается тубулогломерулярная обратная связь. Развивающийся тубулоинтерстициальный фиброз ухудшает кровоток и приводит к ишемическому повреждению нефронов [10, с. 65–66].

На наш взгляд, все эти немногочисленные и разрозненные данные не позволяют сформировать однозначные представления о механизмах работы выделительной системы водолазов в условиях гипоксической гипоксии. Тем более имеющиеся сведения не позволяют связать параметры функционирования выделительной системы с устойчивостью организма к этому неблагоприятному фактору водолазного погружения. Во многом это обусловлено сложным характером адаптационно-компенсаторных реакций, которые часто не позволяют выявить взаимосвязь между степенью нарушения канальцевого транспорта и кислородным обеспечением почек.

В более ранних работах нами была показана связь функций почек с устойчивостью водолазов к токсическому действию высоких парциальных давлений кислорода, азота и декомпрессионному газообразованию [19, с. 92–93; 20, с. 44–46; 21, с. 66–72]. В ходе проведенных исследований были разработаны методики пероральных нагрузочных почечных проб у водолазов, определены критерии их оценки и даны

физиологические обоснования полученных результатов^{1,2,3,4}.

Тем не менее в проанализированной литературе содержится крайне мало данных, указывающих на использование пероральных нагрузочных почечных проб для исследования функций почек человека в условиях гипоксической гипоксии. При этом понять, каким образом влияет гипоксическая гипоксия на функции почек и водно-электролитный обмен водолазов, можно будет, только исследовав водно-электролитный обмен и процессы образования мочи у лиц, имеющих различную исходную устойчивость к данному неблагоприятному фактору подводного погружения.

Цель исследования: с помощью пероральных нагрузочных почечных проб выявить изменения функций почек и водно-электролитного обмена у водолазов с разной исходной устойчивостью к гипоксической гипоксии. Определить взаимосвязь между устойчивостью организма к гипоксической гипоксии и

состоянием функций выделительной системы водолазов.

Материалы и методы. Проведено обследование 44 мужчин в возрасте 19–23 лет, признанных годными к водолажным спускам по состоянию здоровья. У всех испытуемых оценивалась исходная устойчивость к гипоксической гипоксии по методике, принятой в водолазной медицине⁵. Данная методика является качественной и заключается в регистрации изменений показателей функций сердечно-сосудистой, дыхательной и центральной нервной систем при 10-минутном дыхании 10% кислородно-азотной газовой смесью.

Для определения состояния водно-электролитного обмена и функций почек у испытуемых были проведены четыре серии исследований с применением пероральных нагрузочных почечных проб [21, с. 67–69].

Первая серия исследований — определение индекса функциональной активности почек (ИФАП) после пероральной водной нагруз-

¹ Патент на изобретение 2569795 С2 Российская Федерация, МПК 01 N 33/48. Способ диагностики степени неблагоприятных изменений водно-электролитного обмена у водолазов / А.Ю. Шитов, Б.Л. Макеев; № 2012100358/15; заявл. 10.01.2012; опубл. 27.11.2015 // *Изобретения. Полезные модели: офиц. бюл. М.: ФИПС, 2015. № 33.* [Patent for invention 2569795 С2 Russian Federation, IPC 01 N 33/48. Method for the diagnosis of unfavorable changes in water-electrolyte metabolism in divers / A.Yu. Shitov, B.L. Makeev; No. 2012100358/15; app. 01/10/2012; publ. 11/27/2015. *Inventions. Useful models: officer. bul. Moscow: Publishing house FIPS, 2015. No. 33 (In Russ.).*]

² Патент на изобретение 2680376 С1 Российская Федерация, МПК G 01 N 33/50, А 61 В 5/20. Способ определения степени индивидуальной устойчивости водолазов к декомпрессионной болезни по показателям функций почек / А.Ю. Шитов; № 2018119592; заявл. 28.05.2018; опубл. 20.02.2019 // *Изобретения. Полезные модели: офиц. бюл. М.: ФИПС, 2019. № 5.* [Patent for invention 2680376 С1 Russian Federation, IPC G 01 N 33/50, А 61 В 5/20. Method for determining the degree of individual resistance of divers to decompression sickness by indicators of kidney function / A.Yu. Shitov; No. 2018119592; app. 05/28/2018; publ. 02/20/2019. *Inventions. Useful models: officer. bul. Moscow: Publishing house FIPS, 2019. No. 5 (In Russ.).*]

³ Патент на изобретение 2709477 С1 Российская Федерация, МПК G 01 N 33/493. Способ определения степени индивидуальной устойчивости водолазов к токсическому действию кислорода по показателям функций почек / А.Ю. Шитов; № 2019131340; заявл. 03.10.2019; опубл. 18.12.2019 // *Изобретения. Полезные модели: офиц. бюл. М.: ФИПС, 2019. № 35.* [Patent for invention 2709477 С1 Russian Federation, IPC G 01 N 33/493. Method for determining the degree of individual resistance of divers to the toxic effect of oxygen by indicators of kidney function / A.Yu. Shitov; No. 2019131340; app. 10/03/2019; publ. 12/18/2019. *Inventions. Useful models: officer. bul. Moscow: Publishing house FIPS, 2019. No. 35 (In Russ.).*]

⁴ Патент на изобретение 2709469 С1 Российская Федерация, МПК G 01 N 33/48. Способ определения степени индивидуальной устойчивости водолазов к токсическому действию азота по показателям функций почек / А.Ю. Шитов. № 2019131341; заявл. 03.10.2019; опубл. 18.12.2019 // *Изобретения. Полезные модели: офиц. бюл. М.: ФИПС, 2019. № 35.* [Patent for invention 2709469 С1 Russian Federation, IPC G 01 N 33/48. Method for determining the degree of individual resistance of divers to the toxic effect of nitrogen by indicators of kidney function / A.Yu. Shitov. No. 2019131341; app. 10/03/2019; publ. 12/18/2019. *Inventions. Useful models: officer. bul. Moscow: Publishing house FIPS, 2019. No. 35 (In Russ.).*]

⁵ Инструкция о порядке медицинского освидетельствования водолазного состава Военно-Морского Флота, Главное Командование ВМФ. 2003. 10 с. [Instructions on the procedure for medical examination of the diving personnel of the Navy, Main Command of the Navy, 2003, 10 p. (In Russ.).]

ки в дозе 20 мл/кг массы тела для оценки осморегулирующей функции почек^{1,2}. Вторая серия исследований — определение индекса волюморегулирующей активности почек (ИВАП) после пероральной солевой нагрузки 0,5% раствором натрия хлорида в дозе 0,5% от массы тела³. Третья серия исследований — определение индекса калийуретической активности почек (ИКАП) после пероральной нагрузки 10% раствором калия хлорида, в дозе 0,55 мл/кг массы тела⁴. Четвертая серия исследований — определение индекса кальцийуретической функции почек (ИКФП) после пероральной нагрузки 7,5% раствором лактата кальция, в дозе 1 мл/кг массы тела^{5,6}.

Каждая серия исследований проводилась через две недели после предыдущей.

Методами корреляционного, регрессионного и дисперсионного анализа полученных данных проводились описание исследуемых параметров в группах и оценка значимости различия количественных показателей⁷. Для поведения статистического анализа использовались пакеты прикладных программ Statistica for Windows 10.0. Результаты методов обработки данных представлены в виде среднего значения (M) и стандартного отклонения (SD).

Результаты и их обсуждение. В результате определения устойчивости к гипоксической гипоксии выявлено, что из 44 обследованных

¹ Патент на изобретение 2423703 С1 Российская Федерация, МПК А 61 В 1/00; G01N 33/493. Способ оценки функций почек в условиях воздействия повышенного давления газовой среды / А.А. Мясников, А.Ю. Шитов; заявка № 2010101343/15; заявл. 18.01.2010; опубл. 10.07.2011 // *Изобретения. Полезные модели: офиц. бюл.* М.: ФИПС, 2011. № 19. [Patent for invention 2423703 С1 Russian Federation, IPC А 61 В 1/00; G01N 33/493. A method for assessing kidney functions under conditions of increased pressure of a gas environment / А.А. Myasnikov, А. Yu. Shitov; application No. 2010101343/15; app. 01/18/2010; publ. 10.07.2011. *Inventions. Useful models: officer. bul.* Moscow: Publishing house FIPS, 2011, No. 19 (In Russ.).]

² Патент на изобретение 2691953 С1 Российская Федерация, МПК G 01 N 33/493. Способ проведения почечной пробы с водной нагрузкой у водолазов / А.Ю. Шитов; № 2018124747; заявл. 05.07.2018; опубл. 19.06.2019 // *Изобретения. Полезные модели: офиц. бюл.* М.: ФИПС, 2019. № 17 [Patent for invention 2691953 С1 Russian Federation, IPC G 01 N 33/493. Method of carrying out a renal test with water load in divers / А.Ю. Shitov; No. 2018124747; app. 07/05/2018; publ. 06/19/2019. *Inventions. Useful models: officer. bul.* Moscow: Publishing house FIPS, 2019, No. 17 (In Russ.).]

³ Патент на изобретение 2499557 С1 Российская Федерация, МПК А 61 В 5/20. Способ оценки волюморегулирующей функций почек в условиях воздействия повышенного давления газовой среды / А.Ю. Шитов, Б.Л. Макеев; заявка № 2012142910/14; заявл. 08.10.2012; опубл. 27.11.2013 // *Изобретения. Полезные модели: офиц. бюл.* М.: ФИПС, 2013. № 33. [Patent for invention 2499557 С1 Russian Federation, IPC А 61 В 5/20. A method for assessing the volume-regulating functions of the kidneys under the influence of increased pressure of the gas environment / А.Ю. Shitov, В.Л. Makeev; application No. 2012142910/14; app. 10/08/2012; publ. 11/27/2013. *Inventions. Useful models: officer. bul.* Moscow: Publishing house FIPS, 2013, No. 33 (In Russ.).]

⁴ Патент на изобретение 2499993 С1 Российская Федерация, МПК G 01 N 33/493. Способ оценки калийуретической функций почек в условиях воздействия повышенного давления газовой среды / А.Ю. Шитов, Б.Л. Макеев; заявка № 2012118725/15; заявл. 04.05.2012; опубл. 27.11.2013 // *Изобретения. Полезные модели: офиц. бюл.* М.: ФИПС, 2013. № 2. [Patent for invention 2499993 С1 Russian Federation, IPC G 01 N 33/493. A method for assessing the potassium uretic functions of the kidneys under the influence of increased pressure of the gas environment / А.Ю. Shitov, В.Л. Makeev; application No. 2012118725/15; app. 05/04/2012; publ. 11/27/2013. *Inventions. Useful models: officer. bul.* Moscow: Publishing house FIPS, 2013, No. 2 (In Russ.).]

⁵ Патент на изобретение 2525738 С1 Российская Федерация, МПК А 61 В 5/20. Способ оценки кальцийуретической функций почек человека в условиях воздействия повышенного давления газовой среды / А.Ю. Шитов, Б.Л. Макеев; заявка № 2013116025/14; заявл. 09.04.2013; опубл. 20.08.2014 // *Изобретения. Полезные модели: офиц. бюл.* М.: ФИПС, 2014. № 23. [Patent for invention 2525738 С1 Russian Federation, IPC А 61 В 5/20. A method for assessing the calciuretic functions of human kidneys under conditions of increased pressure of the gas environment / А.Ю. Shitov, В.Л. Makeev; application No. 2013116025/14; app. 04/09/2013; publ. 08/20/2014. *Inventions. Useful models: officer. bul.* Moscow: Publishing house FIPS, 2014, No. 23 (In Russ.).]

⁶ Патент на изобретение 2716332 С1 Российская Федерация, МПК А 61 В 5/20, G 01 N 33/84, G 01 N 33/493. Способ проведения почечной пробы с кальциевой нагрузкой у водолазов / А.Ю. Шитов. № 2019113963; заявл. 06.05.2019; опубл. 11.03.2020 // *Изобретения. Полезные модели: офиц. бюл.* М.: ФИПС, 2020. № 35. [Patent for invention 2716332 С1 Russian Federation, IPC А 61 В 5/20, G 01 N 33/84, G 01 N 33/493. Method of carrying out a kidney test with calcium load in divers / А.Ю. Shitov. No. 2019113963; app. 05/06/2019; publ. 03/11/2020. *Inventions. Useful models: officer. bul.* Moscow: Publishing house FIPS, 2020, No. 35 (In Russ.).]

⁷ Зубов Н.Н., Кувакин В.И. *Методы статистического анализа данных в медицине и фармации* / под общ. ред. Н.Н. Зубова. СПб.: ЛитографияПринт, 2017. 216 с. [Zubov N.N., Kuvakin V.I. *Methods of statistical data analysis in medicine and pharmacy*. St. Petersburg: Publishing house Litografiya Print, 2017, 216 p. (In Russ.).]

водолазов 15 имели высокую устойчивость (34,1%), 23 — среднюю устойчивость (52,3%), а 6 (13,6%) — низкую устойчивость. Результаты этих обследований и последующих исследований с применением пероральных нагрузочных проб представлены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели функций выделительной системы водолазов по результатам нагрузочных проб
Table 1
Performance indicators of the excretory system of divers according to the results of stress renal tests

№№ испытуемых водолазов	Исходная устойчивость водолазов к гипоксической гипоксии	ИФАП, усл. ед. (1-я серия исследований)	ИВАП, усл. ед. (2-я серия исследований)	ИКАП, усл. ед. (3-я серия исследований)	ИКФП, усл. ед. (4-я серия исследований)
1	Высокая устойчивость	5,8	1,0	4,3	1,4
2		5,3	1,1	3,5	2,0
3		6,1	0,7	4,2	1,0
4		5,7	1,1	3,3	1,8
5		6,1	0,3	3,8	1,1
6		5,0	1,0	4,8	1,3
7		5,4	0,9	4,4	1,1
8		6,5	1,2	5,3	1,3
9		7,5	1,0	4,1	1,0
10		5,8	1,3	4,7	1,5
11		5,4	0,8	5,0	1,8
12		5,8	1,1	3,9	1,7
13		6,0	0,2	4,9	0,5
14		5,2	1,4	5,5	0,9
15		6,0	1,1	5,8	1,0
16	Средняя устойчивость	4,0	0,9	3,2	1,0
17		5,5	1,0	3,1	0,5
18		5,8	0,6	3,8	1,3
19		6,0	1,1	3,0	1,0
20		4,9	1,0	3,1	0,8
21		4,4	0,4	2,3	1,0
22		4,3	0,9	2,4	1,4
23		4,4	1,7	2,9	0,9
24		4,9	0,4	3,7	1,5
25		4,9	0,3	3,1	1,4
26		5,0	-0,1	3,5	0,9
27		6,0	-0,2	2,1	-0,3
28		5,0	1,0	2,6	0,4
29		4,5	1,3	3,2	0,2
30		4,2	0,0	3,8	-0,3
31		3,8	0,0	2,3	-0,2

№№ испытуемых водолазов	Исходная устойчивость водолазов к гипоксической гипоксии	ИФАП, усл. ед. (1-я серия исследований)	ИВАП, усл. ед. (2-я серия исследований)	ИКАП, усл. ед. (3-я серия исследований)	ИКФП, усл. ед. (4-я серия исследований)
32		3,1	0,2	3,2	1,2
33		5,0	0,1	1,0	-0,5
34		4,8	0,2	1,1	-0,8
35		4,8	0,3	0,0	-0,4
36		6,0	-0,4	-0,3	0,0
37		5,9	1,3	1,8	-1,1
38		4,2	0,4	-0,2	-0,7
39		5,1	-0,2	2,0	-0,6
40	Низкая устойчивость	5,5	0,9	-0,3	-0,3
41		5,5	0,0	0,0	-0,6
42		4,8	-0,5	1,2	-0,4
43		4,2	0,9	-0,4	0,1
44		4,1	-0,3	2,0	0,0

Значения функций выделительной системы водолазов, имевших различную исходную устойчивость к гипоксической гипоксии, представлены в табл. 2.

(см. табл. 2). Наиболее выраженные изменения зарегистрированы по показателям ИКФП (снижение кальцийуретической функции почек более чем в 5 раз) и ИКАП (снижение

Таблица 2

Расчетные значения функций выделительной системы водолазов, имевших различную устойчивость к гипоксической гипоксии, усл. ед. (M, SD)

Table 2

The calculated values of the functions of the excretory system of divers with different resistance to hypoxic hypoxia, conventional units (M, SD)

Устойчивость водолазов к гипоксической гипоксии	ИФАП, усл.ед. (1-я серия исследований)		ИВАП, усл.ед. (2-я серия исследований)		ИКАП, усл.ед. (3-я серия исследований)		ИКФП, усл.ед. (4-я серия исследований)	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Высокая устойчивость (n=15)	5,84	0,6	0,94	0,33	4,5	0,72	1,29	0,4
Средняя и низкая устойчивость (n=29)	4,84*	0,73	0,45*	0,57	2,04*	1,38	0,25*	0,78

Примечание: *Различия значимы по сравнению с группой, имевшей высокую устойчивость ($p < 0,001$).

Note: *The difference is significant compared with the group that had high stability ($p < 0,001$).

Применение нагрузочных проб наглядно продемонстрировало, что у водолазов, со средней и низкой устойчивостью к гипоксической гипоксии расчетные индексы функций выделительной системы ниже, чем у испытуемых, имевших высокую устойчивость к данному неблагоприятному фактору гипербарии

калийуретической функции почек более чем в 2 раза).

В дальнейшем была построена корреляционная матрица показателей состояния функций выделительной системы организма испытуемых и устойчивости к гипоксической гипоксии (табл. 3).

Таблица 3

Коэффициенты корреляции (и их значимости) устойчивости к гипоксической гипоксии и показателей состояния функций выделительной системы организма водолазов

Table 3

Correlation coefficients (and their significance) of resistance to the hypoxic hypoxia and indicators of the state of the functions of the excretory system of the divers

Показатель состояния функций выделительной системы организма водолазов	Коэффициенты корреляции устойчивости к гипоксической гипоксии	p-level
ИФАП	0,49	0,001
ИВАП	0,49	0,001
ИКАП	0,77	0,001
ИКФП	0,65	0,001

Из данных корреляционной матрицы показателей функций почек с устойчивостью водолазов к гипоксической гипоксии следует, что со всеми показателями функций почек устойчивость к этому неблагоприятному фактору гипербарии имеет прямую корреляционную связь.

Устойчивость к гипоксической гипоксии имеет сильную прямую корреляционную взаимосвязь с ИКАП и связи средней силы с ИКФП. Связи устойчивости к гипоксической гипоксии с ИФАП и ИВАП слабые.

Известно, что ионы калия свободно фильтруются через гломерулярную мембрану в проксимальных отделах почечных канальцев, а альдостерон увеличивает поступление калия в клетки и ускоряет выведение его с мочой. Именно поэтому причинами пониженного выведения калия при нагрузочной пробе у лиц, имеющих низкую и среднюю устойчивость к гипоксической гипоксии, могут быть как снижение гломерулярной фильтрации, так и скрытая неполноценность гормональных механизмов регуляции обмена этого катиона (скрытый гипоальдостеронизм или гипокортицизм). Так, при гипоальдостеронизме происходит нарушение экскреции калия почками из-за нарушения обмена натрия на калий в дистальных отделах почечных канальцев. Кроме того, пониженное выведение калия из организма водолазов, неустойчивых к гипоксической гипоксии, при нагрузочных пробах может говорить о выработке у таких испытуемых антагонистов альдостерона или сниженном запасе натрия в организме.

В источниках литературы содержатся данные, указывающие на менее эффективное

выведение калия с мочой при нагрузках калия хлорида у детей до 10–11-летнего возраста. Исследователи предполагают, что такая реакция растущего организма способствует сохранению калия и созданию положительного баланса данного катиона [9, с. 52–53; 22, с. 320–322]. Обнаруженный нами подобный эффект у взрослого, относительно здорового человека, неустойчивого к гипоксии, может указывать либо на высокую адсорбцию калия в пищеварительном тракте, либо, что более вероятно, на незрелость периферических (через секрецию альдостерона) или рефлекторных (наличие специфических калиевых рецепторов печени и/или портальной системы и калийрегулирующего центра в гипоталамусе) механизмов регуляции калия.

Нельзя также исключать склонность неустойчивых к гипоксической гипоксии испытуемых к развитию метаболического алкалоза при действии на организм различных экстремальных факторов. Если говорить об этом механизме, то исследователи предполагают, что возникновение метаболического алкалоза способствует уменьшению поверхности апикальной мембраны собирательных трубок, снижению количества апикально расположенных K^+ -транспортеров в дистальных извитых канальцах и пониженному выведению калия с мочой.

В норме почечная экскреция калия представляется результатом трех процессов: канальцевой реабсорбции, канальцевой секреции и клубочковой фильтрации. При этом дистальный извитой каналец (собирательная трубка) является главной зоной почечной экскреции калия. Многочисленными иссле-

дованиями показано, что задержка калия в организме может происходить в силу незрелости главных клеток собирательных трубок (малое количество органелл, слабая активность Na^+/K^+ -АТФазы) или низкого электрохимического градиента апикальной мембраны. Ведь известно, что основная часть кислорода, поступающего в почку, используется для энергетического обеспечения работы именно Na^+/K^+ -АТФазы. Данный фермент обеспечивает активный транспорт натрия и связанный с ним перенос других веществ (в частности, калия и кальция), глюкозы и аминокислот клетками почечных канальцев. Возможно, что апикально расположенные K^+ -АТФазы более активны у испытуемых, неустойчивых к гипоксической гипоксии [23, с. 10–11; 24, с. 29–30].

Что касается кальцийуретической функции почек, то считается, что после проведения нагрузочной пробы с лактатом кальция в крови происходит увеличение ионизированной фракции кальция. Это важно, потому что только ионизированный кальций и кальций, связанный с комплексами, могут проходить через мембраны клеток и фильтроваться почками. Концентрация свободного ионизированного кальция находится в обратной зависимости от рН крови: ацидоз приводит к увеличению выделения кальция с мочой (за счет подавления его реабсорбции в дистальных извитых канальцах), а возникновение метаболического алкалоза ведет к падению его экскреции [25, с. 4–5].

У испытуемых, неустойчивых к гипоксической гипоксии, кроме склонности к алкалозу нельзя исключить и понижение внеклеточного объема жидкости после нагрузочных проб (в частности после нагрузки лактатом кальция). При этом такая нагрузка будет снижать экскрецию кальция с мочой за счет увеличения секреции паратиреоидного гормона (ПТГ). Избыточное количество ПТГ будет повышать реабсорбцию кальция в восходящей части петли Генле и в дистальных извитых канальцах,

тем самым снижая скорость его выведения с мочой [26, с. 66–67].

Известно, что все диуретики (кроме тиазидных) увеличивают экскрецию кальция с мочой. Наиболее сильный эффект проявляется у петлевых диуретиков (этакриновая кислота, фуросемид), которые блокируют Na-K-Cl -транспортеры апикальной мембраны. Препарат ацетазолamid, ингибируя карбоангидразу и снижая абсорбцию бикарбонатов в проксимальных канальцах, блокирует реабсорбцию кальция, увеличивая его выведение с мочой. Именно поэтому пониженное выведение кальция у неустойчивых к гипоксии испытуемых может быть связано как с увеличением абсорбции бикарбонатов в проксимальных канальцах, так и с ростом движущей силы пассивной парацеллюлярной абсорбции кальция [25, с. 5–6].

Вероятно, что у испытуемых с низкой устойчивостью к гипоксической гипоксии наблюдается и избыточная активность ренин-ангиотензиновой системы, которая способствует развитию в канальцевых клетках оксидативного стресса и ограничивает доставку кислорода в ткань почки благодаря выраженному сосудосуживающему действию. Это, в свою очередь, повышает потребление кислорода клеточными митохондриями и способствует возникновению вышечисленных эффектов в почечных канальцах [23, с. 12–13].

Методом пошагового регрессионного анализа была получена модель для определения устойчивости водолазов к ГГ по показателям, характеризующим функциональную, кальцийуретическую и калийуретическую функцию почек.

$$\text{Устойчивость к ГГ} = 0,22 \times \text{ИФАП} + 0,18 \times \text{ИКФП} + 0,20 \times \text{ИКАП}.$$

При значении устойчивости к ГГ до 1,5 водолаза относят к группе неустойчивых, от 1,51 до 2,5 — к группе среднеустойчивых и от 2,51 и более — к группе высокоустойчивых к гипоксической гипоксии¹.

¹ Патент на изобретение 2709467 С1 Российская Федерация, МПК G 01 N 33/493, А 61 В 5/20. Способ определения степени индивидуальной устойчивости водолазов к гипоксической гипоксии по показателям функций почек / А.Ю. Шитов, № 2019131339; заявл. 03.10.2019; опубл. 18.12.2019 // *Изобретения. Полезные модели: офиц. бюл.* М.: ФИПС, 2019. № 35. [Patent for invention 2709467 С1 Russian Federation, IPC G 01 N 33/493, A 61 B 5/20. Method for determining the degree of individual resistance of divers to hypoxic hypoxia by indicators of kidney function / A.Yu. Shitov, No. 2019131339; declared 10/03/2019; publ. 12/18/2019. *Inventions. Useful models: off. bul.* Moscow: Publishing house FIPS, 2019, No. 35 (In Russ.).]

Отбор значимых факторов для включения в модель приведен при уровне $F=1$, что обеспечивает уровень значимости коэффициентов $p < 0,30$, а достоверность $p > 0,70$. Коэффициенты ИФАП и ИКАП являются значимыми, достоверными ($p < 0,001$). Фактор ИВАП в модель не включен, как недостаточно значимый (значение $p = 0,291$). Коэффициент ИКФП значим в пределах 70% уровня надежности (в соответствии с заданным $F=1$ для пошагового отбора в модель после исключения ИВАП, значение $p = 0,077$).

Свободный член (Y -пересечение, intercept) имеет низкую достоверность (высокую вероятность ошибки, значение $p = 0,244$, после исключения фактора ИВАП) поэтому также не включен в регрессионную модель.

Дисперсионный анализ модели, оценка ее информативности и значимости свидетельствует, что вклад факторов, включенных в модель (Regress=13,112), составляет 68,44% от общей суммы квадратов отклонений прогнозируемого параметра устойчивости к гипоксической гипоксии (Total=19,159), а 31,56% вносят неучтенные (случайные) факторы (Residual=6,046), что свидетельствует об информационной способности модели. По величине F -критерия ($F=28,911$) с уровнем значимости $p = 0,0001$ модель можно считать значимой, достоверной. Наибольшее влияние на устойчивость к гипоксической гипоксии имеют факторы ИФАП и ИКАП, а наименьшее — фактор ИКФП (табл. 4).

водолазов. Низкая экскреция калия после калиевой нагрузки у водолазов неустойчивых к гипоксической гипоксии может быть связана с большой мощностью калий-абсорбирующих транспортеров или низкой активностью калий-секреторных насосов в дистальном отделе толстого кишечника и дистальных сегментах нефрона. У таких испытуемых нельзя исключить функциональную незрелость печеночного калий-регулирующего рефлекса, неспособность тканевых депо накапливать калий, а также нарушение нейрогормональных механизмов регуляции транспорта калия в клетках и органах. Что же касается сниженного выведения кальция у водолазов, неустойчивых к гипоксической гипоксии, то этот эффект может быть обусловлен гормональными (повышением продукции ПТГ или кальцитонина, недостаток минералокортикоидов), метаболическими механизмами (перегрузка фосфатами или витамином D) или усилением работы транспортеров кальция в проксимальных канальцах и тонкой части нисходящей петли Генле (эффект, противоположный действию осмотических и сходный с действием тиазидных диуретиков).

Нам представляется, что наиболее вероятными механизмами, определяющими пониженную калий- и кальцийуретическую функцию почек у водолазов, неустойчивых к гипоксической гипоксии, являются склонность таких испытуемых к развитию метаболического алкалоза или неспособность адекватно

Таблица 4

Степень и значимость влияния факторов ИФАП, ИВАП и ИКФП на устойчивость водолазов к гипоксической гипоксии

Table 4

The degree and significance of the influence of factors renal functional activity index, renal volumetric activity index and calcium urethic renal activity index on determining the resistance of divers to the hypoxic hypoxia

Фактор	Стандартизированный коэффициент регрессии ВЕТА	Степень влияния, %	p-level
ИФАП	0,221	36,3	0,005
ИКАП	0,205	33,7	0,0003
ИКФП	0,183	20,0	0,077

Заключение. Проведенные исследования показали перспективность определения калий- и кальцийуретической функции почек у

реагировать на снижение объема циркулирующей крови (ОЦК) даже в обычных условиях существования. Возможно, что склонность

к развитию метаболического алкалоза и нарушению регуляции ОЦК у таких водолазов может проявляться не только при развитии гипоксической гипоксии, но и при возникновении различных ситуаций, связанных с нарушением гомеостаза организма, вызванных изменениями условий внешней среды. Именно поэтому дальнейшие исследования в области определения изменений водно-электролитного обмена у водолазов должны быть направлены на выявление механизмов его регуляции в условиях комплексного влияния на организм различных факторов подводного погружения.

У водолазов, имеющих низкую и среднюю устойчивость к гипоксической гипоксии, после проведения пероральных нагрузочных проб отмечается ухудшение кальций- и калийуре-

тической функции почек, проявляющееся сниженным выведением с мочой кальция и калия. Для водолазов, имеющих высокую устойчивость к гипоксической гипоксии, характерно усиление экскреции воды и хлора после нагрузки водой и растворами калия хлорида и лактата кальция. Для определения устойчивости к гипоксической гипоксии кроме существующей методики необходимо проводить пероральные нагрузочные пробы с водой, 10% раствором калия хлорида и 7,5% раствором лактата кальция. Методика определения устойчивости водолазов к гипоксической гипоксии должна быть дополнена разработанной нами закономерностью, учитывающей показатели кальций- и калийуретической функции почек (устойчивость к ГГ = $0,22 \times \text{ИФАП} + 0,18 \times \text{ИКФП} + 0,20 \times \text{ИКАП}$).

ЛИТЕРАТУРА/ REFERENCES

1. Щеголев В.А., Попов С.В. Несчастные случаи, возникающие с водолазами в связи с особенностями водной среды и несоблюдением мер безопасности // *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2013. № 2. С. 27–31. [Shchogolev V.A., Popov S.V. Accidents that occur with divers due to the nature of water environment and failure to comply with safety measures. *Medical-biological and social-psychological problems of safety in emergencies*, 2013, No. 2, pp. 27–31 (In Russ.)].
2. Быков В.Н., Ветряков О.В., Цыган В.Н., Халимов Ю.Ш., Анохин А.Г., Фатеев И.В., Калтыгин М.В., Толстой О.А. Оценка устойчивости военнослужащих к гипоксии на фоне гипобарии и высокой физической активности // *Вестник Российской Военно-медицинской академии*. 2017. № 3 (59). С. 129–133. [Bykov V.N., Vetryakov O.V., Tsygan V.N., Khalimov Yu.Sh., Anokhin A.G., Fateev I.V., Kaltygin M.V., Tolstoy O.A. Assessment of military personnel tolerance to hypoxia on the background of hypobaria and high physical activity, *Bulletin of the Russian Military medical academy*, 2017, No. 3 (59), pp. 129–133 (In Russ.)].
3. Семенцов В.Н., Иванов И.В. Функциональные тесты для профессионального отбора водолазов и кессонщиков // *Известия Российской Военно-медицинской академии*. 2019, Т. 38, № 3. С. 207–216. [Sementsov V.N., Ivanov I.V. Functional tests for professional screening of divers and caissons. *Proceedings of the Russian Academy of Military Medicine*, 2019, Vol. 38, No. 3, pp. 207–216 (In Russ.)].
4. Семенцов В.Н., Иванов И.В. Функциональные тесты как важное направление сохранения здоровья водолазов // *Медицина труда и промышленная экология*. 2019. Т. 59, № 9. С. 745–746. [Sementsov V.N., Ivanov I.V. Functional tests as an important direction of divers' health preservation. *Russian journal of occupational health and industrial ecology*, 2019, Vol. 59, No. 9, pp. 745–746 (In Russ.)]. doi: 10.31089/1026-9428-2019-59-9-745-746.
5. Семенцов В.Н., Иванов И.В. Использование нагрузочных тестов при экспертной оценке состояния здоровья и надежности труда водолазов // *Медицина труда и промышленная экология*. 2019. Т. 59, № 12. С. 1000–1008. [Sementsov V.N., Ivanov I.V. The use of stress tests in the expert assessment of the health and safety. *Russian journal of occupational health and industrial ecology*, 2019, Vol. 59, No. 12, pp. 1000–1008 (In Russ.)]. doi: 10.31089/1026-9428-2019-59-12-1000-1008.
6. Чуб И.С., Милькова А.В., Елисеева Н.С. Состояние кардиореспираторной системы у студентов с различной степенью устойчивости к гипоксии // *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. 2014, № 52, С. 8–15. [Chub I.S., Milkova A.V., Eliseeva N.S. The condition of cardiorespiratory system in students with different degree of resistance to hypoxia. *Respiratory Physiology and Pathology Bulletin*, 2014, No. 52, pp. 8–15 (In Russ.)].
7. Зарубина И. В. Молекулярные механизмы индивидуальной устойчивости к гипоксии // *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии*. 2005. Т. 4, № 1. С. 49–51. [Zarubina I.V. Molecular mechanisms of individual resistance to hypoxia. *Reviews on clinical pharmacology and drug therapy*, 2005, Vol. 4, No. 1, pp. 49–51 (In Russ.)].
8. Байбурина Г.А., Нургалева Е.А., Аглетдинов Э.Ф., Самигуллина А.Ф. Влияние устойчивости к гипоксии на соотношение между показателями свободнорадикального окисления липидов и белков в почках крыс в постреанимационном периоде // *Казанский медицинский журнал*. 2017. Т. 98, № 6. С. 949–954. [Bayburina G.A., Nurgaleeva E.A., Agletdinov E.F., Samigullina A.F. Effect of hypoxia tolerance on the relation between indicators of free radical oxidation of lipides and proteins in murine kidneys during the postresuscitation period. *Kazan medical journal*, 2017, Vol. 98, No. 6, pp. 949–954 (In Russ.)]. doi: 10.17750/KMJ2017-949.

9. Кинванлун И.Г., Какеев Б.А., Сабиров И.С. Патогенетические механизмы гипоксия-индуцированного развития почечной дисфункции у больных хронической обструктивной болезнью легких // *Вестник Кыргызско-Российского славянского университета (КРСУ)*. 2017. Т. 17, № 10. С. 51–54. [Kinvanlun I.G. Kakeev B.A., Sabirov I.S. Pathogenetic mechanisms of hypoxia-induced development of renal dysfunction in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Vestnik KRSU*, 2017, Vol. 17, No. 10, pp. 51–54 (In Russ.).]
10. Лисянская О.Ю. Гипоксия — ведущий фактор прогрессирования хронической болезни почек // *Почки*. 2016. № 1 (15), С. 64–66. [Lysianska O.Yu. Hypoxia — a leading factor of chronic kidney disease progression. *Kidneys*, 2016, No. 1 (15), pp. 64–66 (In Russ.).]
11. Калинина М. К. Зависимость потребления кислорода почкой от напряжения его в крови // *Физиологический журнал СССР им. И.М. Сеченова*. 1972. Т. LVIII, № 11. С. 1760–1764. [Kalinina M.K. Correlation between the oxygen consumption by the kidney and the oxygen tension in the blood. *Sechenov physiological journal of the USSR*, 1972, Vol. LVIII, No. 11, pp. 1760–1764 (In Russ.).]
12. Филипец Н.Д., Сирман В.М., Гоженко А.И. Механизмы ионорегулирующей функции почек при гистогемической гипоксии и возможные пути ее коррекции // *Нефрология*. 2014. Т. 18, № 4. С. 57–61. [Filipets N.D., Sirman V.M., Gozhenko A.I. The mechanisms of ion regulation kidneys function in histohemic hypoxia and possible ways of its correction. *Nephrology*, 2014, Vol. 18, No. 4, pp. 57–61 (In Russ.).]
13. Мясников А.П. Медицинское обеспечение водолазов, аквалангистов и кессонных рабочих (издание второе, дополненное и переработанное). Л.: Медицина, 1977. 208 с. [Myasnikov A.P. Medical support for divers, scuba divers and caisson workers (second edition, supplemented and revised). Leningrad: Publishing house Medicine, 1977, 208 p. (In Russ.).]
14. Жилис Б.Г., Котовский Е.Ф., Успенский Л.С., Петухова Г.Н. Влияние острой гипоксии на некоторые показатели выделительной функции почек и почечной гемодинамики // *Космическая биология и авиакосмическая медицина*. 1979. Т. 13, № 3. С. 49–53. [Zhilis B.G., Kotovskiy E.F., Uspenskiy L.S., Petuhova G.N. Effect of acute hypoxia on parameters of the renal excretory function and renal hemodynamics. *Space biology and aerospace medicine*, 1979, Vol. 13, No. 3, pp. 49–53 (In Russ.).]
15. Гиппенрейтер Е.Б., Белаковский М.С., Чижов С.В. Водопотребление при высотных восхождениях // *Космическая биология и авиакосмическая медицина*. 1983. Т. 17, № 6. С. 17–21. [Gippenreiter E.B., Belakovskiy M.S., Chizov S.V. Water consumption at high altitudes. *Space biology and aerospace medicine*, 1983, Vol. 17, No. 6, pp. 17–21 (In Russ.).]
16. Савина В.П., Рыжкова В.Е., Никитин Е.И., Баландина Т.Н., Брагин Л.Х., Сивук А.К., Бычков В.П., Боброва Г.Г. Состав выдыхаемого воздуха, газоэнергообмен и биохимические показатели крови и мочи человека при длительном нахождении его в условиях гиперкапнии и гипоксии // *Космическая биология и авиакосмическая медицина*. 1990. Т. 24, № 2. С. 49–51. [Savina V.P., Ryzkova V.E., Nikitin E.I., Balandina T.N., Bragin L.H., Sivuk A.K., Bychkov V.P., Bobrova G.G. Exhaled air, gas and energy turnover, and biochemistry of blood and urine of men long exposed to a hypercapnic and hypoxic environment. *Space biology and aerospace medicine*, 1990, Vol. 24, No. 2, pp. 49–51 (In Russ.).]
17. Корольков В.И., Доценко М.А., Григорьев А.И., Козыревская Г.И. Водно-солевой обмен и функция почек человека в условиях высокогорья // *Физиология человека*. 1979. Т. 5, № 5. С. 849–854. [Korolkov V.I., Dotsenko M.A., Grigoriev A.I., Kozirevskaya G.I. Water-salt metabolism and human kidney function in high mountain range. *Human Physiology*, 1979, Vol. 5, No. 5, pp. 849–854 (In Russ.).]
18. Головин М.С. Показатели водно-солевого обмена у биатлонистов высокой квалификации в условиях тренировок на равнине и в среднегорье // *Вестник Новосибирского государственного педагогического университета (электронный журнал)*. 2013. № 4 (14). С. 80–85. [Golovin M.S. Parameters of water-salt metabolism in biathletes of high skills in the training conditions on the plain and in the midlands. *Novosibirsk State pedagogical university bulletin*, 2013, No. 4 (14), pp. 80–85 (In Russ.).]
19. Мясников А.А., Согрин Ю.Н., Шитов А.Ю., Падалка О.И., Старков А.В., Старовойт А.В. Экскреторная функция почек у испытуемых, имеющих различную устойчивость к декомпрессионной болезни // *Ученые записки Санкт-Петербургского Государственного медицинского университета им. И. П. Павлова*. 2006. Т. 13, № 4. С. 91–94. [Myasnikov A.A., Sogrin Yu.N., Shitov A.Yu., Padalka O.I., Starkov A.V., Starivoyt A.V. Excretory function of kidneys in subjects with varying human stability decompression illness. *The scientific notes of the Pavlov University*, 2006, Vol. 13, No. 4, pp. 91–94 (In Russ.).]
20. Шитов А.Ю. Взаимосвязь функционирования почек с устойчивостью человека к декомпрессионной болезни // *Справочник врача общей практики*. 2012. № 1. С. 43–47. [Shitov A.Yu. The correlation of kidney function with a human resistance to decompression sickness. *General practitioner's handbook*, 2012, No. 1, pp. 43–47 (In Russ.).]
21. Зверев Д.П., Мясников А.А., Шитов А.Ю., Андрусенко А.Н., Чернов В.И., Кленков И.Р. Использование пероральных нагрузочных почечных проб для определения устойчивости водолазов к факторам гипербарии // *Военно-медицинский журнал*. 2020. Т. 341, № 2. С. 66–72. [Zverev D.P., Myasnikov A.A., Shitov A.Yu., Andrusenko A.N., Chernov V.I., Klenkov I.R. The use of oral stress renal tests to determine the resistance of divers to hyperbaric factors. *Military Medical Journal*, 2020, Vol. 341, No. 2, pp. 66–72 (In Russ.).]
22. Айзман Р.И. Регуляция гомеостаза калия: возрастные особенности // *Нефрология и диализ*. 2001, Т. 3, № 3. С. 318–325. [Aizman R.I. Potassium homeostasis regulation: ontogenic peculiarities. *Nephrology and dialysis*, 2001, Vol. 3, No. 3, pp. 318–325 (In Russ.).]

23. Кузьмин О.Б. Хроническая болезнь почек: механизмы развития и прогрессирования гипоксического гломерулосклероза и тубулоинтерстициального фиброза // *Нефрология*. 2015. Т. 19, № 4. С. 9–16. [Kuzmin O.B. Chronic kidney disease: mechanisms of hypoxic glomerulosclerosis and tubulointerstitial fibrosis development and progression. *Nephrology*, 2015, Vol. 19, No. 4, pp. 9–16 (In Russ.)].
24. Лукьянчиков В.С. Гипокалиемия // *Русский медицинский журнал*. 2019. Т. 27, № 1 (I). С. 28–32. [Lukianchikov V.S. Hypokalemia. *Russian medical journal*, 2019, Vol. 27, No. 1 (I), pp. 28–32 (In Russ.)].
25. Пигарова Е.А. Физиология обмена кальция в почках // *Ожирение и метаболизм*. 2011. № 4. С. 3–8. [Pigarova E.A. Physiology of calcium metabolism in kidneys. *Obesity and metabolism*, 2011, No. 4, pp. 3–8 (In Russ.)].
26. Попков Д.А., Кузнецова Л.С., Лунева С.Н., Стогов М.В. Возможности нагрузочной пробы лактатом кальция для оценки состояния кальций-регулирующей гормональной системы при удлинении конечностей. // *Гений ортопедии*. 2005. № 4. С. 65–68. [Popkov D.A., Kuznetsova L.S., Luniova S.N., Stogov M.V. The potentials of the tolerance test with calcium lactate to assess the calcium-regulating hormonal system state during limb lengthening. *Orthopaedic genius*, 2005, No. 4, pp. 65–68 (In Russ.)].

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 27.05.2021 г.

Авторство:

Вклад в концепцию и план исследования — А.Ю. Шитов, А.А. Мясников, Д.П. Зверев, А.Н. Андрусенко, В.И. Чернов, И.Р. Кленков, З.М. Исрафилов. Вклад в сбор данных — Д.П. Зверев, А.Ю. Шитов, А.Н. Андрусенко, А.А. Мясников, В.И. Чернов, И.Р. Кленков, З.М. Исрафилов. Вклад в анализ данных и выводы — А.А. Мясников, А.Ю. Шитов, Д.П. Зверев, А.Н. Андрусенко, В.И. Чернов, И.Р. Кленков, З.М. Исрафилов. Вклад в подготовку рукописи — А.Ю. Шитов, Д.П. Зверев, А.А. Мясников, А.Н. Андрусенко, В.И. Чернов, И.Р. Кленков, З.М. Исрафилов.

Сведения об авторах:

Зверев Дмитрий Павлович — кандидат медицинских наук, доцент, полковник медицинской службы, начальник кафедры (физиологии подводного плавания) федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Лебедева, д. 6; e-mail: z.d.p@mail.ru; SPIN 7570-9568; ORCID 0000-0003-3333-6769;

Мясников Алексей Анатольевич — доктор медицинских наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, полковник медицинской службы запаса, профессор кафедры (физиологии подводного плавания) федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Лебедева, д. 6; e-mail: a_mjasnikov@mail.ru; SPIN 2590-0429; ORCID 0000-0002-7427-0885;

Шитов Арсений Юрьевич — кандидат медицинских наук, подполковник медицинской службы, старший преподаватель кафедры (физиологии подводного плавания) федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Лебедева, д. 6; e-mail: arseniyshitov@mail.ru; SPIN 7390-1240; ORCID 0000-0002-5716-0932; Web of Science Researcher ID O-3730-2017;

Андрусенко Андрей Николаевич — кандидат медицинских наук, подполковник медицинской службы, старший преподаватель кафедры (физиологии подводного плавания) федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Лебедева, д. 6; e-mail: arseniyshitov@mail.ru; SPIN 6772-4452; ORCID 0000-0001-7393-6000;

Чернов Василий Иванович — кандидат медицинских наук, доцент, полковник медицинской службы в отставке, доцент кафедры (физиологии подводного плавания) федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Лебедева, д. 6; e-mail: ana.aan@mail.ru; SPIN 4767-4001; ORCID 0000-0002-8494-1929;

Кленков Ильяс Рифатович — майор медицинской службы, курсовой офицер — преподаватель факультета подготовки врачей (для Военно-Морского Флота), кафедра (физиологии подводного плавания) федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Лебедева, д. 6; e-mail: fugazik@mail.ru; SPIN 9827-8535; ORCID 0000-0002-1465-1539;

Исрафилов Загир Маллараджабович — подполковник медицинской службы, адъюнкт, кафедра (физиологии подводного плавания) федерального государственного бюджетного военного образовательного учреждения высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации; 194044, Санкт-Петербург, ул. Лебедева, д. 6; e-mail: warag05@mail.ru; SPIN 1619-6621; ORCID 0000-0002-3524-7412.