

К ВОПРОСУ О ЛЕЧЕНИИ ДЕКОМПРЕССИОННЫХ РАССТРОЙСТВ, ВОЗНИКШИХ У АКВАНАВТОВ В ХОДЕ ДЕКОМПРЕССИИ С ГЛУБИН ДО 300 М ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КИСЛОРОДНО-АЗОТНО-ГЕЛИЕВОЙ СРЕДЫ

Научно-исследовательский институт (спасания и подводных технологий)
Военно-морской академии им. Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова
(Россия, Санкт-Петербург, г. Ломоносов, ул. Морская, д. 4)

Рассмотрены особенности лечения декомпрессионных расстройств у водолазов при работах методом длительного пребывания под давлением искусственной газовой и водной среды до 3,1 МПа. Показано, что когда декомпрессионные расстройства отягощены противодиффузионным пересыщением, целесообразно повышать давление азотом до парциального давления 360–400 кПа одновременно с обогащением газовой среды кислородом до 60–80 кПа.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, подводная медицина, декомпрессионное расстройство, акванавт, длительное пребывание под давлением, рекомпрессия, противодиффузия газов.

Радикальным методом лечения декомпрессионных расстройств и первоочередным лечебным мероприятием является рекомпрессия – повторное повышение давления. Лечение осуществляется в барокамере (барокомплексе) и включает в себя три этапа: повышение давления до назначенной величины (собственно рекомпрессию), пребывание под достигнутым давлением и декомпрессию до нормального атмосферного в соответствии со специальным режимом.

Увеличение давления окружающей среды вызывает уменьшение объема газовых пузырьков, сформировавшихся в крови и тканях, когда снижение давления среды не адекватно реальным процессам насыщения тканей организма от индифферентных газов. Кроме того, при рекомпрессии возникают благоприятные условия для диффузии газа из пузырька в ткань. Газовые пузырьки уменьшаются и, в итоге, распадаются на молекулы, т. е. устраняется основной этиологический фактор, вызвавший заболевание. Этот процесс требует времени, которое зависит от величины окружающего давления, диффузионных свойств индифферентного газа и геометрии самих газовых пузырьков. Лечебный эффект при рекомпрессии также обусловлен благоприятным действием повышенных парциальных давлений кислорода, нормализующих оксигенацию тканей. При неполном растворении газовых

пузырьков последующее снижение давления становится причиной повторного увеличения их объема, а в ходе снижения давления или после завершения декомпрессии не исключены рецидивы декомпрессионной болезни (ДБ).

Симптомами декомпрессионных расстройств у водолазов (акванавтов), выполняющих работы методом длительного пребывания под повышенным давлением, являются мышечно-суставные боли, кожные проявления, вестибулярная форма ДБ (синдром Меньера) [1, 6–8].

Современные принципы лечения ДБ и соответствующие режимы изложены в специальной литературе [3]. В глубоководных насыщенных погружениях, проводимых за рубежом, используются, преимущественно, кислородно-гелиевые среды и смеси. При мышечных и суставных болях у водолаза в ходе декомпрессии из условий длительного пребывания под повышенным давлением его в барокомплексе повышают гелием до величины, при которой существенно облегчаются болевые ощущения (но не более чем на 20 м сверх глубины, на которой возникло заболевание). Выдержка при достигнутом давлении должна быть не менее 2 ч. При тяжелой ДБ давление увеличивают до значения, не более чем на 30 м превышающего глубину, на которой появились симптомы. Выдержка должна быть не менее 12 ч, затем проводят декомпрессию до поверхности.

Советов Владимир Игоревич – д-р мед. наук проф., вед. науч. сотр., Науч.-исслед. ин-т (спасания и подводных технологий) Воен.-мор. акад. им. Н. Г. Кузнецова (Россия, 189412, Санкт-Петербург, г. Ломоносов, ул. Морская, д. 4); e-mail: svi@oxymed.ru;

Бардышева Ольга Федоровна – ст. науч. сотр., Науч.-исслед. ин-т (спасания и подводных технологий) Воен.-мор. акад. им. Н. Г. Кузнецова (Россия, 189412, Санкт-Петербург, г. Ломоносов, ул. Морская, д. 4);

Мотасов Григорий Петрович – канд. мед. наук, ст. науч. сотр., Науч.-исслед. ин-т (спасания и подводных технологий) Воен.-мор. акад. им. Н. Г. Кузнецова (Россия, 189412, Санкт-Петербург, г. Ломоносов, ул. Морская, д. 4); e-mail: mgrp777@mail.ru.

Для отечественной технологии глубоководных погружений методом длительного пребывания под повышенным давлением наиболее характерно создание в отсеках барокомплекса кислородно-азотно-гелиевой среды, в то время как при работе под водой для дыхания применяют кислородно-гелиевые смеси.

На Военно-морском флоте (ВМФ) были разработаны эффективные режимы рекомпрессии для лечения ДБ и баротравмы легких, возникших у акванавтов при декомпрессии из условий длительного пребывания под повышенным давлением, например, с глубин до 300 м при использовании кислородно-азотно-гелиевой среды, включенные в «Правила водолазной службы Военно-морского флота» [3] (далее – ПВС ВМФ) и руководящие документы других ведомств. Согласно Инструкции по оказанию медицинской помощи при профессиональных водолазных заболеваниях (ч. II ПВС ВМФ [3]), при лечебной рекомпрессии повышение давления следовало проводить до значительного улучшения состояния заболевшего акванавта или полного исчезновения признаков болезни, но не более чем до величины 2,75 МПа (275 м). Заболевшего выдерживали под достигнутым давлением не менее 8–10 ч, декомпрессию проводили по режиму ПВС ВМФ.

Лечебные режимы для глубин до 300 м (аналогичные режимам ПВС ВМФ) включены в инструкцию [4]. После принятия решения о проведении лечебной рекомпрессии давление в барокамере повышают гелием со скоростью не менее 10 м/мин до исчезновения у заболевшего явлений ДБ или значительного улучшения его состояния. При ДБ легкой формы и средней тяжести во время повышения давления через каждые 10 м делают остановку на 5–10 мин и запрашивают самочувствие заболевшего. При тяжелой ДБ давление в отсеках барокамеры повышают без остановки на 20–30 м. При необходимости дальнейшего повышения давления через каждые последующие 10 м делается остановка на 5–10 мин и запрашивается самочувствие заболевшего. Давление, при котором наступило полное исчезновение симптомов ДБ или резкое улучшение состояния заболевшего, считается максимальным давлением лечебной рекомпрессии. На этой площадке заболевшего водолаза выдерживают не менее 2 ч, после чего давление в отсеках снижают по специальному режиму. При декомпрессии время перехода с остановки на остановку должно составлять не менее 20 мин (засчитывается как часть времени выдержки на очередной остановке).

Порядок лечения ДБ при возникновении декомпрессионных расстройств у акванавтов в ходе декомпрессии из условий длительного пребывания под повышенным давлением изложен в части III ПВС ВМФ-2002 [4]. Указано, что при возникновении декомпрессионных расстройств давление у акванавтов при длительном пребывании под повышенным давлением увеличивают последовательно на 5 м до исчезновения симптомов ДБ со скоростью не менее 10 м/мин, после чего делается площадка в течение 8 ч. Последующая декомпрессия проводится по рабочему режиму с увеличением времени выдержек на остановках в диапазоне глубин от 300 до 100 м в 1,2 раза, а в диапазоне глубин от 100 до 2 м – в 1,4 раза. Время снижения давления при переходе на очередную остановку должно составлять не менее 20 м (засчитывается в общее время очередной выдержки). Параметры газовой среды и микроклимата в процессе лечебной рекомпрессии поддерживаются в соответствии с требованиями, установленными для рабочей декомпрессии. Обогащение газовой среды кислородом осуществляют за 25–30 мин до перехода на очередную остановку.

Таким образом, изложенный в руководящих документах способ лечения ДБ на глубинах до 300 м предусматривает компрессию в барокомплексе до давления, при котором ослабевают или исчезают симптомы, и выдержку заболевшего акванавта под давлением с последующей декомпрессией. Давление повышают гелием, также практикуется обогащение газовой среды кислородом до 50 кПа.

При водолазных спусках могут складываться предпосылки для пересыщения тканей в изобарических условиях: это ситуации, когда под повышенным давлением осуществляется смена газовой среды или производится сменная подача газовых смесей, подаваемых на дыхание [9]. Условия возникновения изобарической противодиффузии индифферентных газов определены отечественными специалистами на основании результатов экспериментальных исследований [5, 6]. Возникновение противодиффузии индифферентных газов также возможно на этапе декомпрессии, причем сходство проявлений ДБ и симптомов противодиффузии (кожный зуд, высыпания на поверхности кожи, нарушения зрения, вестибулярные расстройства, венозная газовая эмболия) существенно осложняет диагностику.

Отечественными специалистами предложены следующие рекомендации [7]:

- при наличии симптомов противодиффузии прекратить декомпрессию;

– при вестибулярных нарушениях, расстройстве зрения, кожных проявлениях повысить давление в барокомплексе на 10–20 м гелием либо включить пострадавших на дыхание кислородно-гелиевой смесью с повышенным (до 200–220 кПа) парциальным давлением кислорода;

– время выдержки под достигнутым давлением и продолжительность дыхания кислородно-гелиевой смеси с повышенным парциальным давлением кислорода не должно превышать 1 ч;

– декомпрессию проводить только после полного исчезновения у водолаза симптомов изобарического поражения.

При расстройствах со стороны сердечно-сосудистой системы и системы дыхания вследствие противодиффузии лечение осуществлять как это предусмотрено при лечении подобных расстройств при ДБ.

Вместе с тем, необходимо отметить следующие особенности. Если декомпрессионное газообразование усугублено пересыщением противодиффузионным, повышение давления гелием малоэффективно, поскольку гелий потенцирует пересыщение внутренних сред организма и, тем самым, нивелируется лечебный эффект рекомпрессии, т.е. в подобных ситуациях для лечения требуются большие величины давления. Самой неблагоприятной является ситуация, когда необходимая лечебная глубина превышает технические возможности используемого барокомплекса.

Компрессия гелием с рекомпрессионным перепадом 0,2–0,3 МПа (20–30 м) не эффективна на глубинах более 70 м, так как при этом не обеспечивается существенное (и быстрое) уменьшение объемов свободной газовой фазы в крови и тканях организма человека. Исходя из логарифмического характера зависимости относительного уменьшения объема газового пузырька от давления, можно констатировать, что пузырек уменьшается наиболее существенно при возрастании давления в 2–3 раза относительно давления начала рекомпрессии, тогда как при последующем увеличении давления на каждую единицу давления объем уменьшается незначительно [2].

В ситуации, когда декомпрессионные расстройства отягощены противодиффузионным пересыщением, целесообразно повышать давление азотом до максимального значения его парциального давления 360–400 кПа одновременно с обогащением газовой среды кислородом до 60–80 кПа. Отечественными исследованиями установлено, что

во избежание возникновения противодиффузии при смене газовой среды градиент по парциальному давлению азота относительно исходной величины его парциального давления в среде должен быть менее 310–330 кПа, а соотношение парциальных давлений азота (в смеси/в среде) – менее 6,3–6,5. Таким образом, с точки зрения возникновения противодиффузии, рекомпрессия с увеличением в указанных пределах парциального давления азота (относительно его исходного уровня 100–120 кПа или более) безопасна, поскольку не достигаются нижние безопасные границы градиента. При уменьшении градиента ожидается снижение терапевтического эффекта, однако и увеличение градиента по азоту сверх 300 кПа относительно исходного уровня парциального давления азота весьма нежелательно ввиду возможного развития у водолаза «азотного наркоза». Лечебный эффект подкрепляется воздействием увеличенных до 60–80 кПа парциальных давлений кислорода, что повышает оксигенацию тканей. Модифицированным вариантом этого способа является перевод пострадавших водолазов на дыхание в изолирующие дыхательные аппараты смесью состава: азот – 360–400 кПа, кислород – 60–80 кПа, гелий – остальное, одновременно с началом рекомпрессии.

Приведенные способы лечения декомпрессионных расстройств на глубинах до 300 м с использованием азота использованы при проведении рекордных погружений.

Литература

1. Дэвис Дж.К., Эллиотт Д.Г. Лечение декомпрессионных нарушений // Медицинские проблемы подводных погружений : пер. с англ. / под ред. П.Б. Беннетта, Д.Г. Эллиотта. М. : Медицина, 1988. С. 608–635.
2. Кисляков Ю.Я., Бреслав И.С. Дыхание, динамика газов и работоспособность при гипербарии. Л. : Наука, 1988. 236 с.
3. Правила водолазной службы Военно-морского флота (ПВС ВМФ-2002). Ч. II. Медицинское обеспечение водолазов Военно-морского флота. М. : Воениздат, 2004. 176 с.
4. Правила водолазной службы Военно-морского флота (ПВС ВМФ-2002). Ч. III. Организация глубоководных спусков ВМФ и их медицинское обеспечение. М. : Воениздат, 2004. 184 с.
5. Семко В.В., Бухарин А.Н., Ласточкин Г.И., Бардышева О.Ф. Условия развития изобарической противодиффузии индифферентных газов и критерии ее оценки // Физиол. журн. (Киев). 1991. Т. 37, № 4. С. 46–52.
6. Семко В.В., Ласточкин Г.И., Бардышева О.Ф. Экспериментальные исследования синдрома изо-

барической противодиффузии // Медико-биологические проблемы декомпрессии : материалы 1-го всеос. совещания. М., 1991. С. 21–25.

7. Смолин В.В., Соколов Г.М., Павлов Б.Н., Демчишин М.Д. Глубоководные водолазные спуски и их медицинское обеспечение в 3 т. М. : Слово, 2003. Т. 1. 591 с.; 2004. Т. 2. 722 с.; 2005. Т. 3. 536 с.

8. Смолин В.В., Соколов Г.М., Павлов Б.Н. Декомпресссионная болезнь. / под ред. В.М. Баранова. М. ; Калининград : Страж Балтики, 2010. 651 с.

9. Эллиотт Д.Г., Киндуол Е.П. Проявления декомпресссионных нарушений // Медицинские проблемы подводных погружений : пер. с англ. / под ред. П.Б. Беннетта, Д.Г. Эллиотта. М. : Медицина, 1988. С. 591–607.

10. D'Aust B.G., Lambertsen C.J. Isobaric Gas Exchange and Supersaturation by Counterdiffusion // The Physiology and Medicine of Diving and Compressed Air Work / Eds. P.B. Bennett, D.H. Elliott. 3rd ed. London : Bailliere Tindal, 1982. P. 383–403.

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

Поступила 28.08.2015

Для цитирования. Советов В.И., Бардышева О.Ф., Мотасов Г.П. О лечении тяжелой декомпресссионной болезни в форме синдрома Меньера // Мед.-биол. и соц.-психол. пробл. безопасности в чрезв. ситуациях. 2016. № 2. С. 73–76. DOI 10.25016/2541-7487-2016-0-2-73-76

On the treatment of decompression disorders in aquanauts during decompression from depths up to 300 m when using oxygen-nitrogen-helium environment

Sovetov V.I., Bardysheva O.F., Motasov G.P.

Scientific research Institute (rescue and underwater technologies) Naval Academy named after Admiral of the Fleet of the Soviet Union N.G. Kuznetsov (Morskaya Str., 4, Lomonosov, Saint-Petersburg, 189412, Russia)

Vladimir Igorevich Sovetov – Dr. Med. Sci. Prof., Leading Research Associate; e-mail: svi@oxy.med.ru;

Ol'ga Fedorovna Bardysheva – Senior Research Associate;

Grigori Petrovich Motasov – PhD Med. Sci., Senior Research Associate; e-mail: mgp777@mail.ru.

Abstract. The peculiarities of treatment of decompression disorders in divers via a long stay under the pressure of artificial gas and water up to 3.1 MPa are considered. It is shown that in case of decompression complicated with antidiffusion oversaturation it is advisable to increase the partial pressure of nitrogen up to 360–400 kPa concomitantly with oxygen enrichment up to 60–80 kPa.

Keywords: emergency situation, underwater medicine, decompression disorders, divers, long stay under the pressure, recompression, antidiffusion of gases.

References

1. Davis J.C., Elliott D.H. Lechenie dekompressionnykh narushenii [Treatment of decompression disorders]. Meditsinskie problemy podvodnykh pogruzhenii [Medical problems of underwater diving]. Eds. P.B. Bennett, D.H. Elliott. Moskva. 1988. Pp. 608–635. (In Russ.)

2. Kislyakov Yu.Ya., Breslav I.S. Dykhanie, dinamika gazov i rabotosposobnost' pri giperbarii [Breath, gas dynamics and performance under hyperbaric conditions]. Leningrad. 1988. 236 p. (In Russ.)

3. Pravila vodolaznoi sluzhby Voenno-morskogo flota [Rules of diving service of Navy] (PVS VMF-2002). Part II. Meditsinskoe obespechenie vodolazov Voenno-morskogo flota [Medical support of divers of the Navy]. Moskva. 2004. 176 p. (In Russ.)

4. Pravila vodolaznoi sluzhby Voenno-morskogo flota [Rules of diving service of Navy] (PVS VMF-2002). Part III. Organizatsiya glubokovodnykh spuskov VMF i ikh meditsinskoe obespechenie [The organization of deep water dives in the Navy and their medical support]. Moskva. 2004. 176 p. (In Russ.)

5. Semko V.V., Bukharin A.N., Lastochkin G.I., Bardysheva O.F. Usloviya razvitiya izobaricheskoi protivodiffuzii indifferentnykh gazov i kriterii ee otsenki [Conditions of development of isobaric antidiffusion of indifferent gases and criteria of its assessment]. Fiziologicheskii zhurnal [Physiological Journal] (Kiev). 1991. Vol. 37, N4. Pp. 46–52. (In Russ.)

6. Semko V.V., Lastochkin G.I., Bardysheva O.F. Eksperimental'nye issledovaniya sindroma izobaricheskoi protivodiffuzii [Experimental studies of the isobaric antidiffusion syndrome]. Mediko-biologicheskie problemy dekompressii [Biomedical decompression problems]: Scientific. Conf. Proceedings. Moskva. 1991. Pp. 21–25. (In Russ.)

7. Smolin V.V., Sokolov G.M., Pavlov B.N., Demchishin M.D. Glubokovodnye vodolaznye spuski i ikh meditsinskoe obespechenie [Deep sea diving descents and their medical support]. In 3 Vol. Moskva. 2003. Vol. 1. 591 p.; 2004. Vol. 2. 722 p.; 2005. Vol. 3. 536 p. (In Russ.)

8. Smolin V.V., Sokolov G.M., Pavlov B.N. Dekompressionnaya bolezn' [Decompression sickness]. Ed. V.M. Baranov. Moskva : Kaliningrad. 2010. 651 p. (In Russ.)

9. Elliott D.H., Kindwall E.P. Proyavleniya dekompressionnykh narushenii [Manifestations of decompression disorders]. Meditsinskie problemy podvodnykh pogruzhenii [Medical problems of underwater diving]. Eds. P.B. Bennett, D.H. Elliott. Moskva. 1988. Pp. 591–607. (In Russ.)

10. D'Aust B.G., Lambertsen C.J. Isobaric Gas Exchange and Supersaturation by Counterdiffusion. The Physiology and Medicine of Diving and Compressed Air Work. Eds. P.B. Bennett, D.H. Elliott. 3rd ed. London : Bailliere Tindal, 1982. Pp. 383–403. Received 28.08.2015

For citing. Sovetov V.I., Bardysheva O.F., Motasov G.P. K voprosu o lechenii dekompressionnykh rasstroistv, voznikshikh u akvanavtov v khode dekompressii s glubin do 300 m pri ispol'zovanii kislorodno-azotno-gelievoi sredy. Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh. 2016. N 2. Pp. 73–76. (In Russ.)

Sovetov V.I., Bardysheva O.F., Motasov G.P. On the treatment of decompression disorders in aquanauts during decompression from depths up to 300 m when using oxygen-nitrogen-helium environment. Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations. 2016. N 2. Pp. 73–76. DOI 10.25016/2541-7487-2016-0-2-73-76