

## ВОДОЛАЗНАЯ МЕДИЦИНА

## DIVING MEDICINE

УДК 616-001.11

<http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2021-7-2-47-51>

© Алпатов В.Н., Советов В.И., Ятманов А.Н., 2021 г.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ПОРОГА ГЛУБОКОЙ БОЛЕВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ У ВОДОЛАЗОВ И ДАЙВЕРОВ НА КЛИНИЧЕСКУЮ СИМПТОМАТИКУ ДЕКОМПРЕССИОННОЙ БОЛЕЗНИ***В. Н. Алпатов, В. И. Советов, А. Н. Ятманов\**

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», Санкт-Петербург, Россия

*Цель исследования:* разработать модель прогноза развития безболевого формы декомпрессионной болезни от уровня болевой чувствительности.

*Методы и исследования:* обследовано 29 водолазов и дайверов в возрасте от 20 до 42 лет с декомпрессионной болезнью и бессимптомным газообразованием.

*Результаты и их обсуждение.* Безболевые формы в 1,6 раза встречаются чаще декомпрессионной болезни с болевыми (классическими) клиническими проявлениями. Определение порога болевой чувствительности у водолазов и дайверов является важным элементом профилактики хронической декомпрессионной болезни. При уровне порога болевой чувствительности у водолаза или дайвера 10 вольт и больше при каждом погружении необходимо проводить ультразвуковое исследование на наличие внутрисосудистого газообразования. У таких водолазов и дайверов любые симптомы, возникшие после декомпрессии, необходимо рассматривать как декомпрессионную болезнь.

**Ключевые слова:** морская медицина, декомпрессионная болезнь, болевая чувствительность, внутрисосудистое газообразование

\*Контакт: Ятманов Алексей Николаевич, [yan20220@mail.ru](mailto:yan20220@mail.ru)

© Alpatov V.N., Sovietov V.I., Yatmanov A.N., 2021

**MATHEMATICAL MODEL OF THE INFLUENCE OF THE DEEP PAIN SENSITIVITY THRESHOLD IN DIVERS AND DIVERS ON THE CLINICAL SYMPTOMATICS OF DECOMPRESSION DISEASE***Vadim N. Alpatov, Vladimir I. Sovietov, Aleksey N. Yatmanov\**

Research Institute of Rescue and Underwater Technologies of the Military Educational and Scientific Center Naval Fleet "Naval Academy name after N.G. Kuznetsov",  
St. Petersburg, Russia

*Purpose of the study:* to develop a model for predicting the development of a painless form of decompression sickness from the level of pain sensitivity.

*Research method:* 29 divers and divers aged 20 to 42 with decompression sickness and asymptomatic gas formation were examined.

*Results and discussion.* Painless forms are 1.6 times more common than decompression sickness with painful (classical) clinical manifestations. Determining the pain threshold for divers and divers is an important element in the prevention of chronic decompression sickness. When a diver's or diver's pain threshold is 10 volts or more, an ultrasound examination should be performed at each dive for the presence of intravascular gas formation. In such divers and divers, any symptoms that occur after decompression should be considered decompression sickness.

**Key words:** decompression sickness, pain sensitivity, intravascular gas formation.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Алпатов В.Н., Советов В.И., Ятманов А.Н. Математическая модель влияния порога глубокой болевой чувствительности у водолазов и дайверов на клиническую симптоматику декомпрессионной болезни // *Морская медицина*. 2021. Т. 7, № 2. С. 47–51.

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

**For citation:** Alpatov V.N., Sovietov V.I., Yatmanov A.N. Mathematical model of the influence of the deep pain sensitivity threshold in divers and divers on the clinical symptomatics of decompression disease // *Marine medicine*. 2021. Vol. 7, No 2. P. 47–51.

\*Contact: Ятманов Алексей Николаевич, yan20220@mail.ru

**Введение.** Декомпрессионная болезнь (ДБ) является наиболее частым профессиональным заболеванием водолазов. Ее доля относительно других заболеваний составляет 80–90% [1, с. 27]. У водолазов-профессионалов в зависимости от глубины погружения ДБ диагностируется в 2–3% спусках [2, с. 90], у дайверов — в 5% [3, с. 8].

Чаще всего отмечается бессимптомное или безболевого течение ДБ, при выраженном внутрисосудистом газовом образовании (ВСГО) [4, с. 13–16]. Легкие формы ДБ могут протекать инapparантно или манифестировать отсрочено, в том числе сразу с неврологической симптоматикой. Случаи ДБ с подобной симптоматикой часто остаются вне поля зрения врачей. Таким образом, можно предположить, что истинное количество встречаемости ДБ значительно занижено [5, с. 114].

Снижение болевой чувствительности (БЧ), как элемента наркотического действия азота при дыхании воздухом и искусственными газовыми смесями с высоким парциальным давлением азота, у людей наблюдается при давлении от 0,4–0,45 МПа [6, с. 15].

Выявлена прямая корреляционная связь между уровнем устойчивости человека к ДБ и чувствительностью к боли<sup>1</sup>. Доказано, что специфическая адаптация организма при повторной компрессии наряду с благоприятными изменениями сопровождается снижением чувствительности к сосудистым и тканевым газовым пузырькам. Это лежит в основе патогенеза хронической ДБ с развитием асептического остеонекроза, миокардиодистрофии и поражения центральной нервной системы [1, с. 26–28].

Одним из механизмов снижения БЧ является повышение порога чувствительности нервных окончаний при повторных образованиях газовых пузырьков в тканях. В. Hills связывал такое снижение чувствительности с гистерезисом (остаточной деформацией) тканей. Д. Холенбек и Д. Андерсен называют это явление

«генерализованное ослабление реактивности рецепторов чувствительных тканей» [7, с. 75].

**Цель исследования:** разработать модель прогноза развития безболевого формы ДБ от уровня БЧ.

**Методы и организация исследования.** Обследовано 29 водолазов и дайверов в возрасте от 20 до 42 лет с ДБ и бессимптомным газообразованием (БСГО), проходившим погружения в НИИ спасания и подводных технологий военного учебно-научного центра Военно-Морского Флота «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова» с 2007 по 2019 г.

ВСГО оценивалось после спусков с использованием ультразвукового доплеровского локаатора по предложенному Л.К. Волковым способу. Для определения болевого порога на предплечье накладывались электроды, результаты оценивались напряжением электрического тока, измеряемого в вольтах, необходимого для появления болевых ощущений при сокращении мышц [8, с. 2].

Статистическая обработка данных проводилась с использованием пакета программ Statistica 10,0. Сравнительный анализ проводился с использованием критерия Манна–Уитни. Математическое моделирование прогноза развития безболевого формы ДБ проводилось с применением логистического регрессионного анализа.

**Результаты и их обсуждение.** Выявлено, что уровень ВСГО у людей с ДБ и БСГО равен 1,64 и 1,61 балла соответственно, что превышает порог появления клинических проявлений ДБ в 1,33 балла [3, с. 19]. Таким образом, БСГО допустимо считать безболевого формой ДБ.

Частота встречаемости БСГО (n=18) в 1,6 раза выше ДБ с клиническими проявлениями (n=11), что свидетельствует о заниженной оценке частоты встречаемости заболевания.

Выявлено, что уровень порога БЧ статисти-

<sup>1</sup> Мясников А.А. Физиологическое обоснование неспецифических методов повышения устойчивости организма к декомпрессионной болезни: дис. ... д-ра мед. наук. СПб., 1999. [Myasnikov A.A. *Physiological substantiation of non-specific methods of increasing the body's resistance to decompression sickness*. Diss. ... of Doctor of Medical Sciences. St. Petersburg, 1999 (In Russ.)]

чески значимо ( $p < 0,05$ ) выше при БСГО, чем при ДБ (табл. 1).

Таблица 1

**Уровень внутрисосудистого газового образования и порог болевой чувствительности у обследованных ( $M \pm \sigma$ )**

Table 1

**The level of intravascular gas formation and the threshold of pain sensitivity in the examined ( $M \pm \sigma$ )**

Показатель	Декомпрессионная болезнь (n=11)	Бессимптомное газообразование (n=18)
Внутрисосудистое газообразование	1,64±0,45	1,61±0,65
Порог болевой чувствительности	8,55±1,63	12,67±1,85*

\*  $p < 0,05$ .

Полученные результаты не противоречат данным других авторов. В среднем в популяции болевой порог чувствительности располагается в диапазоне от 6 до 11 вольт [6, с. 16]. При этом у водолазов с БП более 11 вольт выраженное ВСГО не вызывает болевой симптоматики и может отсрочено манифестировать тяжелыми неврологическими, сердечно-сосу-

дистыми и дыхательными расстройствами [4, с. 73].

При проведении логистического регрессионного анализа получена модель прогноза безболевого течения декомпрессионной болезни:  $\chi^2(1) = 20,264$ ,  $p = 0,00001$ .

Переменные в модели представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты логистического регрессионного анализа**

Table 2

**Logistic regression analysis results**

Параметры	В0	БЧ
Оценка	-9,52304	0,950691
Стандартная ошибка	3,231292	0,312885
t(27)	-2,94713	3,038467
p-знач.	0,006538	0,005228
-95%CL	-16,1531	0,308704
+95%CL	-2,89298	1,592677
Хи-квадрат Вальда	8,685585	9,232283
p-знач.	0,00321	0,00238
Отношение шансов (ед. изм.)	7,31E-05	2,587496
-95%CL	9,66E-08	1,361659
+95%CL	0,055411	4,916896
Отношение шансов (размах)		2009,265
-95%CL		11,81807
+95%CL		341608

Уровень БЧ статистически значимо оказывает влияние на развитие безболевого формы ДБ, повышая риск ее развития в 2,59 раза.

Разработанная модель имеет 82,76% прогно-

стическую способность. При этом ложноположительными являются 2 случая (18,18%) заболевания ДБ, ложноотрицательными 3 случая (16,67%) БСГО (табл. 3).

Таблица 3

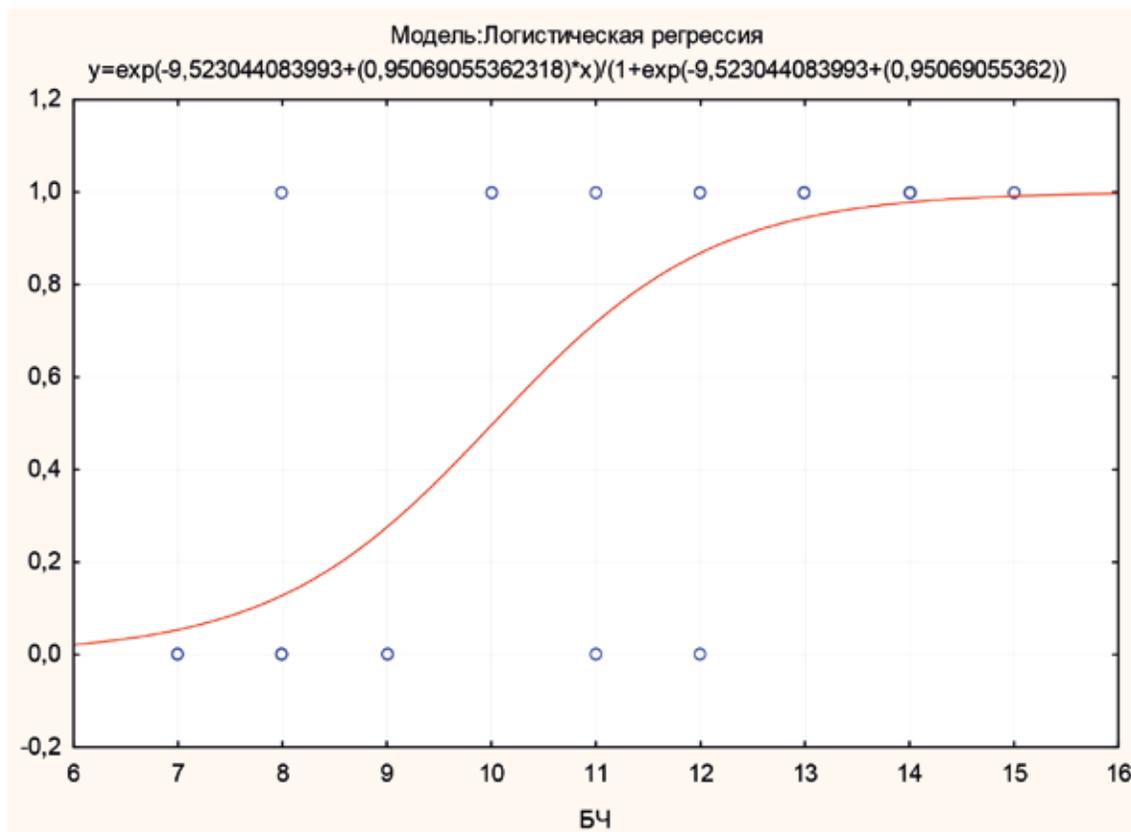
**Прогностическая способность модели логистического регрессионного анализа**

Table 3

**Predictive ability of a logistic regression analysis model**

Показатели	Предсказана — декомпрессионная болезнь	Предсказано — бессимптомное газообразование	% правильных
Декомпрессионная болезнь	9	2	81,81818
Бессимптомное газообразование	3	15	83,33334

Логистическая регрессия представлена на рисунке.



**Рисунок.** Логистическая регрессия прогноза безболевого течения декомпрессионной болезни  
**Figure.** Logistic regression of the prognosis of the painless course of decompression sickness

Расчетным методом определено, что при уровне болевого порога 10 вольт прогнозируется развитие безболевого формы ДБ, что показано на рисунке.

Таким образом, уровень болевого порога водолаза необходимо учитывать при проведении водолазных спусков.

**Заключение.** Безболевые формы в 1,6 раза встречаются чаще декомпрессионной болезни с болевыми (классическими) клиническими проявлениями. Определение порога болевой чувствительности у водолазов и дайверов

является важным элементом профилактики бессимптомного газообразования и хронической декомпрессионной болезни. При уровне порога болевой чувствительности у водолаза или дайвера 10 вольт и больше, при каждом погружении необходимо проводить ультразвуковое исследование на наличие внутрисосудистого газообразования. У таких водолазов и дайверов любые симптомы, возникшие после декомпрессии, необходимо рассматривать как декомпрессионную болезнь.

## ЛИТЕРАТУРА/ REFERENCES

1. 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. [Myasnikov A.A., Efitsenko E.V., Zverev D.P., Klenkov I.R. Chronic decompression sickness and its diagnosis. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*, 2018, No. 4 (64), pp. 26–31 (In Russ.).]
2. Мясников А.А., Петреев И.В., Шитов А.Ю., Андрусенко А.Н., Шитов А.Ю. Проблемные вопросы военно-морской медицины // *Военно-медицинский журнал*. 2014. № 5. С. 89–91. [Myasnikov A.A., Petreev I.V., Shitov A.Yu., Andrusenko A.N., Shitov A.Yu. Problematic issues of naval medicine. *Military Medical Journal*, 2014, No. 5, pp. 89–91 (In Russ.).]
3. Marroni A., Cali-Corleo R., Fontaneto C. *DAN Europe Diving Incident Report*. 1996.
4. Смолин В.В., Соколов Г.М., Павлов Б.Н. *Декомпрессионная болезнь*. Калининград: Страж Балтики, 2010. [Smolin V.V., Sokolov G.M., Pavlov B.N. *Decompression sickness*. Kaliningrad: Guardian of the Baltic, 2010 (In Russ.).]
5. Матье Д. *Гипербарическая медицина*. М.: Бином, 2009. [Mathieu D. *Hyperbaric medicine*. Moscow: Publishing house Binom, 2009 (In Russ.).]
6. Мясников А.А. Изменение болевой чувствительности и фармакодинамика препаратов с анальгетическими свойствами в условиях повышенного парциального давления индифферентных газов // *Материалы всероссийской конференции «Индифферентные газы в водолазной практике, биологии и медицине»*. М.: Слово, 1999. [Myasnikov A.A. Changes in pain sensitivity and pharmacodynamics of drugs with analgesic properties under conditions of increased partial pressure of indifferent gases. *Materials of the All-Russian conference «Indifferent gases in diving practice, biology and medicine»*. Moscow: Publishing house Word, 1999 (In Russ.).]
7. Sowden L.M., Kindwall E.P., Francis T.J. The distribution of limb pain in decompression sickness // *Aviat Space Environ Med*. 1996. No. 67 (1). P. 74–80.
8. Алпатов В.Н., Советов В.И., Ятманов А.Н. Способ диагностики глубокой соматической болевой чувствительности. Патент на изобретение 2738947 C1, 18.12.2020. Заявка № 2019131321 от 02.10.2019. [Alpatov V.N., Soviets V.I., Yatmanov A.N. A method for diagnosing deep somatic pain sensitivity. Patent for invention 2738947 C1, 18.12. Application No. 2019131321 dated 02.10.2019 (In Russ.)]

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 16.02.2021 г.

**Авторство:**

Вклад в концепцию и план исследования — В.И. Советов. Вклад в сбор данных — В.Н. Алпатов. Вклад в анализ данных и выводы — А.Н. Ятманов. Вклад в подготовку рукописи — А.Н. Ятманов.

**Сведения об авторах:**

*Алпатов Вадим Николаевич* — кандидат медицинских наук, начальник 11 научно-исследовательской лаборатории обитаемости кораблей Военно-Морского Флота — заместитель начальника научно-исследовательского отдела (обитаемости кораблей и медицинского обеспечения личного состава Военно-Морского Флота) научно-исследовательского института кораблестроения и вооружения Военно-Морского Флота Военного научно-исследовательского центра Военно-Морского Флота «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова», Санкт-Петербург, ул. Чапаева, д. 30; тел.: +7(911) 922-65-96;

*Советов Владимир Игоревич* — доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-Морского Флота «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова»; 198411, Санкт-Петербург, ул. Морская, д. 4; e-mail: yan20220@mail.ru; Author ID: 95921;

*Ятманов Алексей Николаевич* — кандидат медицинских наук, младший научный сотрудник федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-Морского Флота «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова»; 198411, Санкт-Петербург, Морская ул., д. 4; e-mail: yan20220@mail.ru; ORCID 0000-0003-0043-3255; SPIN 4151-0625.

**Уважаемые коллеги!**

В монографии изложены общие вопросы организации и тактики медицинской службы флота, особенности организации медицинского обеспечения различных родов сил — подводных лодок и надводных кораблей, морской авиации и противовоздушной обороны, морской пехоты и береговых ракетно-артиллерийских войск, мотострелковых частей и соединений флота, воинских частей специального назначения. Монография предназначена для врачей и начальников медицинских служб кораблей, воинских частей, флагманских (дивизионных) врачей и начальников медицинских служб соединений и объединений флотов, Каспийской флотилии, воинских частей и организаций, непосредственно подчиненных Главнокомандующему Военно-Морским Флотом

**Подробная информация:**

e-mail: r154ao@gmail.com, тел.: +7(921) 860-85-05

