

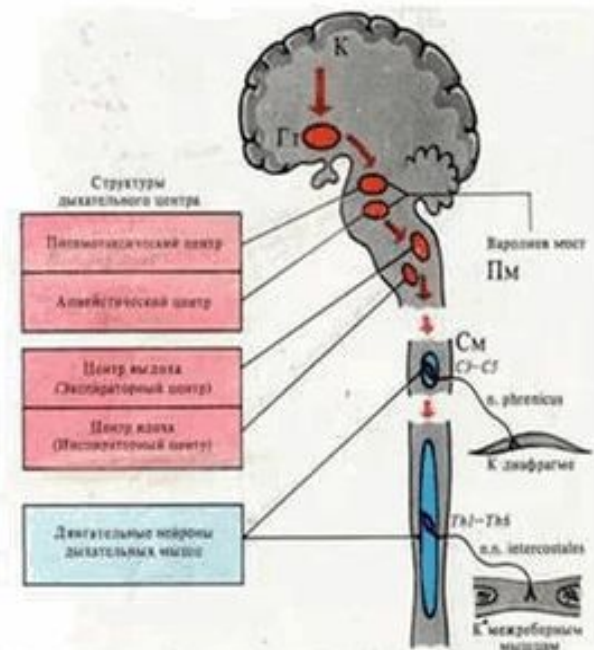
# Регуляция дыхания

# Дыхательный центр

*Дыхательный центр* - это совокупность нейронов, расположенных в различных отделах ЦНС, которые принимают участие в регуляции дыхания (спинной мозг, продолговатый мозг, мост, гипоталамус, кора головного мозга). Бульбарный отдел дыхательного центра (инспираторные нейроны) обладает свойством самовозбуждения (автоматии), благодаря чему осуществляется процесс дыхания.



Локализация инспираторных (и) и экспираторных (э) центров в продолговатом мозге. (Schmidt R.F., Thews G., "Human Physiology", 1983.)



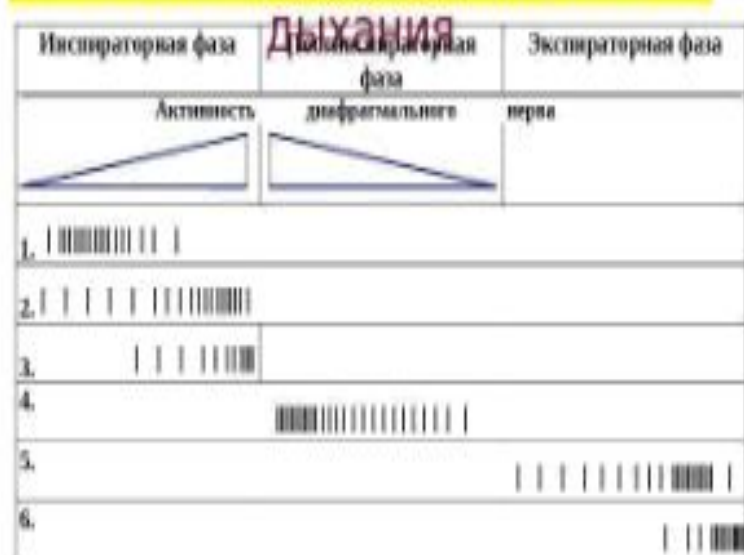
**В регуляция дыхания принимает участие и варолиев мост, где располагается пневмотаксический центр. Он модулирует деятельность бульбарного отдела дыхательного центра продолговатого мозга, регулирует частоту и глубину дыхания.**

# Автоматия дыхательного

## центра.

- Проявления автоматии дыхательного центра впервые наблюдал с помощью гальванометра на изолированном продолговатом мозге лягушки И.М.Сеченов (1882). Эдриан (1931) впервые зарегистрировал ритмическую активность изолированного продолговатого мозга золотой рыбки. С помощью микроэлектродной техники подтверждено, что продолговатый мозг способен самопроизвольно генерировать электрические импульсы. Основная часть нейронов дыхательного центра в продолговатом мозге относится к ретикулярной формации, а эти нейроны обладают спонтанной активностью. Кроме спонтанной активности, автоматии дыхательного центра способствуют гуморальные влияния (главным образом  $CO_2$  в крови), оказываемые непосредственно на клетки центра, афферентная импульсация от хемо- и механорецепторов рефлексогенных зон, реципрокные отношения нейронов дыхательного центра, возбуждающие влияние вышележащих отделов ЦНС.
- Нейроны дыхательного центра работают ритмически. Одновременная регистрация дыхательных движений животного и импульсной активности нервных клеток дыхательного центра ствола мозга выявила несколько классов нейронов, которые активируются в разные моменты актов вдоха и выдоха. Выделяют: «ранние» инспираторные и экспираторные нейроны, активирующиеся в начале вдоха и выдоха; «поздние» инспираторные и экспираторные нейроны – в конце вдоха и выдоха; «полные» инспираторные и экспираторные нейроны – на протяжении акта вдоха и выдоха; «инспираторно-экспираторные» нейроны – в конце вдоха и в начале выдоха; «экспираторно-инспираторные» нейроны – в конце выдоха и в начале вдоха и, наконец, «непрерывные» нейроны, работающие без пауз, но с увеличением частоты разрядов во время вдоха и выдоха. Дыхательные нейроны связаны между собой прямыми и обратными активационными и тормозными связями. Следует отметить, что деятельность нейронов дыхательного центра находится под влиянием многочисленных внешних и внутренних факторов: боль, эмоции, атмосферное давление, температура, кровяное давление, тонус мышц.

## Активность разных типов нейронов в течение фаз дыхания



1. Активность ранних инспираторных нейронов

2. Активность полных "-"-

3. Активность поздних "-"-

4. Активность постинспираторных нейронов

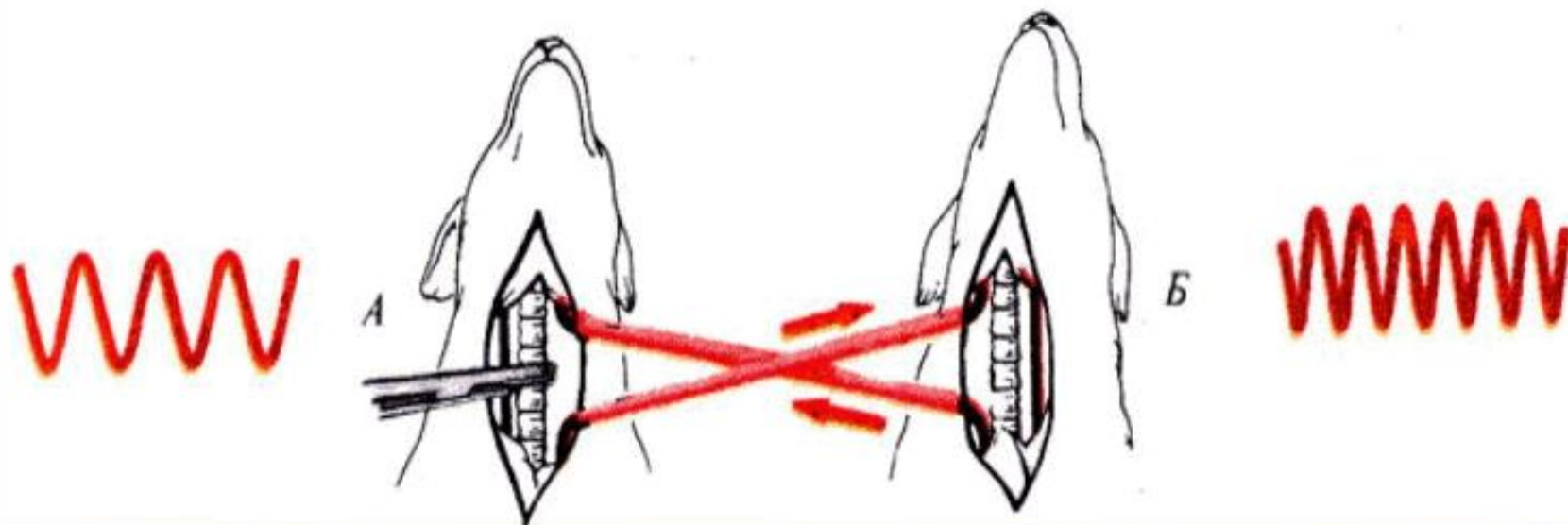
5. Активность экспираторных нейронов; 6. Активность преинспираторных нейронов

Активность разных типов нейронов в течение фаз дыхания. Инспираторная фаза. Постинспираторная фаза Экспираторная фаза Активность диафрагмально нерва 1. 2. 3. 4. 5. 6. 1. Активность ранних инспираторных нейронов 2. Активность полных "-"- 3. Активность поздних "-"- 4. Активность постинспираторных нейронов 5. Активность экспираторных нейронов; 6. Активность преинспираторных нейронов

# Гуморальные влияния на центр дыхания.

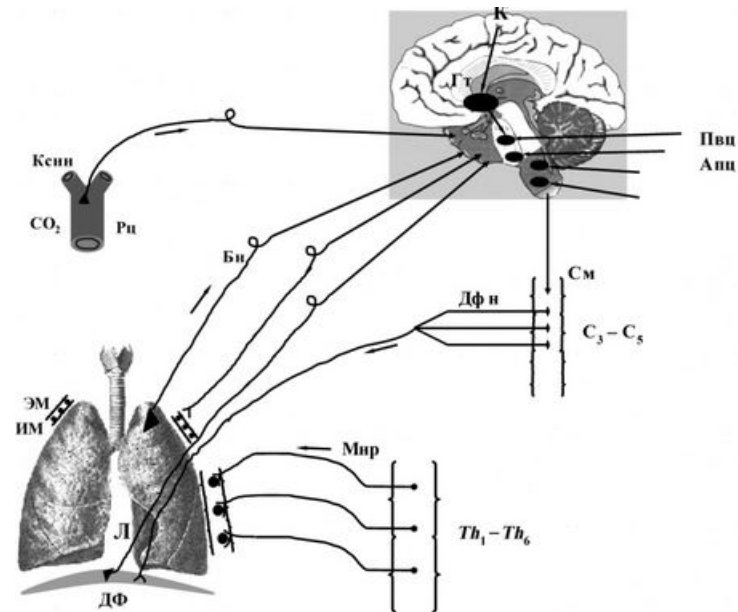
Фредерик в опытах с перекрестным кровообращением у двух собак, когда артериальная кровь из туловища одного животного поступала в голову другой собаки, а венозная кровь из головы этой собаки – в туловище первой, показал, что при асфиксии одного животного у второго наблюдается одышка. При этом ведущим фактором, изменяющим деятельность дыхательного центра, выступает двуокись углерода, которая действует как на периферические, так и на центральные хеморецепторы. Ионы водорода с трудом проникают через мембраны клеток, поэтому действующим началом является ион водорода, образующийся в межклеточной жидкости ствола мозга при прохождении в неё окиси углерода через гематоэнцефалический барьер.

# Опыт с перекрестным кровообращением (по Л. Фредерику)



- Шотландский ученый Джон Скотт Холдейн изучал физиологию дыхания. Его исследования были посвящены эффекту, который различные опасные газы оказывают на тело и сознание человека. опыты Холдейн ставил чаще всего на себе и иногда на своем сыне. К примеру, в 1893 году ученый решил запереть себя внутри герметичной коробки (которую он нежно называл «гробом») и остаться там на восемь часов, вынужденный все это время дышать одним и тем же воздухом.
- Потом Холдейн сделал выводы о том эффекте, который произвело на него пребывание в коробке. Он обнаружил, что недостаток кислорода в крови повышает ее способность транспортировать углекислый газ – явление, получившее название [«эффект Холдейна»](#).
- Далее исследователь принялся за изучение опасных явлений в шахтах, обнаружив токсические свойства угарного газа. Чтобы подтвердить свои находки, Холдейн вновь поставил эксперимент, поместив самого себя в закрытую кабину, в которую запустил угарный газ, чтобы соотнести реальный эффект с предполагаемым.
- В дальнейшем он предложил использовать некрупных животных в качестве детекторов, поскольку их тела подвергались влиянию газа намного быстрее. Когда началась Первая мировая война, немцы стали использовать ядовитый газ в качестве оружия. Холдейна доставили на фронт, где он должен был установить, какой именно используется газ (это был хлорин), и предложить свое решение. Как несложно догадаться, эксперимент проводился над самим ученым. В итоге именно его усилиями была разработана первая маска, защищающая от газа.

- Иные изменения имеют место при обеднении крови  $O_2$  (гипоксемии). В опытах Гейманса показано, что уменьшение содержания  $O_2$  в крови является раздражителем хеморецепторов каротидного тельца. При регистрации потенциалов с синокаротидного нерва было обнаружено их учащение в случае перфузии каротидного синуса кровью с пониженным содержанием  $O_2$ . Одновременно наступало увеличение частоты дыхания. Эти изменения не наступают после разрушения каротидного тельца или его денервации.





- **Рефлекторные влияния на центр дыхания.** Нейроны дыхательного центра получают информацию от большого количества механорецепторов дыхательных путей.
- Различают *три типа механорецепторов*: 1- медленно адаптирующиеся рецепторы растяжения легких, расположенные в гладких мышцах трахеи и бронхов и активирующиеся при вдохе; 2 - ирритационные быстроадаптирующиеся рецепторы слизистой оболочки трахеи и бронхов, активирующиеся при резких изменениях объёма легких; 3 - юстакапиллярные J-рецепторы интерстиции легких и бронхов вблизи капилляров, активирующиеся при повышении давления в круге кровообращения.

- Вдох начинается с того, что нейроны пула I (ранние и поздние инспираторные нейроны) посылают импульсы к мышцам вдоха и активируют нейроны пула II (поздние инспираторные нейроны), которые посылают импульсы к нейронам пула III. Нейроны пула III тормозят нейроны пула I. Аfferентная импульсация от хеморецепторов поступает к нейронам пула I, а от механорецепторов легких к нейронам пула II. Нейроны пула IV (пневмотаксический центр) получают импульсы от коры и моделируют деятельность всех нейронов продолговатого мозга .
- Кроме того, по мере заполнения поступающим воздухом альвеол все больше нарастает частота импульсации в отходящих от рецепторов растяжения afferентных волокнах блуждающего нерва. Импульсаций блуждающих нервов поступают к возбужденным накопившейся в крови двуокисью углерода инспираторным нейронам. При достижении частоты импульсаций 80–100 имп./с в одиночном afferентном волокне блуждающего нерва эта частота становится пессимальной для инспираторных нейронов и они переходят в состояние пессимума. В результате вдох прекращается. Происходит пассивный выдох - спадается грудная клетка и поднимается купол диафрагмы.

- К этому процессу подключаются и активные механизмы за счет возбуждения экспираторных нейронов вентральной области продолговатого мозга. В специальных экспериментах было показано, что искусственное раздувание легких вызывает рефлекторное торможение вдоха, а резкое уменьшение объёма легких приводит к активации выдоха. Эти реакции получили название рефлекса Геринга-Брейера, в котором афферентным звеном являются волокна блуждающего нерва. После перерезки блуждающего нерва дыхание становится глубоким и редким. Исследования показали, что у людей для осуществления нормального дыхания рефлекс Геринга-Брайера не имеет большого значения, Тем не менее, при усиленном дыхании он ограничивает глубину дыхательных движений.

# Дыхательные рефлексy

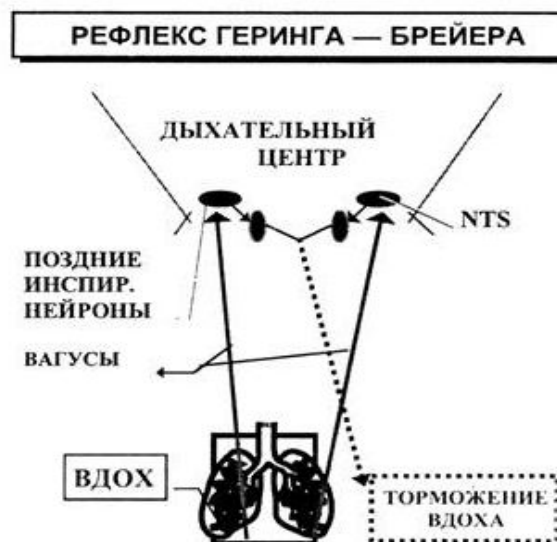
Рефлекс Геринга–Бройера (при раздувании лёгкого происходит

**уменьшение дыхательного объёма**

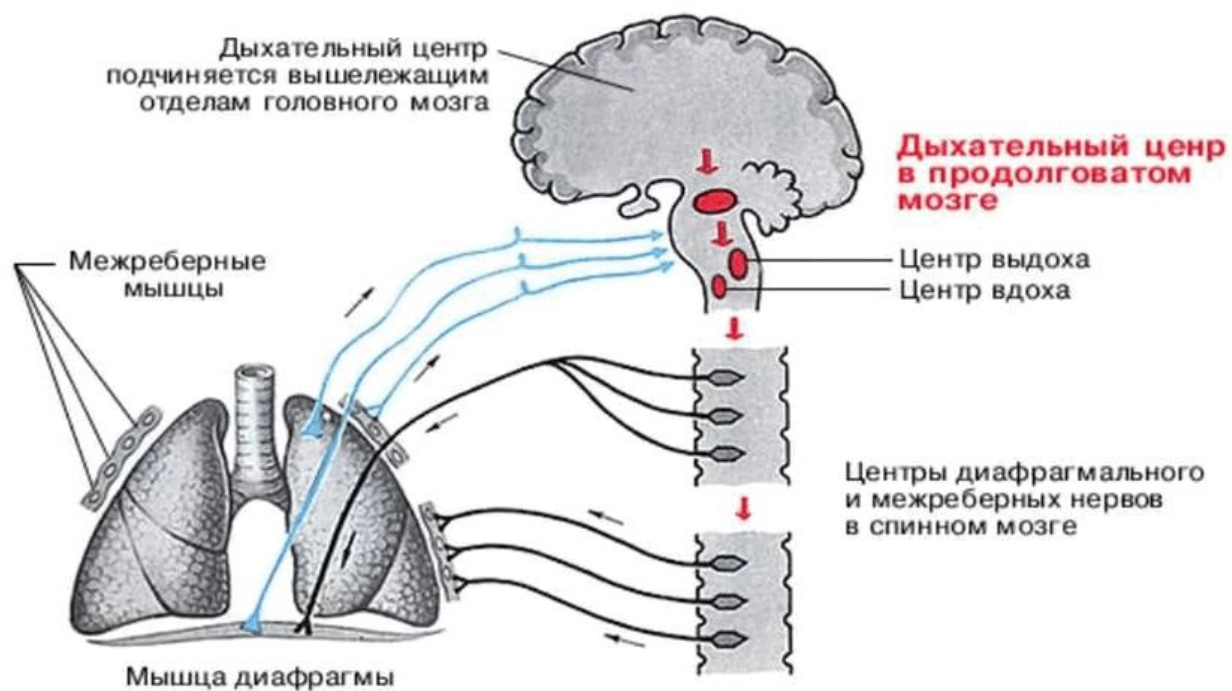
**увеличение частоты дыхания;**

другими словами, рефлекс Херинга–Бройера направлен на подавление длительности вдоха и увеличение продолжительности выдоха).

Одновременно и рефлекторно возникает тахикардия (увеличение ЧСС).



## Нервная регуляция дыхательных движений



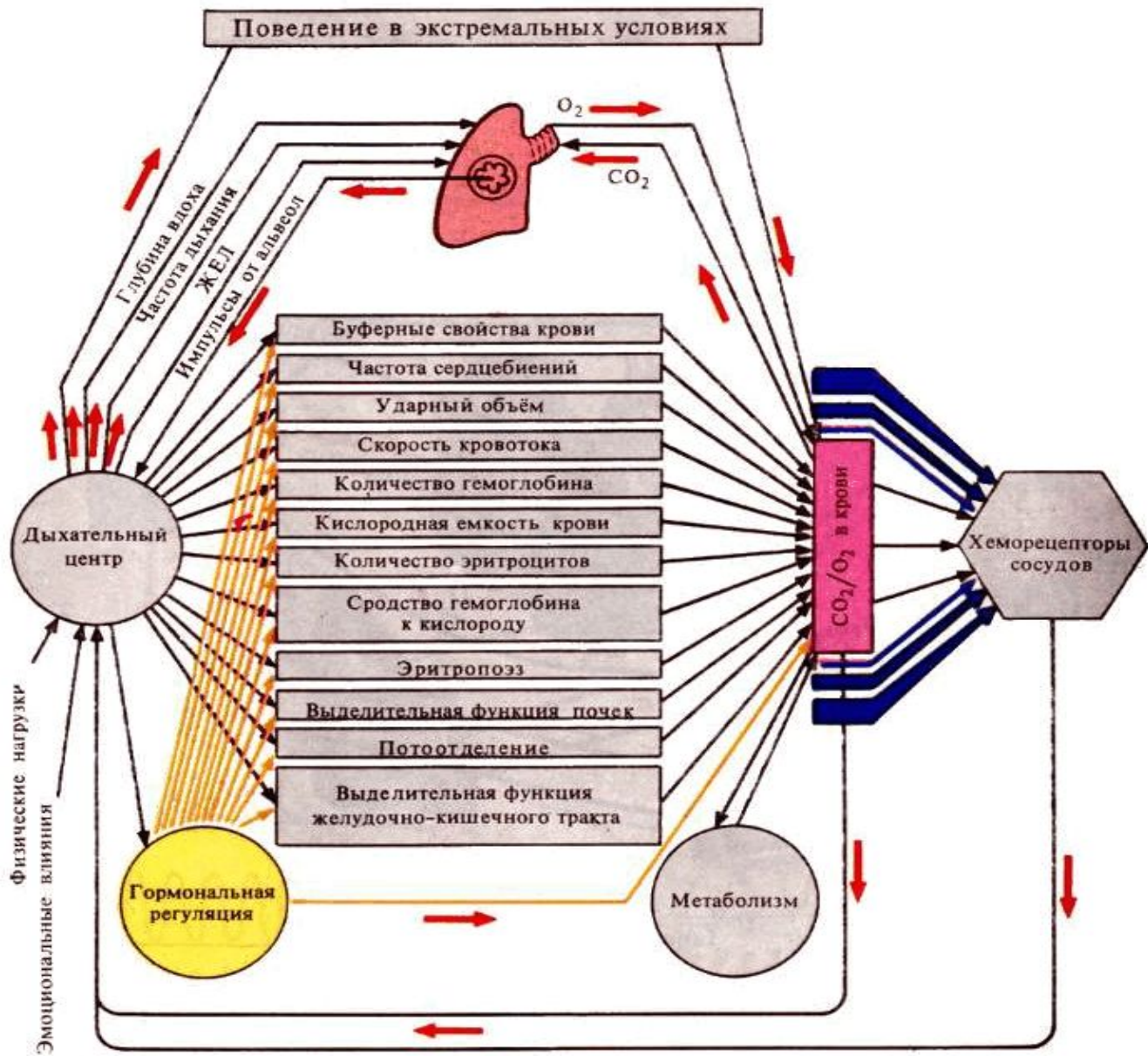
- **Дыхательный центр и контроль механизма дыхания.** В дыхательном акте принципиальное значение имеет вопрос о том, как организм контролирует дыхательную потребность и как оценивает ее удовлетворение. Обычно выдох в нормальных условиях происходит еще задолго до того, как поступивший в легкие воздух и содержащийся в нем кислород переходят в кровь и поступают к тканям, т.е. в условиях, когда на дыхательный центр еще продолжает действовать накопившаяся в результате метаболизма двуокись углерода. В этом процессе проявляется общий принцип *сенсорного насыщения*. Аfferентация о поступившем в альвеолы воздухе является гарантией прекращения акта вдоха, так как дыхательная потребность организма при поступлении воздуха в альвеолы обязательно будет обеспечена.
- Дыхательный акт – циклический процесс. По мере израсходования поступившего при вдохе кислорода и дальнейшего накопления в тканях и крови двуокиси углерода начинается следующий вдох: процессы ритмического дыхания последовательно осуществляются всю жизнь индивида.

- Саморегуляция дыхания осуществляется деятельностью специальной функциональной системы, которая включает несколько подсистем саморегуляции со своими приспособительными для организма результатами. Ведущим, конечным результатом деятельности данной функциональной системы является поддержание оптимального для метаболизма тканей организма соотношения газов:  $CO_2/O_2$ . По конечному приспособительному результату данная функциональная система называется функциональной системой, определяющей оптимальный для метаболизма уровень газов в организме .

- **Результат деятельности функциональной системы дыхания.** Результат деятельности данной функциональной системы является многопараметренным.
- Он включает парциальное напряжение в тканях кислорода ( $pO_2$ ) и двуокиси углерода ( $pCO_2$ ). С последним показателем тесно связана реакция тканей и крови (рН). Все эти три показателя тесно взаимосвязаны. Функциональная система дыхания, как и многие другие функциональные системы гомеостатического уровня, имеет предконечный, тесно связанный с конечным, результат – уровень  $pO_2$ ,  $pCO_2$  и рН в крови.
- Это защитное, предохранительное для организма свойство функциональной системы дыхания: поддержание показателей  $pO_2$ ,  $pCO_2$  и рН в крови – надежная гарантия устойчивого метаболизма в тканях.
- Показатели газового гомеостаза находятся в тесной связи с другими показателями внутренней среды, в частности с температурой, уровнем кровяного, осмотического давления и др. Взаимодействие различных показателей внутренней среды, обеспечиваемое деятельностью различных специфических функциональных систем, также строится по мультипараметрическому принципу взаимодействия, определяя тем самым динамическое состояние гомеостаза в целом.

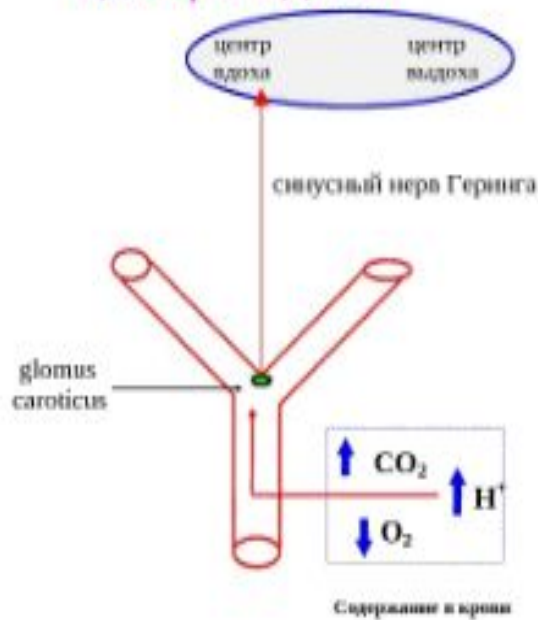


# Функциональная система дыхания



- **Хеморецепторы газовых показателей.** Хеморецепторы, включенные в деятельность функциональной системы дыхания, специфичны. Они реагируют только на изменения газовых показателей крови и тканей. *Периферические хеморецепторы* газовых показателей располагаются в сосудистой стенке практически любых тканей организма (В.Н.Черниговский, Б.И.Ткаченко). На это указывают опыты с перфузией изолированных органов, сохранивших с организмом нервные связи, растворами с повышенным содержанием двуокиси углерода или сниженным содержанием кислорода. В этом случае наблюдается отчетливая дыхательная реакция экспериментальных животных; гиперпноэ в первом случае и гипопноэ, вплоть до апноэ, во втором. **Значительное количество хеморецепторов газовых показателей крови находится в дуге аорты.** Снижение напряжения кислорода в артериальной крови ниже 50-60 мм.рт.ст. сопровождается увеличением вентиляции легких уже через 3-5 с. Наиболее изучены хеморецепторы каротидного тельца в области бифуркации общей сонной артерии на внутреннюю и внешнюю. Каротидные тельца представлены в виде крупных эпителиоидных клеток I типа и мелкими интерстициальными клетками II типа. С клетками I типа контактируют окончания афферентных волокон синусного нерва (нерв Геринга), который является веточкой языкоглоточного нерва. Каротидные тельца обильно васкуляризированы. Наличие в синокаротидной области хеморецепторов газовых показателей снова доказывают эксперименты с перфузией гипоксическими и гиперкапническими растворами изолированной и сохранившей с организмом только нервные связи синокаротидной области.

## Рефлекторная активация центра вдоха



Рефлекторная активация центра вдоха  
центр вдоха  
выдоха  
синусный нерв Гиринга  
glomus caroticus  
 $\text{CO}_2$   
 $\text{H}^+$   
 $\text{O}_2$   
Содержание в крови

- Особую группу составляют *центральные хеморецепторы газовых показателей*. Наличие в ЦНС таких рецепторов доказывает уже описанный классический опыт Фредерика с перекрестным кровообращением. Современные исследования показывают, что центральные хеморецепторы газовых показателей располагаются у вентральной поверхности продолговатого мозга на глубине около 0,2 мм. Кроме того, нейроны, чувствительные к изменению уровня двуокиси углерода в крови, обнаружены в ретикулярной формации продолговатого и среднего мозга (Е.Л.Голубева). Центральные хеморецепторные нейроны обильно васкуляризированы. Центральные хеморецепторы обозначают как хеморецепторные триггерные зоны. В этом названии заключена пусковая роль этих рецепторов в саморегуляции процессов дыхания. Хеморецепторы синокаротидных телец преимущественно реагируют на снижение в крови уровня кислорода. Центральные хеморецепторы преимущественно реагируют на изменения в спинномозговой жидкости рН и  $pCO_2$ . Информация о состоянии периферических и центральных рецепторов газовых показателей, возбужденных прямым гуморальным или опосредованно – нервным путем, наряду с влияниями высших отделов дыхательного центра распространяется к исполнительным механизмам дыхательного центра, в результате чего в деятельность функциональной системы дыхания включаются ее внутреннее и внешнее звенья саморегуляции. **Исполнительные механизмы функциональной системы.** Для обеспечения своего жизненно важного для организма результата функциональная система дыхания включает внутреннее, внешнее и поведенческое звенья саморегуляции. *Внутреннее звено* саморегуляции функциональной системы дыхания осуществляется за счет внутренних, генетически детерминированных вегетативных механизмов. *Внешнее звено* связано с потреблением кислорода из окружающего воздуха и выделением в окружающую среду двуокиси углерода. Внешнее звено саморегуляции функциональной системы дыхания тесно связывает организм с окружающей средой, факторы которой, в частности газовый состав, можно рассматривать как неотъемлемую часть живого организма. *Поведенческое звено* саморегуляции функциональной системы дыхания проявляется, как правило, только в экстремальных условиях жизнедеятельности, связанных с уменьшением содержания кислорода в окружающей среде или накоплением в ней двуокиси углерода. Результаты поведения направлены в этом случае на обеспечение нормального для жизнедеятельности организма газового состава окружающего воздуха.
- В нормальных условиях существования при содержании в окружающей среде кислорода до 21 % и двуокиси углерода 0,03 % саморегуляция дыхания осуществляется относительно пассивно за счет деятельности внешнего звена; потребление кислорода – из достаточно обеспеченной кислородом окружающей среды и свободного выделения в нее двуокиси углерода.
- Внутреннее звено саморегуляции функциональной системы дыхания.** Внутреннее звено саморегуляции функциональной системы дыхания активно включается у человека при длительной произвольной задержке дыхания или в экспериментальных условиях у животных при гипоксии или асфиксии. Поскольку критическая ситуация гипоксии, и особенно асфиксии, требует максимальной мобилизации организма, внутреннее звено саморегуляции функциональной системы дыхания представлено деятельностью многочисленных органов.
- Во внутреннее звено саморегуляции функциональной системы дыхания включается деятельность сердца: изменяется частота и сила сердечбиений, систолический и минутный объем. Как следствие изменений сердечной деятельности изменяется скорость кровотока и величина кровяного давления. Меняются свойства крови: количество эритроцитов, гемоглобина, кислородная емкость крови, сродство гемоглобина к кислороду и т.д. Активируется эритропоэз. Накапливающаяся в организме при гипоксии и асфиксии двуокись углерода активно выделяется почками и секретами пищеварительных желез, а также путем потоотделения. При этом активно включаются гормональные механизмы.

- Этот процесс определяет накопление в организме биологически активных веществ, прямо влияющих на интенсивность метаболических процессов. Опыты показывают, что пережившие глубокую асфиксию животные и возвращенные к жизни путем искусственного дыхания приобретают устойчивость даже к газовой эмболии.
- С другой стороны, установлено, что адаптация к периодическому действию гипоксии обладает антиаритмическим эффектом (Ф.З.Меерсон). По-видимому, при гипоксии в организме появляются специальные факторы устойчивости организма. Возможно, с помощью этих факторов индийские йоги путем специальных гипоксических упражнений приобретают способность к длительной остановке дыхания.
- **Внешнее звено саморегуляции функциональной системы дыхания.** Это звено саморегуляции функциональной системы дыхания связано с потреблением кислорода из окружающей среды и выделением в нее двуокиси углерода. Процессы поглощения кислорода и выделения двуокиси углерода осуществляются с помощью легочного аппарата. Как правило, функциональная система дыхания в нормальных условиях существования определяет свою деятельность за счет этого звена саморегуляции и включает внутреннее и поведенческое звенья только в экстремальной ситуации.
- Внешнее звено саморегуляции имеет и свой полезный приспособительный результат. Им является сохранение постоянного состава альвеолярного воздуха. В поддержании этого полезного для организма показателя особо важная роль принадлежит двуокиси углерода. Показано, что только изменение двуокиси углерода в альвеолярном воздухе приводит к существенным изменениям легочной вентиляции. Изменений легочной вентиляции не наблюдается при уменьшении в альвеолярном воздухе уровня кислорода при сохранении неизменного уровня двуокиси углерода.

- Регуляция поступления  $O_2$  в организм и выделение  $CO_2$  осуществляется за счет изменения глубины и частоты дыхания. Этот процесс определяют и показатели жизненной емкости легких (ЖЕЛ).
- Процессы саморегуляции вдоха и выдоха лучше всего прослеживаются на примере первого вдоха новорожденного.
- *Первый вдох новорожденного.* Как известно, плод, получая кислород через плацентарное кровообращение от организма матери и выделяя в кровь матери двуокись углерода, активно не использует внешнее звено саморегуляции дыхания. Его внешней газовой средой является организм матери, с которым он сохраняет общий кровоток. После перевязки пуповины у новорожденного в его организме, как следствие, происходит снижение уровня кислорода и накопление двуокиси углерода. Ведущим фактором первого вдоха является накопление двуокиси углерода. Двуокись углерода, накопившаяся в крови, начинает действовать на периферические рецепторы тканей и сосудов. Воспринимаемый центральными хеморецепторами повышенный уровень двуокиси углерода и сопутствующее ему снижение уровня pH (ацидоз) является причиной возбуждения инспираторных нейронов, расположенных в дорсальном дыхательном ядре продолговатого мозга, около задвижки. Инспираторные нейроны дорсального дыхательного ядра связаны своими аксонами с мотонейронами спинного мозга, иннервирующими диафрагму и наружные межреберные мышцы. *Системная деятельность дыхательного центра.* Инспираторные нейроны в их совокупности на разных уровнях организма дыхательного центра постоянно получают информацию от хеморецепторов о дыхательной потребности организма. С другой стороны, как указывалось выше, на них действуют дополнительные факторы, связанные с состоянием организма: температура, афферентация о деятельности дыхательных и других мышц, импульсация от альвеол, эмоциональное состояние – например, боль, высшие психические влияния, связанные с социальной деятельностью человека (пение, чтение лекций и др.).
- Все это определяет процессы афферентного синтеза в функциональной системе дыхания. В результате афферентного синтеза инспираторные нейроны дыхательного центра на основе молекулярных процессов «принимают решение» взять потребное количество воздуха. Это «решение» в форме нервных импульсаций адресуется к дыхательному мышечному аппарату.
- **Таким образом, в функциональной системе дыхания на основе нервных и гуморальных кодов все время оценивается дыхательная потребность. С помощью аппарата акцептора результата действия она постоянно сопоставляется с количеством и качеством поступившего в легкие воздуха. Эти процессы осуществляются бессознательно. Дыхательный акт автоматизирован.** Однако в любых случаях изменения деятельности этого механизма (например, при поступлении в организм воздуха, по объему не соответствующего дыхательной потребности) включаются механизмы сознательной деятельности человека, в частности поведение. **Поведенческое звено саморегуляции функциональной системы дыхания.** Поведенческое звено саморегуляции функциональной системы дыхания включается, как правило, только в так называемых экстремальных ситуациях, когда организм по каким-либо причинам не может самостоятельно, за счет внутренних механизмов саморегуляции, длительно оптимально удовлетворять свои дыхательные потребности. Примером является нахождение большого количества людей в ограниченном пространстве. По мере того, как содержание кислорода в окружающем воздухе уменьшается, а содержание двуокиси углерода увеличивается, у находящихся в этих условиях людей автоматически возникает эмоциональный дискомфорт. В этом случае формируется мотивация по устранению экстремальной ситуации или избегания ее. На основе дыхательной мотивации формируются специальные действия, результат которых обеспечивает адекватное поступление кислорода и выделение двуокиси углерода из организма.

# Компенсация функций в деятельности системы дыхания

- **при пониженном атмосферном давлении.** При подъеме на высоту человек оказывается в условиях пониженного атмосферного давления. Следствием понижения атмосферного давления является гипоксия, которая развивается в результате низкого парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе. При подъеме на высоту 1,5-2 км над уровнем моря не происходит значительного изменения снабжения организма кислородом и изменения дыхания. На высоте 2,5-5 км наступает увеличение вентиляции легких, вызванное стимуляцией каротидных хеморецепторов. Одновременно происходит повышение артериального давления и увеличение частоты сердечных сокращений. Все эти реакции направлены на усиление снабжения тканей кислородом. Увеличение вентиляции легких на высоте может привести к снижению парциального давления углекислого газа в альвеолярном воздухе - гипокапнии, при которой снижается стимуляция хеморецепторов, особенно центральных, это ограничивает увеличение вентиляции легких.
- **Природа горной болезни.** На высоте 4-5 км развивается высотная (горная) болезнь, которая характеризуется: слабостью, цианозом, снижением частоты сердечных сокращений, артериального давления, головными болями, снижением глубины дыхания. На высоте свыше 7 км могут наступить опасные для жизни нарушения дыхания, кровообращения и потеря сознания. Особенно большую опасность представляет быстрое развитие гипоксии, при котором потеря сознания может наступить внезапно. При повышенном атмосферном давлении. Под повышенным давлением воздуха человеку приходится находиться во время водолазных и кессонных работ. При погружении под воду через каждые 10 м давление воды на поверхность тела увеличивается на 1 атм, следовательно, на глубине 90 м на человека действует давление около 10 атм. При погружении под воду в водолазных костюмах человек может дышать только воздухом под соответствующим погружению повышенным давлением. В этих условиях увеличивается количество газов, растворенных в крови, кислорода и особенно азота. Поэтому при погружении на большие глубины для дыхания применяются гелиево-кислородные смеси. Гелий почти нерастворим в крови и при дыхании им снижается сопротивление дыханию. Кислород добавляют к гелию в такой концентрации, чтобы его парциальное давление на глубине (т. е. при повышенном давлении) было близким к тому, которое имеется в обычных условиях.
- **Природа кессонной болезни.** После работ на больших глубинах специального внимания требует переход человека от высокого давления к нормальному. При быстрой декомпрессии, например, при быстром подъеме водолаза, физически растворенные в крови и тканях газы значительно больше обычного, не успевают выделиться из организма и образуют пузырьки. Кислород и углекислый газ представляют меньшую опасность, т. к. они быстро связываются кровью и тканями. Особую опасность представляет образование пузырьков азота, которые разносятся кровью и закупоривают мелкие сосуды (газовая эмболия), что сопряжено с большой опасностью для жизни. Состояние, возникающее при быстрой декомпрессии, называется кессонной болезнью, она характеризуется болями в мышцах, головокружением, рвотой, одышкой, потерей сознания, а в тяжелых случаях могут возникать параличи. При появлении признаков кессонной болезни необходимо немедленно вновь подвергнуть пострадавшего действию высокого давления (такого, с которого он начинал подъем), чтобы вызвать растворение пузырьков азота, а затем декомпрессию производить постепенно.

# Дыхание при низком и высоком давлении



Высота  
более  
4000 м

Низкое  
парциальное  
давление  $O_2$  в  
атмосфере

Гипоксия (кислородное голодание) - одышка, кровотечение из носа и горла, головокружение, головная боль, рвота, сердечная недостаточность

⊕ Применять кислородные аппараты

## Горная болезнь

Дыхание Чейн-Стокса - дыхание становится редким, периодически прерывается. Возможна потеря сознания.  
⊖ Принимать кислоты (лимонную, аскорбиновую), подкисляющую кровь.

Уменьшается концентрация  $CO_2$  в крови, кровь подщелачивается

Возникает потребность чаще дышать



Глубина  
более  
12,5 м

С увеличением глубины на каждые 10 м давление среды возрастает на 1 атм.

В крови и тканях увеличивается парциальное давление  $O_2$  и растворяется азот

Глубинное опьянение. (отравление кислородом) - судороги, галлюцинации:  
⊕ Подбор газовой смеси (замена азота гелием, меньшая концентрация  $O_2$ )

## Кессонная болезнь

Азот "вскипает" (пузырьки азота закупоривают сосуды и разрывают ткани). - ломота в суставах, паралич рук и ног, общая слабость, иногда смерть.  
⊕ Режим декомпрессии (медленный подъем): избытки газа выводятся без образования пузырьков.

Быстрый подъем



- **Гипербарическая оксигенация (ГБО)** — это метод применения кислорода под высоким давлением в лечебных целях.

## Гипербарическая оксигенация

Один из лучших методов лечения:

- ◆ фетоплацентарной недостаточности
- ◆ гипоксии плода
- ◆ угрозы прерывания беременности
- ◆ многих экстрагенитальных заболеваний
- ◆ Анемии



# Искусственная вентиляция легких

- **Показания к искусственной вентиляции легких**

- Основным показанием для искусственной вентиляции легких (ИВЛ) является наличие у больного дыхательной недостаточности. Прочие показания включают длительное пробуждение пациента после анестезии, нарушения сознания, отсутствие защитных рефлексов, а также усталость дыхательной мускулатуры. Главная цель искусственной вентиляции легких (ИВЛ) - улучшить газообмен, уменьшить работу дыхания и избежать осложнений при пробуждении больного. Независимо от показаний к искусственной вентиляции легких (ИВЛ), основное заболевание должно быть потенциально обратимым, в противном случае невозможно отлучение от искусственной вентиляции легких (ИВЛ).

- **Дыхательная недостаточность**

- Наиболее частым показанием для респираторной поддержки служит дыхательная недостаточность. Это состояние возникает в тех ситуациях, когда происходит нарушение газообмена, приводящее к гипоксемии. Гипоксемия может встречаться изолированно или сочетаться с гиперкапнией. Причины дыхательной недостаточности могут быть различными. Так, проблема может возникнуть на уровне альвеолокапиллярной мембраны (отек легких), дыхательных путей (перелом ребер) и т.д.

- **Причины дыхательной недостаточности**

- **Неадекватный газообмен**

- **♦ Пневмония, отек легких, острый респираторный дистресс-синдром (ОРДС).**

- **Неадекватное дыхание**

- **♦ Повреждение грудной стенки (перелом ребер, флотирующий сегмент);**
- **♦ Слабость дыхательной мускулатуры (миастения, полиомиелит, столбняк);**
- **♦ Угнетение центральной нервной системы (психотропные препараты, дислокация ствола головного мозга).**

- **Нарушение проходимости дыхательных путей**

- **♦ Обструкция верхних дыхательных путей (эпиглоттит, круп, отек, опухоль);**
- **♦ Обструкция нижних дыхательных путей (бронхоспазм).**

- В ряде случаев показания к искусственной вентиляции легких (ИВЛ) трудно определить. В этой ситуации следует руководствоваться клиническими обстоятельствами.

- **Основные показания к искусственной вентиляции легких**

- Выделяют следующие основные показания к искусственной вентиляции легких (ИВЛ):

- **♦ Частота дыханий (ЧД) >35 или < 5 в мин;**



- Прочие показания к искусственной вентиляции легких (ИВЛ)

- У ряда больных искусственная вентиляция легких (ИВЛ) проводится в качестве компонента интенсивной терапии состояний, не связанных с патологией дыхания:

- ♦ Контроль внутричерепного давления при черепно-мозговой травме;
- ♦ Защита дыхательных путей (острые отравления);
- ♦ Состояние после сердечно-легочной реанимации;
- ♦ Период после длительных и обширных хирургических вмешательств или тяжелой травмы.

### Виды искусственной вентиляции легких

- Наиболее частым режимом искусственной вентиляции легких (ИВЛ) является вентиляция с перемежающимся положительным давлением (intermittent positive pressure ventilation - IPPV). При этом режиме легкие раздуваются под действием положительного давления, генерируемого вентилятором, газоток доставляется через эндотрахеальную или трахеостомическую трубку. Интубацию трахеи выполняют, как правило, через рот. При продленной искусственной вентиляции легких (ИВЛ) пациенты в ряде случаев лучше переносят назотрахеальную интубацию. Тем не менее, назотрахеальную интубацию технически сложнее выполнить; кроме того, она сопровождается более высоким риском кровотечений и инфекционных осложнений (синусит).

- Интубация трахеи не только позволяет проводить IPPV, но и снижает объем "мертвого пространства"; кроме того, она облегчает туалет дыхательных путей. Однако, если пациент адекватен и доступен контакту, искусственную вентиляцию легких (ИВЛ) можно проводить неинвазивным способом через плотно подогнанную носовую или лицевую маску.

- В принципе, в отделении реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ) используются два типа вентиляторов - регулируемые по заранее установленному дыхательному объему (ДО) и по давлению на вдохе. Современные аппараты искусственной вентиляции легких (ИВЛ) обеспечивают различные типы искусственной вентиляции легких (ИВЛ); с клинической точки зрения важно подобрать тот вид искусственной вентиляции легких (ИВЛ), который наиболее подходит данному конкретному пациенту.

### Типы искусственной вентиляции легких

- ♦ Искусственная вентиляция легких (ИВЛ) по объему

- Искусственная вентиляция легких (ИВЛ) по объему осуществляется в тех случаях, когда вентилятор доставляет в дыхательные пути больного заранее установленный дыхательный объем независимо от выставленного на респираторе давления. Давление в дыхательных путях определяется податливостью (жесткостью) легких. Если легкие жесткие, давление резко повышается, что может вести к риску баротравмы (разрыва альвеол, который приводит к пневмотораксу и эмфиземе средостения).

- ♦ Искусственная вентиляция легких (ИВЛ) по давлению

- Искусственная вентиляция легких (ИВЛ) по давлению заключается в том, что аппарат искусственной вентиляции легких (ИВЛ) достигает заранее заданный уровень давления в дыхательных путях. Таким образом, доставляемый дыхательный объем определяется податливостью легких и сопротивлением дыхательных путей.

### Режимы искусственной вентиляции легких

- ♦ Контролируемая искусственная вентиляция легких (ИВЛ) (controlled mechanical ventilation - CMV)

- Данный режим искусственной вентиляции легких (ИВЛ) определяется исключительно установками респиратора (давление в дыхательных путях, дыхательный объем (ДО), частота дыхания (ЧД), отношение вдоха к выдоху - I:E). Этот режим не очень часто используется в отделениях реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ), так как не обеспечивает синхронизации со спонтанным дыханием больного. В результате CMV не всегда хорошо переносится пациентом, что требует седатации или назначения миорелаксантов для прекращения "борьбы с вентилятором" и нормализации газообмена. Как правило, режим CMV широко применяется в операционной в ходе анестезиологического пособия.

- ♦ Вспомогательная искусственной вентиляции легких (ИВЛ) (assisted mechanical ventilation - AMV)

- Существует несколько режимов вентиляции, позволяющих поддержать попытки спонтанных дыхательных движений больного. При этом вентилятор улавливает попытку вдоха и поддерживает ее.

- У данных режимов есть два основных преимущества. Во-первых, они лучше переносятся больным и снижают потребность в седативной терапии. Во-вторых, они позволяют сохранить работу дыхательных мышц, что предотвращает их атрофию. Дыхание больного поддерживается за счет заранее установленного давления на вдохе или дыхательного объема (ДО).

- Выделяют несколько разновидностей вспомогательной вентиляции:

- ◊ Перемежающаяся принудительная вентиляция (intermittent mechanical ventilation - IMV)

- Перемежающаяся принудительная вентиляция (intermittent mechanical ventilation - IMV) является сочетанием спонтанных и принудительных дыхательных движений. Между принудительными вдохами больной может дышать самостоятельно, без вентиляторной поддержки. Режим IMV обеспечивает минимальную минутную вентиляцию, однако может сопровождаться значительными вариациями между принудительными и спонтанными вдохами.

## Режимы искусственной вентиляции легких

### ◆ Контролируемая искусственная вентиляция легких (ИВЛ) (controlled mechanical ventilation - CMV)

Данный режим искусственной вентиляции легких (ИВЛ) определяется исключительно установками респиратора (давление в дыхательных путях, дыхательный объем (ДО), частоту дыхания (ЧД), отношение вдоха к выдоху - I:E). Этот режим не очень часто используется в отделениях реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ), так как не обеспечивает синхронизации со спонтанным дыханием больного. В результате CMV не всегда хорошо переносится пациентом, что требует седатации или назначения миорелаксантов для прекращения "борьбы с вентилятором" и нормализации газообмена. Как правило, режим CMV широко применяется в операционной в ходе анестезиологического пособия.

### ◆ Вспомогательная искусственной вентиляции легких (ИВЛ) (assisted mechanical ventilation - AMV)

Существует несколько режимов вентиляции, позволяющих поддержать попытки спонтанных дыхательных движений больного. При этом вентилятор улавливает попытку вдоха и поддерживает ее. У данных режимов есть два основных преимущества. Во-первых, они лучше переносятся больным и снижают потребность в седативной терапии. Во-вторых, они позволяют сохранить работу дыхательных мышц, что предотвращает их атрофию. Дыхание больного поддерживается за счет заранее установленного давления на вдохе или дыхательного объема (ДО). Выделяют несколько разновидностей вспомогательной вентиляции:

#### ◇ Перемежающаяся принудительная вентиляция (intermittent mechanical ventilation - IMV)

Перемежающаяся принудительная вентиляция (intermittent mechanical ventilation - IMV) является сочетанием спонтанных и принудительных дыхательных движений. Между принудительными вдохами больной может дышать самостоятельно, без вентиляторной поддержки. Режим IMV обеспечивает минимальную минутную вентиляцию, однако может сопровождаться значительными вариациями между принудительными и спонтанными вдохами.

#### ◇ Синхронизированная перемежающаяся принудительная вентиляция (synchronized intermittent mechanical ventilation - SIMV)

При этом режиме принудительные дыхательные движения синхронизируются с собственными дыхательными попытками больного, что обеспечивает ему больший комфорт.

#### ◇ Вентиляция с поддержкой давлением (pressure-support ventilation - PSV или assisted spontaneous breaths - ASB)

При попытке собственного дыхательного движения в дыхательные пути подается заранее установленный по давлению вдох. Этот вид вспомогательной вентиляции обеспечивает больному наибольший комфорт. Степень поддержки давлением определяется уровнем давления в дыхательных путях и может постепенно снижаться в ходе отлучения от искусственной вентиляции легких (ИВЛ). Принудительных вдохов не подается, и вентиляция целиком зависит от того, может ли больной осуществлять попытки самостоятельного дыхания. Таким образом, режим PSV не обеспечивает вентиляции легких при апноэ; в этой ситуации показано его сочетание с SIMV.

Положительное давление в конце выдоха (positive end expiratory pressure - PEEP) используется при всех видах IPPV. На выдохе поддерживается положительное давление в дыхательных путях, что обеспечивает раздувание спавшихся участков легких и предотвращает ателектазирование дистальных дыхательных путей. В результате улучшаются показатели оксигенации. Тем не менее, PEEP приводит к повышению внутригрудного давления и может снизить венозный возврат, что приводит к снижению артериального давления, особенно на фоне гиповолемии. При использовании PEEP до 5-10 см вод. ст. эти отрицательные эффекты, как правило, поддаются коррекции путем инфузионной нагрузки. Постоянное положительное давление в дыхательных путях (continuous positive airway pressure - CPAP) эффективно в той же степени, что и PEEP, но не применяется, главным образом, на фоне спонтанного дыхания.

Насыщение гемоглобина кислородом колеблется от 96 до 98%. Степень насыщения гемоглобина кислородом и диссоциация оксигемоглобина (образование восстановленного гемоглобина) не находятся в прямой пропорциональной зависимости от напряжения кислорода. Эти два процесса не являются линейными, а совершаются по кривой, которая получила название **кривой связывания или диссоциации оксигемоглобина**.

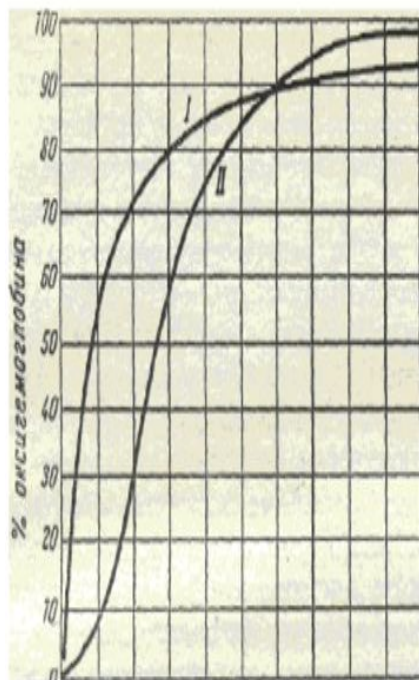


Рис. 25. Кривые диссоциации оксигемоглобина в водном растворе (I) и в крови (II) при напряжении углекислого газа 5,33 кПа (40 мм рт. ст.) (по Баркрофту).

При нулевом напряжении кислорода оксигемоглобина в крови нет. При низких значениях парциального давления кислорода скорость образования оксигемоглобина невелика. Максимальное количество гемоглобина (45—80%) связывается с кислородом при его напряжении 3,47—6,13 кПа (26—46 мм рт. ст.). Дальнейшее повышение напряжения кислорода приводит к снижению скорости образования оксигемоглобина (рис. 25).

Сродство гемоглобина к кислороду значительно понижается **при сдвиге реакции крови в кислую сторону**, что наблюдается в тканях и клетках организма вследствие образования углекислого газа

Переход гемоглобина в оксигемоглобин и из него в восстановленный зависит и от **температуры**. При одном и том же парциальном давлении кислорода в окружающей среде при температуре 37—38° С в восстановленную форму переходит наибольшее количество оксигемоглобина,