

РАЗЛИЧИЯ НОРМАТИВОВ ДЫХАНИЯ КИСЛОРОДОМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ВОДОЛАЗОВ И ДАЙВЕРОВ

Кислород давно привлек внимание водолазных врачей и других специалистов водолазного дела как газ, при применении которого уменьшается насыщение тканей индифферентным газом (азотом, гелием и др.), ускоряется декомпрессия, что повышает эффективность выполнения подводных работ. При возникновении ряда заболеваний (в частности, декомпрессионной болезни и баротравмы легких) кислород также оказывает выраженный лечебный эффект. Кроме того, использование кислорода в снаряжении с замкнутой схемой дыхания специальными подразделениями водолазов обеспечивает скрытность их пребывания под водой. Однако применение кислорода под давлением таит в себе и некоторые опасности, одной из которых является его токсическое действие.

Первые сведения о том, что жизненно необходимый газ кислород является в то же время токсичным, появились практически одновременно с его открытием. Один из первооткрывателей кислорода английский химик и философ Джозеф Пристли, получивший в 1774 г. «дефлогистированный воздух» (названный затем кислородом), в 1775 г. обнаружил, что мыши, помещенные в его среду, заболевают и гибнут. В связи с этим Пристли предсказал, что этот газ может быть вреден для здоровья человека. Повторно отравляющее действие повышенного парциального давления кислорода было открыто французскими учеными К.Дюма в 1793 г. и А.Фуркруа в 1797 г. Однако прошло еще сто лет, прежде чем были проведены более обстоятельные и всесторонние исследования токсического действия O_2 на живые организмы – в 1873 г. французским ученым, основоположником гипербарической физиологии Полем Бером и отечественным физиологом И.Р.Тархановым (Тарханишвили), а в 1897–1898 гг. – английским физиологом Дж. Лоррэнном Смитом. После этого появились понятия «эффект Поля Бера» (судорожная форма отравления кислородом) и «эффект Лоррэна Смита» (легочная форма). Наиболее основательное к концу XIX в.

исследование токсического действия кислорода принадлежит П.Беру.

В середине прошлого века появилась третья форма отравления кислородом – сосудистая.

Интерес к этому сложному и неоднозначному биологическому явлению, появление и развитие глубоководных водолазных спусков, спусков с использованием чистого кислорода и обогащенных кислородом дыхательных газовых смесей, а также лечебное применение кислорода при нормальном и повышенном давлении явились стимулом для проведения в XX в. за рубежом и в нашей стране многочисленных исследований. Изучению подвергались различные стороны физиологического и патологического действия кислорода при различных величинах давления и продолжительности действия на организм животных и человека. Изучалось действие кислорода на центральную нервную, сердечно-сосудистую и дыхательную системы, систему крови, тканевые ферменты и др. В результате этих исследований на основе выявления физиологических и патологических реакций организма на действие кислорода определялись максимальные безопасные величины его парциального давления и допустимая продолжительность дыхания.

Кислород является ядом хроноконцентрационного действия, то есть его поражающее действие зависит в основном от величины парциального давления и продолжительности дыхания им. В плане водолазных погружений и дайвинга, особенно при кратковременных погружениях на малые и средние глубины, наибольший интерес представляет острая, судорожная форма отравления кислородом, «эффект Поля Бера».

В первой половине XX в. в разных странах было проведено большое количество опасных экспериментов в барокамерах, часто самоэкспериментов, по определению времени наступления судорог при высоком парциальном давлении кислорода.

В 1910 г. А.Борнштейн дышал чистым кислородом под давлением 20 м вод.ст. (3 абс. кгс/см²) в течение 48 мин. без неблагоприятных последствий.

В 1933 г. английские офицеры Г.Даман и Филипс дышали кислородом под давлением 30 м вод.ст. (4 абс. кгс/см²). У Филипса через 13 мин. возникли судороги, а у Дамана через 16 мин. появилось подергивание мышц лица.

А.Р.Бенке и соавторы (1935 г.) на основании собственных экспериментов с участием испытуемых в условиях барокамеры пришли к заключению, что сравнительно безопасно для человека дыхание кислородом при 1,0 абс. кгс/см² в течение 4 ч., при 2,0 кгс/см² – 3 ч., при 3,0 кгс/см² – 2 ч.

В нашей стране Б.Д.Кравчинский и С.П.Шистовский в 1936 г. провели на себе более 30 успешных испытаний, при которых до 10–20-й мин. дышали кислородом под давлением 5,5 и 6 абс. кгс/см². По результатам этих испытаний авторы посчитали безопасным для человека дыхание под давлением 4 абс. кгс/см² в течение 20 мин., под давлением 5–6 кгс/см² – 10 мин. Однако затем они дали менее оптимистичные нормативы: 2 абс. кгс/см² – 50 мин., 3 абс. кгс/см² – 30 мин., 4 абс. кгс/см² – 8 мин.

В 1941 г. группа Дж.Б.С.Холдейна (сына Джона Скотта Холдейна – создателя таблиц ступенчатой декомпрессии) провела серию самоэкспериментов по дыханию кислородом под разными величинами давления. Элен Сперуэй 17 раз испытала дыхание кислородом под давлением 3,7 абс. кгс/см², один раз она выдержала 88 мин., а в другой через 13 мин. у нее начались судороги. Мартин Хазе и Дж.Б.С.Холдейн при дыхании кислородом под давлением 7 абс. кгс/см² получили судороги через 4,5 и 5 мин. соответственно. В другом эксперименте при дыхании кислородом под давлением 6 абс. кгс/см² ни у одного из четырех испытуемых в течение 5 мин. не было судорог, но у троих были другие симптомы кислородной интоксикации. Потрясающий самоэксперимент провели Дж.Б.С.Холдейн и К.В.Дональд, которые примерно в течение 20 секунд ды-

шали кислородом под давлением 10 абс. кгс/см², пытаясь ответить на вопрос: имеет ли в такой высокой концентрации кислород какой-нибудь вкус? Дональд пишет: «Я не собираюсь повторять этот эксперимент».

В 1942 г. К.В.Дональд провел большую серию работ, состоящую из 200 экспериментов при дыхании испытуемых кислородом под повышенным давлением. 36 человек дышали кислородом под давлением от 3 до 7 абс. кгс/см². При 3,5 абс. кгс/см² у пяти человек на 19–35-й мин. появились судороги, остальные в пределах 6–96 мин. выключались из аппаратов при появлении различных симптомов отравления. Затем были проведены эксперименты при дыхании испытуемых в водной среде гидробарокамеры под давлением от 1,75 до 4 кгс/см².

На основании проведенных экспериментов были сделаны следующие выводы:

1) устойчивость к токсическому действию кислорода широко варьирует не только у разных лиц, но также у одного и того же лица в разные дни (у одного появились симптомы через 7 мин., а на следующий день – через 148 мин.);

2) в водной среде токсическое действие наступает значительно быстрее, чем в сухой барокамере;

3) при выполнении физической работы устойчивость к токсическому действию кислорода значительно снижается.

Отечественные и зарубежные исследователи выявили также значительное усиление токсического действия кислорода при наличии во вдыхаемой газовой смеси диоксида углерода (углекислого газа). Дональд сделал вывод о том, что работа под водой при дыхании кислородом при парциальном давлении выше 1,7 кгс/см² является опасной.

Кроме того, во всем мире было выполнено большое количество исследований на животных по определению времени дыхания кислородом, при котором возникают те или иные проявления со стороны легких, центральной нервной системы, других органов и систем. В нашей стране всесторонние многолетние исследования по данной проблеме были проведены А.Г.Жиронкиным.

Данные, полученные в опытах на животных и в исследованиях с участием испытуемых, были необходимы для нормирования дыхания водолазов, в первую очередь водолазов военно-морских сил под водой и в барокамерах.

На основании данных, полученных Дональдом, в зарубежных ВМС глубины использования кислорода были ограничены 6–9 м (1,6–1,9 кгс/см²) и в виде исключения – 12 м (2,2 кгс/см²). Так, в США в обычных условиях военные водолазы могут спускаться на кислороде

до 7,6 м (до 75 мин.) и в особых случаях – до 12 м (до 10 мин.), в Великобритании и Австралии в покое они могут дышать кислородом на глубине 9 м, а при выполнении работ – на 7 м. Максимально допустимое для дайверов-любителей парциальное давление кислорода составляет 1,6 кгс/см², рекомендованное – 1,4 кгс/см².

При установлении нормативов по кислороду в нашей стране за основу были взяты не данные Дональда, а результаты предыдущих исследований отечественных и зарубежных ученых. С 1943 г. максимальная разрешенная глубина погружений на кислороде составила 20 м.

В настоящее время у нас приняты следующие допустимые глубины и время работы водолазов под водой при дыхании кислородом (см. таб. 1, 2).

Следует сказать, что воздушные перерывы позволяют значительно увеличить безопасное время дыхания чистым кислородом.

Принятые в нашей стране нормативы согласуются с результатами отечественных и зарубежных исследований, в частности с широко известным графиком, составленным К.Дж.Ламбертсеном в 1968 г. (см. график).

Кроме спусков под воду и в барокамерах кислород используется для сокращения времени декомпрессии в барокамерах, а также для лечения как заболеваний водолазов, дайверов и кессонных рабочих, так и самых различных заболеваний, главным образом, сопровождающихся гипоксическими явлениями.

При декомпрессии с малых и средних глубин Б.Д.Кравчинский и С.П.Ши-

стовский (1940) начали применять 80 %-ную кислородно-азотную смесь с «глубины» 30 м. С 1943 г. переход на чистый кислород осуществлялся с 18 м, а с 1952 г. до настоящего времени – с «глубины» 15 м, хотя обычно военные и гражданские водолазы до конца декомпрессии дышат из воздушной среды барокамеры. Раньше в ВМФ переход на дыхание кислородом при декомпрессии после глубоководных спусков (на глубины от 60 до 200 м) выполнялся под давлением 20 м вод.ст. (3 абс. кгс/см²), однако в 1987 г. кислородная декомпрессия была исключена из режимов, и до конца декомпрессии водолазы дышат воздухом. В народном хозяйстве уже первые глубоководные режимы, составленные в начале 1970-х годов, не содержали кислородных выдержек. Для декомпрессии под водой чистый кислород водолазы не применяют.

Для лечебных целей кислород в нашей стране обычно используется при абсолютном давлении до 2–3 кгс/см² (для лечения декомпрессионной болезни легкой степени и для оказания помощи при баротравме легких до последующей лечебной рекомпрессии – под давлением 3 кгс/см²). Стандартное лечение декомпрессионной болезни I и II типов у водолазов и дайверов за рубежом предусматривает две ступени использования кислорода: 2,8 и 1,9 кгс/см².

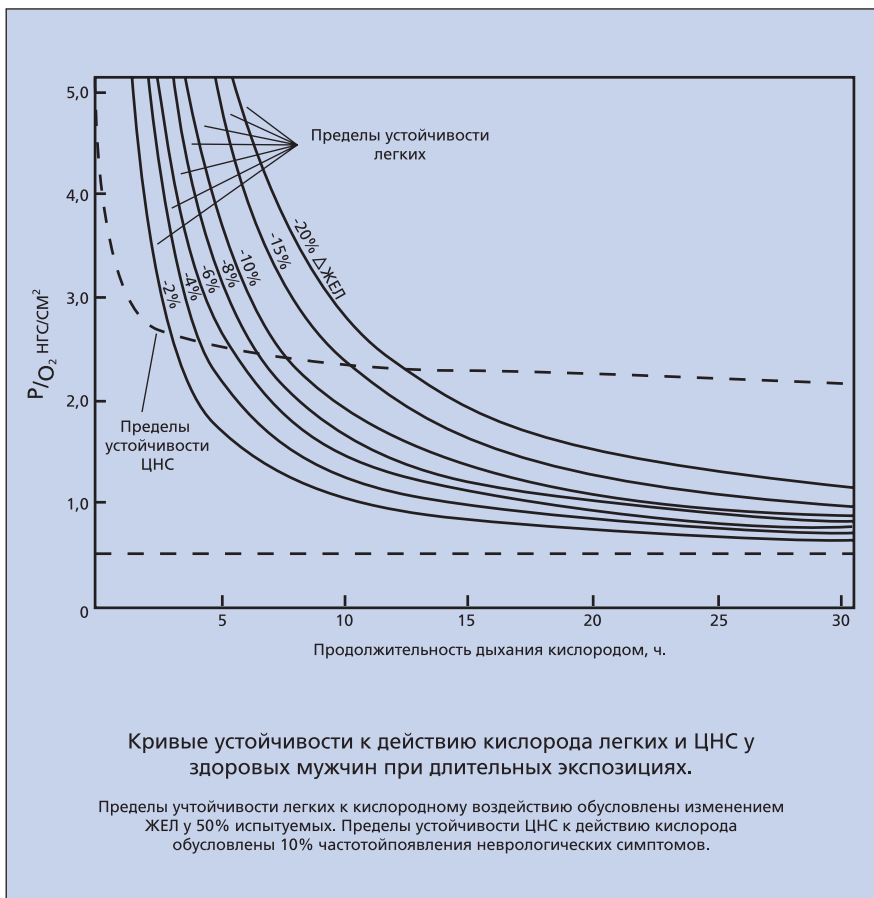
Таким образом, для спусков водолазов под воду в нашей стране допускается кислород при парциальном давлении в 1,5–2 раза больше, чем для зарубежных водолазов и для дайверов. Кислород при декомпрессии в нашей стране

Глубина спуска, м (парциальное давление кислорода, кгс/см ²)	Допустимое время работы	
	легкой и средней тяжести	тяжелой
5 (1,5)	7 ч.	2 ч.
10 (2,0)	2,5 ч.	1 ч.
15 (2,5)	30 мин.	20 мин.
20 (3,0)	20 мин.	10 мин.

Таб. 1

Более жесткие условия спусков на воздухе и кислороде допускаются для барокамер:		
Избыточное давление воздуха, м вод.ст. (кгс/см ²) (эквивалентно глубине погружения на воздухе)	Абс. давление кислорода, кгс/см ²	Время дыхания, ч.
20 (2)	0,6	до 170–180
30 (3)	0,8	40–80
40 (4)	1,0	25–45
50 (5)	1,3	15–25
60 (6)	1,5	10–16
70 (7)	1,7	8–12
80 (8)	1,9	5–9
90 (9)	2,1	3–4
100 (10)	2,3	2–3
-	3,0	до 1–1,5

Таб. 2



в последнее время практически не используется, а в гражданских ведомствах не нашел применения и при спусках под воду. Величины парциального давления кислорода при лечении почти одинаковые в нашей стране и за рубежом – 3,0 и 2,8 кгс/см² соответственно.

Различие в допустимом парциальном давлении для профессиональных водолазов разных стран имеет исторические корни более чем 60-летней давности, что связано с тем, на какие экспериментальные данные ориентировались составители нормативов.

Различие по нормам дыхания кислородом у дайверов и отечественных водолазов вполне объяснимо. Первая причина – большой разброс индивидуальной чувствительности к кислороду для разных лиц и для одного и того же лица от дня ко дню. Это более характерно для дайверов, которые в отличие от водолазов (особенно водолазов-глубоководников) не проходят профессионального и тщательного медицинского отбора, ежегодных медицинских осмотров (исследований). Кроме того, в ходе водолазных спусков осуществляется медицинское обеспечение квалифицированным медицинским персоналом, в какой-то степени имеется и «естественный отбор» по данным динамического наблюдения за выполнением водолазами подводных работ, их самочувствием и состоянием здоровья. Авторы данной статьи приняли участие в медицинском обеспечении более тысячи глубоководных человеко-спу-

сков с переходом на дыхание кислородом под давлением 20 м вод.ст. (3 абс. кгс/см²) и неоднократно испытали эти режимы на себе. При этом не отмечалось случаев судорожной и легочной форм отравления кислородом. Но несколько десятков сеансов гипербарической оксигенации на базе глубоководного комплекса ГВК-250 заставили нас по-иному относиться к безопасности применения кислорода. У одного дайвера появились судороги на 19-й минуте дыхания кислородом под давлением 16 м вод.ст. (2,6 кгс/см²), которое ниже допустимого по отечественным и международным нормам. Накануне он успешно прошел такое лечение в течение часа. У другой пациентки-дайвера начальные проявления токсического действия кислорода появились во время первого сеанса при парциальном давлении кислорода 2 кгс/см². Непредсказуемость реакций отдельных пациентов привела к тому, что обычно мы проводим двоякие сеансы кислородной терапии с воздушными перерывами под давлением 10 м вод.ст. (2 кгс/см²).

Вторая причина заключается в том, что помимо различий в индивидуальной чувствительности к кислороду играют роль и условия применения данных нормативов. Нормативы для водолазов касаются в основном спусков под воду на чистом кислороде или в воздушной среде барокамеры, а дайверы погружаются под воду на воздухе или на искусственных газовых смесях. При спу-

сках водолазов под воду с дыханием газовыми смесями нормативы в нашей стране иные: для воздуха – 1,89 абс. кгс/см² (на 80 м – максимальной глубине спуска в аварийных случаях), для погружений на 40%-ных кислородно-азотных смесях на глубины 21–45 метров – 2,2 кгс/см². Для глубоководных спусков на кислородно-азотно-гелиевых смесях (на глубины от 70 до 200 м) в народном хозяйстве – 1,05–1,10 кгс/см², в ВМФ до 1987 г. – 1,5 (с допустимыми границами 1,3–1,8) кгс/см². Последние 20 лет пределы по кислороду для военных водолазов-глубоководников составляют 1,10–1,25 кгс/см² кислорода.

Основанием для снижения содержания кислорода в смесях служат необходимость последующей декомпрессии при повышенном парциальном давлении кислорода, а также результаты исследований Г.Л.Зальцмана (1961), Питера Беннета (1967), А.Г.Жиронкина и Г.В.Трошихина (1971), А.Г.Дианова и С.И.Ефуни (1971). Эти исследования показали, что в присутствии азота под давлением, вызывающим выраженный наркотический эффект, или в присутствии гелия существенно сокращается период до возникновения кислородных судорог.

Каковы же выводы из вышеизложенного? Ограничение парциального давления кислорода при спусках под воду дайверов сделано не напрасно, а соответствующие отечественные нормативы для водолазов при спусках под воду на воздухе и газовых смесях даже более щадящие (следует, правда, отметить, что водолазы дольше находятся на максимальной глубине и выполняют работы, часто тяжелые). Применение чистого кислорода для спусков водолазов под воду (за исключением специальных работ) постепенно уходит из практики, что в основном связано с повсеместным внедрением воздушного снаряжения с открытой схемой дыхания. Спуски в барокамерах под давлением воздуха до 100 м вод.ст. с целью тренировок или лечения не опасны в отношении воздействия кислорода при парциальном давлении 2,3 кгс/см² ввиду краткого времени пребывания на максимальной «глубине» (до 15–20 мин.). Не нашли широкого применения в водолажном деле 40%-ные кислородно-азотные смеси для спусков на глубины 21–45 м. Реже применяется кислородная декомпрессия (обычно применяется воздушная). В то же время продолжают исследования по оптимизации кислородной терапии и расширению показаний для лечебного применения кислорода при нормальном и повышенном давлении как изолированно, так и в сочетаниях с различными индифферентными газами. В нашем институте такие исследования на протяжении ряда лет проводятся под руководством Б.Н.Павлова.

AQUA LUNG®
FIRST TO DIVE

www.aqualung.ru

Northland — для северных территорий..



Сухой гидрокостюм Northland Aqua Lung изготовлен из прессованного неопрена Yamamoto 4.5 мм наивысшего качества с износостойким неабразивным внешним покрытием из нейлона Kapoko. При использовании утеплителей из материалов Thinsulate® или Polar® гидрокостюм Northland Aqua Lung идеален для подледных погружений.

• Плечи усилены панелями TATEX, которые препятствуют скольжению ремней компенсатора по плечам и обеспечивают отличную защиту от истирания.

• Износостойкая гермомолния YKK/BDM защищена от истирания неопреновой накладкой.

• Отделяемый неопреновый шлем имеет простой и надежный способ крепления к гидрокостюму.



Photo: François Brun©

AQUA LUNG

technisub

Dräger

seaquest

U.S. DIVERS

г. Москва
Интернет-магазин "Decostop"
Адрес: ул. Бориса Галушкина, 16
Тел.: (495) 686-08-43, 686-38-21
686-89-18
E-mail: order@decostopshop.ru
www.decostop.ru

г. Москва
Подводный салон
"Лохматый Кашалот"
Адрес: Ленинский пр-т, 50а
Тел.: (495) 935-93-20, 995-25-20
Факс: (495) 995-25-17
E-mail: shop@kashalot.ru
www.kashalot.ru

г. Москва
Магазин "Три стихии"
Адрес: Серпуховской вал, д.6
Тел.: (495) 105-77-99 (многоканальный)
E-mail: club@dive.ru
www.dive.ru

г. Екатеринбург
"Галитио"
Адрес: г. Екатеринбург,
ул. Фрунзе, 35а
Тел: (343) 217-51-08
Факс: (343) 251-99-14
E-mail: galitio@bk.ru

г. Иркутск
магазин "Ю-Спорт" (club "БайкалТех")
Адрес: г. Иркутск, ул. Красноказачья, 85
Тел: (3952) 22-02-56, 22-02-53
8-902-595-44-88
E-mail: info@baikaldiving.ru
www.baikaldiving.ru

г. Волгоград
магазин "Ямаха H2O"
Адрес: г. Волгоград,
ул. Академическая, 11
Тел.: (8442) 94-40-89
E-mail: h2ovolga@yandex.ru

WWW.AQUALUNG.COM