

# Барофизиология

# Определение.

**Физиология** – это наука о нормальных процессах жизнедеятельности организма, и влиянии на функции организма естественных факторов внешней среды.

**Барофизиология** – наука о процессах жизнедеятельности организма в условиях повышенного или пониженного давления окружающей среды.

**Гипербарическая физиология** - часть барофизиологии, исследующая механизмы действия на организм высокого давления окружающей среды и повышенного парциального давления газов, а также последствия воздействия этих факторов.

# Факторы повышенного давления водной и газовой среды, действующие на организм.

- К *специфическим* относятся такие факторы, с которыми организм встречается при погружениях под воду или в сухой барокамере. Они обусловлены свойствами газовой и водной сред, дыхательных газовых смесей, повышением и понижением окружающего давления, а так же характеристиками используемого снаряжения и обитаемых барокамер.
- К *неспецифическим* факторам погружений можно отнести гидрометеорологические условия, химические и биологические особенности водной среды, режимы погружений, отдыха и питания, опыт погружений и индивидуальную чувствительность (устойчивость) к факторам водной и гипербарической газовой сред.

# К факторам, действующим на организм при погружениях, относятся

## *1. Факторы, связанные со свойствами газов под давлением*

1. Общее равномерное, объемное сжатие тканей организма.
2. Объемное сжатие, расширение газовых полостей организма.
3. Избыточное растворение индифферентных газов в тканях, свободное газообразование при компрессии и декомпрессии.
4. Наркотическое и токсическое действие газов и газообразных вредных веществ.
5. Токсическое действие кислорода.
6. Изменение плотности дыхательной газовой смеси.
7. Изменение теплорегуляции, и слухового восприятия.

## ***II. Факторы, связанные со свойствами воды***

1. Общее равномерное объемное сжатие тканей организма.
2. Неравномерное по высоте обжатие тканей организма.
3. Гидроневесомость, ограничение подвижности за счет высокой плотности среды.
4. Изменение теплообмена.
5. Влияние водной среды на зрительный и слуховой анализаторы.
6. Опасные морские животные и растения.

## ***III. Факторы, связанные со свойствами замкнутого пространства, создаваемого техникой, а также с дыханием из дыхательных аппаратов.***

1. Ограничение подвижности.
2. Повышенная и измененная микробная обсемененность.
3. Повышенная концентрация антропогенных и техногенных вредных веществ (газов и аэрозолей).
4. Повышенная плотность и сопротивление внешнему дыханию
5. Гипоксия

***В условиях повышенного давления обычно действует комплекс вышеперечисленных факторов, однако, ведущими из них являются: гидростатическое и атмосферное давление, измененное парциальное давление кислорода и индифферентных газов-разбавителей кислорода.***

# Свойства газов.

**Газ** — это одно из состояний вещества, при котором расстояние между составляющими его частицами намного превышает их размеры и при этом сами частицы находятся в непрерывном движении.

- Газы имеют большую сжимаемость
- Газы не имеют собственной формы
- Газы не имеют собственного объема
- При сжатии газы нагреваются, а при расширении охлаждаются.
- Газы способны смешиваться друг с другом в любых соотношениях.

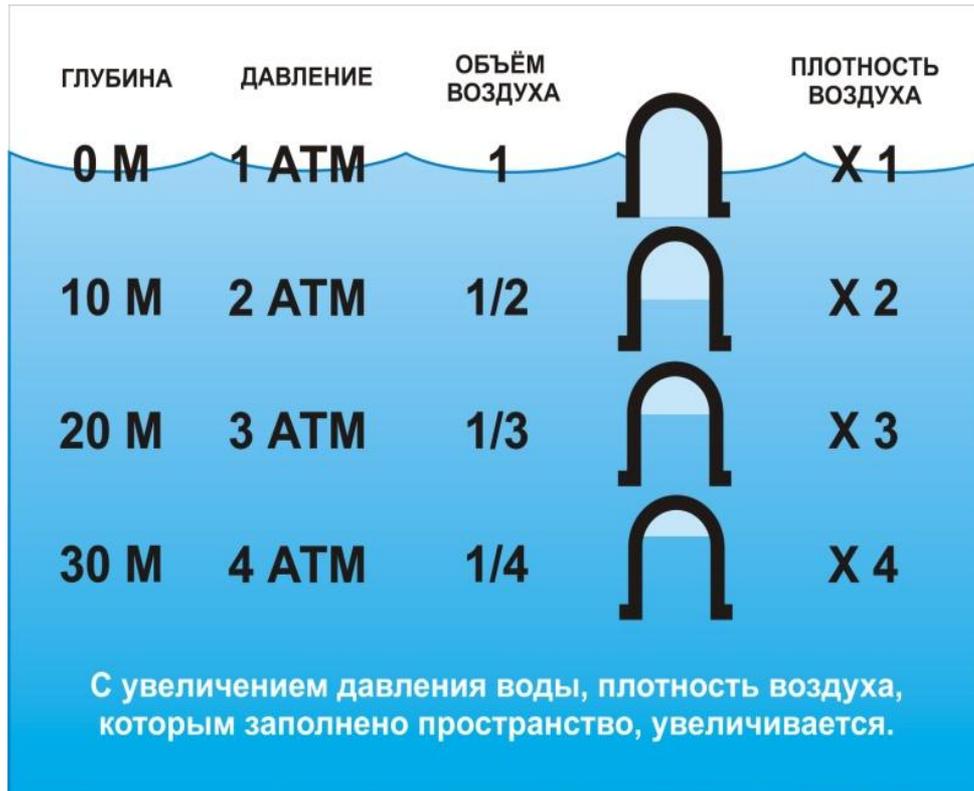
# Основные физические характеристики газов.

- **Плотность** – Плотность газа представляет собой отношение массы газа к единице объема.
- **Давление** – результат ударов молекул газа о стенки сосуда.
- **Растворимость** – Растворимость газов зависит от температуры, давления и свойств растворителя (воды, масла, других). Так, при повышении давления, а также понижении температуры растворимость повышается, а с понижением давления и увеличением температуры снижается. Также установлено, что один и тот же газ по-разному растворяется в воде и в масле.

- **Сатурация (насыщение тканей)** – это растворение газов в жидких средах организма, уравнивание их парциального давления во всех тканях организма с их парциальным давлением во вдыхаемой газовой смеси.
- **Десатурация (рассыщение тканей)** – это процесс освобождения всех тканей организма от растворенных в них газов, уравнивание их парциального давления во всех тканях организма с их парциальным давлением во вдыхаемой газовой смеси.
- **Противодиффузия** – это одновременное разнонаправленное растворение и освобождение от разных индифферентных газов тканей организма до установления парциального давления в них, равного с парциальным давлением во вдыхаемой смеси или среде. Происходит во время резкой смены дыхательной газовой смеси, или после перехода в другую по составу газовую среду при компрессии, изопрессии и декомпрессии.
- **Компрессия** – процесс повышение давления газовой и/или водной сред.
- **Изопрессия** – постоянное состояние, при котором не происходит изменение давления газовой и/или водной сред.
- **Декомпрессия** – процесс снижение давления газовой и/или водной сред.

# Основные газовые законы.

**Закон Бойля-Мариотта** – Давление данной массы (или количества) газа при постоянной температуре обратно пропорционально объему газа.



$$P_1/P_2 = V_1/V_2$$

$$PV = \text{Const (при } t = \text{const)}$$

произведение давления данной массы газа на его объем постоянно, если температура не меняется (т.е. при изотермическом процессе)

# *Законы Гей-Люссака и Шарля.*

## *Закон Гей-Люссака*

Выражает зависимость объема и давления газа от температуры:  
изменение объема данной массы газа ( $V$ ) прямо пропорционально изменению температуры ( $t$ ) газа при постоянном давлении (т.е. при изобарическом процессе).

$$\bullet \quad V_1/T_1 = V_2/T_2$$

где  $T_1$  и  $T_2$  - температура в Кельвинах (К)

## *Закон Шарля*

Выражает зависимость давления газа от температуры: изменение давления данной массы газа (P) прямо пропорционально изменению температуры (t) газа при постоянном объеме (т.е. при изохорном процессе).

$$\bullet P_1 / T_1 = P_2 / T_2$$

- где  $T_1$  и  $T_2$  - температура в Кельвинах (К).

# ***Закон Дальтона***

Общее давление газовой смеси всегда равно сумме парциальных давлений всех газов, входящих в газовую смесь.

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

*Парциальное давление* – это давление, которое имел бы газ, входящий в состав газовой смеси, если бы он один занимал объём, равный объёму смеси при той же температуре.

Парциальное (частичное) давление газа в смеси равно произведению процентного содержания этого газа на давление смеси.

$$P_{\Gamma} = P_{см} * C/100$$

**где C - объемное содержание газа в смеси в %.**

*Объемное содержание газов* – процентное соотношение всех газов в газовой смеси или среде.

*Биологическое действие газов в условиях повышенного давления определяется их парциальным давлением.*

# ***Закон Генри***

Количество газа, растворенное в жидкости, прямо пропорционально его парциальному давлению.

# Состав воздуха

## Газы

■ Азот N<sub>2</sub> ■ Кислород O<sub>2</sub> ■ Углекислый газ CO<sub>2</sub> ■ Аргон Ar ■ Другие газы



# Биологически значимые газы.

## Кислород (O<sub>2</sub>)

Животные, растения, а так же человек получают необходимую для жизни энергию за счет биологического окисления различных веществ кислородом поступающим в организм при дыхании.

Уменьшение концентрации кислорода во вдыхаемых смесях неизбежно приводит к изменению метаболизма: при уменьшении его содержания до средних величин 12-18% в покое происходит развитие приспособительных к гипоксии реакций организма (учащение дыхания и частоты сердечных сокращений) дальнейшее уменьшение его содержания (менее 8-10%) приводит к нарастающей гипоксии и гибели

В чистом виде 90-100% при атмосферном и повышенном давлении проявляет выраженное токсическое действие, которое приводит к развитию различных патологических процессов и смерти.

# Диоксид углерода (CO<sub>2</sub>) (Углекислый газ, двуокись углерода)

Углекислый газ играет важную роль в организме. С одной стороны он является составной частью выработки энергии в организме. С другой, является главным регулятором работы дыхательного центра, тонуса кровеносных сосудов, одним из важных регуляторов микроциркуляции. Диоксид углерода сам по себе не токсичен, но не поддерживает дыхание. Большая концентрация в воздухе вызывает удушье.

Допустимой концентрацией в искусственной атмосфере гермообъектов является его содержание до 1%, предельно допустимая величина равняется 2%. При дальнейшем повышении концентрации CO<sub>2</sub> во вдыхаемой газовой смеси происходит отравление организма. Дыхание с содержанием CO<sub>2</sub> более 5%, может привести к летальному исходу.

# Моноокись углерода (CO) (Угарный газ, окись углерода).

Токсическое действие монооксида углерода основано на том, что он связывается с гемоглобином крови прочнее, чем кислород (при этом образуется карбоксигемоглобин), таким образом, блокируя процессы транспортировки кислорода и клеточного дыхания и вызывая отравление и смерть.

# Азот $N_2$ - (от Греч, azoos) означает «безжизненный»

Биологические эффекты азота при дыхании проявляются при повышенном давлении, связаны с увеличением парциального давления азота при повышении общего давления и могут быть разделены на две составные части: декомпрессионная болезнь, и азотный наркоз.

**Монооксид азота (NO)** – токсичен, поражает дыхательные пути. Механизмы его действия до конца не ясны.

**Оксид диазота «Закись азота, веселящий газ» ( $N_2O$ )** – малые концентрации закиси азота вызывают чувство опьянения и лёгкую сонливость. При вдыхании чистого газа быстро развиваются наркотическое состояние и асфиксия. В смеси с кислородом при правильном дозировании вызывает наркоз без предварительного возбуждения и побочных явлений. Закись азота не вызывает раздражения дыхательных путей.

# Водород (H<sub>2</sub>).

Токсического действия на организм человека и животных не выявлено, функциональные изменения, связанные с повышенным парциальным давлением и наркотическими эффектами, обратимы и остаточных явлений и отдаленных отрицательных результатов не обнаружено. Наркотический эффект водорода проявляется по-разному у различных видов животных, он значительно слабее выражен, чем у азота, и начальные проявления у человека возникают при давлении больше 250 м.в.ст.

# Инертные газы.

Инди́фферентные газы – группа газов, которые при нормальном барометрическом давлении и температуре не участвуют в биохимических реакциях организма. В эту группу входят инертные газы кроме радона: криптон, ксенон, неон, аргон, гелий, а также водород и азот.

*Гелий (He)*

*Неон (Ne)*

*Аргон (Ar)*

*Криптон (Kr)*

*Ксенон (Xe)*

• *Радон (Rn)*



# Механическое давление водной и газовой сред (объемное сжатие).

В среднем поверхность тела человека составляет  $1,8 \text{ м}^2$  (или  $18000 \text{ см}^2$ ), при этом в обычных условиях человек испытывает суммарное давление, равное примерно 18 тоннам.

При погружении водолаза под воду на него действует механическое давление, обусловленное как давлением столба воды, так и давлением воздушного столба. На каждые 10 м глубины погружения давление воды увеличивается на  $1 \text{ кгс/см}^2$  (1 атм).

На глубине 40 м абсолютное давление составит  $5 \text{ кгс/см}^2$ , а суммарное давление на тело пловца будет равно  $5 \cdot 18 = 90 \text{ т}$ . Это громадное давление также практически не ощущается. Организм человека без механических нарушений может переносить давление  $70 \text{ кгс/см}^2$  (700 м), что суммарно равно 1260 т.

Это объясняется тем, что организм человека состоит из жидких сред и твердых клеточных элементов, которые практически несжимаемы.

**ГЛУБИНА**

**ДАВЛЕНИЕ**

**0 М**

**1 АТМ**

**10 М**

**2 АТМ**

**20 М**

**3 АТМ**

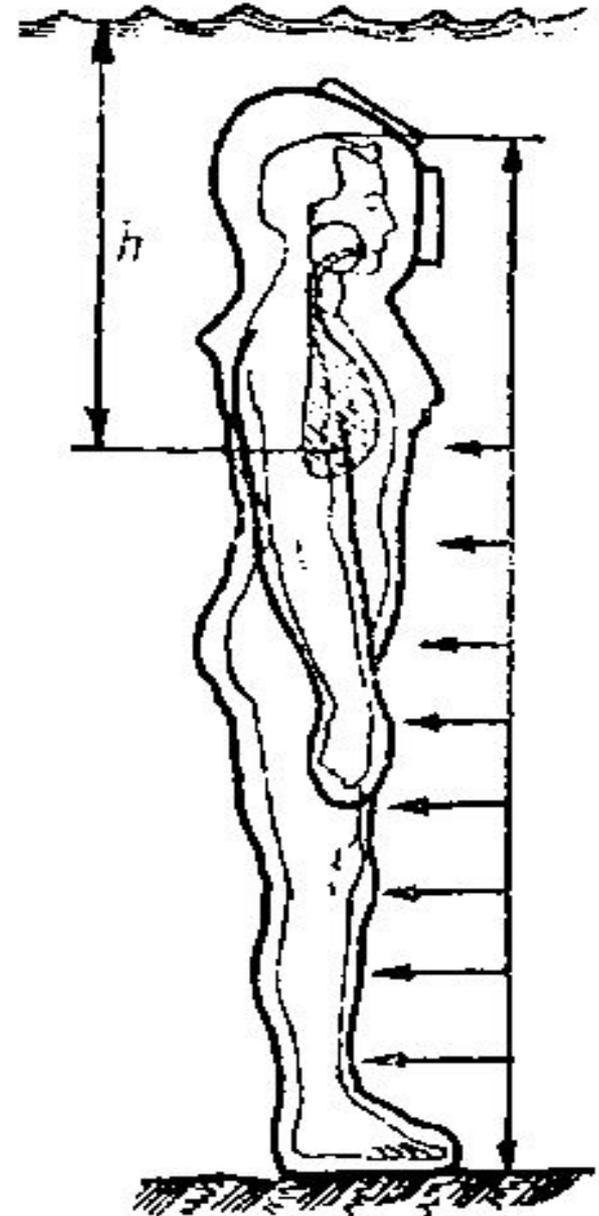
**30 М**

**4 АТМ**

**Под водой давление увеличивается  
на одну атмосферу (атм)  
на каждые добавочные 10 метров глубины.**

Так как вода обладает большой плотностью, она оказывает на верхние и нижние части тела при нахождении человека в воде. Эта разница гидростатического давления составляет около 100 мм рт.ст. на 10 см глубины, что приводит к постоянному сдавливанию ног, и к нарушению кровоснабжения в них, а также к более быстрому переполнению кровью верхних участков тела.

Механическое действие сжатого воздуха идентично действию воды, с той лишь разницей, что при этом существует возможность для организма без воздействия неравномерного по высоте водной среды.



# Влияние гидроневесомости.

При передвижениях под водой человек испытывает сопротивление плотной водной среды, отсутствию достаточной опоры, которые значительно изменяют привычные нам движения и координацию, возникает необходимость выстраивать совершенно новые формы движений. (характер движений человека, которые становятся более медленными и плавными, ходьба превращается в медленные прыжки боком или наклоненным вперед корпусом с отталкиванием двумя ногами или выполнением плавательных движений).

При нахождении человека на течении или в условиях волнения воды она оказывает динамическое воздействие. Такое воздействие оказывает тяжелую физическую нагрузку, которая может вести к переутомлению и опасности появления несчастных случаев.

# Проприоцептивная и кожная чувствительность ПОД ВОДОЙ.

*Проприоцепторы - это специализированные чувствительные нервные окончания мышц, сухожилий и связок, которые раздражаются при сокращении и изменении напряжения мышц.*

Изменения функций проприоцептивного и кожного анализаторов у пловца связано с уменьшением веса тела в водной среде (гипогравитацией), увеличением сопротивления плотной среды при движениях, использованием специальных грузов для погашения положительной плавучести, обжатием участков тела гидростатическим давлением, повышенной по сравнению с воздухом теплопроводностью и рядом других факторов.

Резкое уменьшение веса тела в воде вызывает изменение импульсов, идущих в центральную нервную систему от чувствительных окончаний кожи, мышц и суставов, что приводит к снижению чувствительности нервных центров движения и ухудшению восприятия положения тела под водой. У водолазов и спортсменов-подводников высокой квалификации эта импульсация нарушается меньше, чем у неподготовленных лиц.

При погружениях в воду, имеющую температуру ниже 18 °С, особенно сильному раздражению подвергаются холодовые рецепторы кожного анализатора. Отмечается также повышение порогов болевой чувствительности, поэтому человек не всегда замечает повреждения тела, которые могут возникнуть во время его нахождения под водой.

Нервная система человека, позволяет нашему организму после соответствующей тренировки приспособиться к условиям водной среды. Чем больше опыт и практика в водной среде, тем меньше нарушаются функции двигательного анализатора, а пловец чувствует большую уверенность при различных ситуациях под водой.

Так известное значение имеют уровень физического развития и степень физической подготовленности.

# Объемное сжатие, расширение газовых полостей организма.

В организме человека имеются полости, содержащие воздух (среднее ухо и придаточные пазухи носа, легкие, желудочно-кишечный тракт), которые при нормальных условиях сообщаются с окружающей воздушной средой.

При изменении давления окружающей газовой среды в таких полостях может создаваться разность давлений, которая может вызывать травматические поражения прилегающих тканей (такие травмы называют **БАРОТРАВМАМИ**), в том числе баротравмы различных органов (уха и придаточных пазух носа, легких и внутренних органов).

Чем больше разность давлений и меньше механическая прочность тканей, тем раньше проявляются повреждения и тем сильнее они бывают выражены.

Разница давления в 0,5-1 кгс/см может привести к чрезвычайно сильным травматическим повреждениям.

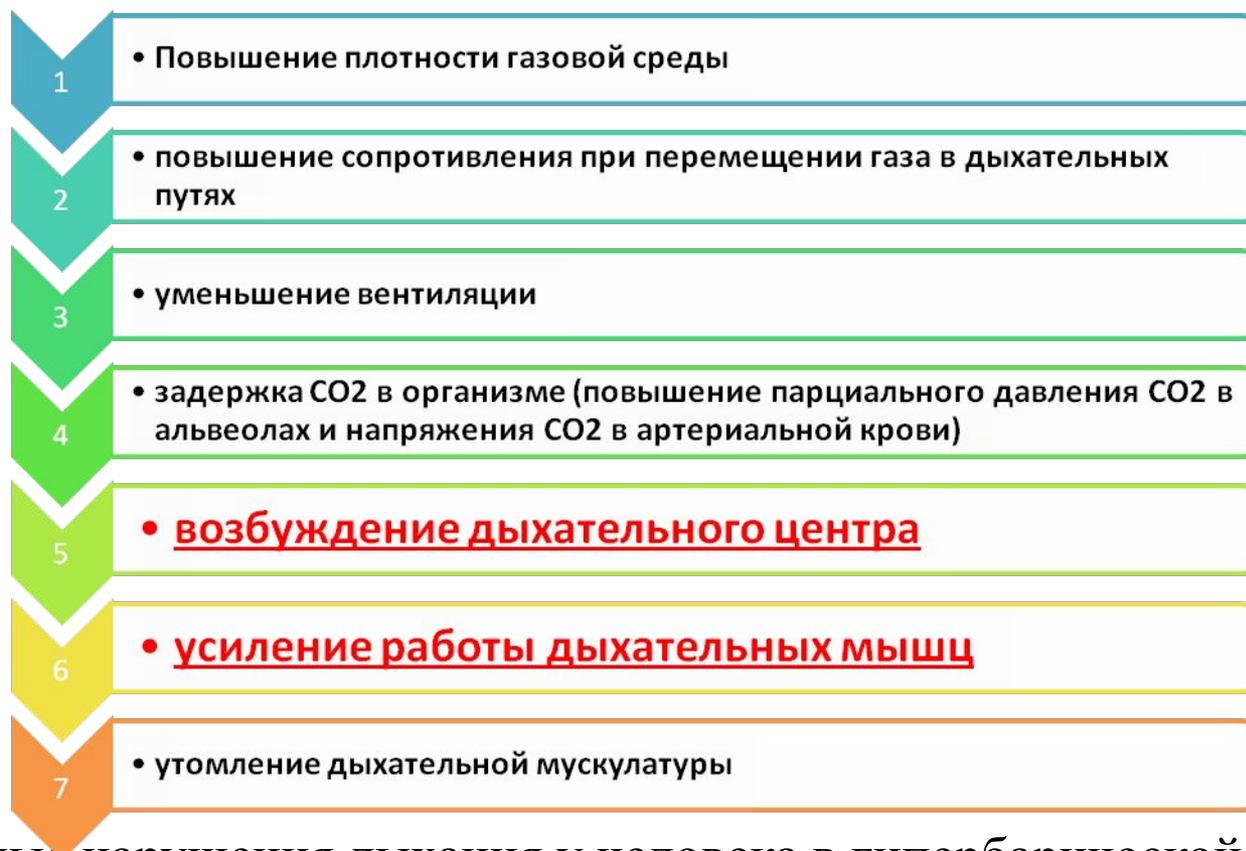
# Влияние гипербарической среды на систему дыхания.

Увеличение плотности сжатого воздуха оказывает повышенное сопротивление потоку газа в дыхательных путях.

Перемещение в дыхательных путях необходимого для вентиляции легких количества газа достигается созданием положительных и отрицательных градиентов окружающего барометрического давления и давления в грудной полости и легких.

В гипербарических условиях эластическое сопротивление работе дыхания не претерпевает значительных сдвигов, однако увеличиваются усилия, требующиеся для перемещения в дыхательных путях газа, который содержит под давлением большее число молекул.

В связи с повышением сопротивления дыханию в условиях повышенного давления воздуха в системе дыхания развиваются приспособительные реакции по следующей схеме:



Значительные нарушения дыхания у человека в гипербарической среде были выявлены лишь в тех случаях, когда эффект повышенной плотности суммировался с нагрузкой на дыхательную мускулатуру, вызванную форсированным дыханием при тяжелой физической работе или при искусственной гипервентиляции.

# Изменение теплорегуляции.

Изменение теплорегуляции организма зависит от состояния в котором находится организм (**переохлаждение или перегревание**), и в соответствие с этим запускаются определенные защитные механизмы.

Охлаждающее действие воды является одним из важнейших факторов, ограничивающих пребывание человека в водной среде, а также является основной причиной гибели людей, оказавшихся в воде в результате кораблекрушения.

Тепловой баланс организма раздетого человека в воде может поддерживаться на стабильном уровне только при условии равенства температур воды и тела, что невозможно в средних широтах. Большие теплопотери в воде объясняются ее высокими теплопроводностью и теплоемкостью. Когда обнаженный или недостаточно одетый человек погружен в холодную воду, у него появляется определенная последовательность симптомов.

Вследствие различий между тепловыми свойствами воды и воздуха человек может переохладиться, даже если температура воды достигает 27-30 °С. В зависимости от используемого снаряжения в большей степени страдают от охлаждения различные участки.

# Теплообмен.

**Излучение** – это обмен тепла между двумя телами с помощью электромагнитных волн в определенном диапазоне частот и длины.

Характер теплопередачи излучением зависит от температуры, материала и свойств поверхностей излучающего и поглощающего тел.

**Кондукции (теплопроводение)**– перенос тепла внутри среды из области более высокой температуры в область более низкой температуры. Тепловая энергия распространяется посредством прямого контакта молекул без их существенного перемещения в среде.

**Конвекция** – потеря тепла путём переноса движущимися частицами воздуха или воды.

Излучение, конвекция и теплопроводение происходят, когда температура тела выше температуры окружающей среды. Если температура поверхности тела равна или ниже температуры окружающей среды, то эти способы потери тепла организмом становятся неэффективными.

**Испарение** — необходимый механизм выделения тепла при высоких температурах. Испарение воды с поверхности тела приводит к потере тепла. Даже без видимого потоотделения вода испаряется с поверхности кожи и лёгких в пределах от 450 до 600 мл в день, вызывая потерю тепла.

**Неощутимое испарение** — результат непрерывной диффузии молекул воды через кожу и дыхательные поверхности, оно не контролируется системой температурной регуляции.

Повышение температуры среды выше температуры тела приводит к приросту температуры тела за счёт излучения и теплопроводения. В этих условиях освобождение от излишков тепла и охлаждение организма осуществляются только потоотделением и испарением. Движение воздуха или воды около кожи усиливает скорость испарения и тем самым увеличивает эффективность потери тепла (охлаждающий эффект вентилятора).

**Потоотделение** — один из важных приспособительных механизмов организма к изменениям условий внешней среды. В повседневной жизни встречаются два вида потоотделения — терморегуляторное (возникает на всей поверхности тела в ответ на повышение температуры окружающей среды и при физической нагрузке) и психогенное (в ответ на эмоциональный стресс, обычно локально, но иногда генерализованно). Выделение пота варьирует в зависимости от вида работы и окружающей температуры.

**При погружении в воду основными способами передачи тепла являются кондукция и конвекция, а также теплоотдача путем испарения.**

# Влияние водной среды на функции зрительного анализатора.

Кроме понижения освещенности и ухудшения видимости в воде, это объясняется также характеристиками преломляющих сил водной среды и сред глаза. Коэффициент преломления воды близок к показателю преломления роговицы, в связи с чем при непосредственном соприкосновении глаза с водой преломляющая сила глазного яблока резко уменьшается. В результате острота зрения ухудшается в 100-200 раз.

При использовании маски между водой и глазом находится воздушная прослойка, а потому преломляющая сила глаза полностью сохраняется. Однако световые лучи, переходя из водной среды в воздушную через стекла иллюминаторов или очков, претерпевают преломление, в результате чего предметы в воде воспринимаются увеличенными и приближенными примерно на 1/4, а при наблюдении сверху кажутся приподнятыми. При этом также уменьшается поле зрения, что связано с размерами иллюминатора или очков и расстоянием от них до глаза.

Функции зрительного анализатора не претерпевают выраженных изменений в гипербарической среде.

# Влияние водной среды на функции слухового анализатора.

Определение человеком направления на источник звука в воздушной среде основано, во-первых, на разности времени прихода звука в правое и левое ухо, во-вторых, на изменении интенсивности звука, воспринимаемого каждым ухом при различных углах поворота головы.

В водной среде условия для определения направления звука менее благоприятны, чем в воздушной. Вода является хорошим проводником звука. Средняя скорость распространения звука в морской воде составляет 1510-1550 м/с, а в пресной воде – 1497 м/с, т.е. скорость звука в воде примерно в 4,5 раза больше, чем в атмосфере.

В воздушной среде у людей с нормальным состоянием звукопроводящего аппарата воздушная проводимость значительно преобладает над костной. При погружении человека в воду на первое место выступает костная проводимость. Это происходит в результате того, что акустическое сопротивление воды приближается к акустическому сопротивлению тканей организма, а потому при переходе звуковых колебаний из воды на кожный покров и кости черепа их потери значительно меньше, чем в воздушной среде. В связи с этим воздушная проводимость в воде практически исчезает. Сохраняются лишь слабые звуковые колебания, передаваемые водой воздушной прослойке, остающейся в наружном слуховом проходе.

Звуки, генерируемые под водой, резко ослабляются при переходе в воздушную среду атмосферы.

Переход звука из воздушной среды в водную сопровождается еще большей потерей звуковой энергии, так как 99,9 % ее отражается от раздела двух сред. Вследствие этого непосредственная связь между водолазом и персоналом, обеспечивающим спуск, без специальных технических средств невозможна.

# Влияние гипербарической среды на сердечно-сосудистую систему.

В условиях повышенного давления воздуха, наиболее часто реакция со стороны сердечно-сосудистой системы проявляется урежением частоты сердечных сокращений, которое может сохраняться во время декомпрессии и после ее окончания.

С ростом величины давления эти изменения становятся более выраженными. Часто возникает гипертоническая реакция на физическую нагрузку, что может свидетельствовать о недостаточном развитии компенсаторных реакций.

Отмечаются также замедление скорости кровотока, уменьшение объема циркулирующей крови, что следует рассматривать как приспособительную реакцию на избыточное поступление кислорода.

Полное восстановление изменений показателей сердечно-сосудистой системы происходит в течение первых часов или первых двух суток после окончания погружений.

# Влияние гипербарической среды на систему пищеварения.

В условиях повышенного давления отмечается некоторое усиление моторной функции желудочно-кишечного тракта, что выражается повышением тонуса желудка и кишечника, а также усилением их опорожнения.

При проведении декомпрессии расширение газов в желудке и кишечнике вызывает усиление перистальтики, а также явления метеоризма. В связи с этим, дайверам в период погружений не рекомендуется употреблять в пищу продукты, богатые клетчаткой и вызывающие усиленное газообразование (горох, фасоль, квашеную капусту и др.).

В случае повышения наружного давления воздух, попавший в желудочно-кишечный тракт при глотании пищи и образующийся при ее переваривании, уменьшается в объеме, что сопровождается уменьшением окружности живота.

Если воздух попадает в желудочно-кишечный тракт или образуется в нем в период пребывания под давлением, то при последующем его снижении этот воздух будет увеличиваться в объеме и производить растяжение желудка и отрезков кишечника, что может сопровождаться болями.

# Психические аспекты пребывания под водой.

## **Нейросенсорная депривация, Снижение Чувствительности**

(sensory deprivation) - состояние , характеризующееся значительным снижением восприятия поступающей сенсорной информации. Длительная сенсорная депривация может нанести значительный вред здоровью человека, так как состояние и нормальное функционирование его организма в значительной мере зависят от постоянной реакции на окружающие раздражители.

Основными входными сенсорными каналами, по которым в организм человека поступает различная информация , являются органы чувств . Если эти каналы оказываются заблокированными, то человек утрачивает ощущение реальности, перестает ощущать себя во времени и пространстве, у него возникают различные галлюцинации, странные мысли, а иногда и проявления дисфункции нервной системы.

### ***ПАНИЧЕСКАЯ БОЯЗНЬ АКУЛ***

***КЛАУСТРОФОБИЯ – боязнь замкнутого пространства.***

***АГОРАФОБИЯ – боязнь открытого пространства .***

***НИКТОФОБИЯ – боязнь темноты.***

***ГИДРОФОБИЯ – боязнь воды.***

Необычные условия пребывания и работы под водой, затрата значительных усилий и нервно-эмоциональное напряжение приводят к переутомлению, выраженность и скорость наступления которого связаны с уровнем физического развития, приобретенными навыками работы под водой и степенью устойчивости функционирования центральной нервной системы, способностью противостоять стрессорным воздействиям.

Быстрое наступление выраженного переутомления в экстремальных условиях водной среды может приводить к аварийным ситуациям, возникновению специфических и неспецифических заболеваний дайверов.