

И.Р. Кленков¹, С.Р. Паленый¹, С.А. Бычков²

ШКАЛА ИНТЕНСИВНОСТИ ДЕКОМПРЕССИОННОГО ВЕНОЗНОГО ГАЗООБРАЗОВАНИЯ

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

Актуальность. Острая декомпрессионная болезнь является наиболее часто встречающимся специфическим заболеванием у водолазов, поэтому ее диагностика и профилактика считаются важными аспектами гипербарической физиологии и водолазной медицины. Одним из направлений профилактики декомпрессионной болезни считается определение устойчивости организма водолазов к декомпрессионному газообразованию. Звуковая индикация газовых пузырьков на основе эффекта Доплера является основным критерием для определения устойчивости к декомпрессионному газообразованию, однако, комплексная оценка показателя пульсового артериального давления и визуальной индикации газовых пузырьков на основе анализа двухмерного изображения имеет ряд преимуществ.

Цель – обосновать эффективность использования шкалы интенсивности декомпрессионного венозного газообразования.

Методология. В исследовании приняли участие 42 водолаза, которым определяли устойчивость к декомпрессионному газообразованию с помощью ультразвуковой локализации газовых пузырьков на основе эффекта Доплера. Затем использовали разработанную шкалу интенсивности декомпрессионного венозного газообразования для обоснования ее эффективности.

Результаты и их анализ. После гипербарического воздействия при использовании методики индикации газовых пузырьков на основе анализа двухмерного изображения у 6 обследуемых (14,3%) не выявлено декомпрессионного венозного газообразования (0 баллов), у 9 человек (21,4%) декомпрессионное венозное газообразование было до 5 баллов при незначительном количестве газовых пузырьков при физической нагрузке, у 22 (52,4%) обследуемых – от 6 до 15 баллов, у остальных 5 (11,9%) человек газовые пузырьки выявлялись в покое, а при незначительной физической нагрузке их становилось значительно больше. Из полученных данных следует, что количество обследуемых водолазов с высокой устойчивостью составило 13 человек (31%), со средней устойчивостью – 21 человек (50%) и 8 – с низкой устойчивостью (19%).

Заключение. Шкала интенсивности декомпрессионного венозного газообразования имеет достаточную диагностическую ценность для определения устойчивости к декомпрессионному газообразованию. С помощью использования данной шкалы можно уменьшить нагрузку гипербарическим воздействием путем снижения экспозиции на грунте (0,4 МПа) и длительность декомпрессии с достаточной информативностью для оценки устойчивости к декомпрессионному газообразованию.

Ключевые слова: декомпрессионная болезнь, водолаз, ультразвуковое исследование, анализ двухмерного изображения, ультразвуковая доплерография, диагностика.

Введение

В 1968 г. появились первые случаи при-
менения ультразвукового исследования для
обнаружения газовых пузырьков звуковой
локацией в организме человека после водо-
лазного спуска. В дальнейшем были прове-
дены ряд научных исследований по тематике
данного вопроса, однако, наибольшее при-

знание получили работы М.Р. Spencer [15]
и Л.К. Волкова [2].

Некоторые исследования свидетельству-
ют, что информативным критерием для опре-
деления декомпрессионного венозного газо-
образования (ДВГ) после водолазного спуска
является визуальный способ оценки [1, 10, 11].
В 1998 г. А.О. Brubakk, О. Eftedal разработали

✉ Кленков Ильяс Рифатьевич – канд. мед. наук, ст. препод. каф. физиологии подвод. плавания, Воен.-мед. акад. им. С.М. Кирова (Россия, 190020, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 6), ORCID: 0000-0002-1465-1539, e-mail: klen.ir@mail.ru;

Паленый Самвел Рафикович – курсант VI курса факультета подготовки воен. врачей для Воен.-мор. флота, Воен.-мед. акад. им. С.М. Кирова (Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 6), ORCID: 0009-0007-2830-1007, e-mail: paleny2015@mail.ru;

Бычков Сергей Анатольевич – врач водолаз. медицины, Центр подвод. исслед. Русского географического о-ва (Санкт-Петербург, 191123, Захарьевская ул., д. 3, лит. А), ORCID: 0000-0002-8506-7815, e-mail: markis86@mail.ru

5-балльную шкалу для оценки интенсивности ДВГ, которая может использоваться после водолазного спуска с помощью аппаратов ультразвуковой диагностики [13].

В 2015 г. была принята модифицированная шкала О. Eftedal и А.О. Brubakk в г. Карлскруне (Швеция) на международной конференции по использованию ультразвуковых методов исследования при водолазных спусках [14]. Оценка интенсивности ДВГ осуществляется с использованием данной шкалы и может являться информативным способом определения риска развития острой декомпрессионной болезни у водолазов. Она позволяет получать точную информацию благодаря визуальному анализу двухмерных изображений.

В 2021 г. проводилось сравнение информативности ультразвуковой локализации, основанной на эффекте Допплера, и трансторакальной двухмерной эхокардиографии при определении ДВГ. В результате исследования авторы пришли к выводу, что визуальный способ имеет более высокую чувствительность при определении ДВГ, чем способ ультразвуковой локализации, основанный на принципе Допплера [3].

Информативными косвенными критериями диагностики декомпрессионной болезни могут являться характеристики показателей деятельности сердечно-сосудистой системы. В работе А.А. Мясникова и соавт. установлено, что под влиянием воздействия повышенного давления воздуха происходит смещение усиления парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, проявляющееся снижением ударного объема сердца, брадикардией и уменьшением минутного объема кровообращения [9].

В работе Е. Dugrenot и соавт. описано, что во время опытов на экспериментальных животных наблюдалась тенденция к снижению диастолического и среднего артериального давления у крыс, устойчивых к ДВГ. Исследователи пришли к выводу, что высокая устойчивость у крыс связана с изменениями сосудистого тонуса [12].

В 2024 г. сотрудниками кафедры физиологии подводного плавания Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова была выявлена сильная корреляционная связь между показателем разницы пульсового артериального давления (до и после водолазного спуска) и интенсивностью ДВГ [5]. Снижение пульсового артериального давления после водолазного спуска по сравнению с его исходным значением более чем на 15 мм рт. ст. может свидетельствовать о высокой интенсивности ДВГ.

Таким образом, индикация газовых пузырьков, основанная на анализе двухмерного изображения в покое и при физической нагрузке, а также оценка пульсового артериального давления до и после гипербарического воздействия могут быть использованы для определения устойчивости водолазов к ДВГ. На основе этих показателей разработана шкала интенсивности ДВГ [5].

Цель – обосновать эффективность использования шкалы интенсивности ДВГ.

Материал и методы

Обследовали 42 водолаза, которым определяли устойчивость к ДВГ в соответствии с «Инструкцией по использованию методики ультразвуковой локализации газовых пузырьков для доклинической диагностики декомпрессионной болезни и профессионального отбора водолазов» после выхода из-под повышенного давления (0,4 МПа, экспозиция 60 мин) в поточно-декомпрессионной камере [4]. Декомпрессия была продолжительностью 63 мин и проводилась по режиму для отбора водолазов.

После декомпрессии оценили ДВГ с использованием ультразвуковой локализации, основанной на эффекте Допплера (УЛЭД), и индикации газовых пузырьков, основанной на анализе двухмерного изображения (ИГАДИ) с помощью ультразвукового сканера «GE Vscan Air CL» до повышения давления окружающей среды и 3 раза – после.

В случае появления клинических симптомов развития острой декомпрессионной болезни после декомпрессии обследуемого могли поместить повторно в барокамеру для проведения кислородного режима лечебной рекомпрессии согласно ПВС ВМФ-2002 [7]. При высокой интенсивности ДВГ, даже без клинических симптомов острой декомпрессионной болезни, водолаза повторно размещали в барокамере для проведения сеанса гипербарической оксигенации под давлением 0,20 МПа в течение 45 мин [3].

ДВГ при УЛЭД оценивали с помощью индикатора ультразвуковой доплеровский оперативной диагностики скорости кровотока «Минидоп-4» по шкале Спенсера–Волкова, где 0 – отсутствие сигналов пузырьков, 1 – случайные сигналы пузырьков, 2 – сигналы пузырьков менее чем в половине сердечных циклов, 3 – все сердечные циклы включают сигналы пузырьков, 4 – сигналы пузырьков звучат непрерывно в течение систолы и диастолы [2, 4].

После УЛЭД всем обследуемым производили ИГАДИ: до размещения в барокамеру – с це-

лю выявления оптимальных мест установки датчика и проведения пробы Вальсальвы для определения наличия врожденного дефекта межпредсердной перегородки, а также после выхода из нее – для оценки интенсивности ДВГ.

Для сравнения результатов УЛЭД и ИГАДИ оценка последней проводилась по расширенной шкале Eftedal–Brubakk: 0 – нет газовых пузырьков в поле зрения; I – редкие газовые пузырьки; II – не менее 1 газового пузырька на каждые четыре сердечных цикла; III – не менее 1 газового пузырька в каждом сердечном цикле; IVa – 1 газовый пузырек на 1 см²; IVb – не менее 3 газовых пузырьков на 1 см²; IVc – множество газовых пузырьков, различимых между собой в поле зрения; V – одиночные газовые пузырьки неразличимы [13].

На 2-м этапе оценивали устойчивость к ДВГ по разработанной шкале его интенсивности по 3 показателям (таблица):

- разницу пульсового артериального давления до и после водолазного спуска (ΔПАД);
- ИГАДИ в покое;
- ИГАДИ при физической нагрузке.

Пульсовое артериальное давление – разность показателей систолического и диастолического артериального давления (1).

$$\text{ПАД} = \text{САД} - \text{ДАД}, \quad (1)$$

где ПАД – пульсовое артериальное давление;
САД – систолическое артериальное давление;
ДАД – диастолическое артериальное давление.

Для получения показателя ΔПАД необходимо рассчитать разность показателей исходного и опытного исследования (2).

$$\Delta \text{ПАД} = \text{ПАД}_{\text{исх.}} - \text{ПАД}_{\text{опыт}}, \quad (2)$$

где ΔПАД – показатель разницы пульсового артериального давления до и после водолазного спуска;
ПАД_{исх.} – исходный показатель пульсового артериального давления;
ПАД_{опыт.} – показатель пульсового артериального давления после водолазного спуска.

Показатель ΔПАД рассчитывали 1 раз после выхода из барокамеры, баллы выставляли в зависимости от степени понижения ПАД_{опыт.} по сравнению с ПАД_{исх.} Если ΔПАД был более 15 мм рт. ст., то это свидетельствовало об изменении сердечно-сосудистой системы, которое возникало из-за ДВГ [5].

ИГАДИ в покое и при физической нагрузке оценивали по трем периодам: сразу после выхода из барокамеры, через 30 и 60 мин после этого. Интенсивность ДВГ различали по 4 критериям (см таблицу). Нами была упрощена шкала Eftedal–Brubakk: 1 и 2 балла объединили в один критерий показателя ИГАДИ, а 4 и 5 баллов – в другой критерий; такая мера связана со сложностью дифференциации газовых пузырьков в ходе визуализации. При ИГАДИ при физической нагрузке испытуемый в положении лежа на спине или левом боку совершал движения ногами (имитируя «езду на велосипеде») в количестве 5 циклов вращений за 5–10 с, затем в течение 5–10 с производил серию встряхиваний поднятой вверх рукой.

Для выставления оценки устойчивости к ДВГ производили сложение баллов по трем показателям, по сумме баллов выставляли оценку устойчивости водолазов к ДВГ: при 0–5 баллах – высокая, при 6–15 – средняя, при 16 и более – низкая.

Результаты и их анализ

По данным УЛЭД, у 31 водолаза (74 %) при спуске на глубину 30 м вод. ст. (0,4 МПа) не обнаружено ДВГ, у 11 (26 %) – присутствовали признаки ДВГ, в том числе, у 5 человек показатели оценены в 1 балл, у 6 – в 2 балла.

По данным ИГАДИ, у 23 (55 %) водолазов не выявлено ДВГ, у 19 (45 %) – имелись признаки ДВГ, в том числе, у 3 обследуемых интенсивность оценена в 1 балл, у 5 – в 2 балла, у 5 – в 3 балла, у 6 – в 4 балла.

Из сравнительного анализа следует, что показатели ИГАДИ были более чувствительными,

Критерии шкалы интенсивности декомпрессионного венозного газообразования

Показатель	Критерий	Балл
Динамика пульсового артериального давления (ΔПАД), мм рт. ст.	Менее 15	0
	Более 15	3
ИГАДИ в покое	Нет видимых пузырьков	0
	Редкие пузырьки	2
	Не менее 1 пузырька в 1 сердечном цикле	4
	Не менее 1 пузырька в каждом 1 см ² в поле зрения	6
ИГАДИ при физической нагрузке	Нет видимых пузырьков	0
	Редкие пузырьки	1
	Не менее 1 пузырька в 1 сердечном цикле	2
	Не менее 1 пузырька в каждом 1 см ² в поле зрения	3

чем УЛЭД. Высокая чувствительность ИГАДИ обусловлена объективным визуальным анализом двухмерного изображения на мониторе аппарата. Также при УЛЭД объект исследования – ствол легочной артерии, тогда как при ИГАДИ – правые отделы сердца. Ритмически пульсирующий и изменчивый кровоток в правых отделах сердца сменяется равномерным и плавным в стволе легочной артерии, что, вероятно, может снижать газообразование. Ствол легочной артерии является сосудом с развитыми эластичными волокнами, придающими упругость [6, 9].

Результаты оценки устойчивости к ДВГ у водолазов позволили сформировать шкалу интенсивности ДВГ. У 23 обследуемых ΔПАД был менее 15 мм рт. ст. (0 баллов), а у 19 – более 15 мм рт. ст. (3 балла). Полагаем, что у 19 человек снижение ПАД после выхода из барокамеры было за счет выраженного повышения диастолического артериального давления с учетом незначительного снижения систолического, что отражается в увеличении показателя ΔПАД.

У 6 обследуемых (14,3 %), по результатам ИГАДИ, не выявлено ДВГ (0 баллов), у 9 (21,4 %) – обнаружено незначительное количество газовых пузырьков при физической нагрузке (до 5 баллов), у 22 – сумма баллов составляла от 6 до 15.

При сложении трех показателей получили следующее распределение водолазов по устойчивости к ДВГ: с высокой устойчивостью – 13 (31 %) человек, со средней устойчивостью – 21 (50 %), с низкой устойчивостью – 8 (19 %). Следует отметить, что у 5 водолазов интенсивность ДВГ соотносилась с высокой (у 2 человек) и со средней устойчивостью (у 3 человек), но при сложении баллов с учетом показателя ΔПАД устойчивость у них была изменена на среднюю и низкую соответственно.

Обсуждение. ПАД может изменяться по многим причинам, таким как: изменения сократительной способности сердечной мышцы, состояния сосудистого русла и деятельности нервной системы. Изменение ПАД у водолазов, вероятно, связано с увеличением ДАД за счет повышения общего периферического сопротивления сосудов (спазм). Следовательно, спазм сосудов может провоцировать развитие ДВГ [6].

Несомненным преимуществом ИГАДИ являются чувствительность и информативность, а также возможность определять наличие дефекта межпредсердной перегородки с использованием пробы Вальсальвы [8, 9]. Преимущества ИГАДИ связаны с возможностью визуализировать деятельность сердца и крупных

сосудов, которые формируют картину функционирования сердечной деятельности [1, 3]. Газовые пузыри легко определяются в плазме крови ввиду сильной отражающей природы ультразвукового луча в границе раздела сред жидкость–газ, поэтому визуальный анализ необходимо использовать для профилактики и диагностики декомпрессионной болезни.

Еще одним преимуществом использования ИГАДИ при определении устойчивости водолазов к ДВГ является возможность сократить гипербарическую нагрузку, уменьшив экспозицию на грунте с 60 до 50 мин и декомпрессию, как минимум, – на 5 мин. При ИГАДИ появляется возможность исследования большого объема кровотока в правых отделах сердца, чем при УЛЭД в стволе легочной артерии. Также при исследовании правых отделов сердца вероятность выявить ДВГ выше, чем в легочном стволе и легочных артериях, так как в этих сосудах турбулентность ниже [9]. Следовательно, эти особенности ИГАДИ могут позволить уменьшить гипербарическую нагрузку.

Стоит отметить, что при УЛЭД продолжительность ультразвукового исследования составляет 90–120 мин, при ИГАДИ 60-минутного исследования вполне достаточно для определения устойчивости к декомпрессионному газообразованию. Внедрение всех вышеперечисленных мер позволит уменьшить время всего исследования. Особенно важно, что эти меры снижают гипербарическую нагрузку на организм водолазов для профилактики хронической декомпрессионной болезни.

В дальнейшем следует провести исследование в условиях барокамеры, при котором можно будет рассчитать точное время режима декомпрессии, используя современные ультразвуковые сканы, которые могут работать под повышенным давлением. Они позволяют визуализировать газовые пузырьки в режиме реального времени непосредственно под повышенным давлением газовой среды (внутри барокамеры).

Заключение

Шкала интенсивности декомпрессионного венозного газообразования имеет достаточную диагностическую ценность для определения устойчивости к декомпрессионному газообразованию. С помощью использования данной шкалы можно уменьшить нагрузку гипербарического воздействия путем снижения экспозиции на грунте (0,4 МПа) и уменьшения длительности декомпрессии с достаточной информативностью для оценки устойчивости к декомпрессионному газообразованию.

Литература

1. Алпатов В.Н., Ятманов А.Н. Прединдикторы устойчивости к декомпрессионному газообразованию у профессиональных водолазов // Экстрем. деятельность человека. 2019. Т. 2, № 52. С. 3–6.
2. Волков Л.К., Федоров В.А., Меньшиков В.В. О возможностях использования методики ультразвуковой локации газовых пузырьков для профилактики декомпрессионной болезни // Организм в условиях гипербарии. 1984. С. 138–140.
3. Зверев Д.П., Бычков С.А., Мясников А.А. [и др.]. Возможности ультразвуковых способов в диагностике декомпрессионной болезни // Морская медицина. 2021. Т. 7, № 4. С. 75–83. DOI: 10.22328/2413-5747-2021-7-4-75-83.
4. Инструкция по использованию методики ультразвуковой локации газовых пузырьков для доклинической диагностики декомпрессионной болезни у водолазов и профессионального отбора водолазов: проект по теме № 101-83 ВАП. СПб., 1983. 11 с.
5. Кленков И.Р., Паленый С.Р., Речков А.С., Наумова Я.А. Особенности изменения функции сердечно-сосудистой системы организма водолазов при декомпрессионном газообразовании // Военная и экстремальная медицина: перспективы развития и проблемы преподавания. 2024. № 12. С. 16–20.
6. Новиков М.В., Свистов А.С., Чумаков А.В. [и др.]. О влиянии некоторых потенциально опасных факторов гипербарии на состояние микроциркуляторного русла водолазов Военно-морского флота // Вестн. Рос. воен.-мед. акад. 2015. Т. 3, № 51. С. 41–44.
7. Правила водолазной службы Военно-морского флота ПВС ВМФ. М.: Воениздат, 2002. Ч. II. Медицинское обеспечение водолазов Военно-морского флота. 176 с.
8. Свистов А.С., Чумаков А.В., Захарова А.И. [и др.]. Диагностическая роль эхокардиографии и электроэнцефалографии при военно-врачебной экспертизе у водолазного состава ВМФ // Сборник трудов кафедры военно-морской и госпитальной терапии ВМедА. 2014. С. 80–82.
9. Черкашин Д.В., Кутелев Г.Г., Ефимов С.В. [и др.]. Необходимость и обоснованность углубленного исследования системы кровообращения водолазов // Вестн. Рос. воен.-мед. акад. 2015. Т. 3, № 51. С. 45–48.
10. Чумаков А.В., Воронин С.В., Мотасов Г.П. [и др.]. Методические рекомендации по совершенствованию системы обследований водолазов-глубоководников, акванавтов Военно-морского флота. СПб., 2018. 48 с.
11. Brubakk A.O., Eftedal O. Comparison of three different ultrasonic methods for quantification of intravascular gas bubbles // Undersea Hyperb. Med. 2001. Vol. 28, N 3. P. 131–136.
12. Dugrenot E., Orsat J., Guerrero F. Blood pressure in rats selectively bred for their resistance to decompression sickness // Diving Hyperb. Med. 2022. Vol. 52, N 2. P. 119–125. DOI: 10.28920/dhm52.2.119-125.
13. Eftedal O., Brubakk A.O. Agreement between trained and untrained observers in grading intravascular bubble signals in ultrasonic images // Undersea Hyperb. Med. 1997. Vol. 24, N 4. P. 293–299.
14. Møllerlækken A., Blogg S.L., Doolette D.J. [et al.]. Consensus guidelines for the use of ultrasound for diving research caisson // Diving Hyperb. Med. 2016. Vol. 31, N 3. P. 26–32.
15. Spencer M.P. Blood bubble detection prevents decompression sickness // Nav. Res. 1975. Vol. 28, N 6. P. 13–20.

Поступила 21.10.2024 г.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией статьи.

Участие авторов: И.Р. Кленков – планирование и методология исследования, редактирование окончательного варианта статьи; С.Р. Паленый – статистический анализ полученных результатов, написание первого варианта статьи, сбор первичных данных; С.А. Бычков – обобщение результатов, перевод реферата, транслитерация списка литературы, редактирование окончательного варианта статьи.

Для цитирования: Кленков И.Р., Паленый С.Р., Бычков С.А. Шкала интенсивности декомпрессионного венозного газообразования // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2024. № 4. С. 95–101. DOI: 10.25016/2541-7487-2024-0-4-95-101

Decompression venous gas formation intensity scale

Klenkov I.R.¹, Palenyi S.R.¹, Bychkov S.A.²

¹ Kirov Military Medical Academy (6, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, Russia);

² Centre for Underwater Research of the Russian Geographical Society
(3A, Zakhar'evskaya Str., St. Petersburg, Russia)

✉ Ilyas Rifatievich Klenkov – PhD Med. Sci., Senior Lecturer, Kirov Military Medical Academy (6, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, 194044, Russia), ORCID: 0000-0002-1465-1539, e-mail: klen.ir@mail.ru;

Samvel Rafikovich Palenyi – cadet, Kirov Military Medical Academy (6, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, 194044, Russia), ORCID: 0009-0007-2830-1007, e-mail: paleny2015@mail.ru;

Sergey Anatolievich Bychkov – doctor of diving medicine, Centre for Underwater Research of the Russian Geographical Society (3A, Zakhar'evskaya Str., St. Petersburg, 191123, Russia), ORCID: 0000-0002-8506-7815, e-mail: markis86@mail.ru

Abstract

Relevance. Severe decompression sickness is the most common diving disorder; therefore, its diagnosis and prevention is considered important aspects of hyperbaric physiology and diving medicine. Diver's susceptibility to gas bubble formation under decompression is most critical for decompression sickness prevention. Doppler bubble detection is the most common procedure to identify divers who are most susceptible to gas bubble formation under decompression; nevertheless, a more comprehensive examination including pulse pressure and 2D visualization of gas bubbles provide valuable advantages.

The objective is to provide justify the implementation of the decompression risk and venous gas bubble formation scale.

Methods. The study enrolled 42 divers who were examined for tolerance to gas bubble formation under decompression; gas bubbles were visualized using Doppler ultrasound. Next, the developed decompression risk and venous gas bubble formation scale was used to verify its efficiency and practical value.

Results and discussion. After hyperbaric exposure, 2D gas bubble visualization data were analyzed showing that 6 subjects (14.3 %) had no decompression-caused gas bubble formation (0 points); 9 subjects (21.4 %) scored up to 5 points, showing a small amount of gas bubbles during exercise; 22 subjects (52.4 %) scored between 6 and 15; whereas the remaining 5 subjects presented with gas bubbles at rest and a sharp increase in bubble formation during mild exercise. The obtained data suggest that the examined diver cohort included 13 subjects (31 %) with very high tolerance to gas bubble formation, 21 divers (50 %) showing average tolerance and 8 highly susceptible subjects (19 %).

Conclusion. During decompression, venous gas bubble formation scale has significant diagnostic value providing a tool to measure individual diver's susceptibility to gas bubble formation. The scale allows to reduce the hyperbaric load by decreasing exposure on the ground at threshold pressure (0.4 MPa) and thus reduce the decompression time, based on sufficient evidence regarding individual susceptibility to gas bubble formation under decompression.

Keywords: severe decompression sickness, diver, ultrasound, 2D image analysis, Doppler ultrasound, diagnosis.

References

1. Alpatov V.N., Yatmanov A.N. Prediktory ustoichivosti k dekompressionnomu gazoobrazovaniyu u professional'nykh vodolazov [Predictors of resistance to decompression gas formation at professional divers]. *Ekstremal'naya deyatel'nost' cheloveka* [Extreme human activity]. 2019; 2(52):3–6. (In Russ).
2. Volkov L.K., Fedorov V.A., Men'shikov V.V. O vozmozhnostyakh ispol'zovaniya metodiki ul'trazvukovoi lokatsii gazovykh puzyr'kov dlya profilaktiki dekompressionnoi bolezni [On the possibilities of using the technique of ultrasonic location of gas bubbles for the prevention of decompression disease]. *Organizm v usloviyakh giperbarii* [The organism in the conditions of hyperbaria]. 1984; 138–140. (In Russ).
3. Zverev D.P., Bychkov S.A., Myasnikov A.A. [et al.] Vozmozhnosti ul'trazvukovykh sposobov v diagnostike dekompressionnoi bolezni [Possibilities of ultrasound methods in the diagnosis of decompression sickness]. *Morskaya meditsina* [Marine medicine]. 2021; 7(4):75–83. DOI: 10.22328/2413-5747-2021-7-4-75-83. (In Russ).
4. Instruktsiya po ispol'zovaniyu metodiki ul'trazvukovoi lokatsii gazovykh puzyr'kov dlya doklinicheskoi diagnostiki dekompressionnoi bolezni u vodolazov i professional'nogo otbora vodolazov [Instruction on the use of ultrasonic gas bubble location technique for preclinical diagnosis of decompression sickness in divers and professional selection of divers]: project on the topic N 101-83 WAP. St. Petersburg. 1983. 11 p. (In Russ).
5. Klenkov I.R., Palenyi S.R., Rechkov A.S., Naumova Ya.A. Osobennosti izmeneniya funktsii serdechno-sosudistoi sistemy organizma vodolazov pri dekompressionnom gazoobrazovanii [Specific features of changes in the function of the cardiovascular system of the diver's organism during decompression gas formation]. *Voennaya i ekstremal'naya meditsina: perspektivy razvitiya i problemy prepodavaniya* [Military and Extreme Medicine: Development Prospects and Teaching Challenges]. 2024; (12):16–20. (In Russ).
6. Novikov M.V., Svistov A.S., Chumakov A.V. [et al.] O vliyaniy nekotorykh potentsial'no opasnykh faktorov giperbarii na sostoyanie mikrotsirkulyatornogo rusla vodolazov Voennno-morskogo flota [About influence of some potentially dangerous hyperbaric factors on microcirculation of navy divers]. *Vestnik Rossiiskoi voenno-meditsinskoi akademii* [Bulletin of the Russian Military Medical Academy]. 2015; 3(51):41–44. (In Russ).
7. Pravila vodolaznoi sluzhby Voennno-morskogo flota PVS VMF [Naval Diving Service Regulations of the Navy]. Moscow. 2002. Part II. Medical support of divers of the Navy. 176 p. (In Russ).
8. Svistov A.S., Chumakov A.V., Zakharova A.I. [et al.] Diagnosticheskaya rol' ekhokardiografii i elektroentsefalografii pri voenno-vrachebnoi ekspertize u vodolaznogo sostava VMF [Diagnostic role of echocardiography and electroencephalography in military-medical examination of navy diving personnel]. *Sbornik trudov kafedry voenno-morskoi i gosital'noi terapii VMedA* [The collection of scientific works of department of naval and hospital therapy of military medical academy]. 2013; 80–82. (In Russ).
9. Cherkashin D.V., Kutelev G.G., Efimov S.V. [et al.] Neobkhodimost' i obosnovannost' uglublennogo issledovaniya sistemy krovoobrashcheniya vodolazov [Necessity and reasonableness of in-depth study of the circulatory system of divers]. *Vestnik Rossiiskoi voenno-meditsinskoi akademii* [Bulletin of the Russian Military Medical Academy]. 2015; 3(51):45–48. (In Russ).
10. Chumakov A.V., Voronin S.V., Motosov G.P. [et al.] Metodicheskie rekomendatsii po sovershenstvovaniyu sistemy ob sledovaniy vodolazov-glubokovodnikov, akvanavtov Voennno-Morskogo Flota [The methodical recommendations for improvement on system of medical examinations of deep divers, aquanauts of navy]: St. Petersburg. 2018. 48 p. (In Russ).

11. Brubakk A.O., Eftedal O. Comparison of three different ultrasonic methods for quantification of intravascular gas bubbles. *Undersea Hyperb. Med.* 2001; 28(3):131–136.
12. Dugrenot E., Orsat J., Guerrero F. Blood pressure in rats selectively bred for their resistance to decompression sickness. *Diving Hyperb. Med.* 2022; 52(2):119–125. DOI: 10.28920/dhm52.2.119-125
13. Eftedal O., Brubakk A.O. Agreement between trained and untrained observers in grading intravascular bubble signals in ultrasonic images. *Undersea Hyperb. Med.* 1997; 24(4):293–299.
14. Møllerløkken A., Blogg S.L., Doolette D.J. [et al.]. Consensus guidelines for the use of ultrasound for diving research caisson. *Diving Hyperb. Med.* 2016; 31(3):26–32.
15. Spencer M.P. Blood bubble detection prevents decompression sickness. *Nav. Res.* 1975; 28(6):13

Received 21.10.2024

For citing: Klenkov I.R., Palenyi S.R., Bychkov S.A. Shkala intensivnosti dekompressionnogo venoznogo gazoobrazovaniya. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2024; (4):95–101. **(In Russ.)**

Klenkov I.R., Palenyi S.R., Bychkov S.A. Decompression venous gas formation intensity scale. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2024; (4):95–101. DOI: 10.25016/2541-7487-2024-0-4-95-101.