

Плавание с трубкой для дыхания (правда о подвиге Сцилиуса).

Самый простой способ знакомства с подводным миром -- ныряние с маской, ластами и дыхательной трубкой (на английский манер это развлечение называют шноркеллингом/сноркеллингом по названию дыхательной трубки -- шноркель/сноркель).

Достоверно установлено, что уже в V веке до н.э. греческие пловцы зарабатывали на жизнь добычей морской губки и выполнением так называемых секретных военных заданий. Классический пример подобной операции -- подвиг Сцилиуса, относимый летописцами к 500 году до н.э. Как рассказывает эту историю Геродот, грек был пленен и отдан в рабство гребцом на галеры персидского царя Ксеркса I. Однажды, накануне нападения персидской эскадры на греческий флот, вооруженный ножом Сцилиус бросился в море, выпрыгнув за борт. Его сочли утонувшим и искать не стали. Он же спрятался под водой, используя для дыхания трубку, приготовленную из стебля тростника, и благополучно дождался ночи. Под покровом темноты он прокрался среди неприятельских судов и перерезал якорные канаты, нарушив строй флотилии и посеяв панику в стане врага. Потом он проплыл морем 9 миль (около 15 км), пока не встретил греческие корабли у мыса Артемизий.

Сегодня мы рассмотрим медицинские аспекты свободного плавания, разберем, что происходит с организмом, когда человек пользуется дыхательной трубкой для поиска ракушек, какие его подстерегают опасности, характерные для данного вида подводного спорта. Эти знания не только интересны, но в дальнейшем помогут понять некоторые особенности функционирования организма как обычного аквалангиста, так и технодайвера. Какой длины была трубка Сцилиуса? Можно ли, используя для дыхания шноркель, спрятаться на глубине 5 м? А на глубине 25 м? Оказывается, нельзя. И вот почему.

Обычно вдох осуществляется за счет расширения грудной клетки. На тело человека, опустившегося под воду, действует гидростатическое давление. Величина давления прямо пропорциональна глубине погружения. Плотность воды составляет около 1000 кг/м^3 , т.е. 1 г/см^3 , значит на глубине 0,5 м на каждый квадратный сантиметр поверхности будет действовать давление около 50 г. Площадь грудной клетки составляет около $0,4 \text{ м}^2$ или 4000 см^2 . Для того, чтобы сделать вдох, находясь на глубине 50 см, необходимо преодолеть «сопротивление» 200 кг. На глубине 1 м, где давление составляет уже 100 г/см^2 , дыханию через шноркель будет «противодействовать» уже 400 кг. Думаю, ни у кого не возникнет желания спорить, что при таких условиях работа дыхательных мышц бывает затруднена.

Но гидростатическое давление -- далеко не единственное препятствие к широкому использованию дыхательной трубки на глубине. Еще есть так называемое сопротивление дыханию. Чтобы наглядно представить, что это такое, сделайте простой опыт, попробовав дышать через соломинку для коктейля. Чтобы заставить воздух проходить по трубке всегда необходимо затрачивать усилие. Работа будет тем большей, чем уже и длиннее трубка, чем больший объем газа необходимо протолкнуть за единицу времени, чем выше плотность газа (ученые называют это законом Бернулли). Возникает противоречие: в идеале шноркель, чтобы он не мешал дышать, должен быть широким, коротким, а дышать необходимо «по чуть-чуть» и медленно, в реальной же жизни пловцу нужна длинная узкая трубка для обеспечения интенсивного дыхания «на пределе возможностей».

Объем вдоха-выдоха у здорового человека в покое составляет около 0,5 л, число дыхательных циклов в минуту -- 12. Трубка длиной 0,5 м и диаметром 1 см, через которую за 1 мин. прогоняют 12 л воздуха (6 л газа -- 12 вдохов по 0,5 л -- проходит в одну сторону, а потом выходит обратно, в сумме это дает 12 л) создает избыточное сопротивление, эквивалентное давлению 0,33 кг/см². При физической нагрузке минутный объем дыхания возрастает до 30-40 л, следовательно, через трубку должно пройти 60-80 л воздуха. В этом случае необходимо преодолеть уже 2,3 кг/см²! Трубка того же диаметра длиной 1 м составит «сопротивление» 0,63 кг/см² в покое и 3,8 кг/см² в условиях интенсивного плавания. Между прочим, при спокойном дыхании «сопротивление» соломинки для коктейля, о которой мы недавно вспоминали, должно составить около 4 кг/см². Сравнивайте сами.

И еще одно замечание. Человек совершает дыхательные движения грудной клеткой для того, чтобы постоянно обновлять воздух в легких. При каждом вдохе ему необходима порция свежего газа. Долго дышать «по замкнутому циклу», т.е. вдыхать воздух из того же резинового бурдюка, куда делается выдох, невозможно. Это понятно даже на бытовом уровне, в таком резиновом бурдюке обязательно должна быть смена газа, т.е. приток «свежих» порций. Дыхание через шноркель можно уподобить дыханию из бурдюка: при выдохе использованный воздух остается в полости трубки и при последующем вдохе попадает обратно в легкие. Если объем шноркеля достаточно велик, развивается ситуация, когда при вдохе свежий воздух заполняет сам шноркель, а легкие получают тот газ, вытесняемый из дыхательной трубки, который уже раньше побывал в легких -- в ходе предшествующих дыхательных циклов. Получается так, что человек вдыхает и выдыхает одни и те же порции воздуха, а тот газ, что входит в шноркель при вдохе, просто не доходит до легких.

Объем трубки диаметром 1 см и длиной 1 м составляет 0,314 л. Вспомните, мы только что говорили, что объем вдоха-выдоха здорового человека в состоянии покоя составляет около 0,5 л. Следовательно, если дышать через такую трубку, более половины вдыхаемого воздуха всегда будет «несвежим». Это равносильно тому, чтобы дышать лишь вполовину потребности: попробуйте, лежа на диване, когда читаете этот номер, сознательно ограничить объем дыхательных движений, не увеличивая их частоты. Уверен, более 2-3 мин Вы не протянете, -- обязательно начнете дышать глубоко и часто. Тоже самое происходит и с пловцом.

Объем дыхательной трубки, присутствие которого выключает некоторое количество вдыхаемого-выдыхаемого воздуха из вентиляции, называют «мертвым пространством». Чем этот объем больше, тем чаще и глубже вынужден дышать пловец для того, чтобы наладить нормальный газообмен в организме. Например, для того, чтобы компенсировать присутствие метрового шноркеля диаметром 1 см, в состоянии покоя пловец вынужден делать не 12 вдохов-выдохов по 0,5 л, а 20 дыхательных циклов по 1 л. При работе средней интенсивности частота дыхания уже составит не 20 в 1 минуту, как должно было бы быть, а 30, причем объем вдыхаемого и выдыхаемого газа возрастет с 1,5 л до 1,6-1,8 л.

Таким образом, мы обозначили 3 фактора, которые ограничивают размеры дыхательной трубки и возможную глубину ее использования. Первый фактор связан с гидростатическим давлением, стремительно нарастающим по мере погружения ныряльщика на глубину. Второй обусловлен сопротивлением, которое оказывает шноркель движущемуся по нему воздуху. Третий определяется наличием так называемого мертвого пространства, исключаящего из эффективной вентиляции немалую часть воздуха, поступающего в дыхательную трубку на вдохе. Как воздействие этих факторов выглядит в реальной жизни? Вопрос заслуживает детального рассмотрения.

Представим, человек усилием дыхательных движений преодолевает действие гидростатического давления, заставляя воздух на вдохе поступать по трубке на большую глубину, в грудной полости при этом возникает значительное разрежение. Это сопровождается так называемым присасывающим эффектом. Легкие не только наполняются воздухом, но начинают «набираться» кровью, словно губка, опущенная в воду. Сосуды переполняются кровью, легочная ткань набухает, отекает и даже может разорваться. Водолазные врачи называют такое состояние обжатием грудной клетки.

Пострадавшие жалуются на слабость, выглядят бледными, синюшными. После подъема на поверхность обнаруживается так называемое клокочущее дыхание, связанное с присутствием в дыхательных путях влаги. С кашлем отделяется большое количество мокроты с примесью крови. Пульс очень частый, едва прощупывается, артериальное давление резко снижено.

По сути, легкие оказываются заполненными жидкостью и в них почти не остается места для воздуха. Соответственно, несмотря на присутствие обычных дыхательных движений грудной клетки, кровь в легких не может насытиться кислородом. Кроме того, при возобновлении дыхания через разрывы сосудов в кровеносную систему может проникнуть воздух и его пузырьки закупорят кровотоки в жизненно важных органах.

На какой глубине и как быстро развивается это состояние? Много зависит от индивидуальной тренированности организма. Опыт показывает, что попытки дышать через шноркель на глубинах, превышающих 1,5 м, очень быстро, в течение нескольких минут, завершаются обжатием. Дыхание же на глубине около 0,5 м крайне редко приводит к подобным нарушениям.

Следующий фактор, дыхание против повышенного сопротивления шноркеля. Оно легко заканчивается развитием так называемого гипербаротензионного синдрома. Когда человек долго дышит против повышенного давления, происходят существенные изменения в работе его сердечно-сосудистой системы. Читатель легко их себе представит, если попробует выполнить описанный ранее прием дыхания через соломинку для коктейлей, в крайнем случае -- через плотно сомкнутые губы. Кровь приливает к голове, нарастает чувство распирания, могут появиться боли в голове и глазах. Лицо отечное, багрово-синюшного цвета.

Затем присоединяется слабость, шум в ушах, одышка, неприятные ощущения в области сердца. Возможны кровотечения из носа и из мелких надрывов слизистой оболочки рта и глотки. Позже обнаруживаются мелкоточечные кровоизлияния на коже шеи и груди. Пострадавшие выглядят заторможенными, безучастными, с трудом понимают обращенные к ним вопросы. Речь медленная, невнятная. Возобновление нормального режима дыхания стабилизирует ситуацию, состояние улучшается.

При продолжении преодоления повышенного сопротивления дыханию могут развиваться судороги с потерей сознания, сменяющиеся комой. Механизм нарушений связан с тем, что существенное длительное превышение давления в легких и дыхательных путях над внешним давлением, окружающим грудную клетку, блокирует движение крови по венам, идущим в грудной полости. Соответственно возврат крови из верхней половины тела к сердцу нарушается, голова переполняется, развивается отек головного мозга.

Опытным путем установлено, что для предотвращения гипербаротензионного синдрома длина шноркеля не должна превышать 1 м, а диаметр не может быть меньше 18 мм.

Теперь разберем, что происходит в случаях, когда вентиляция легких оказывается недостаточной, например, вследствие значительной величины «мертвого пространства». В альвеолярном воздухе накапливается столько углекислого газа, что у пловца развивается отравление углекислым газом. Вначале у пострадавшего угончается восприятие запахов, возникает ощущение духоты и жара, возможно немотивированное повышение настроения, т.е. эйфория. Усиливается отделение слюны, если ныряльщик одет в гидрокombineзон сухого типа, он потеет. Резко учащается дыхание, появляется головная боль, нередко пульсирующая, головокружение, сонливость. Возникает чувство нерешительности, теряется чувство времени. Лицо краснеет, сердце бьется часто. Чуть позже кожные покровы приобретают синюшный оттенок, и возникают судороги. Обращает на себя внимание удлинение выдоха. Далее угнетаются все жизненные функции и наступает смерть.

В каких случаях может развиваться подобное состояние? Например, если использовать для дыхания шноркель диаметром 2 см и длиной 1 м, удушье наступит очень быстро. Объем такой трубки, т.е. объем «мертвого пространства» составит 1,25 л, и сколько бы пловец не дышал, провентилировать легкие от накапливающегося углекислого газа ему не удастся. Если объем мертвого пространства равен 160 мл (полуметровый шноркель сантиметрового диаметра), глубокое и частое дыхание обеспечит ныряльщику сносное существование достаточно долго: отравление наступит лишь при интенсивной физической работе, когда организм выделяет слишком много углекислоты. Путем опытов и расчетов установлено, что размеры шноркеля должны обеспечивать величину «мертвого пространства» никак не более 450 мл.

С учетом ограничений, разобранных выше, отечественные ГОСТы предусматривают следующие размеры дыхательной трубки для плавания: длина -- не более 380 мм, диаметр 18-20 мм. Такая геометрия обеспечивает достаточную безопасность и предупреждает большинство патологических специфических изменений, которые могли бы развиваться у пловца.

Так что же Сцилиус? Как можно прокомментировать его подвиг с точки зрения физиологии и медицины? Следует знать, что, используя для дыхания полый стебель тростника, он вряд ли мог погрузиться на глубину, большую метра. А учитывая, что, со слов историков, он просидел под водой несколько часов (до захода солнца), скорее всего, он прятался на глубине около 0,5 метра. Трудно представить, чтобы в прозрачных водах теплого южного моря его не обнаружили наблюдатели с персидских кораблей.

И еще одно замечание. Знаменитый грек провел в воде несколько часов до исполнения диверсионной операции, а потом плыл 15 км до мыса Артемизий, на что должно было уйти еще 12-15 часов. Итого получается не менее 15-20 часов. Даже в теплых тропических морях температура воды на удалении от берега редко превышает 25 градусов. Даже если допустить, что в тот день и в том месте, где Сцилиус совершал подвиг, море прогрелось до 28 градусов, трудно предположить, чтобы он мог провести столь долгое время в воде без переохлаждения (Он должен был бы начать замерзать через 4-6 часов). Однако, «...это уже совсем другая история...», о переохлаждении см. другие статьи на нашем сайте.