ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

DOI: <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-12-1000-1008>

УДК 331.47+355.511.512 + 616-072.7+627.02

© Семенцов В.Н., Иванов И.В., 2019

Семенцов В.Н.^{1,2}, Иванов И.В.^{1,2,3}

Использование нагрузочных тестов при экспертной оценке состояния здоровья и надежности труда водолазов

¹ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России, ул. Трубецкая, 8/2, Москва, Россия, 119991;²ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», пр-т Буденного, 31, Москва, Россия, 105275;³ФГБУ «Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины» Минобороны России, ул. Лесопарковая, 4, Санкт-Петербург, Россия, 195043

Представлены результаты проведенного анализа методической литературы и рекомендованы для практического применения наиболее информативные методы и оптимальный порядок их выполнения для оценки специальных профессионально-важных физиологических функций лиц, связанных с водолазными погружениями.

Изложен порядок проведения и критерии оценки рекомендуемых тестов: проверки барофункции; оценки устойчивости к декомпрессионному внутрисосудистому газообразованию; токсическому действию кислорода, наркотическому действию азота, функционального состояния водолазов при проведении гипоксической пробы. Рекомендована перспективная методика оценки устойчивости к гиперкапнии.

Предлагаемая унификация экспертных тестовых воздействий позволит повысить безопасность и эффективность проведения водолазных и кессонных работ, будет способствовать профилактике профессионально обусловленных заболеваний.

Ключевые слова: водолаз; водолазная медицина; экспертные тестовые исследования; барофункция; декомпрессионное газообразование; токсическое действие кислорода; наркотическое действие азота; гипоксическая проба; устойчивость к гиперкапнии

Для цитирования: Семенцов В.Н., Иванов И.В. Использование нагрузочных тестов при экспертной оценке состояния здоровья и надежности труда водолазов. *Мед. труда и пром. экол.* 2019; 59 (12). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-12-1000-1008>

Для корреспонденции: Семенцов Вадим Николаевич, доц. каф. медицины труда, авиационной, космической и водолазной медицины Института общественного здоровья ФГАОУ ВО «Первый МГМУ имени И.М. Сеченова» Минздрава России, ст. науч. сотр. ФГБНУ «НИИ МТ», канд. мед. наук. E-mail: vadis4@yandex.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Vadim N. Sementsov^{1,2}, Ivan V. Ivanov.^{1,2,3}

The use of stress tests in the expert assessment of the health and safety of divers

¹I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, 8/2, Trubetskaya str., Moscow, Russia, 119991;²Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31, Budennogo Ave, Moscow, Russia, 105275;³State Scientific Research Institute of the Military Medicine, 4, Lesoparkovaja str., St. Petersburg, Russia, 195043

The results of the analysis of methodical literature are presented and the most informative methods and the optimal order of their implementation for the assessment of special professionally important physiological functions of persons associated with diving are recommended for practical application.

The procedure of carrying out and criteria of an estimation of recommended tests is stated: checks of barofunction; estimations of stability to decompression intravascular gas formation; toxic action of oxygen, narcotic action of nitrogen, a functional condition of divers at carrying out hypoxic test. A promising technique for assessing resistance to hypercapnia is recommended.

This is undoubtedly important for medical personnel providing medical care to persons working in conditions of high pressure. The proposed unification of expert test effects will improve the safety and efficiency of diving and caisson operations, will contribute to the prevention of professionally caused diseases.

Keywords: diver; diving medicine; expert test studies; barofunction; decompression gas formation; toxic effect of oxygen; narcotic effect of nitrogen; hypoxic test; resistance to hypercapnia

For citation: Sementsov V.N., Ivanov I.V. The use of stress tests in the expert assessment of the health and safety. *Med. truda i prom. ecol.* 2019; 59 (12). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-12-1000-1008>

For correspondence: Vadim N. Sementsov, Associate Professor of occupational health medicine department, aviation, space and diving medicine of Public Health Institute of I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of Ministry of Health of the Russian Federation, Cand. of Sci. (Med.). E-mail: vadis4@yandex.ru

Funding. The study had no funding.

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

Введение. Специфические особенности водолазного труда, связанные с воздействием на организм человека ряда экстремальных факторов внешней среды, обуславливают необходимость тщательного отбора лиц с хорошим состоянием здоровья, хорошо физически развитых, выносливых, устойчивых к воздействию факторов водолазного труда. Устойчивость организма обусловлена индивидуальной ответной реакцией организма на действие какого-либо фактора внешней среды; это защитная способность организма максимально длительно и эффективно поддерживать гомеостазис без выраженной декомпенсации.

Одним из основных компонентов медицинского освидетельствования водолазов, дайверов или кессонных рабочих для допуска их к работам, а также во время периодических освидетельствований, являются функциональные тесты, позволяющие оценить состояние здоровья и индивидуальную переносимость факторов, с которыми сталкивается человек при погружении в воду или при пребывании в гипербарических условиях [1,2]. В настоящее время рекомендации по тестированию водолазов и лиц со смежными специальностями для допуска к работам разрозненны [3,4], кроме того, появляются новые знания, методы объективизации контроля в процессе тестирования испытуемых.

Цель исследования — обоснование и систематизация вопросов организации и проведения мероприятий по оценке у кандидатов в водолазы, водолазов, кессонщиков и других лиц, работающих в условиях повышенного давления газовой и водной сред, специальных профессионально важных физиологических функций.

Состояние и особенности устойчивости организма могут быть в известной степени определены методом функциональных проб и нагрузок, используемых, в частности, при профессиональном отборе и в медицинской практике. Для обоснования современных методов тестирования была проанализирована учебно-методическая и научная литература, регламентирующие документы для водолазных врачей (фельдшеров), осуществляющих медицинское обеспечение водолазных и кессонных работ и систематизирована информация по их использованию при обследовании водолазов [5,6].

Нормативные документы по организации и проведению мероприятий медицинского обследования водолазов систематизированы в табл. 1.

Деятельность водолазов связана с повышенным и пониженным давлением окружающей газовой, водной среды и, согласно требованиям приказа Минздравсоцразвития России от 12.04.2011 №302н, водолазам проводятся обязательные предварительные и 1 раз в год периодические МО (обследования) согласно п. 3.11 Приложения №1 к этому Приказу (табл. 2).

Как видно из табл. 2, в разделе «Лабораторные и функциональные исследования» специальных нагрузочных проб не обозначено. В то же время, 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 оцениваются с применением нагрузочных проб [7].

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 к некоторым специальностям или после повторных нарушениях барофункции в ходе спусков или подъемов необходимо проводить оценку барофункции и лор-осмотр (отоскопия при проведении маневра Вальсальвы и ушная манометрия) до и после испытания в барокамере [8].

Для работы необходимы барокамера и лор-укладка. Методика тестирования предполагает осмотр водолаза (дайвера) оториноларингологом до и после тестирования, ознакомление с последовательностью проверки барофункции уха, обучения способам продувания, проведение теста в барокамере.

Лица, проходящие тестирование, проходят 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.

По данным проверки барофункции, одним из вышеупомянутых способов проводится оценка барофункции, а после выхода из барокамеры — контролируется степень гиперемии барабанных перепонок.

Барофункция оценивается по 1-ой из 4-х степеней: I степень — выравнивание давления глотательными, зевательными движениями, движениями нижней челюсти при закрытом рте и не зажатом носе; II степень — выравнивание давления глотательными, зевательными движениями, движениями нижней челюсти при закрытом рте и зажатом носе (маневр Тойнби); III степень — выравнивание давления осторожным выдохом при закрытом рте и зажатом носе (маневр Вальсальвы); IV степень — отсутствие возможности выравнивания давления маневром Вальсальвы.

Выраженность гиперемии барабанных перепонок по данным отоскопии после выхода из барокамеры также имеет 4 степени оценок: I степень — отсутствие объективных данных (изменений); II степень — слабо выраженная гиперемия сосудов верхних отделов барабанной перепонки или инъекция сосудов по ходу рукоятки молоточка; III степень — частичная краснота барабанной перепонки без геморрагических очагов; IV степень — разлитая и интенсивная гиперемия вплоть до пурпурной окраски с множественными кровоизлияниями на барабанной перепонке, ее заметная втянутость и резко контурированные слуховые

Основные нормативные документы по организации и проведению мероприятий медицинского обследования водолазов
The main normative documents on the organization and conduct of medical examination of divers

Документ	Категория работающих	Регламентируемые мероприятия
Федеральный закон от 21.11.2011 № 323-ФЗ, «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» ст. 46 «Медицинские осмотры, диспансеризация»	Население, пациенты, работники	Определение и виды «Медицинского осмотра» представляет собой комплекс медицинских вмешательств, направленных на выявление патологических состояний, заболеваний и факторов риска их развития. Определения терминов «Диспансеризация», «Диспансерное наблюдение»
Трудовой кодекс РФ, ст. 213 «Медицинские осмотры некоторых категорий работников»	Работники, занятые на работах с вредными и (или) опасными условиями труда	Работники, занятые на тяжелых работах и работах с вредными или опасными условиями труда проходят обязательные предварительные при поступлении на работу и периодические медицинские осмотры для определения пригодности этих работников для выполнения поручаемой работы и предупреждения профессиональных заболеваний
Федеральный Закон от 30.03.1999 г. №52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», ст. 34 «Обязательные медицинские осмотры»	Работники отдельных профессий, производств и организаций при выполнении своих трудовых обязанностей	В целях предупреждения возникновения и распространения инфекционных заболеваний, массовых неинфекционных заболеваний (отравлений) и профессиональных заболеваний работники отдельных профессий, производств и организаций при выполнении своих трудовых обязанностей обязаны проходить предварительные при поступлении на работу и периодические профилактические медицинские осмотры (МО).
Приказ Минздравсоцразвития России от 12 апреля 2011 г. N 302н	Работники различных профессий, в том числе водолазы	Общий порядок проведения обязательных предварительных и периодических МО работников различных профессий, в том числе водолазов
Межотраслевые правила по охране труда при проведении водолазных работ (утверждены приказом Минздравсоцразвития России от 13.04.2007 г. № 269).	Водолазы	Отдельные требования к МО водолазов, порядок вынесения заключения водолазно-медицинской комиссии о пригодности к подводным работам
Методические рекомендации по проведению предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований) водолазов и других работников, работающих в условиях повышенного давления (утв. зам. руководителя ФМБА России, председателем Центральной водолазно-медицинской комиссии 14.03.2011 г.)	Водолазы и другие работники, работающие в условиях повышенного давления	Дифференцированные требования к здоровью и функциональному состоянию организма водолазов и других работников, работающих в условиях повышенного давления, а также к определению их годности к работам в этих условиях, программы проведения предварительных и периодических МО, методики проведения специальных исследований, рекомендации по содержанию экспертов заключений, а также ориентировочные сроки освобождения работников от выполнения работ в условиях повышенного давления после перенесенных заболеваний и травм, связанных с профессиональной деятельностью.
Постановление Правительства Российской Федерации от 4 июля 2013 года №565 «Об утверждении Положения о военно-врачебной экспертизе»; Приказ Министра обороны Российской Федерации от 20 октября 2014 г. №770	Граждане, поступающие на военную службу по контракту, отбираемые для обучения (военной службы) по отдельным военно-учетным специальностям, и граждане, проходящие военную службу по контракту, отбираемые для обучения (военной службы) по отдельным военно-учетным специальностям, и граждане, проходящие военную службу по контракту, отбираемые для обучения (военной службы) и проходящие военную службу по отдельным военно-учетным специальностям	Состав военно-врачебных комиссий, осуществляющих освидетельствование военнослужащих ВС РФ, граждан, проходящих военные сборы по линии ВС РФ; требования к состоянию здоровья граждан, поступающих на военную службу по контракту, отбираемых для обучения (военной службы) по отдельным военно-учетным специальностям, и граждан, проходящих военную службу по контракту, отбираемых для обучения (военной службы) и проходящих военную службу по отдельным военно-учетным специальностям: водолаз-глубоководник, акванавт; водолаз, врач-специалист, привлекаемый к выполнению работ в условиях повышенного давления газовой среды, нештатный водолаз; объемы обязательных диагностических исследований

Таблица 2 / Table 2
Организация медицинского обследования водолазов и другим работникам, работающим в условиях измененного давления газовой и водной среды
Organization of medical examination of divers and other workers working in conditions of changed pressure of gas and water environments

Участие врачей-специалистов	Лабораторные и функциональные исследования*	Дополнительные медицинские противопоказания
Оториноларинголог Невролог Офтальмолог Хирург Дерматовенеролог Стоматолог Врач по водлазной медицине	Ретикулоциты Базофильная зернистость эритроцитов Биомикроскопия среза глаза Рентгенографическое исследование околоносовых пазух Офтальмоскопия глазного дна (по показаниям — офтальмотонометрия)	Гипертоническая болезнь II стадии, 2 степени, риск III. Хронические болезни сердца и перикарда с недостаточностью кровообращения любой степени. Ишемическая болезнь сердца: стенокардия ФК II, риск средний. Хронические рецидивирующие заболевания кожи с частотой обострения 4 раза и более за календарный год. Выраженные расстройства вегетативной (автономной) нервной системы. Хронические заболевания периферической нервной системы с частотой обострения 3 раза и более за календарный год. Облитерирующие заболевания сосудов вне зависимости от степени компенсации. Болезнь и синдром Рейно. Варикозная и тромбфлебическая болезни нижних конечностей, лимфоангиит. Заболевания скелетно-мышечной системы с частотой обострения 3 раза и более за календарный год. Хронические болезни почек и мочевыводящих путей любой степени выраженности. Болезни зубов, полости рта; отсутствие зубов, мешающее захватыванию загубника; наличие съемных протезов, анкилозы и контрактура нижней челюсти, челюстной артрит. Хронические воспалительные заболевания околоносовых пазух и среднего уха.

Примечания: Периодичность осмотров — 1 раз в год; * — при проведении предварительных и периодических осмотров всем обследуемым в обязательном порядке проводятся: клинический анализ крови (гемоглобин, цветной показатель, эритроциты, тромбоциты, лейкоцитарная формула, СОЭ); клинический анализ мочи (удельный вес, белок, сахар, микроскопия осадка); электрокардиография; цифровая флюорография или рентгенография органов грудной клетки в 2 проекциях (прямая и правая боковая), в условиях центра профилактики или медицинской учреждения, имеющего права на проведение экспертизы пригодности и связи заболевания с профессией в соответствии с действующим законодательством, проводится рентгенография органов грудной клетки в 2 проекциях (прямая и правая боковая); биохимический скрининг: содержание в сыворотке крови глюкозы, холестерина. Все женщины осматриваются акушером-гинекологом с проведением бактериологического (на флору) и цитологического (на атипичные клетки) исследований не реже 1 раза в год; женщины в возрасте старше 40 лет проходят 1 раз в 2 года маммографию или УЗИ молочных желез.

Notes: Frequency of checkups — once a year * — during preliminary and periodic examinations, all subjects are required to conduct: clinical blood analysis (hemoglobin, color index, erythrocytes, platelets, leukocytes, leukocyte formula, ESR); clinical urine analysis (specific gravity, protein, sugar, sediment microscopy); electrocardiography; digital fluorography or radiography of the chest in 2 projections (straight and right side), in the conditions of the center of occupational pathology or a medical institution that has the right to conduct an examination of the suitability and connection of the disease with the profession in accordance with the current legislation, radiography of the chest in 2 projections (straight and right side); biochemical screening: serum glucose, cholesterol. All women are examined by an obstetrician-gynecologist with bacteriological (flora) and cytological (atypical cells) studies at least 1 time a year; women over the age of 40 years are 1 every 2 years mammography or ultrasound of the mammary glands.

косточки, возможен выпот в полость среднего уха и/или разрыв барабанной перепонки.

При оценке состояния барофункции уха имеет также большое значение установление форм или видов ее нарушения. Эти расстройства могут быть следствием нарушения проходимости евстахиевой трубы либо результатом недостаточности бароаккомодационных механизмов уха 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 обследуемых, объективное состояние носовой полости и носоглотки, переносимость тестирования в барокамере и результаты диафаноскопии или рентгенографии придаточной пазухи носа.

При проведении водолазных спусков или других работ в условиях с изменяющимся окружающим давлением основным профилактическим мероприятием, направленным на исключение баротравмы уха и придаточных пазух носа, является тщательный лор-осмотр лиц, допускаемых на спуск или подъем. Имеющие насморк, ангину, а также признаки воспаления слизистой носоглотки к работам под водой не допускаются.

Перед каждым спуском под воду или в барокамере водолазы, дайверы или кессонные рабочие могут проводить самоконтроль барофункции ушей, используя маневры Тойнби, Френзеля или Вальсальвы. Появление щелчков свидетельствует об отсутствии выраженных нарушений барофункции, отсутствие — о плохой проходимости, препятствующей спуску или пребыванию в условиях с измененным давлением.

Во время спуска под воду или в барокамере необходимо постоянно выравнивать давление в полости среднего уха с окружающим. При нормальной проходимости евстахиевых труб болевые ощущения отсутствуют, а в случае их появления водолаз или дайвер должны быть инструктированы о мероприятиях по выравниванию давления.

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 пересыщении организма индифферентным газом (азотом), достигаемым в результате стандартизируемой фиксированной экспозиции в условиях повышенного давления и последующей декомпрессии [10].

Методика тестирования начинается с ознакомления обследуемого с последовательностью определения устойчивости организма к декомпрессионному внутрисосудистому газообразованию. Для проведения тестирования необходимы барокамера, декомпрессионные таблицы, ультразвуковой доплеровский прибор для локации пузырьков в крови («Минидоп-2») и гель для УЗИ исследований. Для определения устойчивости к декомпрессионному вну-

трисосудистому газообразованию оценивается исходный (фоновый) сигнал кровотока над сердцем и легочной 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 помощью 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. Оптимальный фоновый звуковой сигнал над легочной артерией содержит продолжительные периоды звучания кровотока (шипящий звук) и минимально выраженные звуковые компоненты отраженного сигнала от сердечной мышцы. При локации осевого кровотока в легочной артерии вблизи клапана может быть слышен высокий отрывистый звук, связанный с закрытием клапана и напоминаящий сигнал газового пузырька, но возникающий регулярно в каждом цикле и в одно и то же время.

После определения места и качества оптимального фонового звукового сигнала над легочной артерией испытуемые помещаются в барокамеру по одному из 2 вариантов.

Вариант №1. Давление в барокамере с испытуемыми 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., выдержки 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].

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 мин.) [3].

По окончании декомпрессии проводятся МО и наблюдение за обследуемыми, включающее ультразвуковую локация внутрисосудистого газообразования.

Единая оценка уровня внутрисосудистого (венозного) газообразования (УВГ) в баллах определяется по ф-ле:

$$\text{УВГ} = \text{Лп} + 0,33 \times (\text{Лд} - \text{Лп}), \quad (1)$$

где: Лп — УВГ в состоянии покоя, Лд — УВГ после физической нагрузки. В качестве стандартной нагрузки обследуемый совершает в течение 10 секунд движения ногами, имитирующих движения велосипедиста.

Уровень декомпрессионного внутрисосудистого (венозного) газообразования измеряется в баллах каждые 15–20 минут в течение 2–2,5 часов после окончания декомпрессии следующим образом: 0 баллов — сигналы от газовых пузырьков отсутствуют, слышен нормальный неискаженный фоновый сигнал кровотока; 1 балл — имеются отдельные редкие сигналы от газовых пузырьков или слабо выраженные изменения сигнала кровотока (более звучный и грубый, чем в норме); 2 балла — отчетливые сигналы от газовых пузырьков слышны менее чем в половине сердечных циклов, звуковой сигнал кровотока шумный и грубый; 3 балла — частые сигналы от газовых пузырьков слышны более чем в половине сердечных циклов, звуковой сигнал кровотока шумный и грубый; 4 балла — множественные очень частые сигналы от газовых пузырьков слышны в

большинстве сердечных циклах и резко искажают сигнал кровотока.

Испытуемых с уровнем декомпрессионного внутрисосудистого газообразования 0 баллов относят к группе устойчивых, с уровнем до 1 балла (включительно) — к группе среднеустойчивых, а испытуемых с уровнем внутрисосудистого газообразования более 1 балла — к группе неустойчивых 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 для профилактики декомпрессионной болезни помещаются в барокамеру для проведения кислородного режима лечебной рекомпрессии с обязательной локацией кровотока после ее окончания.

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 барокамеру и тестированием по методикам психофизиологических исследований — корректурной пробе с кольцами Ландольта и методики «сложение в уме» [13], либо с исследованием утомляемости и работоспособности с помощью таблицы Крепелина.

Затем 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 декомпрессия 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.

Корректурная проба с кольцами Ландольта предназначена для исследования интенсивности и устойчивости внимания, а также определения скорости переработки информации в зрительном анализаторе, исследование утомляемости и психической работоспособности осуществляется с помощью таблицы Крепелина [14].

Результаты корректурной пробы оцениваются по ф-ле 2:

$$DA = [(A_1 - A_2) / A_1] \times 100 \quad (2)$$

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.

При проведении методики «Сложение в уме» испытуемому предлагаются числа — однозначные и двузначные (например, 3, 5, 7, 9, 18, 2, 4, 6, 8 и 17 и т. д.), 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 %. Изменение скорости мышления рассчитывается по ф-ле 3:

$$DC_{\text{КМ}} = [(N_1 - N_2) / N_1] \times 100, \quad (3)$$

где $\Delta C_{\text{КМ}}$ — изменение скорости мышления, %; N_1 — количество правильно записанных сумм при выполнении теста в условиях нормального давления; N_2 — количество правильно записанных сумм при выполнении теста в гипербарических условиях.

Степень устойчивости обследуемого к наркотическому действию азота оценивается по табл. 3 с использованием результатов, рассчитанных по ф-лам 2 и 3.

Таблица 3 / Table 3

Оценка результатов пробы на устойчивость к наркотическому действию азота

Evaluation of the results of the test for resistance to the narcotic effect of nitrogen

Степень устойчивости к наркотическому действию азота	ΔA , %	$\Delta C_{\text{КМ}}$, %
Высокая	Менее 5	Менее -15
Средняя	От 5 до 35	От -15 до 30
Низкая	Более 35	Более 30

О низкой устойчивости обследуемого к наркотическому действию азота также свидетельствует изменение его поведения во время компрессии и изопрессии, которые могут проявляться 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 физиологич-

Обзорные статьи

ческих резервов и реализации системы антиоксидантной защиты [15,16].

Методика тестирования начинается с ознакомления пациента 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 минут 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 пульса 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 пятикратной 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 минут измеряется частота сердечных сокращений (ЧСС) с помощью пульсоксиметра и АД. Используя полученные данные, по формуле Старра рассчитывается ударный объем сердца (УОС) и МОК:

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

где ПА — пульсовое (максимальное артериальное) давление, мм рт. ст.; ДА — диастолическое (минимальное артериальное) давление, мм рт. ст.; В — возраст, лет.

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

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 кожного покрова, 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.

Степень устойчивости обследуемого к токсическому действию кислорода оценивается по таблице 4.

Таблица 4 / Table 4

Оценка результатов гипероксической пробы Evaluation of hypoxic test results

Степень устойчивости к токсическому действию кислорода	Изменение вектора МОК на противоположный, экспозиция от начала сеанса, мин
Высокая	Больше 75
Средняя	45–75
Низкая	Меньше 45

Вариант №1: проба Генчи (переносимость гипоксии с задержкой дыхания на вдохе). Обследуемый укладывается на кушетку. В покое 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, при этом чем больше время задержки, тем выше устойчивость к гипоксии и гиперкапнии, чем короче — тем ниже устойчивость. Степень устойчивости обследуемого к гипоксии отражены в таблице 5. Однако не все критерии оценки могут построчно совпадать с представленными в табл. 5 из-за высокой индивидуальной вариабельности реакций организма, его тренированности и волевых усилий у конкретного обследуемого.

Вариант №2: проба с дыханием 12% КАС, которая имеет определенные преимущества, но требует и дополнительного оборудования. Для тестирования применяется 12% кислородно-азотная смесь (КАС), подаваемая через редуктор из транспортного баллона в дыхательный мешок через гофрированную трубку к клапанной коробке с полумаской.

Перед началом данного варианта пробы испытуемому объясняют, что в маску подается 12% КГС, соответствующая по составу горному воздуху, что эта 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 динамики тканевой гипоксии может осуществляться с помощью пульсоксиметра, с подсчетом ЧСС, через каждые 2 мин. измеряется АД, желателен мониторинг 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;

Таблица 5 / Table 5

Критерии оценки пробы Генчи (переносимости гипоксии с задержкой дыхания на вдохе) Criteria for assessing the Genchi sample (tolerance of hypoxia with breath-holding on inspiration)

Степень устойчивости к гипоксии	Учащение ЧСС, уд/мин	Степень падения HbO ₂ , %	Проба Генчи		Время восстановления	
			время, с	степень падения HbO ₂ , %	пульса	HbO ₂
Высокая	10	4	более 40	4	3 мин. 20 с	3 мин.
Средняя	30	8	34–40	3	4 мин. 50 с	4 мин.
Низкая	40	13	менее 34	2	6 мин. 20 с	5 мин. 50 с

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. 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. Вместе с тем подобное тестирование до настоящего времени не получило надлежащего распространения из-за отсутствия специальной аппаратуры и стандартизированной методики, поскольку она находится на этапе экспериментальной апробации. Одним из таких устройств, которое, возможно, будет внедрено в практику, является аппаратно-программный комплекс, разработанный в ГНЦ РФ-ИМБП РАН (патент РФ №2550127), удостоенный в 2018 г. золотой медали Международного салона изобретений и инноваций «Гран-при Эйфель» [18].

В основе этого и аналогичных приборов лежит оценка прироста легочной вентиляции в ответ на нарастающий гиперкапнический стимул. Чем выше чувствительность дыхательного центра к углекислоте, тем выше вентиляция и наоборот: чем ниже чувствительность к гиперкапнии, тем ниже вентиляция легких. Например, у лиц с высокой устойчивостью при повышенном содержании CO₂ во вдыхаемой газовой смеси не происходит должного прироста вентиляции, возникает задержка углекислоты в организме, развивается респираторный ацидоз, нарушается работа ферментативных систем и, следовательно, страдают обменные процессы, обеспечивающие трофику тканей.

Таким образом, рассмотренные методы оценки устойчивости организма водолазов и дайверов к профессионально важным факторам влияния окружающей их водной среды, наряду с методиками, разработанными ранее [7–10,12,15,19–23], крайне актуальны и направлены на повышение безопасности погружений водолазов и дайверов, эффективности проведения водолазных и кессонных работ.

Выводы:

1. Внедрение и совершенствования методик выполнения нагрузочных тестов у водолазов и лиц со смежными специальностями важно проводить в интересах экспертизы профессиональной пригодности и профессионального отбора водолазов, что способствует развитию водолазного дела и водолазной медицины.

2. Предлагаемый набор нагрузочных тестов (оценка барофункции, устойчивости к декомпрессионному внутрисосудистому газообразованию, наркотическому действию азота, токсическому действию кислорода, гипоксии, действию углекислоты) будет способствовать профилактике производственно обусловленных и профессиональных заболеваний, позволит повысить безопасность и эффективность проведения водолазных и кессонных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитрук А.И. Медицина глубоководных погружений. СПб; 2004.

2. Межотраслевые правила по охране труда при проведении водолазных работ. ПОТ Р М–030–2007. Информационно-справочный материал. Под общей редакцией д.м.н. проф. В.А. Рогожникова. М.: фирма «Слово»; 2007.

3. Методические рекомендации по проведению предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований) водолазов и других работников, работающих в условиях повышенного давления. Под общ. ред. В.А. Рогожникова, ФМБА России. Москва; 2011.

4. Методическое пособие по организации медицинского обеспечения внутренних войск МВД России. Под общ. ред. Ю.В. Сабанина. Москва; 2007.

5. Правила водолазной службы ВМФ; 2002.

6. Павлов Б.Н. Физиология индифферентных газов, гипербарическая физиология: современное состояние и перспективы развития. Индифферентные газы в водолазной практике, биологии и медицине: материалы Всерос. конф. 15–16 нояб. 1999. М.: Слово; 2000: 116–21.

7. Радзевич А.Э., Мазель Я.И., Ручинский М.А. и др. Опыт работы водолазно-медицинского кабинета Московского водного бассейна. Вопросы здравоохранения на водном транспорте. 1974; 7: 9–14.

8. Нейман И.Л., Устюгов В.Н. Причины отстранения от спусков водолазов-глубоководников. Воен.-мед. журн. 1975; 1: 60–1.

9. Мясников А.А. Неспецифические методы повышения устойчивости водолазов к декомпрессионной болезни. Учебное пособие для слушателей VI факультета. СПб: ВМА; 2001.

10. 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. Волков Л.К. Физиологическое обоснование профилактики декомпрессионных расстройств Дисс. докт. мед. наук. СПб; 1994.

12. Следков А.Ю., Довгуша В.В. Особенности функционирования организма человека в гипербарической среде. СПб; 2003.

13. Пухов В.А., Иванов И.В., Чепур С.В. Оценка функционального состояния организма военных специалистов: научно-практическое руководство. Под ред. акад. И.Б. Ушакова. Санкт-Петербург СпецЛит; 2016.

14. Елисеев О.П. Оценка умственной работоспособности по Э. Крепелину. Практикум по психологии личности. 2-е изд. СПб: Питер; 2003: 199–200.

15. Кулешов В.И., Синьков А.П. Медицинское и техническое обеспечение водолазных работ и спасения подводников. Научно-технический сборник 40 ГосНИИ. 1996; 14: 29–35.

16. Кулешов В.И. Экстремальные условия и работоспособность плавсостава. Военно-профессиональная работоспособность специалистов флота в экстремальных условиях: Тез. докл. науч.-практ. конф. 11–12 октября 1995. СПб: ВМедА; 1995: 3–5.

17. Меерсон Ф.З. Адаптация, стресс и профилактика. Москва: Наука; 1991.

18. 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 №2550127. <http://www.findpatent.ru/patent/255/2550127.html>

19. Мызников И.Л. Методика контроля за функциональным состоянием моряков. Диагностические индексы и физиологические нагрузочные тесты. Пособие для врачей. Мурманск: Изд-во «Север»; 2008.

20. 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.

Обзорные статьи

21. Бухтияров И.В., Жбанкова О.В., Юшкова О.И., Гусев В.Б. Новые психофизиологические подходы, применяемые при профотборе кандидатов в опасные профессии. *Мед. труда и пром. экол.* 2019; 3: 132–41.

22. Бухтияров И.В., Денисов Э.И., Лагутина Г.Н., Пфаф В.Ф., Чесалин П.В., Степанян И.В. Критерии и алгоритмы установления связи нарушений здоровья с работой. *Мед. труда и пром. экол.* 2018; 8: 4–12.

23. Бухтияров И.В., Иванов И.В., Семенцов В.Н. Образовательные интернет-ресурсы при подготовке врачей по водолазной медицине. *Мед. труда и пром. экол.* 2017; 3: 6–14.

REFERENCES

1. Dmitruk A. I. *Medicine of deep-sea dives*. SPb.; 2004 (in Russian).

2. *Interbranch rules on labor protection at carrying out of diving. POT R M-030-2007. Information and reference material*. M., "Slovo"; 2007 (in Russian).

3. *Methodical recommendations on carrying out preliminary and periodic medical examinations of divers and others working in hyperbaric conditions*. Moscow; 2011 (in Russian).

4. *Manual on the organization of medical support of internal troops of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. Moscow; 2007 (in Russian).

5. *Rules of Navy diving*; 2002 (in Russian).

6. Pavlov B.N. Physiology of indifferent gases, hyperbaric physiology: current state and prospects of development. *Indifferent gases in diving practice, biology and medicine: materials vseros. Conf.*, Moscow, 15–16 Nov. 1999. M.: Slovo: 2000: 116–21 (in Russian).

7. Radzevich A. E. et al. *Experience diving-medical office of the Moscow water basin*. Moscow, 1974. Issue 7: 9–14 (in Russian).

8. Neumann, I.L., Ustyugov V.N. Causes the removal of diving for deep divers. *Voyenno-meditsinskiy zhurnal*. 1975 (1): 60–1 (in Russian).

9. Myasnikov A.A. *Nonspecific methods of increasing divers resistance to decompression sickness*. St. Petersburg; 2001 (in Russian).

10. Smolin V.V. Characteristics of extreme effects of the saturation method and medical support of deep dives. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 1992; 26 (1): 11–3. (in Russian).

11. Volkov L. K. *Physiological rationale for the prevention of decompression disorders*. Diss. Doctor of medicine. SPb; 1994 (in Russian).

12. Sledkov A.Yu., Dovgusha V.V. *Features of the functioning of the human body in a hyperbaric environment*. SPb.; 2003 (in Russian).

13. Pukhov V.A., Ivanov I.V., Chepur S.V. *Evaluation of the functional condition of the military specialists: scientific and practical guidance*. St. Petersburg; 2016 (in Russian).

14. Eliseev O. P. Assessment of mental performance by E. Krepelin. *Workshop on personality psychology*. 2nd ed. SPb., 2003: 199–200 (in Russian).

15. Kuleshov V.I., Sinkov A.P. Medical and technical support of diving and rescue of submariners. *Scientific and technical collection 40 GosNII. Issue 14*. Lomonosov; 1996: 29–35 (in Russian).

16. Kuleshov V.I. Extreme conditions and working capacity of seafarers. *Military-professional working capacity of fleet specialists in extreme conditions: MES. Doc. science.- prakt. Conf.* 11–12 October 1995. St. Petersburg.: VmedA; 1995: 3–5 (in Russian).

17. Meyerson F. Z. *Adaptation, stress and prophylactic*. Moscow; 1991 (in Russian).

18. Ermolaev E.S., Suvorov A.V., Shulgin Y.A., Goncharov A.A., Dyachenko A.I. Hardware-software complex for assessment of the system of regulation of breathing and the manner of its use. Patent RF No. 25501127. <http://www.findpatent.ru/patent/255/2550127.html> (in Russian).

19. Myznikov I.L. *Method of control over the functional state of seafarers. Diagnostic and physiological stress tests. Manual for medical doctors*. Murmansk: «North»; 2008. (in Russian).

20. Sokolov G.M., Smolin V.V., Dudkov M.D., Motasov G.P. *Medical support of divers*. M.: «Restart»; 2011 (in Russian).

21. Bukhtiyarov I.V., Zhbankova O.V., Yushkova O.I., Gusev V.B. New psychophysiological approaches applied in occupational selection of candidates for dangerous professions. *Мед. труда и пром. экол.* 2019; 3: 132–41 (in Russian).

22. Bukhtiyarov I.V., Denisov E.I., Lagutina G.N., Pfaf V.F., Chesalin P.V., Stepanyan I.V. Criteria and algorithms of workrelatedness assessment of workers health disorders. *Мед. труда и пром. экол.* 2018; 8: 4–12 (in Russian).

23. Bukhtiyarov I.V., Ivanov I.V., Sementsov V.N. Educational internet resources for doctors' training in diving medicine. *Мед. труда и пром. экол.* 2017; 3: 6–14 (in Russian).

Дата поступления / Received: 01.11.2019

Дата принятия к печати / Accepted: 02.12.2019

Дата публикации / Published: 16.12.2019