

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
"Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф.Войно-  
Ясенецкого" Министерства здравоохранения Российской Федерации

«Кафедра общей хирургии им. Профессора М.И. Гильмана»

## Реферат

### На тему «Баротравма»

Выполнил: ординатор 2 года Тазян Артем

Проверил: ДМН, профессор Петрушко С.И.

# План

## Введение

1. Физические принципы
2. Прямое действие давления
3. Воздушная эмбол

ия

4. Литература

## **Введение**

В настоящее время в США насчитывается около 3 млн. любителей-ныряльщиков, использующих аппараты с замкнутой системой для дыхания под водой и ежегодно регистрируется 300 000 новых спортсменов, занимающихся подводным плаванием. Кроме того, подводное погружение стало составной частью коммерческой, научной и военной профессиональной деятельности.

Проблемы сохранения здоровья, связанные с погружением под воду, обусловлены опасностью водной среды и дыханием сжатыми газами с более высоким (по сравнению с нормальным атмосферным) давлением.

## **1. Физические принципы**

### **Давление**

В подводной среде имеется немало физических факторов, неблагоприятно влияющих на организм человека. К ним относятся охлаждение, влажность, изменения проведения света и звука, повышенная плотность окружающей среды и увеличение атмосферного давления.

Наиболее важной с медицинской точки зрения проблемой, связанной с погружением под воду, является прямое или не прямое воздействие давления.

Давление – это сила, действующая на единицу площади и измеряемая рядом различных единиц. Масса воздуха над уровнем моря составляет 1033,8 г/см<sup>2</sup>, или 1 абсол. атм. Под водой давление возрастает, что связано с удельным весом воды. Поскольку вода имеет гораздо большую плотность, чем воздух, даже небольшие изменения глубины будут сопровождаться значительными изменениями давления. Таким образом, на глубине 10,05 м морской воды давление составляет 2 абсол. атм, а на глубине 50,3 м – 6 абсол. атм. Пропорциональное изменение давления в расчете на единицу глубины является наибольшим у поверхности воды и прогрессивно уменьшается по мере увеличения глубины. Поскольку пресная вода имеет меньшую плотность, чем соленая, изменение глубины пресной воды на 10,36 м соответствует изменению давления на 1 атм. При погружении с аквалангом давление обычно составляет менее 7 атм. (в подавляющем большинстве случаев – в пределах 2–4 атм).

Так как ткани тела человека состоят в основном из воды, которая практически несжимаема, они непосредственно не испытывают изменений давления.

### **Законы газов**

Физиологические изменения, происходящие при пребывании под водой, лучше всего объясняются тремя законами газов. Первый закон – закон Бойля – гласит, что объем газа обратно пропорционален его давлению при

постоянной температуре. Это выражается уравнением (константа). Таким образом, при удвоении давления объем единицы газа уменьшается наполовину, и наоборот. Закон Бойля объясняет основной механизм всех типов баротравмы.

## **2. Прямое действие давления**

Синдромы, связанные с изменениями давления при погружении в воду, можно разделить на вызываемые механическим действием давления (например, при баротравме) и обусловленные дыханием газами с повышенным парциальным давлением (например, при интоксикации газами и декомпрессионной болезни).

*Баротравма* наиболее часто наблюдается как несчастный случай у ныряльщиков. Она определяется как повреждение тканей в результате сжатия или расширения газового пространства, когда давление газа в теле (или его компартментах) не равно окружающему давлению. В порядке обсуждения проблемы баротравма может рассматриваться в зависимости от времени ее возникновения, т.е. при погружении или при подъеме с глубины.

### **Баротравма при погружении**

Баротравма при погружении под воду возникает вследствие сжатия газа в закрытом пространстве, когда давление по мере погружения возрастает. Давление газа, содержащегося в заполненных воздухом полостях организма, в норме находится в равновесии с окружающей средой; однако если что-либо препятствует выходу газа, то это равновесие нарушается. В результате происходит повреждение тканей, что проявляется приливом крови к сосудам, отеком слизистых оболочек и кровоизлиянием. При этом чаще всего поражаются полости внутреннего уха и параназальные пазухи.

Повреждение органа слуха является наиболее часто наблюдаемым типом баротравмы и основной причиной заболеваемости среди

ныряльщиков; такая баротравма рано или поздно возникает у всех ныряльщиков.

Различают три основных типа слуховой баротравмы в зависимости от локализации поражения, которые могут наблюдаться изолированно или в комбинации.

Первый тип включает поражение наружного слухового прохода и обычно относится к *наружному сдавлению уха, или наружному баротиту*. Наружный слуховой проход в норме соединяет внутреннее ухо с окружающей средой; следовательно, при погружении человека в воду воздух в наружном слуховом проходе вытесняется водой. Однако если наружный слуховой канал закрыт (например, серной пробкой, инородным телом, экзостозом, ушной затычкой или плотно прилегающей резиновой шапочкой), то вода в него не попадет и сжатие заключенного в среднем ухе воздуха по мере погружения компенсируется спадением тканей, выпячиванием снаружки барабанной перепонки или кровоизлиянием. Это обычно проявляется болью (или) выделением крови из уха. При осмотре могут обнаруживаться петехии, наполненные кровью пузырьки на коже вдоль слухового прохода, покраснение или разрыв барабанной перепонки. Лечение состоит в содержании слухового прохода сухим, воздержании от плавания или ныряния до выздоровления и (в особых случаях) назначении антибиотиков и анальгетиков.

Следующим и едва ли не самым частым типом слуховой баротравмы является повреждение среднего уха (средний баротит). Он возникает вследствие нарушения равновесия между давлением в полости среднего уха и окружающего пространства при окклюзии или дисфункции евстахиевой трубы.

В норме евстахиева труба открыта и обеспечивает равновесие давления в среднем ухе, когда разница давления в его полости и в глотке достигает почти 20 мм рт. ст. Это можно устранить (или облегчить) с помощью жевания, глотания или различных методов аутоинфляции

(например, приемы Вальсальвы или Френцеля). Если уравнивание давления в среднем ухе не происходит, то ныряльщик испытывает дискомфорт или боль, когда разница давлений достигает 100–150 мм рт. ст. или, иначе говоря, когда происходит уменьшение объема газа в среднем ухе на 20%. По мере увеличения разницы давления появляются наполнение кровью и отек слизистых оболочек, кровотечение и втягивание внутрь барабанной перепонки. В конце концов, когда это уже не компенсирует уменьшения объема газа, происходит разрыв барабанной перепонки. К счастью, это случается нечасто.

Ряд факторов может привести к закупорке или дисфункции евстахиевой трубы, например: скопление слизи вследствие инфекции верхних дыхательных путей; аллергия или курение; полипы слизистой оболочки; слишком интенсивные приемы аутоинфляции; предшествующая челюстно-лицевая травма. Перечисленные факторы обуславливают повышенный риск баротравмы органа слуха.

Ныряльщики с баротравмой среднего уха обычно жалуются на «наполненность» уха или боль. Как уже отмечалось, давление изменяется с глубиной, и большинство проблем возникает вблизи поверхности. Боль бывает значительной и обычно побуждает отказаться от ныряния. Если же ныряние продолжается, то состояние будет ухудшаться до тех пор, пока не произойдет разрыв барабанной перепонки, во время которого пострадавший может ощущать выход пузырьков воздуха из уха; появляются дезориентация, тошнота и головокружение вследствие попадания холодной воды в среднее ухо. Возникновение этих симптомов в указанной последовательности может стать причиной паники и утопления.

Состояние барабанной перепонки зависит от тяжести повреждения и оценивается по объему кровоизлияния в нее. При отоскопии выделяют несколько степеней травмы: от 0 (только субъективные симптомы) до 5 (значительное кровотечение и разрыв). При осмотре можно обнаружить

также кровь вокруг носа или рта и умеренное ослабление слуха, которое обычно носит временный характер.

Лечение баротравмы среднего уха включает воздержание от ныряния до восстановления нарушенных функций и применение препаратов, устраняющих отек и препятствующих рубцеванию, которые можно комбинировать с антигистаминными средствами, если имеется аллергический компонент. При разрыве барабанной перепонки в загрязненной воде или при наличии предшествующей инфекции назначаются антибиотики. При незажившем разрыве барабанной перепонки ныряние не допускается. Может потребоваться пероральное назначение анальгетиков на 2–3 дня или местное (в ухо) применение анестетиков. При перфорации барабанной перепонки ушные капли, как правило, не применяются. При баротравме любой тяжести желательно получение аудиограммы, а у пациентов с потерей слуха выполнить серию аудиограмм. В большинстве случаев слуховая баротравма средней тяжести разрешается без осложнений в течение 3–7 дней. Предупреждение баротравмы достигается воздержанием от погружения на большую глубину; ныряльщик, неспособный легко уравнивать давление в ушах, должен отказаться от погружения в воду при первых же признаках дискомфорта или боли.

При третьем типе баротравмы повреждается внутреннее ухо и обычно происходит разрыв круглого или овального окна, в результате чего образуется перилимфатический свищ (ПЛС). Механизм такого повреждения трактуется по-разному, что обусловлено наличием целого ряда обстоятельств, способствующих возникновению свища. Основным необходимым условием является внезапный перепад давления между средним и внутренним ухом. Это может возникнуть при быстром погружении в воду без адекватного уравнивания давления в среднем ухе, что приводит к чрезмерному втягиванию барабанной перепонки и стремени, при этом овальное окно разрывается. Наоборот, требующий значительных усилий прием Вальсальвы может резко увеличить давление спинномозговой

жидкости (которое передается перилимфе) настолько, что происходит разрыв кнаружи либо круглого, либо овального окна. Иногда ПЛС может возникнуть при подъеме из глубины. Образование фистулы лабиринта с последующей утечкой перилимфатической жидкости приводит к необратимому повреждению улитки в тех случаях, когда свищ своевременно не распознан и не начато немедленно лечение. У лиц, занимающихся подводным плаванием с аквалангом, ПЛС почти всегда сопровождается разрывом круглого окна.

Пациенты с баротравмой внутреннего уха могут жаловаться на «заложенность» пораженного уха, шум в ушах, головокружение, дезориентацию, атаксию или потерю слуха, т.е. отмечается классическая триада симптомов: шум в ушах, головокружение и глухота. При обследовании обычно обнаруживаются признаки баротравмы среднего уха, сенсорно-невральная потеря слуха и дисфункция вестибулярного аппарата. Единого подхода к лечению ПЛС нет, во всяком случае, в отношении показаний к хирургическому пособию. Некоторые специалисты предпочитают назначение постельного режима и симптоматического лечения головокружения, другие же являются сторонниками быстрого вмешательства и ликвидации свища. Независимо от выбора тактики лечения запрет на погружение под воду после выявления ПЛС единодушно поддерживается всеми специалистами. При погружении в воду некоторые параназальные синусы могут не участвовать в поддержании равновесия давлений. Проявления повышенного давления в синусе включают ощущение наполнения или давления в той или иной части лица, боли или геморрагии. Предрасполагающими факторами при баросинусите являются инфекция верхних дыхательных путей, синусит, полипы носа или какие-либо иные образования, препятствующие свободному току воздуха от полости синуса к носу. Наиболее часто повреждаются синусы верхней челюсти и лобных костей. Лечение баротравмы синуса в основном такое же, как при поражении среднего уха, правда, при поражении лобных синусов обычно показано назначение антибиотиков. Повышенное давление может действовать и на

любое другое пространство, содержащее газ, когда нарушается равновесие с давлением окружающей среды. Например, если ныряльщику не удастся выдох в маску во время погружения, то может возникнуть кровоизлияние в конъюнктиву и склеру с последующими кровоподтеками, покраснением и петехиями в той части лица, которая была покрыта маской («лицо с вдавленной маской»). Если какая-либо часть тела плотно покрыта костюмом при сухом погружении под воду, то возможно появление «костюмного вдавления». Хотя подобные повреждения могут быть впечатляющими, они не требуют специального лечения и обычно проходят через несколько дней.

Другой особый вид сдавления может иметь место у ныряльщиков при задержке дыхания во время погружения на глубину, на которой общий объем легких снижается настолько, что становится меньше остаточного объема. При другом типе баротравмы в момент погружения под воду воздушное пространство в недостаточно вентилируемом легком заполняется жидкостью и кровью, стремясь уменьшить отрицательное давление. Проявляется это болью в груди, кашлем с мокротой и примесью крови, диспноэ и отеком легких. Лечение включает введение 100% кислорода, замещение жидкости и другие поддерживающие мероприятия (по показаниям). Ввиду внутренних повреждений легкого и риска последующего возникновения газовой эмболии следует по возможности избегать искусственного дыхания с положительным давлением (например, положительное давление в конце выдоха или непрерывное положительное давление на вдохе).

### **Баротравма при подъеме с большой глубины**

Если во время спуска имеется адекватное равновесие давления в заполненных воздухом полостях тела, то газ в них (по закону Бойля) при подъеме из глубины расширяется, так как окружающее давление при этом уменьшается. Образующийся в результате избыток газа обычно выходит в атмосферу. Однако при наличии препятствия пассажу воздуха расширяющиеся газы растягивают окружающие ткани. Возникающее в

результате повреждение известно как *баротравма при подъеме* и является процессом, противоположным сжатию.

Хотя при такой баротравме повреждение органа слуха и синусов вполне возможно, это случается редко, так как возникновение препятствия прохождению воздуха маловероятно, если при погружении достигается равновесие давлений.

Однако может иметь место баротравма среднего уха при подъеме с глубины, *или обратное сдавливание*, особенно у ныряльщиков с воспалением верхних дыхательных путей, леченным аэрозолями короткого действия, сосудосуживающий эффект которых стирается как только пловец погружается в воду. Аналогично этому во время подъема с глубины может возникнуть головокружение при изменении давления (ГИД), что обусловлено неодинаковой вестибулярной стимуляцией вследствие асимметричного давления в среднем ухе. Хотя ГИД обычно бывает временным явлением, оно может быть достаточно тяжелым и способным вызвать панику. Порой ГИД сохраняется в течение нескольких часов после погружения.

Мы обсудим три типа баротравмы при подъеме. Первый тип может наблюдаться как во время подъема, так и при погружении (хотя чаще при подъеме) и известен как *бародонталгия*, или (менее точно) «сдавливание зубов». Это осложнение связывают с рядом специфических процессов (например, разрушение пульпы, периодонтальная инфекция, недавняя экстракция зуба и т.п.), хотя оно может быть обусловлено и нарушением равновесия давлений в заполненных воздухом полостях внутри или вокруг зуба. Хотя это осложнение наблюдается редко и обычно проходит спонтанно, пациента с зубной болью, возникшей при погружении под воду, следует направить к дантисту после исключения баротравмы пазухи верхней челюсти.

Другим относительно доброкачественным типом баротравмы при подъеме является желудочно-кишечная баротравма, известная также как

*аэрогастралгия*, или «газ в кишке». Это поражение чаще всего наблюдается у новичков-ныряльщиков (использующих под водой дыхательный аппарат с замкнутым циклом газообмена и более склонных к аэрофагии) и обусловлен расширением газа в просвете кишки по мере снижения окружающего давления при подъеме с глубины. Другие предрасполагающие факторы включают повторное выполнение приема Вальсальвы при наклоненной голове (при этом воздух проталкивается в желудок), потребление напитков, содержащих углекислый газ, прием тяжелой пищи перед погружением в воду (особенно содержащей бобовые или другие вещества, вызывающие метеоризм) или употребление жевательной резинки во время пребывания под водой. К симптомам желудочно-кишечной баротравмы относятся распирающие живот, коликообразные боли, отрыжка и метеоризм. Они редко бывают тяжелыми, так как большинство ныряльщиков легко освобождаются от любого избытка газа во время подъема; однако известны и случаи обмороков и шокоподобного состояния. Возможен и настоящий разрыв желудка, однако это наблюдается исключительно редко.

Последним и наиболее серьезным типом баротравмы при подъеме является баротравма легких (БТЛ). При этом могут возникнуть различные повреждения, относимые к синдрому избыточного давления в легких (ИДЛ), или «взорванному легкому» (табл. 1).

**Таблица 1.** Проявления синдрома избыточного давления в легких

1. Пневмомедиастинум
2. Подкожная эмфизема
3. Пневмоперикард
4. Пневмоторакс
5. Интерстициальная эмфизема легких
6. Пневмоперитонеум
7. Газовая эмболия
8. Головной мозг

## 9. Сердце

## 10. Внутренние органы

Экипировка ныряльщика или водолаза предусматривает подачу сжатого газа с тем же давлением, как давление окружающей среды, например на глубине около 10 м водолаз дышит газом под давлением 2 атм. Следовательно, во время подъема сжатый газ будет расширяться (по закону Бойля) и водолаз должен выпустить расширяющийся газ из легких, иначе он разорвет легкие и устремится в окружающие ткани. Масштабы повреждения зависят от локализации и количества вырвавшегося газа. Явные симптомы могут появиться сразу же после всплытия или несколько часов спустя. Наиболее частыми формами ИДЛ являются подкожная и медиастинальная эмфизема. Через несколько часов после погружения у пострадавшего обычно наблюдаются постепенно увеличивающаяся осиплость голоса, вздутие шеи и боль за грудиной. Могут также присутствовать диспноэ, дисфагия, синкопе и другие симптомы. Для постановки диагноза обычно достаточно анамнестических данных, хотя для уточнения локализации газа и исключения пневмоторакса показана рентгенография.

Серьезную опасность представляет возникновение пневмоторакса во время пребывания под водой. Газ из плевральной полости не может быть выпущен в окружающее пространство, что, вероятнее всего, приведет к напряженному пневмотораксу во время подъема и к обмороку, шоку или потере сознания при всплытии на поверхность.

За исключением пневмоторакса, при котором может потребоваться аспирация воздуха через пункционную иглу или торакоцентез и дренирование плевральной полости, лечение неосложненного синдрома избыточного давления в легких обычно предполагает только наблюдение, покой и (иногда) дополнительное введение кислорода. Рекомпрессия необходима только в крайне тяжелых случаях.

### **3. Воздушная эмболия**

Наиболее опасным осложнением БТЛ является воздушная эмболия. Действительно, дисбарическая воздушная эмболия (ДВЭ) является одним из наиболее драматичных и серьезных повреждений, связанных с погружением под воду, и служит главной причиной смерти и инвалидности среди спортсменов-подводников.

ДВЭ обусловлена попаданием пузырьков газа в систему кровообращения через поврежденные легочные вены. После прохождения через сердце пузырьки газа оказываются в небольших артериях, препятствуя циркуляции крови. Проявление эмболии зависит от локализации окклюзии сосудов и от стороны поражения. Даже незначительное количество газа в сосудистом русле легких может иметь губительные последствия.

ДВЭ обычно возникает сразу же после всплытия водолаза на поверхность, когда высокое внутрилегочное давление, обусловленное чрезмерным расширением легких, снижается, что обеспечивает возвращение крови, содержащей пузырьки воздуха, к сердцу. Хотя классически в анамнезе отмечаются быстрый подъем водолаза на поверхность из-за истощения запаха воздуха, в связи с паникой или иными экстренными обстоятельствами, это не всегда бывает именно так; у некоторых ныряльщиков локализованное чрезмерное раздувание легких может быть обусловлено и локальным повышением эластичности легких.

Наблюдаемые проявления ДВЭ обычно драматичны. Могут иметь место окклюзия коронарных артерий и остановка сердца, хотя головной мозг является наиболее часто поражаемым органом. Для острого приступа типичны неврологические проявления: моно- и мультиплегия, локальный паралич, сенсорные расстройства, потеря зрения и слуха, головокружение, спутанность сознания, судороги или афазия. Асимметричная мультиплегия наблюдается особенно часто, поэтому дифференциация ДВЭ тяжелого неврологического заболевания, связанного с декомпрессией, нередко бывает

невозможной. В случае внезапной потери сознания на поверхности всегда следует предполагать воздушную эмболию до тех пор, пока не будет доказана иная патология. Кровохарканье отмечено только в 2 из 42 описанных случаев. Другие клинические находки, такие как визуализация пузырьков воздуха в артериях сетчатой оболочки или признак Либермейстера (резко очерченный участок бледности языка), чрезвычайно редки.

У некоторых пациентов с очень тяжелыми начальными неврологическими симптомами отмечается быстрое спонтанное улучшение. Механизм спонтанного излечения неясен. Тем не менее, таких пациентов следует направлять для проведения рекомпрессии, поскольку даже едва уловимые дисбарические повреждения без специального лечения могут стать необратимыми. До рекомпрессии надо обязательно исключить пневмоторакс.

## **Литература**

1. Неотложная медицинская помощь: Пер. с англ. / Под ред. Дж.Э. Тинтиналли, Р.Л. Кроума, Э. Руиза. – М.: Медицина, 2001.
2. Внутренние болезни Елисеев, 1999 год