

МЕДИЦИНА / MEDICINE

Оригинальная статья | Original paper

DOI:

УДК 612.274 + 612.821



ВЛИЯНИЕ ГИПЕРОКСИЧЕСКИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ НА СОСТОЯНИЕ ФУНКЦИЙ ОРГАНИЗМА В УСЛОВИЯХ НИЗКОГОРЬЯ

З. М. Исрафилов¹ ✉, С. П. Колчанов² ✉, Д. В. Рыжилов³ ✉¹Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация²Военный институт (военно-морской политехнический) Военного учебно-научного центра Военно-Морского Флота «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация³Научно-исследовательский институт спасания и подводных технологий Военного учебно-научного центра Военно-Морского Флота «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация✉ warag05@mail.ru

Аннотация

Современные достижения в области технологии водолазного снаряжения и оборудования значительно расширили возможности выполнения исследования морских глубин. Лимитирующим фактором выполнения водолазных работ все чаще становится уровень функционального состояния и резервных возможностей организма человека. Данный аспект особенно актуален в контексте глубоководных спусков в автономном снаряжении с дыхательными аппаратами замкнутой схемы дыхания и электронным управлением, для которых в нашей стране только начинает формироваться необходимый опыт медицинского обеспечения. Цель исследования — оценить влияние гипероксических дыхательных газовых смесей на состояние функций организма человека в период выполнения водолазных работ в условиях низкогорья (на высотах до 1000 м). В рамках ретроспективного исследования было обследовано 12 участников, шестеро из которых — водолазы. В период двухнедельной экспедиции проводилось комплексное медико-биологическое исследование, направленное на оценку влияния глубоководных автономных водолазных спусков, выполненных методом кратковременных погружений, на состояние функций дыхательной, сердечно-сосудистой и центральной нервной системы организма человека. Кроме того, производилась оценка воздействия гипероксических дыхательных газовых смесей на адаптационные возможности организма человека. Установлено, что у водолазов после глубоководных автономных спусков, выполненных методом кратковременных погружений, отмечается достоверное снижение частоты сердечных сокращений в среднем на 14%, минутного объема кровообращения на 17% и значений индекса Робинсона на 10%. Кроме того, общее периферическое сопротивление сосудов увеличилось в среднем на 36%. Также выявлено снижение скорости мышления и скорости переработки информации в зрительном анализаторе у водолазов в период выполнения автономных глубоководных спусков. Авторы заключают, что использование гипероксических дыхательных смесей при выполнении водолазных работ сопровождается умеренными изменениями функций сердечно-сосудистой и центральной нервной системы, не снижает работоспособность водолазов и оказывает положительное влияние на их адаптацию к условиям низкогорья.

- Ключевые слова** Гипероксические дыхательные смеси, водолаз, адаптация, медицинское обеспечение водолазных спусков, ребризер, отравление кислородом, декомпрессионная болезнь.
- Для цитирования** *Исрафилов З. М., Колчанов С. П., Рыжилов Д. В.* Влияние гипероксических дыхательных газовых смесей на состояние функций организма в условиях низкогорья // Гидрокосмос. 2023. Т. 1, 1. № 1–2. С. 158–171. DOI: <https://doi.org/>

THE INFLUENCE OF HYPEROXIC BREATHING GAS MIXES ON THE STATE OF BODY FUNCTIONS IN LOW-MOUNTAIN CONDITIONS

Z. M. Israfilov¹ ✉, S. P. Kolchanov² ✉, D. V. Ryzhilov³ ✉

¹S. M. Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russian Federation

²Military Institute (Naval Polytechnic) of the Military Educational and Research Center of the Navy "N. G. Kuznetsov Naval Academy", St. Petersburg, Russian Federation

³Research Institute of Rescue and Underwater Technologies of the Military Educational and Research Center of the Navy "N. G. Kuznetsov Naval Academy", St. Petersburg, Russian Federation

✉ warag05@mail.ru

Abstract

Modern advances in diving equipment and technology have greatly expanded the possibilities of conducting deep-sea exploration. The functional condition and reserve capabilities of the human body are rapidly becoming a limiting factor in the execution of diving operations. This is especially significant in the context of deep-sea diving using autonomous equipment with closed-circuit breathing systems and electronic control, since our country is only now developing the necessary medical support experience. The study's goal is to assess the influence of hyperoxic respiratory gas mixtures on the state of human bodily functions during diving operations in low-mountain conditions (at altitudes up to 1000 m). The retrospective study involved 12 participants, six of whom were divers. During the two-week expedition, a comprehensive medical and biological study was conducted to assess the effect of deep-sea autonomous diving on the state of the human body's respiratory, cardiovascular, and central nervous systems using the short-term diving method. In addition, the impact of hyperoxic breathing gas mixes on the adaptive capabilities of the human organism was assessed. It was discovered that after deep-sea autonomous diving performed using the short-term dive approach, the divers experienced a significant reduction in heart rate by an average of 14%, minute volume by 17%, and Robinson index values by 10%. Additionally, overall peripheral vascular resistance increased by 36% on average. There was also a decrease in the speed of thinking and the speed of processing information in the visual system in divers during autonomous deep-sea dives. The authors conclude that using hyperoxic breathing mixes while diving causes moderate changes in the functions of the cardiovascular and central nervous systems, does not reduce diver efficiency, and has a positive effect on their adaptation to low-mountain conditions.

Keywords

Hyperoxic breathing mixes, diver, adaptation, medical support for diving operations, rebreather, oxygen poisoning, decompression sickness.

For citation

Israfilov, Z. M., S. P. Kolchanov, and D. V. Ryzhilov. "The Influence of Hyperoxic Breathing Gas Mixes on the State of Body Functions in Low-Mountain Conditions." *Hydrocosmos*, vol. 1, 1, no. 1–2, 2023, pp. 158–171. DOI: [https://doi.org/](https://doi.org/doi.org/) (In Russ.)

Введение

В процессе освоения морских глубин на протяжении столетий человек совершенствовал водолазное снаряжение¹. Современные достижения в области технологии водолазного снаряжения и оборудования позволили увеличить глубину спуска и длительность безопасного нахождения на ней. Сейчас эффективность выполнения водолазных работ определяется, прежде всего, уровнем функционального состояния и резервных возможностей организма человека². В процессе выполнения водолазных работ на организм человека воздействуют множество факторов, среди них повышенное давление газовой и водной среды, а также факторы, связанные с использованием водолазного снаряжения³. Кроме того, деятельность некоторых водолазов связана с работой в разных широтах, что требует адаптации к новым условиям внешней среды (высокие и низкие температуры окружающей среды, спуски в условиях с пониженным парциальным давлением кислорода во внешней среде, изменение биоритмов в разных климатических зонах). Данные факторы необходимо учитывать не только при непосредственном медицинском обеспечении водолазных спусков, но и в межспусковой период.

Водолазные аппараты с замкнутой схемой дыхания (ребризеры, от англ. re — приставка, означающая повторение какого-либо действия, и breath — дыхание), оснащенные электронными системами управления, работают по принципу очищения выдыхаемого газа от избыточного CO₂, обогащения его кислородом и повторной подачи на вдох⁴. Ребризеры

имеют ряд преимуществ по сравнению с другими видами водолазных дыхательных аппаратов, включая высокую мобильность и автономность, возможность работы с любого плавсредства вплоть до надувных лодок и подводных носителей, низкий расход газов, в том числе дорогостоящего гелия, обеспечение скрытности передвижений и значительное сокращение времени декомпрессии. Однако использование таких дыхательных аппаратов предъявляет высокие требования к профессиональной подготовке водолаза, при этом риск возникновения практически всех видов специфических заболеваний водолазов увеличивается. В частности, высокое парциальное давление кислорода (pO₂) или время его воздействия на организм может привести к развитию острой формы кислородного отравления⁵.

Предупреждение развития отравления кислородом в современных дыхательных аппаратах достигается путем поддержания заданного уровня парциального давления кислорода в дыхательном контуре на протяжении всего спуска. С учетом того, что токсическое воздействие кислорода является результатом его хроноконцентрационного действия, контроль дозы кислорода (pO₂, время воздействия) при выполнении медицинского обеспечения является необходимым условием для обеспечения безопасности водолазных спусков. Новые образцы водолазного снаряжения и современные технологии проведения водолазных спусков предъявляют повышенные требования к организму водолаза. Особенно это актуально в контексте глубоководных водолазных спусков в автономном снаряжении с использованием дыхательных аппаратов с замкнутой схемой дыхания и электронным управлением, для которых в нашей стране только начинает формироваться необходимый опыт медицинского обеспечения.

Цель исследования

Оценить влияние гипероксических дыхательных смесей на состояние функций организма человека в период выполнения водолазных работ в условиях низкогогорья (на высотах до 1000 м над уровнем моря).

¹ Смолин В. В., Соколов Г. М., Павлов Б. Н. Водолазные спуски и их медицинское обеспечение. М.: Слово, 2001. 693 с.

² Загрядский В. П. Методы исследования в физиологии труда. Л.: ВМА, 1991. 112 с.; Черкашин Д. В., Кутелев Г. Г., Ефимов С. В., Шуленин К. С., Чумаков А. В. Необходимость и обоснованность углубленного исследования системы кровообращения водолазов // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2015. № 3 (51). С. 45–48.

³ Жиронкин А. Г. Влияние повышенного парциального давления кислорода на организм человека и животных. Л.: Медицина, 1965. 190 с.; Поддубный С. К., Елохова Ю. А. Влияние занятий дайвингом на сердечно-сосудистую систему человека // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. С. 737; Яхонтов Б. О. Физиологические факторы, лимитирующие глубину водолазных погружений // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 7. С. 23–30.

⁴ Смолин В. В., Соколов Г. М., Павлов Б. Н. Водолазные спуски и их медицинское обеспечение. М.: Слово, 2001. 693 с.

⁵ Clark J. M. Pulmonary Limits of Oxygen Tolerance in Man // Exp. Lung Res. 1988. Vol. 14. P. 897–910. DOI:10.3109/01902148809064182; Arieli R., Arieli Y., Daskalovic Y., Eynan M., Abramovich A. CNS Oxygen Toxicity in Closed-Circuit Diving: Signs and Symptoms before Loss of Consciousness // Aviation Space and Environmental Medicine. 2006. Vol. 77, № 11. P. 1153–1157.



Рис. 1. Подготовка водолазов к автономному глубоководному спуску на 100 м. Из архива авторов

Материал и методы исследования

В исследовании участвовали 6 водолазов (группа I) Центра подводных исследований Русского географического общества в возрасте от 31 до 49 лет (средний возраст — 33,5 [21–45] лет), имеющих стаж работы по специальности от 9 до 20 лет и суммарное время пребывания под повышенным давлением газовой и водной среды от 470 до 4260 ч, и 6 человек обеспечивающих водолазные спуски (группа II) в возрасте от 28 до 44 лет (средний возраст 35 [30–38] лет). Экспериментальные спуски проводились на озере Церик-Кель (Голубое озеро), находящемся на высоте 809 метров над уровнем моря в республике Кабардино-Балкария (см. рис. 1). В среднем атмосферное давление на этой высоте составляет около 89% от давления на уровне моря, то есть примерно 903 гектопаскаля или 681 миллиметр ртутного столба. Однако точное значение давления на данной высоте может варьироваться в зависимости от метеорологических условий. Температура воды в озере на протяжении всего года от +8 до +9 °С, температура воздуха в период проведения экспедиции от –5 до +10 °С.

Перед проведением исследований были получены информированные согласия на участие в научно-исследовательской работе и оформлены карты медико-физиологических исследований.

Непосредственно у места проведения водолазных спусков располагались палатка

медицинского обеспечения и водолазная барокамера «1800 OFFSHORE», готовая к немедленному использованию.

В ходе проведения исследований решены следующие задачи:

1. Оценка влияния глубоководных водолазных спусков, выполненных методом кратковременных погружений в снаряжении, включающем дыхательные аппараты с замкнутой схемой дыхания и электронным управлением, на состояние функций дыхательной, сердечно-сосудистой и центральной нервной системы организма водолаза.

2. Определение оптимальной дыхательной газовой смеси и режима декомпрессии для последующих глубоководных исследований и водолазных работ.

3. Изучение влияния гипероксических дыхательных газовых смесей на адаптационные возможности организма человека к условиям работы в низкогорье.

Для решения поставленных задач группой водолазов ЦПИ РГО в течение двух недель было выполнено шесть автономных глубоководных спусков методом кратковременных погружений на глубины от 60 до 100 метров (см. табл. 1) с использованием дыхательных аппаратов с замкнутой схемой дыхания и электронным управлением JJ CCR (Closed Circuit Rebreather) датской компании JJ CCR.

Табл. 1. Характеристики спусков

№ спуска	Количество водолазов	Глубина спуска, м (МПа)	Экспозиция на грунте, мин	Общее время спуска, мин	Компоненты для формирования ДГС	Градиент-фактор
1	6	60 (0,7)	20	67	O ₂ , 10 % КАГС	30/70
2	6	80 (0,9)	20	108	O ₂ , 10 % КАГС	30/70
3	6	100 (1,1)	20	142	O ₂ , 10 % КАГС	30/70
4	4	100 (1,1)	20	120	O ₂ , 10 % КАГС	45/85
5	4	100 (1,1)	20	166	O ₂ , 7 % КАГС	30/70
6	4	100 (1,1)	20	152	O ₂ , 7 % КАГС	45/85

Для формирования дыхательной газовой смеси (ДГС) использовались кислород, 10% кислородно-азотно-гелиевая смесь (10% кислорода, 40% азота, 50% гелия) и 7% кислородно-азотно-гелиевая смесь (7% кислорода, 26% азота, 67% гелия) с поддержанием уровня рО₂ 70 кПа при переходе с поверхности на рабочую глубину, 130 кПа при нахождении на глубине и прохождении декомпрессии до глубины 6 метров, 160 кПа с глубины 6 метров до выхода на поверхность. Декомпрессия осуществлялась на основании декомпрессионных расчетов программного обеспечения декомпрессионных программ, интегрированных в дыхательные аппараты JJ CCR и использующих алгоритм Buhlmann ZHL 16c, градиент-факторная модель. При расчете режима декомпрессии учитывался фактор нахождения водолазов в районе с пониженным атмосферным давлением, что является важным параметром, влияющим на безопасность и эффективность подводных работ.

Градиент-факторная модель (GF) — это гибкий алгоритм для расчета погружений с использованием различных искусственных дыхательных газовых смесей. Значение M-value в алгоритме Бульмана определяет максимальное напряжение инертного газа в группе тканей. В процессе декомпрессии достигается глубина, на которой парциальное давление газа, поступающего на дыхание, будет ниже, чем давление этого же газа, накопившегося в тканях организма водолаза. GF-модель устанавливает аргументированные

глубокие остановки в зависимости от уровня насыщения тканей и используемых смесей. Два параметра GF обычно записываются как «нижний GF%/верхний GF%». Если установить GF 100/100, получится алгоритм Бульмана в чистом виде, без каких-либо глубоких остановок, при GF 0/0 время декомпрессии стремится к бесконечности⁶.

В экспериментальных спусках использовались GF 30/70 и GF 45/85, уровень консерватизма в которых составляет 30 и 15% соответственно (уровень консерватизма равен разнице между 100 и величиной высокого градиент-фактора). К примеру, в GF 30/70 цифра 30 означает, что первая остановка будет на тридцати процентах теоретического расстояния от точки пересыщения до значения M-value, а цифра 70 означает, что компьютер рассчитает режим декомпрессии таким образом, чтобы давление инертного газа во всех тканях было ниже 70% от значения M-value, т.е. фактически до критического напряжения газа в тканях остается 30%. Все промежуточные остановки находятся в интервале между 30 и 70%.

⁶ Отчет о научно-исследовательской работе «Оценка динамики функционального состояния организма водолаза в процессе экспериментального водолазного спуска в автономном режиме с использованием современного высокотехнологического водолазного снаряжения и оптимизацией расчета декомпрессионных режимов на основе компьютерных программ». СПб: ЦПИ РГО, 2020. 135 с.

В первые двое суток после прибытия к месту выполнения водолазных работ и за сутки перед убытием в пункт постоянной дислокации (на 14-е сутки экспедиции) водолазы и контрольная группа прошли комплексное обследование с использованием компьютерных, аппаратных и бланковых методик. Для оценки состояния сердечно-сосудистой системы (ССС) испытуемых применялись такие показатели как частота сердечных сокращений (ЧСС), систолическое (САД) и диастолическое (ДАД) артериальное давление, пульсовое давление (ПАД), ударный объем сердца (УОС), рассчитанный по формуле Старра, минутный объем кровообращения (МОК), общее периферическое сопротивление сосудов (ОПС), индекс Робинсона (ИР) и вегетативный индекс Кердо (ИК)⁷.

Для оценки физиологической адаптации водолазов к климатогеографическим условиям погружений, прежде всего, к пониженному атмосферному давлению окружающей среды, низким температурам воды и воздуха, им была проведена оценка индекса функциональных изменений (ИФН) и адаптационного потенциала (АП) сердечно-сосудистой системы⁸, которая является центральным звеном адаптации организма к изменяющимся условиям внешней среды.

Адаптационный потенциал был рассчитан по формуле:

$$АП = 0,011 \times ЧСС + 0,014 \times САД + 0,008 \times ДАД + 0,014 \times В + 0,09 \times МТ - 0,009 \times ДТ - 0,27$$

где В — возраст, годы;

МТ — масса тела, кг;

ДТ — длина тела, см;

САД — систолическое АД, мм рт. ст.;

ДАД — диастолическое АД, мм рт. ст.;

ЧСС — частота сердечных сокращений, уд/мин.

Оценку уровня физической работоспособности и резервных возможностей сердечно-сосудистой системы проводили при помощи пробы с дозированной физической нагрузкой

⁷ Азимок О. П., Минковская З. Г., Хорошко С. А. Уровень функционального состояния сердечно-сосудистой и вегетативной нервной систем с использованием индексов Робинсона и Кердо // Актуальные проблемы медицины: сб. науч. ст. Респ. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Гомель, 11 нояб. 2021 г. : в 3 т. Гомель, Гомельский гос. мед. ун-т, 2021. Т. 2. С. 94–97.

⁸ Мызников И. Л. Методика контроля за функциональным состоянием моряков. Диагностические индексы и физиологические нагрузочные тесты. Мурманск: Север, 2008. 127 с

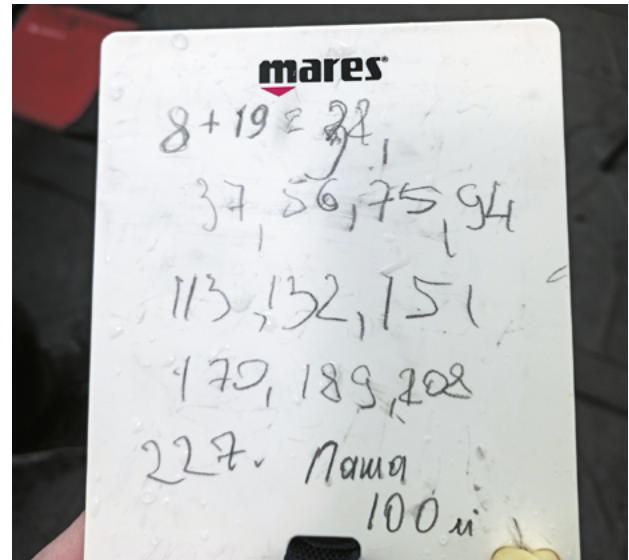


Рис. 2. Планшет с результатами методики «Сложение в уме», выполненной на глубине 100 м. Из архива авторов

(модификация пробы Руфье⁹). Результаты оценивались на основе двух показателей: реакции сердечно-сосудистой системы на нагрузку (уровня повышения частоты сердечных сокращений, зарегистрированного в первые 15 секунд после нагрузки) и уровня восстановления частоты сердечных сокращений в период трехминутного отдыха.

Оценку состояния функций дыхательной системы производили с помощью портативного микропроцессорного спирографа СМП 21/01 по 33 показателям и пробы Генча (проба с максимальной задержкой дыхания после выдоха). Показатели состояния функций вегетативной и центральной нервной системы оценивали при помощи устройства психофизиологического тестирования УПФТ 1/30-«Психофизиолог» по методикам вариационной кардиоинтервалометрии (ВКМ) и простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР), бланковых методик исследования внимания и мышления («Корректирующая проба с кольцами Ландольта», «Сложение в уме») и личностных опросников Стеляу, Спилбергера-Ханина и САН. Кроме этого, оценка скорости мышления у водолазов проводилась во время их нахождения на максимальной глубине спуска (см. рис. 2).

⁹ Зверев Д. П., Israfilov Z. M., Мясников А. А., Шитов А. Ю., Чернов В. И. Исследование состояния функций организма водолазов с различной устойчивостью к токсическому действию кислорода: проспективное когортное исследование // Морская Медицина. 2022. Т. 8, № 3. С. 30–39. DOI: 10.22328/2413-5747-2022-8-3-30-39

До и после каждого спуска у водолазов проводили опрос жалоб и комплекс методик исследования, состоявшего из: регистрации ЧСС, АД, латентного периода ПЗМР, ВКМ, выполнения спирографии, пробы Генча, бланковых методик «Корректирующая проба с кольцами Ландольта» и «Сложение в уме».

Непосредственно после окончания спуска у водолазов дополнительно проводили оценку уровня внутрисосудистого декомпрессионного газообразования (см. рис. 3) с помощью ультразвукового исследования на основе трансторакальной двухмерной эхокардиографии¹⁰. Оценку результатов проводили по расширенной шкале Эфтедаля-Брубакка¹¹ в баллах.

Интерпретация результатов осуществлялась следующим образом: 0 баллов — нет газовых пузырьков (ГП) в поле зрения; I балл — редкие ГП; II балла — один ГП на каждые 4 сердечных сокращения; III балла — один ГП при каждом сердечном сокращении; IVa балла — один ГП на см²; IVb балла — не менее трех ГП на см²; IVc балла — множество ГП, различимых между собой; V баллов — группа неразличимых между собой ГП (белый мрак).

Статистический анализ выполняли с использованием пакета прикладных программ Statistica for Windows 10.0. Описание исследуемых параметров в группах и оценка значимости различия количественных показателей полученных данных проводились методами корреляционного, регрессионного и дисперсионного анализа¹². Результаты методов обработки данных представлены в виде медианы и интерквартильного размаха — Me [Q25%; Q75%].

Результаты и их обсуждение

При анализе показателей состояния сердечно-сосудистой системы водолазов

¹⁰ Зверев Д. П., Бычков С. А., Мясников А. А., Ярков А. М., Хаустов А. Б., Кленков И. Р., Фокин С. Г. Возможности ультразвуковых способов в диагностике декомпрессионной болезни // Морская Медицина. 2022. Т. 7, № 4. С. 75–83. DOI: 10.22328/2413-5747-2021-7-4-75-83

¹¹ Møllerlækken A., Blogg S. L., Doolette D. J., Nishi R. Y., Pollock N. W. Consensus guidelines for the use of ultrasound for diving research // Diving Hyperbaric Medicine. 2016. Vol. 46. № 1. P. 26–32.

¹² Зубов Н. Н., Кувакин В. И., Умаров С. З. Биомедицинская статистика: информационные технологии анализа данных в медицине и фармации. Биомедицинская статистика. М.: Изд-во «КноРус», 2021. 466 с.



Рис. 3. Оценка уровня внутрисосудистого декомпрессионного газообразования у водолаза. Из архива авторов

(см табл. 2) выявлены следующие изменения: после окончания спусков отмечается достоверное снижение частоты сердечных сокращений в среднем на 14% ($p < 0,05$), минутного объема кровообращения на 17% ($p < 0,05$) и значений индекса Робинсона на 10% ($p < 0,05$). Общее периферическое сопротивление сосудов увеличивалось в среднем на 36% ($p < 0,05$). Значения САД после окончания спусков оставались практически на исходном уровне, в то время как в значениях ДАД наблюдалась тенденция роста. Значения показателей вегетативного индекса Кердо у водолазов перед спусками указывали на преобладание влияния парасимпатического звена регуляции сердечной деятельности, которое значительно усиливалось в период работы под водой. Эти данные дополнительно подтверждались результатами временного анализа ВКМ. Выявленные изменения соответствуют гиперфункции сердца по изометрическому типу и могут рассматриваться как способ адаптации к многократным водолазным спускам. При выполнении пробы Генча среднее время задержки дыхания после окончания спусков увеличилось на 9% ($p < 0,05$) по сравнению с исходными показателями.

Необходимо отметить, что выявленные изменения в большей степени были выражены после спусков с использованием декомпрессионной модели GF 30/70, независимо от состава дыхательной газовой смеси. При использовании режима декомпрессии GF 45/85 водолазы

Табл. 2. Динамика показателей состояния функций сердечно-сосудистой системы водолазов (n=6) в период проведения автономных глубоководных водолазных спусков методом кратковременных погружений, Me [Q25%; Q75%]

Глубина спуска, м	60		80		100		100		100				
	Перед спуском	После спуска	Перед спуском	После спуска	Перед спуском	После спуска	Перед спуском	После спуска	Перед спуском	После спуска			
Компоненты ДГС, GF	O ₂ , 10 % КАГС, GF 30/70		O ₂ , 10 % КАГС, GF 30/70		O ₂ , 10 % КАГС, GF 30/70		O ₂ , 10 % КАГС, GF 45/85		O ₂ , 7 % КАГС, GF 30/70				
Показатели	ЧСС, уд/мин	83 [69; 84]	71 [69; 72]*	76 [70; 85]	64 [64; 68]*	83 [80; 97]	75 [70; 75]*	79 [70; 85]	62 [59; 70]*	71 [68; 85]	61 [59; 63]*	74 [73; 85]	65 [60; 75]*
	САД, мм рт. ст	128 [122; 130]	128 [128; 139]	130 [124; 134]	134 [126; 136]	130 [127; 131]	130 [120; 135]	127 [123; 128]	130 [121; 133]	130 [128; 131]	128 [121; 135]	133 [129; 134]	140 [135; 140]
	ДАД, мм рт. ст	78 [75; 86]	83 [81; 89]	81 [75; 86]	82 [80; 92]	87 [82; 88]	91 [84; 94]	81 [75; 82]	84 [80; 90]	79 [67; 90]	84 [75; 95]	86 [77; 88]	85 [75; 95]
	ПАД, мм рт. ст	46 [44; 50]	47 [44; 53]	48 [45; 50]	42 [42; 46]	43 [40; 47]	42 [26; 51]	45 [42; 47]	41 [39; 49]	42 [40; 52]	44 [35; 50]	44 [41; 55]	50 [45; 60]
	УОС, мл	51 [38; 54]	49 [30; 57]*	45 [42; 55]	40 [30; 51]	45 [37; 46]	39 [34; 47]	46 [46; 52]	40 [37; 48]	46 [40; 56]	37 [37; 53]*	44 [35; 58]	47 [40; 59]
	МОК, мл	4124 [3176; 4253]	2751 [2055; 3467]*	3412 [3382; 3585]	2710 [1885; 4165]*	3548 [3056; 3993]	2811 [2794; 3971]*	3249 [2915; 3644]	2910 [2220; 3374]*	3276 [2715; 4038]	2335 [2271; 3674]*	3194 [2775; 3967]	3666 [2585; 3942]
	ОПС	1,76 [1,69; 2,54]	2,69 [2,23; 3,93]*	2,37 [2,04; 2,5]	3,13 [1,75; 3,87]*	2,31 [1,95; 2,49]	2,96 [1,91; 3,16]*	2,27 [2,08; 2,47]	2,53 [2,38; 3,38]*	1,95 [1,73; 3,04]	3,05 [1,85; 3,71]*	2,58 [1,84; 3,07]	2,09 [1,91; 3,4]
	ИК, у. е.	-3,61 [-5,9; 10,7]	-29 [-44,4; -14]*	-10 [-13,2; -4,7]	-28 [-35; -13,3]*	-1,3 [-6; 9,3]	-25,3 [-28,6; -15]*	-5,9 [-7; -2,5]	-35,6 [-52; -20]*	-9,8 [-11,8; 7]	-22,9 [-51; -18,2]*	-16,2 [-16,7; -9,4]	-25 [-46,2; 3,2]
	ИР, у. е.	100 [95; 108]	91 [86; 106]*	99 [86; 114]	91 [82; 92]*	112 [104; 127]	91 [90; 109]*	97 [89; 111]	84 [71; 93]*	88 [78; 115]	85 [69; 86]*	97 [95; 114]	91 [90; 105]

Примеч.: * — различия значимы по сравнению с данными «Перед спуском», (p < 0,05)

отмечали ухудшение субъективного состояния, которое проявлялось чувством усталости, слабости, апатии.

Непосредственно после окончания спусков средний уровень внутрисосудистого декомпрессионного газообразования (ВДГ) у водолазов составлял 3 балла без нагрузки, 3–4а балла — с нагрузкой (по расширенной шкале Эфтедаля и Брубакка)¹³. Через 2 часа уровень ВДГ снижался до 1 и 2 баллов соответственно.

Анализ результатов методики «Корректирующая проба с кольцами Ландольта» выявил снижение скорости переработки информации в зрительном анализаторе в среднем на 5,2% ($p < 0,05$) после спуска на глубину 60 метров и 19% ($p < 0,05$) после спусков на 80 и 100 метров. Достоверных изменений скорости мышления при выполнении арифметического теста «Сложение в уме» до и после спусков не выявлено. При выполнении данного теста в период нахождения на глубине, у водолазов было выявлено снижение скорости мышления на 35 и 40% ($p < 0,05$) при первом и втором спусках на глубину 100 метров соответственно.

Выявленные изменения когнитивных функций в период нахождения водолазов под водой связаны с начальными проявлениями токсического действия азота¹⁴. Это объясняется тем, что при использовании замкнутого цикла дыхания с 10% КАГС в контуре аппарата парциальное давление азота достигает около 340 кПа на глубине 80 м и 420 кПа на глубине 100 м, что эквивалентно воздушным глубинам 33 и 43 м соответственно. Среднее время ответной реакции перед спусками, полученное с помощью теста ПЗМР, было в диапазоне от 201 до 227 мс, а среднеквадратическое отклонение времени реакции 30–50 мс соответствовало среднему уровню стабильности реакции. После окончания спусков среднее время ответной реакции изменялось в пределах 4%.

Расчет дозы гипербарической кислородной нагрузки на водолазов производили по методике ЕДИЛ (единичная доза интоксикации легких)¹⁵. Установлено, что первые признаки токсического действия кислорода (снижение ЖЕЛ на 2%) проявляются при значении ЕДИЛ, равном 615 единицам¹⁶. Суммарная доза ЕДИЛ в серии наших экспериментальных спусков составляла от 111,4 до 252,6 ед.

В процессе профессиональной деятельности у водолазов формируется кардиогемодинамический стереотип¹⁷, характеризующийся брадикардией, сниженным ударным объемом, повышенным диастолическим давлением и высоким периферическим сопротивлением сосудов. В ходе анализа исходных показателей сердечно-сосудистой системы у испытуемых (см. табл. 3) было выявлено, что ЧСС у водолазов была выше на 8,5%, ДАД на 9,5%, а МОК на 12% по сравнению с контрольной группой. Общее периферическое сопротивление сосудов у водолазов было на 4,5% ниже, чем у участников контрольной группы. Вероятно, такие отклонения могут быть связаны с повышенным психо-эмоциональным напряжением у водолазов перед сложными работами, что проявлялось в виде так называемой стартовой реакции.

В первой группе к концу экспедиции наблюдалось снижение МОК на 7,2% по сравнению с исходными показателями.

Во время проведения теста с дозированной физической нагрузкой оценивались первоначальная реакция сердечно-сосудистой системы и время восстановления. Изначально уровень роста ЧСС в ответ на физическую нагрузку составлял 50% в первой группе испытуемых и 46% во второй. К концу третьей минуты отдыха уровень ЧСС в обеих группах возвращался к исходному уровню. Несмотря на более интенсивную физическую нагрузку, которой подвергались водолазы, к концу экспедиции у них отмечался уровень роста ЧСС после нагрузки в пределах 45%, а восстановление происходило уже на второй

¹³ Зверев Д. П., Бычков С. А., Мясников А. А., Ярко А. М., Хаустов А. Б., Кленков И. Р., Фокин С. Г. Возможности ультразвуковых способов в диагностике декомпрессионной болезни // Морская Медицина. 2022. Т. 7, № 4. С. 75–83. DOI: 10.22328/2413-5747-2021-7-4-75-83

¹⁴ Кленков И. Р. Физиологическое обоснование повышения устойчивости организма человека к действию высоких парциальных давлений азота: дис. ... канд. мед. наук. СПб., 2020. 174 с.

¹⁵ Bardin H. A. Unit Pulmonary Toxicity Dose (UPTD) // Institute for Environmental Medicine report. Philadelphia: University of Pennsylvania. 2004. P. 135–177.

¹⁶ Нессиро Б. А. Физиологические основы декомпрессии водолазов-глубоководников. СПб.: Золотой век, 2002. 448 с.

¹⁷ Мирошников Е. Г. Сердечно-сосудистая система водолазов // Вестник Дальневосточного отделения РАН. 2005. № 1. С. 83–90.

Табл. 3. Динамика показателей состояния сердечно-сосудистой и дыхательной систем у обследуемых в период экспедиции, Me [Q25%; Q75%]

Показатели	Группа I (n=6)		Группа II (n=6)	
	Исходные данные	В конце экспедиции	Исходные данные	В конце экспедиции
ЧСС, уд/мин	82 [78; 86]	88 [80; 91]*	75 [66; 78]	79 [69; 83]
САД, мм рт. ст	130 [127; 137]	125 [124; 128]	124 [116; 136]	130 [126; 133]
ДАД, мм рт. ст	84 [78; 89]	83 [77; 88]	76 [67; 86]	80 [76; 86]
ПАД, мм рт. ст	49 [41; 56]	45 [35; 55]	49 [45; 52]	50 [44; 54]
УОС, мл	48 [39; 54]	44 [39; 57]	50 [47; 57]	50 [44; 53]
МОК, мл	3939 [2988; 4347]	3656 [3108; 4440]	3521 [3186; 4237]	3545 [2918; 4164]
ОПС	2091 [1721; 2523]	2129 [1721; 2500]	2184 [1592; 2453]	2106 [1856; 2659]
ИР, у. е.	108 [98; 120]	102 [96; 111]	93 [73; 100]	101 [78; 111]
ИК, %	-6,85 [-14; 6]	0 [-6; 8]*	-5,15 [-25; 13]	-9,6 [-32; 5]*
Проба Генча, с	51 [36; 71]	58 [45; 79]*	46 [37; 70]	49 [30; 81]

Примеч.: * — различия значимы по сравнению с исходными данными, $p < 0,05$

минуте отдыха. В контрольной группе ЧСС после нагрузки возросла на 54%, а восстановление не отличалось от исходного уровня.

Преобладающее влияние парасимпатического звена регуляции сердечной деятельности, наблюдавшееся в начале экспедиции в обеих группах, к концу экспедиции в первой группе сменилось установлением вегетативного баланса, в то время как в контрольной группе парасимпатическое влияние увеличилось.

Анализ данных спирографии не выявил отклонений от нормальных значений в показателях функций внешнего дыхания в обеих обследуемых группах, в том числе при регистрации показателей до и после спусков.

Анализ результатов пробы Генча показал достоверное увеличение времени задержки дыхания на 14% в первой группе к концу экспедиции.

Достоверных изменений в скорости переработки информации в зрительном анализаторе обследуемых не выявлено. Скорость мышления при выполнении теста «Сложение в уме» в первой группе к концу экспедиции увеличилась на 18% ($p < 0,05$) по сравнению с исходными значениями. Данные результаты, вероятно, связаны с тренировкой, так как первая группа выполняла эти методики как во время подготовки к спускам, так и после их окончания, в то время как контрольная группа выполняла эти методики только в первый и последний дни экспедиции. Среднее время ответной реакции в тесте ПЗМР у испытуемых находилось в пределах 212–257 мс, что соответствует среднему уровню реакции, а среднеквадратическое отклонение времени реакции 30–50 мс соответствовало среднему уровню стабильности этих реакций. В психофизиологическом статусе обеих групп на протяжении всей экспедиции наблюдалась уравновешенность процессов внутреннего возбуждения и торможения.

Уровни ситуативной и личностной тревожности в первой группе снизились на 8 и 24% соответственно ($p < 0,05$), а активность (методика САН) на 5% ($p < 0,05$) по сравнению с исходными показателями. В контрольной группе достоверных изменений не выявлено. Полученные данные согласуются с результатами исследований других авторов¹⁸.

В ходе оценки адаптационного потенциала сердечно-сосудистой системы и индекса функциональных изменений были получены следующие результаты. Перед началом экспериментальных спусков группа I демонстрировала значение АП в 2,9 [2,74; 3,13] балла, а индекс ИФИ указывал на первичные физиологические изменения. Группа II, в свою очередь, имела значение АП в 2,5 [2,3; 2,6] балла, а ИФИ указывал на нормальное функционирование организма. К концу экспедиции значение АП у группы I снизилось до 2,7 [2,6; 2,9] балла, а ИФИ отражал нормальное функционирование организма. В группе II значения АП и ИФИ сохранялись на прежнем уровне.

¹⁸ Зверев Д. П., Кленков И. Р., Мясников А. А., Фатеев И. В., Бычков С. А., Мавренков Э. М., Ветряков О. В., Миннуллин Т. И. Влияние подводных работ на функции внимания, мышления, тонкую мышечную координацию и субъективную оценку состояния организма водолазов // Медицина труда и промышленная экология. 2022. Т. 62, № 7. С. 437–443. DOI:10.31089/1026-9428-2022-62-7-437-443; Зверев Д. П., Хаустов А. Б., Рыжилов Д. В., Фокин С. Г., Мясников А. А., Андрусенко А. Н., Томшинский М. Я., Мясников А. А. Опыт медицинского обеспечения автономных водолазных спусков в снаряжении открытого и закрытого типа с использованием искусственных дыхательных газовых смесей // Военно-Медицинский Журнал. 2021. Т. 342, № 1. С. 60–67. DOI:10.17816/RMMJ82536; Отчет о научно-исследовательской работе «Оценка динамики функционального состояния организма водолаза в процессе экспериментального водолазного спуска в автономном режиме с использованием современного высокотехнологичного водолазного снаряжения и оптимизацией расчета декомпрессионных режимов на основе компьютерных программ». СПб: ЦПИ РГО, 2020. 135 с.; Ярков А. М. Ребризер и алгоритм Бульмана, или Глубоководные спуски без ГВК // Нептун XXI Век. 2020. № 6. С. 96–102.

Исходя из представленных данных, можно заключить, что на протяжении 14 суток экспедиции у испытуемых обеих групп наблюдалось напряжение механизмов адаптации.

Заключение

В результате проведенного исследования было установлено, что автономные водолазные спуски с использованием дыхательных аппаратов с замкнутой схемой дыхания и электронным управлением имеют при одинаковом времени нахождения на глубине значительно меньшее время декомпрессии по сравнению с действующими режимами на Военно-Морском Флоте России¹⁹. Анализ результатов ультразвукового исследования в динамике показал, что через 2 часа после окончания спуска уровень внутрисосудистого декомпрессионного газообразования уменьшается до значений, свидетельствующих о низком риске развития декомпрессионной болезни²⁰. Это подтверждает безопасность методики проведения глубоководных водолазных спусков, разработанной специалистами ЦПИ РГО.

Применение гипероксических дыхательных газовых смесей сопровождается умеренными изменениями функций сердечно-сосудистой и центральной нервной систем, не приводящими к снижению работоспособности водолазов, и положительно сказывается на физиологической адаптации к работе в условиях низкогогорья.

¹⁹ Правила водолазной службы Военно-Морского Флота (ПВС ВМФ 2002). М.: Военное изд-во, 2004. Ч. III: Организация глубоководных водолазных спусков. Правила безопасности при их проведении. Медицинское обеспечение глубоководных водолазных спусков. 199 с.

²⁰ Мясников А. А., Ефиценко Е. В., Зверев Д. П., Кленков И. Р. Хроническая декомпрессионная болезнь и ее диагностика // Вестник Российской Военно-Медицинской Академии. 2018. № 4 (64). С. 26–31. DOI: 10.17816/bmm12243

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азимок О. П., Минковская З. Г., Хорошко С. А. Уровень функционального состояния сердечно-сосудистой и вегетативной нервной систем с использованием индексов Робинсона и Кердо // Актуальные проблемы медицины: сб. науч. ст. Респ. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Гомель, 11 нояб. 2021 г.: в 3 т. Гомель, Гомельский гос. мед. ун-т, 2021. Т. 2. С. 94–97.
2. Жиронкин А. Г. Влияние повышенного парциального давления кислорода на организм человека и животных. Л.: Медицина, 1965. 190 с.
3. Загрядский В. П. Методы исследования в физиологии труда. Л.: ВМА, 1991. 112 с.
4. Зверев Д. П., Бычков С. А., Мясников А. А., Ярков А. М., Хаустов А. Б., Кленков И. Р., Фокин С. Г. Возможности ультразвуковых способов в диагностике декомпрессионной болезни // Морская Медицина. 2022. Т. 7, № 4. С. 75–83. DOI: 10.22328/2413-5747-2021-7-4-75-83

5. Зверев Д. П., Исрафилов З. М., Мясников А. А., Шитов А. Ю., Чернов В. И. Исследование состояния функций организма водолазов с различной устойчивостью к токсическому действию кислорода: проспективное когортное исследование // *Морская Медицина*. 2022. Т. 8, № 3. С. 30–39. DOI: [10.22328/2413-5747-2022-8-3-30-39](https://doi.org/10.22328/2413-5747-2022-8-3-30-39)
6. Зверев Д. П., Кленков И. Р., Мясников А. А., Фатеев И. В., Бычков С. А., Мавренков Э. М., Ветряков О. В., Миннуллин Т. И. Влияние подводных работ на функции внимания, мышления, тонкую мышечную координацию и субъективную оценку состояния организма водолазов // *Медицина труда и промышленная экология*. 2022. Т. 62, № 7. С. 437–443. DOI: [10.31089/1026-9428-2022-62-7-437-443](https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-7-437-443)
7. Зверев Д. П., Хаустов А. Б., Рыжилов Д. В., Фокин С. Г., Мясников А. А., Андрусенко А. Н., Томшинский М. Я., Мясников А. А. Опыт медицинского обеспечения автономных водолазных спусков в снаряжении открытого и закрытого типа с использованием искусственных дыхательных газовых смесей // *Военно-Медицинский Журнал*. 2021. Т. 342, № 1. С. 60–67. DOI: [10.17816/RMMJ82536](https://doi.org/10.17816/RMMJ82536)
8. Зубов Н. Н., Кувакин В. И., Умаров С. З. Биомедицинская статистика: информационные технологии анализа данных в медицине и фармации. Биомедицинская статистика. М.: Изд-во «КноРус», 2021. 466 с.
9. Кленков И. Р. Физиологическое обоснование повышения устойчивости организма человека к действию высоких парциальных давлений азота: дис. ... канд. мед. наук. СПб., 2020. 174 с.
10. Мирошников Е. Г. Сердечно-сосудистая система водолазов // *Вестник Дальневосточного отделения РАН*. 2005. № 1. С. 83–90.
11. Мызников И. Л. Методика контроля за функциональным состоянием моряков. Диагностические индексы и физиологические нагрузочные тесты. Мурманск: Север, 2008. 127 с.
12. Мясников А. А., Ефиценко Е. В., Зверев Д. П., Кленков И. Р. Хроническая декомпрессионная болезнь и ее диагностика // *Вестник Российской Военно-Медицинской Академии*. 2018. № 4 (64). С. 26–31. DOI: [10.17816/brmma12243](https://doi.org/10.17816/brmma12243)
13. Нессирио Б. А. Физиологические основы декомпрессии водолазов-глубоководников. СПб.: Золотой век, 2002. 448 с.
14. Отчет о научно-исследовательской работе «Оценка динамики функционального состояния организма водолаза в процессе экспериментального водолазного спуска в автономном режиме с использованием современного высокотехнологичного водолазного снаряжения и оптимизацией расчета декомпрессионных режимов на основе компьютерных программ». СПб: ЦПИ РГО, 2020. 135 с.
15. Поддубный С. К., Елохова Ю. А. Влияние занятий дайвингом на сердечно-сосудистую систему человека // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 6. С. 737.
16. Правила водолазной службы Военно-Морского Флота (ПВС ВМФ 2002). М.: Военное изд-во, 2004. Ч. III: Организация глубоководных водолазных спусков. Правила безопасности при их проведении. Медицинское обеспечение глубоководных водолазных спусков. 199 с.
17. Смолин В. В., Соколов Г. М., Павлов Б. Н. Водолазные спуски и их медицинское обеспечение. М.: Слово, 2001. 693 с.
18. Черкашин Д. В., Кутелев Г. Г., Ефимов С. В., Шуленин К. С., Чумаков А. В. Необходимость и обоснованность углубленного исследования системы кровообращения водолазов // *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2015. № 3 (51). С. 45–48.
19. Ярков А. М. Ребризер и алгоритм Бульмана, или Глубоководные спуски без ГВК // *Нептун XXI Век*. 2020. № 6. С. 96–102.
20. Яхонтов Б. О. Физиологические факторы, лимитирующие глубину водолазных погружений // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2019. № 7. С. 23–30.
21. Arieli R., Arieli Y., Daskalovic Y., Eynan M., Abramovich A. CNS Oxygen Toxicity in Closed-Circuit Diving: Signs and Symptoms before Loss of Consciousness // *Aviation Space and Environmental Medicine*. 2006. Vol. 77, № 11. P. 1153–1157.
22. Bardin H. A. Unit Pulmonary Toxicity Dose (UPTD) // *Institute for Environmental Medicine report*. Philadelphia: University of Pennsylvania. 2004. P. 135–177.
23. Clark J. M. Pulmonary Limits of Oxygen Tolerance in Man // *Exp. Lung Res*. 1988. Vol. 14. P. 897–910. DOI: [10.3109/01902148809064182](https://doi.org/10.3109/01902148809064182)
24. Møllerlækken A., Blogg S. L., Doolette D. J., Nishi R. Y., Pollock N. W. Consensus guidelines for the use of ultrasound for diving research // *Diving Hyperbaric Medicine*. 2016. Vol. 46. № 1. P. 26–32.

REFERENCES

1. Azimok, O. P., Z. G. Minkovskaya, and S. A. Xoroshko. "Uroven' funkcional'nogo sostoyaniya serdechno-sosudistoj i vegetativnoj nervnoj sistem s ispol'zovaniem indeksov Robinsona i Kerdo" ["The Level of the Functional State of the Cardiovascular and Autonomic Nervous Systems Using the Robinson and Kerdo Indices"]. *Aktual'nye problemy mediciny: sbornik nauchnykh statej Respublikanskoj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Gomel', 11 noyabrya 2021 g.: v 3 t.* [Actual Problems of Medicine: Collection of Scientific Articles from Republican Scientific-practical Conference with International Participation. Gomel, 11 November, 2021: in 3 vols.], vol. 2. Gomel, Gomel State Medical University, 2021, pp. 94–97. (In Russ.)
2. Zhironkin, A. G. *Vliyanie povyshennogo parcial'nogo davleniya kisloroda na organizm cheloveka i zhivotnyx* [Influence of Increased Oxygen Partial Pressure on Human and Animal Organisms]. Leningrad, Medicina Publ., 1965. 190 p. (In Russ.)
3. Zagryadskij, V. P. *Metody issledovaniya v fiziologii truda* [Research Methods in Labor Physiology]. Leningrad, S. M. Kirov Military Medical Academy Publ., 1991. 112 p. (In Russ.)
4. Zverev, D. P., S. A. Bychkov, A. A. Myasnikov, A. M. Yarkov, A. B. Khaustov, I. R. Klenkov, and S. G. Fokin. "Vozmozhnosti ul'trazvukovykh sposobov v diagnostike dekompressionnoj bolezni" ["Possibilities of Ultrasonic Methods in the Diagnosis of Decompression Sickness"]. *Morskaya Medicina*, vol. 7, no. 4, pp. 75–83. DOI: [10.22328/2413-5747-2021-7-4-75-83](https://doi.org/10.22328/2413-5747-2021-7-4-75-83) (In Russ.).
5. Zverev, D. P., Z. M. Israfilov, A. A. Myasnikov, A. Yu. Shitov, and V. I. Chernov. "Issledovanie sostoyaniya funkcij organizma vodolazov s razlichnoj ustojchivost'yu k toksicheskomu dejstviyu kisloroda: prospektivnoe kogortnoe issledovanie" ["Research of Diver Body Functions' State with Different Resistance to the Toxic Oxygen Effect: Prospective Cohort Study"]. *Morskaya Medicina*, vol. 8, no. 3, pp. 30–39. DOI: [10.22328/2413-5747-2022-8-3-30-39](https://doi.org/10.22328/2413-5747-2022-8-3-30-39) (In Russ.)
6. Zverev, D. P., I. R. Klenkov, A. A. Myasnikov, I. V. Fateev, S. A. Bychkov, E. M. Mavrenkov, O. V. Vetryakov, and T. I. Minnullin. "Vliyanie podvodnykh rabot na funkcii vnimaniya, myshleniya, tonkuyu myshechnuyu koordinaciyu i sub'ektivnuyu ocenku sostoyaniya organizma vodolazov" ["The Influence of Underwater Work on the Functions of Attention, Thinking, Fine Muscle Coordination and Subjective Assessment of the State of the Body of Divers"]. *Medicina truda i promyshlennaya e'kologiya*, vol. 62, no. 7, 2022, pp. 437–443. DOI: [10.31089/1026-9428-2022-62-7-437-443](https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-7-437-443) (In Russ.)
7. Zverev, D. P., A. B. Khaustov, D. V. Ryzhilov, S. G. Fokin, A. A. Myasnikov, A. N. Andrusenko, M. Ya. Tomshinskij, and A. A. Myasnikov. "Opyt medicinskogo obespecheniya avtonomnykh vodolaznykh spuskov v snaryazhenii otkrytogo i zakrytogo tipa s ispol'zovaniem iskusstvennykh dyxatel'nykh gazovykh smesej" ["Experience of Medical Support for Autonomous Diving in Open and Closed Circuit Equipment Using Artificial Breathing Gas Mixtures"]. *Voенно-Medicinskij Zhurnal*, vol. 342, no. 1, pp. 60–67. DOI: [10.17816/RMMJ82536](https://doi.org/10.17816/RMMJ82536) (In Russ.)
8. Zubov, N. N., V. I. Kuvakin, and S. Z. Umarov. *Biomedicinskaya statistika: informacionnye tekhnologii analiza dannyx v medicине i farmacii. Biomedicinskaya* [Biomedical Statistics: Information Technologies for Data Analysis in Medicine and Pharmacy. Biomedical Statistics]. Moscow, KnoRus Publ., 2021. 466 p. (In Russ.)
9. Klenkov, I. R. *Fiziologicheskoe obosnovanie povysheniya ustojchivosti organizma cheloveka k dejstviyu vysokix parcial'nyx davlenij azota* [Physiological Rationale for Increasing the Resistance of the Human Body to the Action of High Partial Pressures of Nitrogen: PHD in Medical Sciences]. St. Petersburg, 2020. 174 p. (In Russ.)
10. Miroshnikov, E. G. "Serdechno-sosudistaya sistema vodolazov" ["Cardiovascular System of Divers"]. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya RAN*, no. 1, 2005, pp. 83–90. (In Russ.)
11. Myznikov, I. L. *Metodika kontrolya za funkcional'nym sostoyaniem moryakov. Diagnosticheskie indeksy i fiziologicheskie nagruzochnye testy* [Methodology for Monitoring the Functional State of Seafarers. Diagnostic Indices and Physiological Stress Tests]. Murmansk, Sever Publ., 2008. 127 p. (In Russ.)
12. Myasnikov, A. A., E. V. Eficenko, D. P. Zverev, and I. R. Klenkov. "Xronicheskaya dekompressionnaya bolezni i ee diagnostika" ["Chronic Decompression Sickness and Its Diagnosis"]. *Vestnik Rossijskoj Voенно-Medicinskoj Akademii*, no. 4 (64), pp. 26–31. DOI: [10.17816/brmma12243](https://doi.org/10.17816/brmma12243) (In Russ.)
13. Nessirio, B. A. *Fiziologicheskie osnovy dekompressii vodolazov-glubokovodnikov* [Physiological Bases of Decompression of Deep-Sea Divers]. St. Petersburg, Zolotoj vek Publ., 2002. 448 p. (In Russ.)
14. *Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote "Ocenka dinamiki funkcional'nogo sostoyaniya organizma vodolaza v processe eksperimental'nogo vodolaznogo spuska v avtonomnom rezhime s ispol'zovaniem sovremennogo vysokotekhnologichnogo vodolaznogo snaryazheniya i optimizacii rascheta dekompressionnykh rezhimov na osnove komp'yuternyx program"* [Report on the Research Work "Assessment of the Dynamics of the Functional State of the Diver's Body During an Experimental Diving Descent in an Autonomous Mode Using Modern High-Tech Diving Equipment and Optimization of the Calculation of Decompression Modes Based on Computer Programs"]. St. Petersburg, Underwater Research Center of Russian Geographical society Publ., 2020. 135 p. (In Russ.)
15. Poddubnyj, S. K., and Yu. A. Elohova. "Vliyanie zanyatij dajvingom na serdechno-sosudistuyu sistemu cheloveka" ["The Impact of Diving on the Human Cardiovascular System"]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], no. 6, 2013, pp. 737. (In Russ.)

16. *Pravila vodolaznoj sluzhby Voенно-Morskogo Flota (PVS VMF 2002) [Rules of the Diving Service of the Navy (RDS of the Navy–2002)]*, part 3: Organizaciya glubokovodnyx vodolaznyx spuskov. Pravila bezopasnosti pri ix provedenii. Medicinskoe obespechenie glubokovodnyx vodolaznyx spuskov [Organization of Deep-Sea Diving Descents. Safety Rules during Their Implementation. Medical Support of Deep-Sea Diving Descents]. Moscow, Voennoe Publ., 2004.199 p. (In Russ.)
17. Moslin V. V., G. M. Sokolov, and B. N. Pavlov. *Vodolaznye spuski i ix medicinskoe obespechenie [Diving Descents and Their Medical Support]*. Moscow, Slovo Publ., 2001. 693 p. (In Russ.)
18. Cherkashin, D. V., G. G. Kutelev, S. V. Efimov, K. S. Shulenin, and A. V. Chumakov. "Neobxodimost' i obosnovannost' uglublennogo issledovaniya sistemy krovoobrashcheniya vodolazov ["Necessity and Reasonableness of In-Depth Study of the Circulatory System of Divers"]. *Vestnik Rossijskoj voенно-medicinskoj akademii*, no. 3 (51), 2015, pp. 45–48. (In Russ.)
19. Yarkov, A. M. "Rebrizer i algoritm Bul'tmana, ili Glubokovodnye spuski bez GVK" ["Rebreather and Buhlmann Algorithm, or Deep-Sea Dives without a Decompression Chamber"]. *Neptun XXI Vek*, no. 6, 2020, pp. 96–102. (In Russ.)
20. Yaxontov, B. O. "Fiziologicheskie faktory, limitiruyushchie glubinu vodolaznyx pogruzhenij" ["Physiological Factors Limiting the Depth of Diving"]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyx i fundamental'nyx issledovanij*, no. 7, 2019, pp. 23–30. (In Russ.)
21. Arieli, Ran, Yehuda Arieli, Yochanan Daskalovic, Mirit Eynan, and Amir Abramovich. "CNS Oxygen Toxicity in Closed-Circuit Diving: Signs and Symptoms before Loss of Consciousness." *Aviation Space and Environmental Medicine*, vol. 77, no. 11. 2006, pp. 1153–1157. (In English)
22. Bardin, H. A. "Unit Pulmonary Toxicity Dose (UPTD)." *Institute for Environmental Medicine report*. Philadelphia, University of Pennsylvania Publ., 2004, pp. 135–177. (In English)
23. Clark, James M. "Pulmonary Limits of Oxygen Tolerance in Man." *Experimental Lung Research*, vol. 14, 1988, pp. 897–910. DOI: 10.3109/01902148809064182 (In English)
24. Møllerløkken, Andreas, S. Lesley Blogg, David J. Doolette, Ronald Y. Nishi, Neal W. Pollock. "Consensus Guidelines for the Use of Ultrasound for Diving Research." *Diving Hyperbaric Medicine*, vol. 46, no. 1, 2016, pp. 26–32. (In English)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Загир Маллараджабович Исрафилов, адъюнкт, кафедра физиологии подводного плавания, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова (Россия, 194044, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6).
e-mail: warag05@mail.ru

Сергей Павлович Колчанов, преподаватель, кафедра устройства и живучести корабля, Военный институт (военно-морской политехнический) Военного учебно-научного центра Военно-Морского Флота «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова» (Россия, 196604, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Кадетский б-р, д. 1).
e-mail: kolchans@yandex.ru

Дмитрий Владимирович Рыжилов, начальник лаборатории, врач, научно-исследовательский институт спасания и подводных технологий Военного учебно-научного центра Военно-Морского Флота «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова» (Россия, 188512, г. Санкт-Петербург, г. Ломоносов, ул. Морская, д. 4).
e-mail: dmitryryzhilov@yandex.ru

Поступила в редакцию 01.03.2023

Поступила после рецензирования 24.03.2023

Принята к публикации 01.05.2023

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Zagir Mallaradzhbovich Israfilov, Adjunct, Department of Diving Physiology, S. M. Kirov Military Medical Academy (ul. Akademika Lebedeva, d. 6, Saint Petersburg, 194044, Russia).
e-mail: warag05@mail.ru

Sergej Pavlovich Kolchanov, Lecturer, Department of Ship Construction and Survivability, Military Institute (Naval Polytechnic) of the Military Educational and Research Center of the Navy "N. G. Kuznetsov Naval Academy" (Kadetskij b-r, d. 1, Pushkin, Saint Petersburg, 196604, Russia).
e-mail: kolchans@yandex.ru

Dmitrij Vladimirovich Ryzhilov, Medical Doctor, Head of Laboratory, Research Institute of Rescue and Underwater Technologies of the Military Educational and Research Center of the Navy "N. G. Kuznetsov Naval Academy" (ul. Morskaya, d. 4, Lomonosov, Saint Petersburg, 188512, Russia).
e-mail: dmitryryzhilov@yandex.ru

Received 01.03.2023

Revised 24.03.2023

Accepted 01.05.2023