

В.В.Смолин, Г.М.Соколов

(ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН)

По поводу 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<sub>2</sub> на живые организмы – в 1873 г. французским ученым, основоположником гипербарической физиологии Полем Бером и отечественным физиологом И.Р.Тархановым (Тарханишвили), а в 1897-98 гг. – английским физиологом Дж. Лоррэнсом Смитом. После этого появились понятия «эффект Поля Бера» (судорожная форма отравления кислородом) и эффект «Лоррэна Смита» (легочная форма). Наиболее основательное исследование токсического действия кислорода до конца XIX века 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 веке за рубежом и в нашей стране многочисленных исследований по изучению различных сторон 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 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. Борнштейн дышал чистым кислородом под давлением 20 м вод.ст. (3 абс. кгс/см<sup>2</sup>) 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/см<sup>2</sup>). У Филипса через 13 мин. возникли судороги, а у Дамана через 16 мин. появилось подергивание мышц лица.

А.Р.Бенке и соавт. (1935) 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/см<sup>2</sup> в течение 4 ч., при 2,0 кгс/см<sup>2</sup> – 3 ч., при 3,0 кгс/см<sup>2</sup> – 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 абс. кгс/см<sup>2</sup> и 6 абс. кгс/см<sup>2</sup>. По результатам этих испытаний авторы посчитали безопасным для человека дыхание под давлением 4 абс. кгс/см<sup>2</sup> в течение 20 мин., под давлением 5-6 кгс/см<sup>2</sup> – 10 мин. Однако затем они дали менее оптимистичные нормативы: 2 абс. кгс/см<sup>2</sup> – 50 мин., 3 абс. кгс/см<sup>2</sup> – 30 мин., 4 абс. кгс/см<sup>2</sup> – 8 мин.

В 1941 г. группа Дж.Б.С.Холдейна (сына Джона Скотта Холдейна – создателя таблиц ступенчатой декомпрессии) провела серию самоэкспериментов по дыханию под разными величинами давления кислорода. Элен Сперуэй 17 раз испытала дыхание кислородом под давлением 3,7 абс. кгс/см<sup>2</sup>, 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/см<sup>2</sup> получили судороги через 4,5 и 5 мин. соответственно. В другом эксперименте при дыхании кислородом под давлением 6 абс. кгс/см<sup>2</sup> 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 дышали кислородом под давлением 10 абс. кгс/см<sup>2</sup>, 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/см<sup>2</sup>. При 3,5 абс. кгс/см<sup>2</sup> 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/см<sup>2</sup>. 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/см<sup>2</sup> 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/см<sup>2</sup>) и в виде исключения – 12 м (2,2 кгс/см<sup>2</sup>). 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. Максимальное парциальное давление кислорода для дайверов составляет 1,6 кгс/см<sup>2</sup>.

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 глубина погружений на кислороде составила 20 м. Следует сказать, что воздушные перерывы позволяют значительно увеличить безопасное время дыхания кислородом.

Принятые в нашей стране нормативы согласуются с результатами отечественных и зарубежных исследований, в частности с широко известным графиком, составленным К.Дж.Ламбертсоном в 1968 г.

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.Шистовский (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. 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/см<sup>2</sup>). В народном хозяйстве уже первые глубоководные режимы, составленные в начале 1970-х гг., не содержали кислородных выдержек.

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

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. Различие в допустимом парциальном давлении для профессиональных водолазов разных стран имеет исторически корни более 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 – это то, что в отличие от дайверов водолазы (и особенно водолазы-глубоководники) проходят профессиональный отбор, тщательное начальное медицинское обследование и ежегодные медицинские осмотры (обследования), 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-спусков с переходом на дыхание кислородом под давлением 20 м вод.ст. (3 абс. кгс/см<sup>2</sup>) и неоднократно испытали эти режимы на себе. При этом не отмечалось случаев судорожной и легочной форм отравления кислородом.

Каковы же выводы из вышеизложенного? Ограничение парциального давления кислорода при спусках под воду дайверов сделано не напрасно, а соответствующие отечественные нормативы для водолазов 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/см<sup>2</sup> ввиду краткого времени пребывания на максимальной «глубине» (до 15-20 мин.).

По материалам журнала Dive Tek