

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ТЕСТЫ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОТБОРА ВОДОЛАЗОВ И КЕССОНЩИКОВ (Обзор литературы)

В. Н. Семенцов¹, И. В. Иванов^{1,2}

¹ ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), г. Москва, Россия

² ФГБУ «Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины» Минобороны России, Санкт-Петербург, Россия

FUNCTIONAL TESTS FOR PROFESSIONAL SCREENING OF DIVERS AND CAISSONS (Literature review)

V. N. Sementsov¹, I. V. Ivanov^{1,2}

¹ I. M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Russia Health Ministry (Sechenov University), Moscow, Russia

² State Scientific Research Test Institute of the military medicine, Saint Petersburg, Russia

Резюме. Систематизированы методы оценки специальных физиологических функций у кандидатов в водолазы, водолазов, кессонщиков и других лиц, работающих в условиях повышенного давления газовой и водной сред. Изложен порядок проведения и критерии оценки рекомендуемых тестов: проверки барофункции; оценки устойчивости к декомпрессионному внутрисосудистому газообразованию, токсическому действию кислорода, наркотическому действию азота; оценки функционального состояния водолазов при проведении гипоксической пробы. Рекомендована новая методика оценки устойчивости к гиперкапнии. Предложены градации профессиональной пригодности водолазов и лиц, связанных с водолазными погружениями, в зависимости от степени устойчивости специальных профессионально важных физиологических функций к действию экстремальных факторов водолазного труда. Описанные тесты рекомендованы для практического применения, в том числе при медицинских обследованиях в процессе профессионального отбора лиц, работающих в условиях повышенного давления. Предлагаемая унифицированная система оценок тестовых воздействий позволит повысить безопасность и эффективность проведения водолазных и кессонных работ, будет способствовать профилактике профессиональных и производственно обусловленных заболеваний водолазов (5 табл., библи.: 20 ист.).

Ключевые слова: барофункция, водолаз, водолазная медицина, гипоксическая проба, декомпрессионное внутрисосудистое газообразование, наркотическое действие азота, профессиональный отбор, токсическое действие кислорода, устойчивость к гиперкапнии, экспертные тестовые исследования.

Статья поступила в редакцию 23.09.2019 г.

Одним из основных компонентов медицинского освидетельствования водолазов, дайверов или кессонных рабочих для допуска их к работам, а также для оценки профессиональной пригодности во время периодических освидетельствований, являются функциональные тесты, позволяющие оценить состояние здоровья и индивидуальную

Summary. The review systematizes the methods of evaluation of special professionally significant physiological functions of the candidates for divers, divers, caissons and other persons, working in hyperbaric conditions. The procedure and criteria for evaluation of recommended tests are described: barofunction testing; assessment of resistance to decompression intravascular gas formation; toxic effects of oxygen, narcotic effect of nitrogen, functional state of divers at hypoxic test. A new and prospective method for assessing resistance to hypercapnia is recommended. Gradations of professional suitability of divers and persons associated with diving depending on the degree of stability of special professionally important physiological functions to the extreme factors of diving are proposed. The tests are recommended for practical application, including medical examinations and examinations in the process of professional screening of persons working under high pressure. The proposed unified system of evaluation of test impacts will improve the safety and efficiency of diving and caisson operations, will contribute to the prevention of occupational and production-related diseases of divers (5 tables, bibliography: 20 refs).

Key words: barofunction, diver, diving medicine, expert test studies, hypoxic test, decompression intravascular gas formation, narcotic effect of nitrogen, professional selection, resistance to hypercapnia, toxic effect of oxygen.

Article received 23.09.2019.

переносимость факторов, с которыми сталкивается человек при погружении в воду или при пребывании в гипербарических условиях [1, 2]. В настоящее время в Руководстве по профессиональному психологическому отбору в Вооруженных силах Российской Федерации (Приказ Министра обороны РФ от 26.01.2000 № 50) эти особенности профес-

сионального отбора водолазов не отражены, рекомендации по тестированию водолазов и лиц со смежными специальностями для допуска к работам достаточно разрознены [3, 4], а подчас и противоречивы; кроме того, появляются новые методы объективизации в процессе тестирования испытуемых.

Целью исследования являлось обоснование соответствия между группами профессиональной пригодности и степенями устойчивости специальных физиологических функций применительно к водолазам, кессонщикам и другим специалистам, работающим в условиях повышенного давления газовой и водной сред.

Для обоснования современных методов тестирования была проанализирована учебно-методическая и научная литература, регламентирующие документы, предназначенные для водолазных врачей (фельдшеров), осуществляющих медицинское обеспечение водолазных и кессонных работ, систематизирована информация по практическому использованию этих материалов при медицинских обследованиях и экспертных оценках водолазов [5, 6].

Рядом исследований установлено, что профессионально важными для лиц, работающих под водой, являются состояние барофункции, устойчивости к декомпрессионному газообразованию, токсическому действию кислорода, наркотическому действию азота, гипоксии и гиперкапнии, которые необходимо оценивать во время периодических медицинских освидетельствований [7, 8].

Оценка барофункции. Важным условием для выполнения водолазных и других работ, выполняемых в условиях с перепадом барометрического давления, является проходимость евстахиевых труб, а также состояние полости носа, придаточных пазух носа и носоглотки. В связи с этим при отборе кандидатов необходимо проводить оценку барофункции и лор-осмотр (отоскопия при проведении маневра Вальсальвы и ушная манометрия) до и после испытаний в барокамере [8]. Для работы необходимы барокамера и лор-укладка. Методика тестирования предполагает осмотр водолаза (дайвера) врачом-оториноларингологом до и после тестирования, ознакомление испытуемого с последовательностью проверки барофункции уха, обучения его способам продувания, проведение теста в барокамере.

С лицами, проходящими тестирование, проводится инструктаж о способах выравнивания давления в полостях среднего уха и придаточных пазухах носа. Давление в барокамере повышается до 10 м вод. ст. в течение 1–2 мин. Врач (фельдшер) по водолазной медицине постоянно визуально наблюдает за состоянием и поведением

освидетельствуемых. При появлении признаков «надавливания» на уши или болей в придаточных пазухах носа, не устраняемых маневром Вальсальвы, компрессия немедленно прекращается и при необходимости давление снижается на 1–2 м вод. ст. В случае полной нормализации состояния данного лица проводится вторая попытка повышения давления. При повторном появлении болей, не устраняемых продуванием, проводится декомпрессия до 0 м. Остальные лица повторно подвергаются компрессии до 10 м вод. ст., после чего давление безостановочно снижается до 0 м.

Одним из вышеупомянутых методов (Тойнби, Вальсальвы) проводится оценка барофункции, а после выхода из барокамеры — контролируется выраженность гиперемии барабанных перепонок по данным отоскопии. Соответствие показателей группам профессиональной пригодности приведено в табл. 1.

При оценке состояния барофункции имеет также большое значение установление признаков ее нарушений. Расстройство барофункции может быть следствием нарушения проходимости евстахиевой трубы (непроходимость или стеноз), либо результатом недостаточности бароаккомодационных механизмов к действию перепада давления воздуха. Экспертный подход при нарушении барофункции придаточных пазух носа такой же, как и при нарушении барофункции уха. При этом учитываются жалобы освидетельствуемых, объективное состояние носовой полости и носоглотки, переносимость тестирования в барокамере и результаты диафаноскопии или рентгенографии придаточных пазух носа.

Оценка устойчивости к декомпрессионному внутрисосудистому газообразованию. Декомпрессионное внутрисосудистое газообразование — сложный комплексный процесс, основанный на морфологических и функциональных особенностях организма, которые определяют способность растворять то или иное количество индифферентного газа во время пребывания под повышенным давлением газовой и водной сред, скорость насыщения и насыщения тканей организма индифферентным газом, условия перехода избыточно растворенного индифферентного газа в свободное состояние, объем и локализацию образующихся газовых пузырьков, характер реакции организма на образующиеся газовые пузырьки и способность противостоять декомпрессионной внутрисосудистой (венозной) газовой эмболии [9].

Устойчивость организма к декомпрессионному внутрисосудистому газообразованию оценивается

по выраженности декомпрессионного внутрисосудистого газообразования при дозированном пере-
сыщении организма индифферентным газом (азо-
том), достигаемым в результате стандартизуемой
фиксированной экспозиции в условиях повышенно-
го давления и последующей декомпрессии [10].

Методика тестирования начинается с ознаком-
ления обследуемого с последовательностью опре-
деления устойчивости организма к декомпресси-
онному внутрисосудистому газообразованию. Для
проведения тестирования необходимы барокаме-
ра, декомпрессионные таблицы, ультразвуковой
доплеровский прибор для локации пузырьков в
крови и гель для УЗИ исследований. Для определе-
ния устойчивости к декомпрессионному внутрисо-
судистому газообразованию оценивается исходный
(фоновый) сигнал кровотока над сердцем и легоч-
ной артерией, а затем он сравнивается с сигналом,
полученным после «погружения» в барокамере.

Локация венозного кровотока над сердцем
производится в положении обследуемого лежа на
спине в III–IV межреберье слева от грудины с по-
мощью ультразвукового доплеровского датчика
с рабочей частотой 5–6 МГц. Для улучшения УЗИ
сигнала от кровотока датчик смазывается гелем и
прикладывается к коже в зоне локации. Переме-
щая датчик по поверхности кожи и изменяя углы
наклона, необходимо добиться наиболее отчетли-
вого и чистого звукового сигнала. Оптимальный
фоновый звуковой сигнал над легочной артерией

содержит продолжительные периоды звучания
кровотока (шипящий звук) и минимально выражен-
ные звуковые компоненты отраженного сигнала от
сердечной мышцы. При локации осевого кровото-
ка в легочной артерии вблизи клапана может быть
слышен высокий отрывистый звук, связанный с за-
крытием клапана и напоминающий сигнал газове-
го пузырька, но возникающий регулярно в каждом
цикле и в одно и то же время. Переход на повер-
хностное дыхание животом или задержка дыхания
облегчают локацию. У некоторых пациентов наи-
лучший сигнал лоцируется в положении лежа впо-
лоборота на левом боку, обычно применяемом при
эхокардиограмме в клинике.

После определения места и качества оптималь-
ного фонового звукового сигнала над легочной ар-
терией испытуемые помещаются в барокамеру по
одному из 2-х вариантов.

Вариант №1. Давление в барокамере с испыту-
емыми повышается воздухом в течение 3 мин до
10 м вод. ст. и затем за 2–3 мин — до 30 м. вод.
ст., после чего поддерживается на этом уровне
60 мин, начиная от момента создания давления
10 м вод. ст. Декомпрессия продолжается 63 мин
и проводится по следующему режиму: переход
до первой остановки на 22 м в течение 2 мин, вы-
держки на остановках: 22 м (3 мин), 20 м (3 мин),
18 м (3 мин), 16 м (4 мин), 14 м (4 мин), 12 м
(4 мин), 10 м (5 мин), 8 м (6 мин), 6 м (7 мин), 4 м
(9 мин) и 2 м (13 мин) [5].

Таблица 1

**Группы профессиональной пригодности водолазов
по результатам оценки барофункции и выраженности гиперемии барабанных перепонок**

Группы профес- сиональной пригодности	Степень устойчи- вости баро- функции	Возможность выравнивания давления в полостях среднего уха и придаточных пазухах носа	Выраженность гиперемии барабанных перепонок по данным отоскопии после выхода из барокамеры
1	Высокая	Глотательными, зевательными движениями, движениями нижней челюсти при закрытом рте и не зажатом носе	Отсутствие объективных изменений
2	Средняя	Глотательными, зевательными движениями, движениями нижней челюсти при закрытом рте и зажатом носе (маневр Тойнби)	Слабо выраженная гиперемия сосудов верхних отделов барабанной перепонки или инъекция сосудов по ходу рукоятки молоточка
3	Пониженная	Осторожным выдохом при закрытом рте и зажатом носе (маневр Вальсальвы)	Частичная краснота барабанной перепонки без геморрагических очагов
4	Низкая	Отсутствие возможности выравнивания давления маневром Вальсальвы	Разлитая и интенсивная гиперемия вплоть до пурпурной окраски с множественными кровоизлияниями на барабанной перепонке, ее заметная втянутость и резко контурированные слуховые косточки, возможен выпот в полость среднего уха и разрыв барабанной перепонки

Вариант №2. Давление в барокамере с испытуемыми повышается воздухом со скоростью 10–20 м/мин до 24 м вод. ст. После выдержки под этим давлением в течение 30 мин (с учетом времени компрессии) проводится безостановочная декомпрессия с максимально возможной скоростью (обычно в диапазоне 10–20 м/мин) [3].

По окончании декомпрессии проводятся медицинский осмотр и наблюдение за обследуемыми, включающее ультразвуковую локацию внутрисосудистого газообразования. Единая оценка уровня внутрисосудистого (венозного) газообразования (УВГ) определяется по формуле:

$$\text{УВГ} = L_n + 0,33 \times (L_d - L_n), \text{ баллы}, \quad (1)$$

где: L_n — УВГ в состоянии покоя, L_d — УВГ после физической нагрузки. В качестве стандартной нагрузки обследуемый совершает в течение 10 секунд движения ногами, имитирующие движения велосипедиста.

Уровень декомпрессионного внутрисосудистого (венозного) газообразования в баллах каждые

15–20 мин в течение 2–2,5 часов после окончания декомпрессии и степень устойчивости оцениваются в баллах по критериям, приведенным в табл. 2.

Испытуемых с уровнем декомпрессионного внутрисосудистого газообразования 0 баллов относят к группе с высокой степенью устойчивости, с уровнем до 1 балла (включительно) — к группе со средней степенью, а испытуемых с уровнем внутрисосудистого газообразования более 1 балла — к группам с пониженной и низкой степенью устойчивости к декомпрессионному газообразованию [11].

Часто после физической нагрузки количество газовых пузырьков в кровотоке на некоторое время увеличивается. Если при определении УВГ показатели в покое составили 1,33 балла или при физической нагрузке составляют 2 балла и выше, испытуемые с целью профилактики декомпрессионной болезни помещаются в барокамеру для проведения кислородного режима лечебной рекомпрессии с обязательной локацией кровотока после ее окончания. Кроме того, кислородная рекомпрессия проводится и в том случае (вне зависимости от количества баллов), если испытуемый после прове-

Таблица 2

Группы профессиональной пригодности к водолазной работе в зависимости от устойчивости к декомпрессионному внутрисосудистому газообразованию

Группа профессиональной пригодности	Степень устойчивости к декомпрессионному газообразованию	Уровни декомпрессионного внутрисосудистого газообразования, баллы*	Результаты ультразвуковой локации внутрисосудистого газообразования после окончания декомпрессии
1	Высокая	0	Сигналы от газовых пузырьков отсутствуют, слышен нормальный неискаженный фоновый сигнал кровотока
2	Средняя	1	Имеются отдельные редкие сигналы от газовых пузырьков или слабо выраженные изменения сигнала кровотока (более звонкий и грубый, чем в норме)
3	Пониженная	2	Отчетливые сигналы от газовых пузырьков слышны менее чем в половине сердечных циклов, звуковой сигнал кровотока шумный и грубый
4	Низкая	3	Частые сигналы от газовых пузырьков слышны более чем в половине сердечных циклов, звуковой сигнал кровотока шумный и грубый
		4	Множественные очень частые сигналы от газовых пузырьков слышны в большинстве сердечных циклов и резко искажают сигнал кровотока

Примечание. * — в некоторых пограничных случаях интенсивность венозной газовой эмболии выражается путем обозначения интервала между двумя смежными баллами, что делает оценку более дифференцированной, поэтому можно условно считать, что точность оценки равна половине балла.

дения методики предъявляет жалобы на слабость, резкую усталость, головные боли, боли в различных частях тела и по ходу нервов, зуд кожи; если у него имеет место локальное изменение окраски кожных покровов, появление пятен и сыпи на коже, а также присутствуют другие признаки, характерные для декомпрессионной болезни. Такие испытуемые, вне зависимости от количества балов, считаются неустойчивыми к развитию декомпрессионной болезни.

Оценка устойчивости к наркотическому действию азота. Азот при нормальном атмосферном давлении является нейтральным газом для организма, а при повышенном парциальном давлении вызывает ряд физиологических изменений, которые могут быть компенсаторными или патологическими. По субъективным ощущениям они сходны с действием на организм алкоголя. Симптоматика наркотического действия азота характеризуется изменениями состояния ЦНС (повышение настроения, эйфория, нарушение ориентировки во времени и пространстве, галлюцинации), умственной (ухудшение качеств внимания, мышления, памяти) и физической работоспособности (нарушение координации движений и уменьшение скорости двигательных реакций, снижение силы мышц), а также вегетативными сдвигами. Оценка устойчивости обследуемого к наркотическому действию азота определяется по особенностям его поведения во время компрессии и изопрессии, а также по степени ухудшения выполнения стандартных психофизиологических тестов [12].

Оценка устойчивости к наркотическому действию азота начинается с ознакомления с методикой погружения в барокамере и методиками для психофизиологических исследований [13, 14]. Давление в барокамере повышается воздухом до 10 м вод. ст. со скоростью 10 м/мин и далее до 80 м вод. ст. со скоростью до 20 м/мин. Время пребывания под этим давлением с учетом времени компрессии составляет не более 15 мин, после чего производится де-

компрессия по режиму № 2 таблицы П5-6 режимов декомпрессии водолазного состава и медицинского персонала при тренировках в барокамере с применением для дыхания воздуха и кислорода (приложение № 1 ПОТ Р М-030-2007). В период компрессии и пребывания под максимальным давлением врач наблюдает за адекватностью поведения обследуемых, а при достижении 80 м вод. ст. обследуемые вновь проходят психофизиологическое тестирование.

После завершения декомпрессии режим труда и отдыха обследуемых организуется в соответствии с требованиями главы «Режим труда и отдыха водолазов» информационного-справочного материалов Межотраслевых правил по охране труда при проведении водолазных работ (ПОТ Р М-030-2007). При возникновении симптомов декомпрессионной болезни назначается лечение в соответствии с требованиями приложения №1 ПОТ Р М-030-2007. Таким образом, настоящее тестирование совмещается с проверкой устойчивости организма к декомпрессионному внутрисосудистому газообразованию.

Для оперативной оценки мышления используется методика «Сложение в уме»: испытуемому предлагаются числа – однозначные и двузначные (3, 5, 7, 9 и 18; 2, 4, 6, 8 и 17), которые он должен сложить и записать сумму, а затем к сумме прибавить заданное двузначное число и опять записать сумму, к ней опять прибавить двузначное и т.д. Требуется записать как можно больше сумм за одну минуту работы. Результаты исследования оцениваются по количеству записанных и правильных сумм, и относительной величине ошибочных действий в процентах. Изменение скорости мышления рассчитывается по формуле:

$$\Delta \text{СкМ} = \frac{N_1 - N_2}{N_1} \times 100; \quad (2)$$

где $\Delta \text{СкМ}$ – изменение скорости мышления, %;
 N_1 — количество правильно записанных сумм при выполнении теста в условиях нормального давления;

Таблица 3.

Оценка результатов пробы на устойчивость к наркотическому действию азота

Группа профессиональной пригодности	Степень устойчивости к наркотическому действию азота	$\Delta \text{СкМ}$, %	$\Delta \text{А}$, %
1	Высокая	Менее -05	Менее 5
2	Средняя	От -5 до 15	От 5 до 15
3	Пониженная	От 15 до 30	От 16 до 35
4	Низкая	Более 30	Более 35

N_2 — количество правильно записанных сумм при выполнении теста в гипербарических условиях.

Для исследования интенсивности и устойчивости внимания, а также определения скорости переработки информации в зрительном анализаторе используется корректурная проба с кольцами Ландольта. Ее результаты оцениваются по формуле:

$$\Delta A = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100; \quad (3)$$

где ΔA — изменение скорости переработки информации в зрительном анализаторе, %;

A_1 — скорость переработки информации при выполнении корректурной пробы в условиях нормального давления, бит/с;

A_2 — скорость переработки информации при выполнении корректурной пробы в гипербарических условиях ($P = 0,8$ МПа), бит/с.

Степень устойчивости обследуемого к наркотическому действию азота и группа профессиональной пригодности оцениваются по табл. 3.

О низкой устойчивости обследуемого к наркотическому действию азота также свидетельствует изменение поведения, обследуемого во время компрессии и изопрессии, проявляющиеся выраженной эйфорией, повышенным настроением, повышенной нервозностью, чувством страха, немотивированными поступками, агрессивностью.

Оценка устойчивости к токсическому действию кислорода. Устойчивость к токсическому действию кислорода — это способность организма поддерживать гомеостазис без развития декомпенсации в условиях гипероксии. Она обусловлена внешними причинами (парциальным давлением кислорода во вдыхаемой газовой смеси и экспозицией), а также генетическими и фенотипическими особенностями организма. Последние базируются на физиологических и биохимических механизмах, позволяющих противостоять перекисидации путем включения физиологических резервов и реализации системы антиоксидантной защиты [15, 16].

Методика тестирования начинается с ознакомления испытуемого с последовательностью определения устойчивости к токсическому действию кислорода. Тестирование проводится в барокамере, снаряженной аппаратурой, обеспечивающей дыхание медицинским кислородом, и комплексом физиологической аппаратуры. Дыхание медицинским кислородом продолжается 45 мин под повышенным до 0,25 МПа (15 м вод. ст.), а устойчивость организма к токсическому действию кислорода оценивается по изменению минутного объема

кровообращения (МОК) в процессе проведения функциональной пробы. Перед началом исследования проводится контрольный опрос самочувствия, измерение частоты сердечных сокращений (ЧСС) и артериального давления (АД). Повышение давления в барокамере осуществляется воздухом со средней скоростью 3–5 м/мин. При достижении «глубины» обследуемый (обследуемые) переводится на дыхание медицинским кислородом из аппаратов ИДА-72-Д2 (или других устройств, обеспечивающих дыхание медицинским кислородом) с 5-кратной промывкой системы «аппарат–легкие» (время дыхания кислородом исчисляется после окончания промывки). Дополнительная однократная промывка системы «аппарат–легкие» проводится через 5 мин дыхания в аппарате, последующие промывки проводятся через каждые 20 мин.

Для контроля функционального состояния обследуемого через каждые 15 мин измеряется ЧСС с помощью пульсоксиметра и АД. Используя полученные данные, по формуле Старра рассчитывают ударный объем сердца (УОС) и МОК:

$$\text{УОС} = 100 + 0,5 \times \text{ПД} - 0,6 \times \text{ДД} - 0,6 \times \text{В} \quad (4)$$

где ПД — пульсовое (максимальное артериальное) давление, мм рт. ст.; ДД — диастолическое (минимальное артериальное) давление, мм рт. ст.; В — возраст, годы.

$$\text{МОК} = \text{УОС} \times \text{ЧСС} \quad (5)$$

По мере пребывания в барокамере МОК у обследуемого снижается, а с какого-то момента начинает возрастать. Это увеличение соответствует первым симптомам кислородной интоксикации и служит сигналом для прекращения проведения функциональной пробы; обследуемых следует отключить от дыхания чистым кислородом и приступить к проведению плановой декомпрессии.

Появление у обследуемых клинических признаков кислородной интоксикации, таких как побледнение кожных покровов, металлический привкус во рту, подергивание мимической мускулатуры, онемение губ и кончиков пальцев, а также изменение вектора величины МОК (увеличение МОК) в течение 30–45 мин от начала дыхания кислородом под давлением свидетельствует о низкой устойчивости организма обследуемых к токсическому действию кислорода. Появление отдельных признаков и их слабая выраженность — устойчивость средняя. Отсутствие изменений — устойчивость высокая. Дополнительным критерием может быть снижение жизненной емкости легких (ЖЕЛ) или общей емкости легких (ОЕЛ), а также ухудшение диффузионной

способности легких (DLco) более чем на 20% по сравнению с исходными фоновыми значениями — объективные признаки низкой устойчивости к токсическому действию кислорода.

Степень устойчивости обследуемого к токсическому действию кислорода и группа профессиональной пригодности оцениваются по табл. 4.

Оценка устойчивости к гипоксии. Устойчивость к гипоксии является характеристикой адаптационных возможностей человека и обусловлена генетическими и фенотипическими особенностями организма. Различия между высоко- и низкоустойчивыми к гипоксии индивидуумами проявляются в состоянии трех ведущих регуляторных систем, обеспечивающих доставку кислорода к тканям: дыхательной, сердечно-сосудистой и транспортной функции крови [17]. Реакция сердечно-сосудистой системы на гипоксическую гипоксию у высокоустойчивых водолазов выражена гораздо слабее.

Методика тестирования начинается с знакомства обследуемого с влиянием гипоксической гипоксии на организм. Обычно для тестирования применяется 12% кислородно-азотная смесь (КАС), подаваемая через редуктор из транспортного баллона в дыхательный мешок, гофрированную трубку к клапанной коробке с полумаской. Состояние газотранспортной системы человека оценивается по показаниям пульсоксиметрии, которые могут быть

дополнены контролем за АД и мониторингом ЭКГ. Методика проведения предполагает использование одного из двух рассматриваемых ниже вариантов.

Вариант №1. Проба Генчи. Обследуемый укладывается на кушетку. В покое у него регистрируются ЧСС и содержание оксигемоглобина (HbO₂) в крови. Затем регистрируются показатели пробы с задержкой дыхания на выдохе (проба Генчи): время задержки дыхания (с), максимальная степень падения содержания оксигемоглобина, время восстановления содержания HbO₂ до исходной величины, степени максимального учащения ЧСС и дальнейшего падения содержания HbO₂. По окончании пробы Генчи испытуемый переводится на обычное дыхание атмосферным воздухом. Регистрируется время восстановления ЧСС и содержания оксигемоглобина до исходных значений.

Проба Генчи заключается в задержке дыхания на выдохе после спокойного дыхания, и чем больше время задержки, тем выше устойчивость к гипоксии и гиперкапнии; чем короче — тем ниже устойчивость. Группы профессиональной пригодности в соответствии со степенью устойчивости обследуемого к гипоксии отражены в табл. 5.

Вариант № 2. Проба с дыханием 12% КАС имеет определенные преимущества, но требует и дополнительного оборудования. Перед началом пробы испытуемому объясняют, что в маску подается 12%

Таблица 4

Оценка результатов гипероксической пробы

Группа профессиональной пригодности	Степень устойчивости к токсическому действию кислорода	Изменение вектора МОК на противоположный, экспозиция от начала сеанса (мин)
1	Низкая	Меньше 45
2	Пониженная	45–60
3	Средняя	61–75
4	Высокая	Больше 75

Таблица 5

Критерии оценки пробы на переносимость гипоксии с задержкой дыхания на выдохе

Группа профессиональной пригодности	Степень устойчивости к гипоксии	Учащение ЧСС (уд/мин)	Степень падения HbO ₂ , %	Проба Генчи		Время восстановления, минуты, секунды	
				Время, с	Степень падения HbO ₂ , %	ЧСС	HbO ₂
1	Высокая	10	4	более 40	4	3 мин 20 с	3 мин
2	Средняя	20	6	37–40	3	4 мин 50 с	4 мин
3	Пониженная	30	8	34–36	3	5 мин 30 с	5 мин
4	Низкая	40	13	менее 34	2	6 мин 20 с	5 мин 50 с

КАС, соответствующая по составу горному воздуху, что процедура безопасна, но возможно появление одышки, сердцебиения и тошноты. При появлении неприятных ощущений испытуемый может самостоятельно снять маску или загубник. Проба проводится лежа на спине в течение 10 мин. Контроль за динамикой тканевой гипоксии может осуществляться с помощью пульсоксиметра, с подсчетом ЧСС, через каждые 2 мин измеряется АД, желательное мониторирование ЭКГ.

Показателями повышенной чувствительности к гипоксии являются:

— бледность кожных покровов, усиленное потоотделение;

— ухудшение самочувствия, затруднение дыхания, ощущение нехватки воздуха или удушья, резкая одышка, чувство жара, потемнение в глазах, шум в голове, похолодание конечностей, онемение пальцев кистей и стоп;

— значительное учащение ЧСС (на 30–40 уд/мин), однако появление брадикардии также следует считать признаком повышенной чувствительности к гипоксии;

— расширение зрачков, дрожь вытянутых рук;

— появление изменений на ЭКГ (появление экстрасистолии или других признаков недостаточности кровоснабжения миокарда).

При выраженной реакции обследуемого на гипоксию он немедленно отключается от дыхания гипоксической смесью и переходит на дыхание кислородом, которое должно продолжаться не менее 10 мин.

Оценка устойчивости к действию углекислоты. По многочисленным литературным данным, низкая чувствительность к углекислоте у водолазов и дайверов может являться причиной несчастных случаев, поскольку при погружениях на глубину наркотическое действие азота усиливается углекислотой [1, 6]. Снижение чувствительности к углекислоте, вероятно, является следствием профессиональной деятельности. В перспективе подобное тестирование может использоваться при наличии специальной аппаратуры и стандартизированной методики. Одно из таких устройств — аппаратно-программный комплекс, разработанный в ГИЦ РФ-ИМБП РАН (патент РФ № 2550127) [18]. В основе подобных приборов лежит оценка прироста легочной вентиляции в ответ на нарастающий гиперкапнический стимул. Лиц с высокой устойчивостью к действию углекислоты следует относить

к категории низкой профессиональной пригодности, так как при повышенном содержании CO_2 во вдыхаемой газовой смеси у них не происходит должного прироста вентиляции, вследствие чего возникает задержка углекислоты в организме, развивается респираторный ацидоз, нарушается работа ферментативных систем, страдают обменные процессы, обеспечивающие трофику тканей, и, следовательно, снижается надежность выполняемой профессиональной деятельности.

В целом необходимо отметить, что результаты функциональных нагрузочных тестов, особенно гипероксической пробы, зависят от многих факторов, в частности, психоэмоционального состояния испытуемого, поэтому их необходимо трактовать с известной долей осторожности и при сомнении в их достоверности — повторять тесты.

Таким образом, в ходе исследования систематизированы методы оценки устойчивости организма водолазов, кессонщиков и дайверов к факторам гипербарической среды [7–10, 12, 15, 19, 20]. Впервые показано, что эти тесты могут применяться врачами водолазной медицины для установления групп профессиональной пригодности в ходе медицинского отбора водолазов и в целом направлены на повышение безопасности деятельности и профессионального долголетия водолазов и кессонщиков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые предлагаются степени устойчивости водолазов к факторам гипербарической среды по результатам оценки нагрузочных тестов, выявляющих реакцию организма к воздействию экстремальных факторов водолазного труда. Приведенный набор нагрузочных тестов (оценка барофункции, устойчивости к декомпрессионному внутрисосудистому газообразованию, наркотическому действию азота, токсическому действию кислорода, гипоксии, действию углекислоты) необходимо проводить с целью экспертизы профессиональной пригодности водолазов, кессонщиков и лиц смежных специальностей. Использование предлагаемого набора нагрузочных тестов при профессиональном отборе водолазов и кессонщиков будет способствовать профилактике производственно обусловленных и профессиональных заболеваний, позволит повысить безопасность и эффективность проведения водолазных и кессонных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Dmitruk A. I.* Medicine of deep-sea dives. Saint Petersburg; 2004. 292). Russian (*Дмитрук А. И.* Медицина глубоководных погружений. СПб.; 2004. 292).
2. Interbranch rules on labor protection at carrying out of diving. POT R M-030-2007. Information and reference material. Moscow: Slovo Publisher; 2007. Russian (Межотраслевые правила по охране труда при проведении водолазных работ. ПОТ Р М-030-2007. Информационно-справочный материал. М.: Слово; 2007).
3. Methodical recommendations on carrying out preliminary and periodic medical examinations of divers and others working in hyperbaric conditions. Moscow: FMBA Rossii Publisher; 2011. Russian (Методические рекомендации по проведению предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований) водолазов и других работников, работающих в условиях повышенного давления. Москва, ФМБА России; 2011).
4. Manual on the organization of medical support of internal troops of the Ministry of Internal Affairs of Russia. Moscow; 2007. Russian (Методическое пособие по организации медицинского обеспечения внутренних войск МВД России. Москва; 2007).
5. Rules of Navy diving. 2002. Russian (Правила водолазной службы ВМФ. 2002).
6. *Pavlov B. N.* Physiology of indifferent gases, hyperbaric physiology: current state and prospects of development. Indifferent gases in diving practice, biology and medicine. In: *Indifferentye gazy v vodolaznoj praktike, biologii i medicine. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii* (Indifferent gases in diving practice, biology and medicine. Proceedings of the Scientific Conference). Moscow: Slovo Publisher; 2000: 116–21. Russian (*Павлов Б. Н.* Физиология индифферентных газов, гипербарическая физиология: современное состояние и перспективы развития. В кн.: Индифферентные газы в водолазной практике, биологии и медицине. Материалы Всеросс. конф. М.: Слово; 2000: 116–21).
7. *Radzevich A. E., Mazel' Y. A. I., Ruchinskij M. A. et al.* Experience diving-medical office of the Moscow water basin. Health issues in water transport. Moscow; 1974; 7: 9–14. Russian (*Радзевич А. Э., Мазель Я. И., Ручинский М. А. и др.* Опыт работы водолазно-медицинского кабинета Московского водного бассейна. Вопросы здравоохранения на водном транспорте. М., 1974; 7: 9–14).
8. *Neumann, I. L., Ustyugov V. N.* Causes the removal of diving for deep divers. Military Medical Journal. 1975; 1: 60–1. Russian (*Нейман И. Л., Устюгов В. Н.* Причины отстранения от спусков водолазов-глубоководников. Воен.- мед. журн. 1975; 1: 60–1).
9. *Myasnikov A. A.* Nonspecific methods of increasing divers resistance to decompression sickness. Saint Petersburg: VMA Publisher; 2001. 19. Russian (*Мясников А. А.* Неспецифические методы повышения устойчивости водолазов к декомпрессионной болезни. СПб.: ВМА; 2001. 19).
10. *Smolin V. V.* Characteristics of extreme effects of the saturation method and medical support of deep dives. Aerospace and Ecol. medicine. 1992; 26 (1): 11–3. Russian (*Смолин В. В.* Характеристика экстремальных воздействий на организм водолазов-глубоководников при спусках методом длительного пребывания и основная задача медицинского обеспечения этих спусков. Авиакосмич. и экол. медицина. 1992; 26 (1): 11–3).
11. *Volkov L. K.* Physiological rationale for the prevention of decompression disorders. D. Sc. (Medicine) thesis. Saint Petersburg; 1994. Russian (*Волков Л. К.* Физиологическое обоснование профилактики декомпрессионных расстройств. Автореф. дис. ... докт. мед. наук. СПб.; 1994).
12. *Sledkov A. Yu., Dovgusha V. V.* Features of the functioning of the human body in a hyperbaric environment. Saint Petersburg; 2003. 152. Russian (*Следков А. Ю., Довгуша В. В.* Особенности функционирования организма человека в гипербарической среде. СПб.; 2003. 152).
13. *Pukhov V. A., Ivanov I. V., Chepur S. V.* Evaluation of the functional condition of the military specialists: scientific and practical guidance. Saint Petersburg: SpetsLit Publisher; 2016. 312. Russian (*Пухов В. А., Иванов И. В., Ченур С. В.* Оценка функционального состояния организма военных специалистов: научно-практическое руководство. СПб.: СпецЛит; 2016. 312).
14. *Eliseev O. P.* Assessment of mental performance by E. Krepelin. In: Workshop on personality psychology. 2th ed. Saint Petersburg: Piter Publisher; 2003: 199–200. Russian (*Елизеев О. П.* Оценка умственной работоспособности по Э. Крепелину В кн.: Практикум по психологии личности. 2-е изд. СПб.: Питер; 2003: 199–200).
15. *Kuleshov V. I., Sinkov A. P.* Medical and technical support of diving and rescue of submariners. In: Scientific and technical collection 40 GosNII. Issue 14. Lomonosov; 1996: 29–35. Russian (*Кулешов В. И., Синьков А. П.* Медицинское и техническое обеспечение водолазных работ и спасения подводников. В кн.: Научно-технический сборник 40 ГосНИИ. Вып. 14. Ломоносов; 1996: 29–35).
16. *Kuleshov V. I.* Extreme conditions and working capacity of seafarers. In: *Voенно-professional'naya rabotosposobnost' specialistov flota v ekstremal'nyh usloviyah* (Military-professional working capacity of fleet specialists in extreme conditions. Proceedings of conference). Saint Petersburg: VMedA; 1995: 3–5. Russian (*Кулешов В. И.* Экстремальные условия и работоспособность плавсостава. В кн.: Военно-профессиональная работоспособность специалистов флота в экстремальных условиях: Материалы науч.-практ. конф. СПб.: ВМедА; 1995: 3–5).
17. *Meyerson F. Z.* Adaptation, stress and prophylactic. Moscow: Nauka Publisher; 1991. 278. Russian (*Меерсон Ф. З.* Адаптация, стресс и профилактика. Москва: Наука; 1991. 278).
18. *Ermolaev E. S., Suvorov A. V., Shulgin Y. A., Goncharov A. A., Dyachenko A. I.* Hardware-software complex for assess-

ment of the system of regulation of breathing and the manner of its use. Patent RF № 25501127. Available at: <http://www.findpatent.ru/patent/255/25501127.html> (accessed 07.09.2019). Russian (Ермолаев Е. С., Суворов А. В., Шулагин Ю. А., Гончаров А. О., Дьяченко А. И. Аппаратно-программный комплекс для оценки состояния системы регуляции дыхания и способ его использования. Патент РФ № 25501127. Доступен по: <http://www.findpatent.ru/patent/255/25501127.html> (дата обращения 07.09.2019))

19. *Myznikov I. L.* Method of control over the functional state of

seafarers. Diagnostic and physiological stress tests. Manual for medical doctors. Murmansk: Sever Publisher; 2008. 128. Russian (*Мызников И. Л.* Методика контроля за функциональным состоянием моряков. Диагностические индексы и физиологические нагрузочные тесты. Пособие для врачей. Мурманск: Изд-во Север; 2008. 128).

20. *Sokolov G. M., Smolin V. V., Dudkov M. D., Motasov G. P.* Medical support of divers. Moscow: Restart Publisher; 2011. Russian (*Соколов Г. М., Смолин В. В., Дудков М. Д., Мотасов Г. П.* Медицинское обеспечение водолазов при спусках на малые и средние глубины. М.: Рестарт; 2011).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Семенов Вадим Николаевич — канд. мед. наук, доцент, кафедра медицины труда, авиационной, космической и водолазной медицины, ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), 119991, Россия, г. Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2

Иванов Иван Васильевич — докт. мед. наук, профессор, старший научный сотрудник, ФГБУ «Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины» МО РФ, 195043, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Лесопарковая, д. 4, профессор кафедры медицины труда, авиационной, космической и водолазной медицины, ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), 119991, Россия, г. Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Sementsov Vadim N. — M. D., Ph. D. (Medicine), Associate Professor, Occupational Medicine, Aviation, Space and Diving Medicine Department, I. M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Russia Health Ministry (Sechenov University), bld. 8-2, Trubetskaya str., Moscow, Russia, 119991

Ivanov Ivan V. — M. D., D. Sc. (Medicine), Professor, Senior Researcher, State Scientific Research Test Institute of the military medicine, 4, Lesoparkovaya str., Saint Petersburg, Russia, 195043, Professor Occupational Medicine, Aviation, Space and Diving Medicine Department, I. M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Russia Health Ministry (Sechenov University), bld. 8-2, Trubetskaya str., Moscow, Russia, 119991