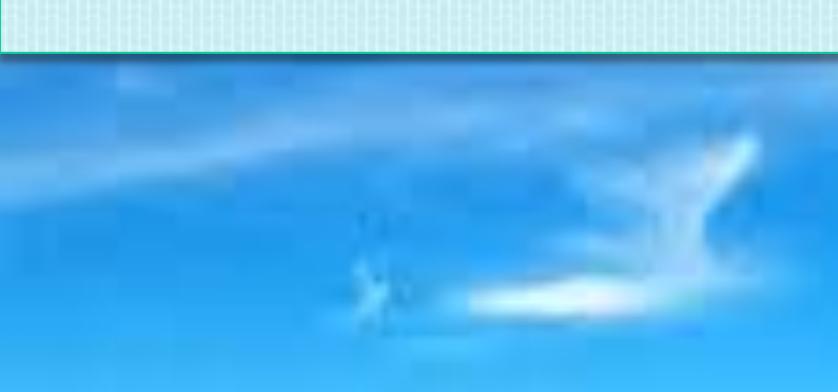


**ЛЕКЦИЯ  
НА ТЕМУ:  
«ФИЗИОЛОГИЯ  
ДЫХАНИЯ.  
Ф.С. ГАЗОВОГО  
СОСТАВА  
КРОВИ.»**





***Дыхание*** – это совокупность процессов, обеспечивающих поступление в организм кислорода, использование его для окисления органических веществ с освобождением энергии, и выделение углекислого газа в окружающую среду.



# Этапы дыхания

1. Внешнее дыхание (обмен воздуха между внешней средой и альвеолами легких);
2. Диффузия газов в лёгких (обмен газов между альвеолярным воздухом и кровью);
3. Транспорт газов кровью –  $O_2$  от легких к тканям организма,  $CO_2$  - от тканей к легким;
4. Диффузия газов в ткани (обмен между кровью и тканью);
5. Клеточное (тканевое, внутреннее) - потребление  $O_2$  и выделение  $CO_2$  клетками организма.



# Разветвление дыхательных путей

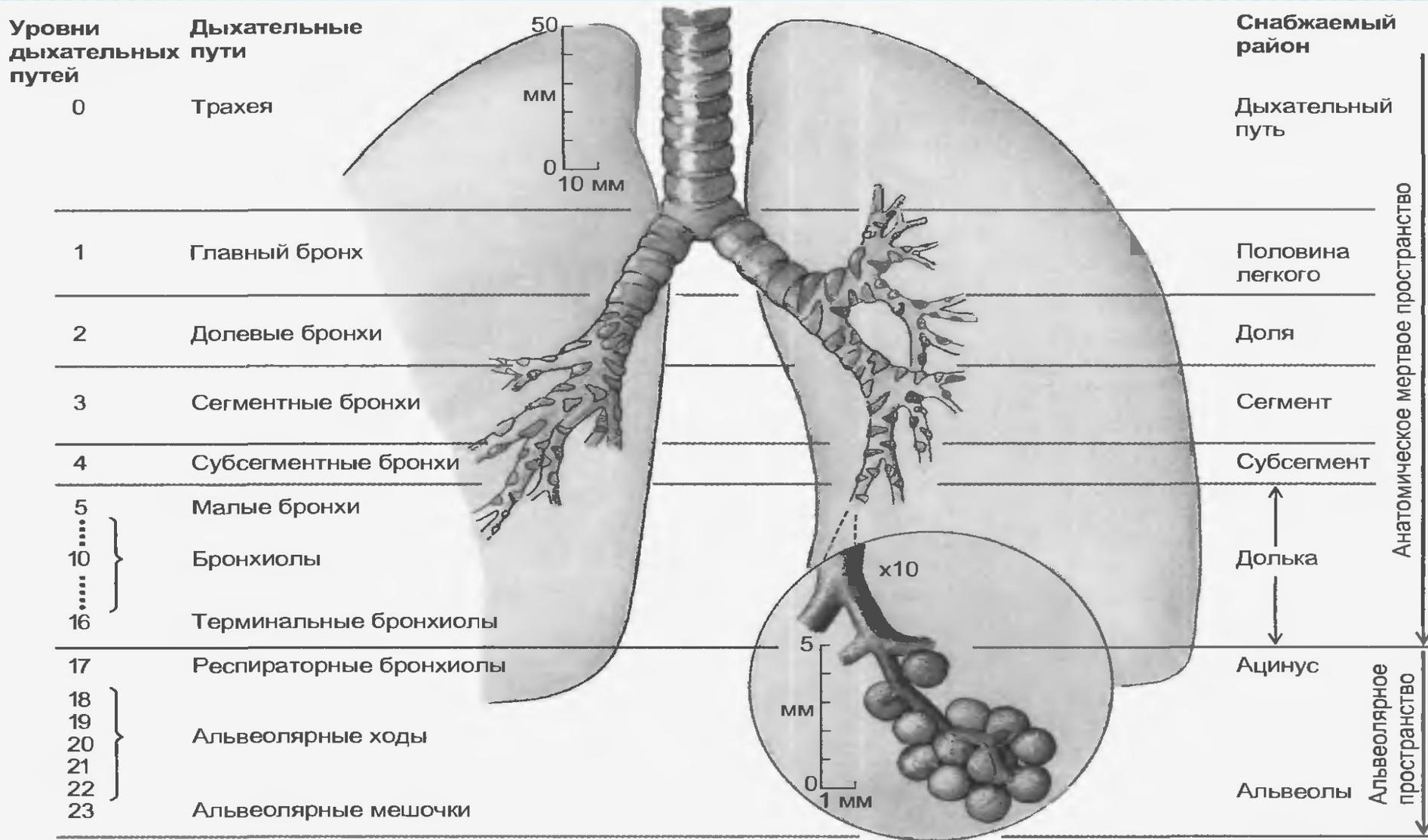


Рис. 63.3. Разветвление дыхательных путей. Ацинус — область дыхательных путей, состоящая из терминальных бронхиол, которые несут альвеолы. Проксимально лежащие дыхательные пути выполняют воздухопроводящую функцию (анатомическое мертвое пространство). Стрелки обозначают границы анатомического мертвого пространства и альвеолярного пространства.

# Негазообменные функции лёгких

- 
- An anatomical illustration of the human respiratory system, showing the lungs and heart in a semi-transparent view. The lungs are depicted in a reddish-pink color, and the heart is in a darker red. The background is a light blue gradient with a subtle grid pattern.
- 1) Выделительная – удаление воды и некоторых летучих веществ: ацетона, этанола и т. д.
  - 2) Выработка биологически активных веществ – гепарина, тромбоксана, тромбопластина, простагландинов;
  - 3) Инактивация биологически активных веществ – эндотелий капилляров лёгких инактивирует за счёт поглощения или ферментативного расщепления многие БАВ, циркулирующие в крови;
  - 4) Защитная функция - лёгкие являются барьером между внутренней и внешней средой организма, в них образуются антитела, вырабатывается лизоцим и т. д.;
  - 5) Терморегуляторная – в лёгких вырабатывается большое количество тепла.

# 1. Внешнее (легочное) дыхание

Внешнее дыхание обеспечивает постоянство концентрации кислорода и углекислого газа во внутренней газовой среде организма. Поступление воздуха в лёгкие при вдохе и изгнание его из лёгких при выдохе осуществляется благодаря ритмичному расширению и сужению грудной клетки.

**Вдох** является **первичноактивным**, то есть **осуществляется** **непосредственной** **затратой** **энергии**.

**Выдох** также может быть **первичноактивным** (при **форсированном** **дыхании**). При **спокойном** **же** **дыхании** **выдох** **является** **вторичноактивным**, так как **осуществляется** **за счёт** **потенциальной** **энергии**, **накопленной** **при** **вдохе**.



# Механизм вдоха и выдоха

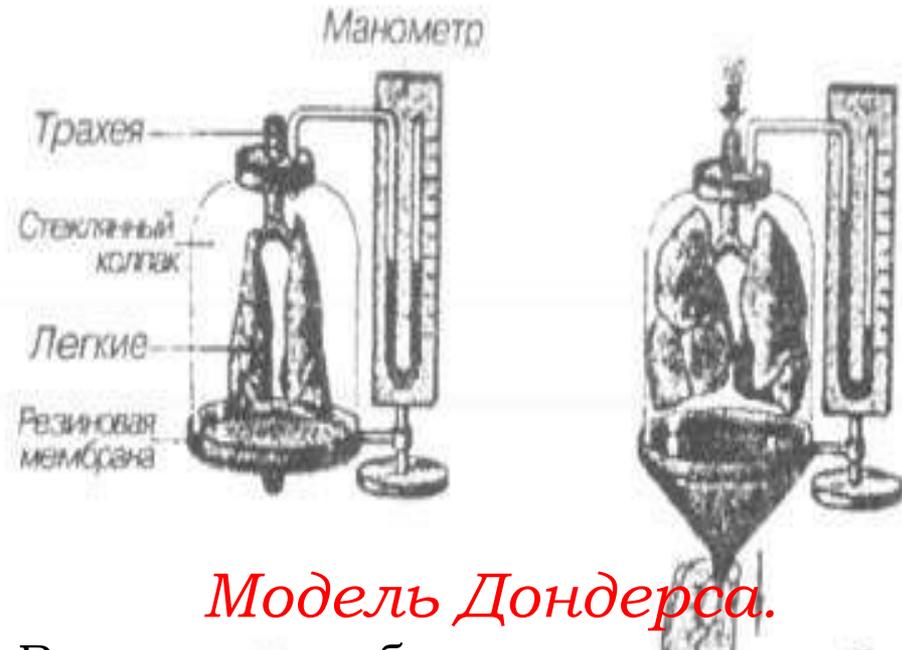
## *При вдохе:*

Импульс из дыхательного центра вызывает сокращение инспираторных дыхательных мышц. В результате этого увеличивается объём грудной клетки, давление в плевральной полости падает. Вслед за увеличением объёма грудной клетки увеличиваются в объёме и лёгкие, они расширяются. При этом давление в полости легких ещё больше падает и становится ниже атмосферного (становится отрицательным). Поскольку при увеличении объёма лёгких создаётся отрицательное внутрилёгочное давление, то атмосферный воздух поступает в лёгкие.

## *При выдохе:*

Активный выдох осуществляется с сокращения экспираторных дыхательных мышц. В результате этого уменьшается объём грудной клетки, давление в плевральной полости увеличивается. Вслед за уменьшением объёма грудной клетки уменьшаются в объёме и лёгкие, они спадаются. При этом давление в плевральной полости ещё больше увеличивается и становится выше атмосферного (становится положительным). Формируется положительное внутрилёгочное давление, в результате чего происходит выход воздуха из лёгких.

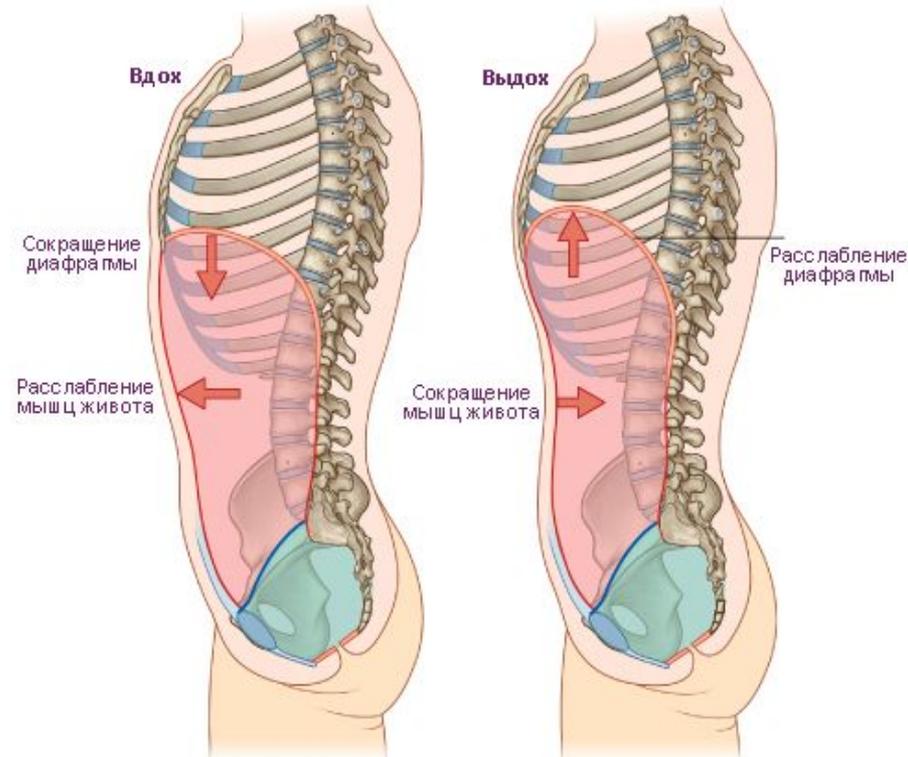
# Механизм вдоха и выдоха



Окружность грудной клетки изменяется при вдохе и выдохе разница у мужчин составляет 7-10см, у женщин – 5-8см. Движения диафрагмы так же участвуют в акте дыхания как и межреберные мышцы

## Модель Дондерса.

В замкнутом объеме находятся легкие мелкого животного; трахея сообщается с атмосферой. При потягивании за нитку, прикрепленную к резиновому дну стеклянного сосуда, объем в нем увеличится, что приведет к падению давления в легких, их расширению и наполнению воздухом. При уменьшении объема процесс носит обратных характер.



# Характеристика легочной вентиляции

**Дыхательный объем** – количество воздуха, которое человек вдыхает и выдыхает в покое (0,5 л)

**Резервный объем вдоха** – количество воздуха, которое человек может дополнительно вдохнуть после нормального вдоха (2,0л).

**Резервный объем выдоха** – количество воздуха, которое человек может дополнительно выдохнуть после спокойного выдоха (1,5л).

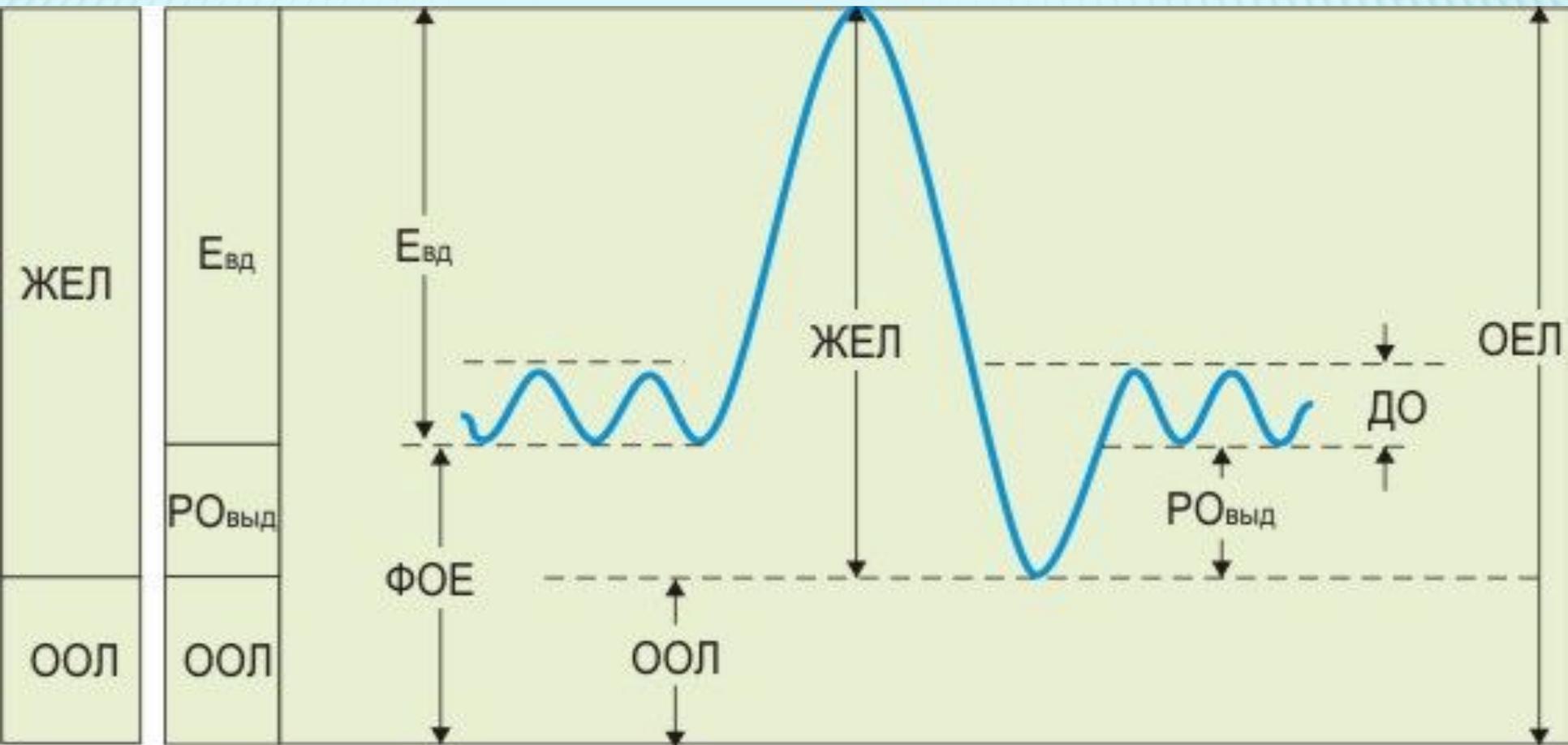
**Остаточный объем** – количество воздуха, оставшееся в легких после максимального выдоха (1,0л).

**Жизненная емкость легких** – количество воздуха, которое можно максимально выдохнуть после наибольшего вдоха.

**Общая емкость легких** – максимальное количество воздуха, содержащегося в легких при наибольшем вдохе.

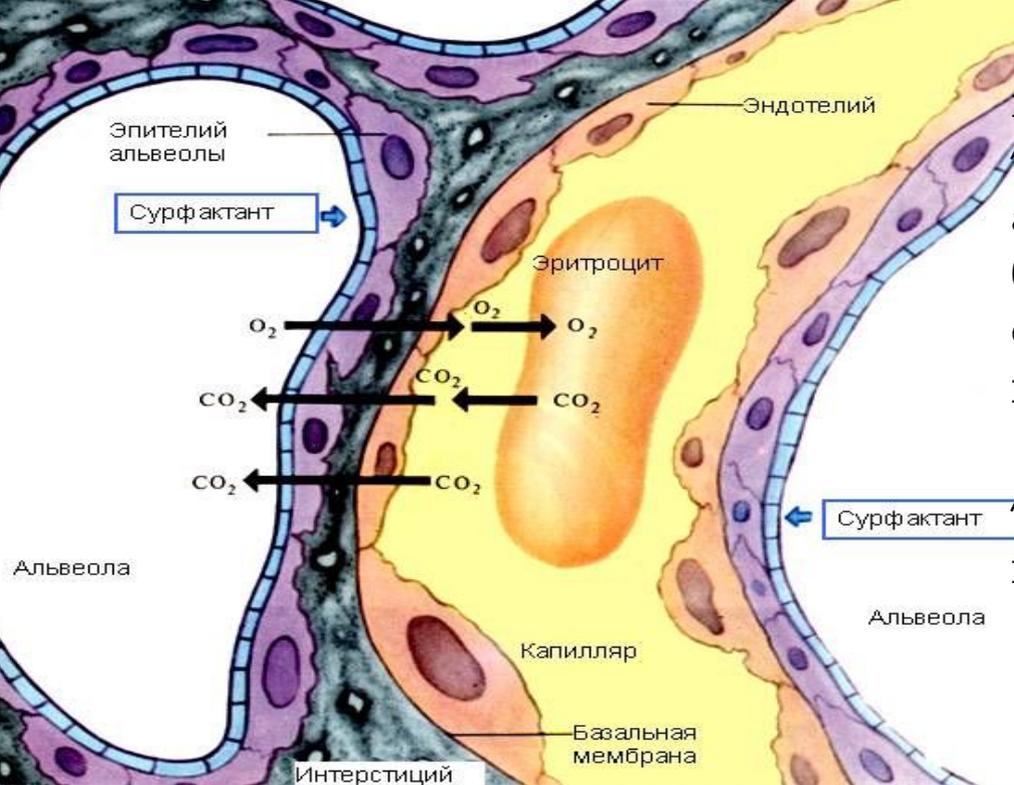


# Легочные объемы и емкости



**ДО** - дыхательный объем;  
**РОвыд** - резервный объем выдоха.

**Евд** - емкость вдоха;  
**ОЕЛ** - общая емкость легких;  
**ООЛ** - остаточный объем легких;



**Сурфактант** — активное вещество лёгких, образующее слой толщиной 50 нм внутри альвеол, альвеолярных ходов, мешочков и бронхиол. В переводе «сурфактант» означает «поверхностно-активные вещества».

Содержит фосфолипиды, триглицериды, холестерин, протеины, углеводы.



### **Роль сурфактанта:**

- 1) Уменьшает поверхностное натяжение жидкости, покрывающей альвеолы, предотвращая, тем самым, слипание альвеол;
- 2) Выполняет защитную роль: обладает бактериостатической активностью, защищает стенки альвеол от повреждения;
- 3) Облегчает диффузию кислорода из альвеол в кровь.

# Газообмен в легких

Закон Фика- диффузия газов прямо пропорциональна градиенту его парциального давления, площади барьера и обратно пропорциональна толщине барьера

$$V = K \frac{S}{L} \cdot (P_1 - P_2)$$

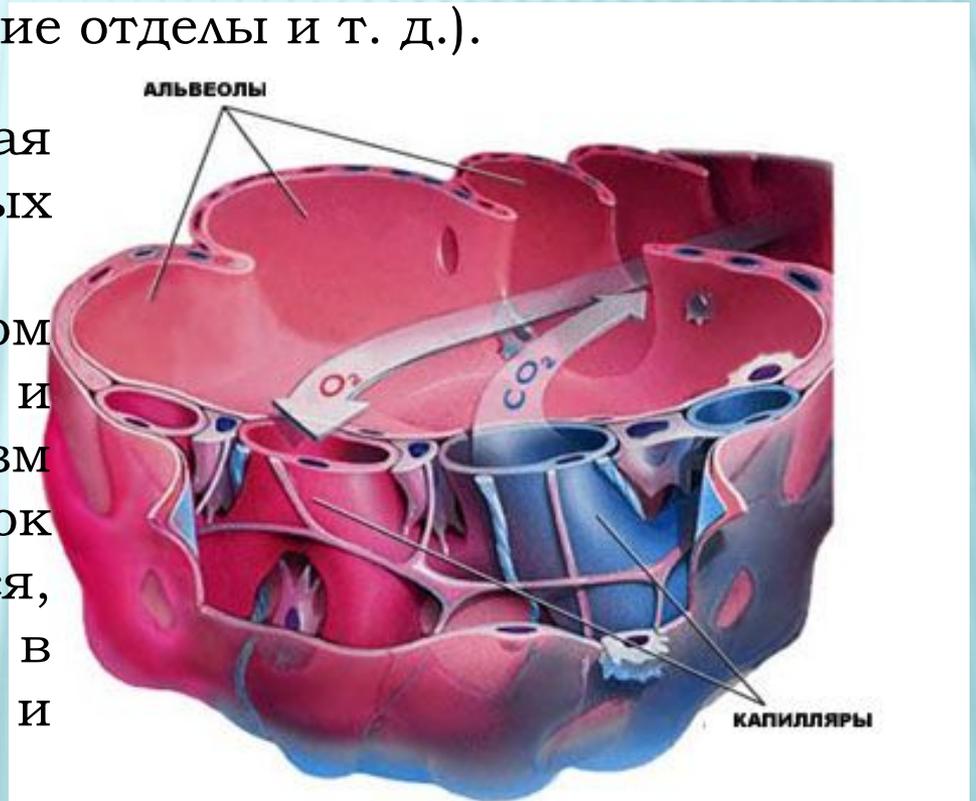
Обмен газов между кровью организма и альвеолами осуществляется с помощью *диффузии*.

Газовый состав (% мм.рт.ст.)	Вдыхаемый воздух	Выдыхаемый воздух	Альвеолярный воздух
O <sub>2</sub>	21% (159)	16% (121)	14% (100)
CO <sub>2</sub>	0,03 (0,22)	4,5 (34)	5,5 (40)

Движущей силой, является градиент парциального давления – разность парциальных давлений кислорода и углекислого газа в альвеолярной смеси газов и напряжения этих газов крови.

# Факторы, способствующие диффузии газов в легких

- 1) Большая скорость диффузии газов через тонкую легочную мембрану (где – то 1 мкм).
- 2) Интенсивные вентиляция лёгких и кровообращение (это зависит от положения тела: в вертикальном положении лучше вентилируются нижние отделы и т. д.).
- 3) Большая диффузная поверхность лёгочных капилляров и альвеол.
- 4) Корреляция между кровотоком в данном участке легкого и его вентиляцией (механизм саморегуляции). Если участок лёгкого плохо вентилируется, то кровеносные сосуды в этой области сужаются и полностью закрываются.



# Газовый состав крови

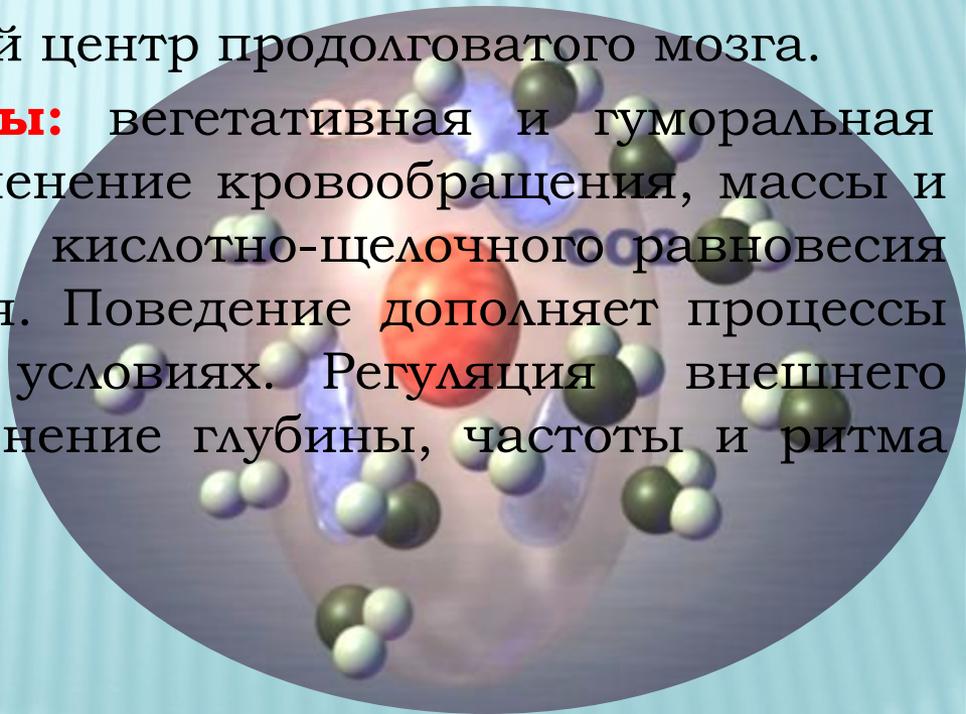
**Функциональная система, поддерживающая газовый состав крови**

- динамическая, саморегулирующаяся организация, все компоненты которой взаимосвязаны, взаимообусловлены и направлены на достижение полезного приспособительного результата:  $PCO_2 = 40$  мм.рт.ст.,  $PO_2 = 100$  мм.рт.ст. – в оксигенированной крови;  $PCO_2 = 48$  мм.рт.ст.,  $PO_2 = 40$  мм.рт.ст. – в неоксигенированной крови.

# Структура функциональной системы поддержания газового состава крови

---

- 1) **Полезный приспособительный результат:** парциальное давление кислорода 100 мм.рт.ст. , углекислого газа 40 мм.рт.ст. – в артериальной крови; парциальное давление кислорода 40 мм.рт.ст., углекислого газа 48 мм.рт.ст. – в венозной крови.
- 2) **Рецепторы:** хеморецепторы.
- 3) **Обратная афферентация:** нервный и гуморальный путь.
- 4) **Нервный центр:** дыхательный центр продолговатого мозга.
- 5) **Исполнительные механизмы:** вегетативная и гуморальная регуляция направлены на изменение кровообращения, массы и качественного состава крови, кислотно-щелочного равновесия крови и процессов выделения. Поведение дополняет процессы регуляции в экстремальных условиях. Регуляция внешнего дыхания направлена на изменение глубины, частоты и ритма дыхания.



# Транспорт газов кровью

## Транспорт кислорода

1. **Физическое растворение.** В артериальной крови содержится 0,003 мл на 1мл крови физически



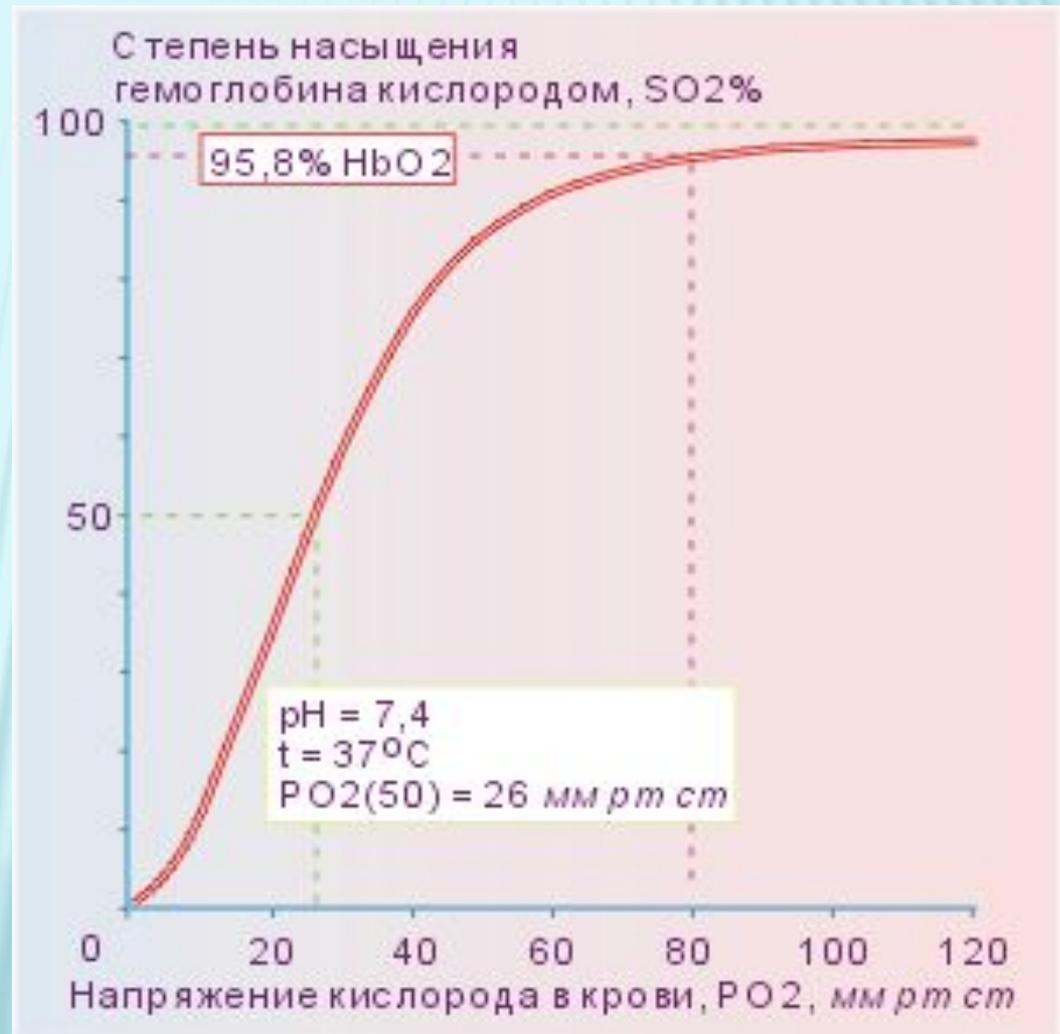
## 2. Химическое соединение.

Большая часть кислорода переносится в виде химического соединения с гемоглобином (оксигемоглобина). 1 моль гемоглобина может связать до 4 молей кислорода и в среднем 1г гемоглобина способен связать 1,34-1,36 мл кислорода. Кислородная емкость крови – количество кислорода, содержащееся в 1л крови. В норме в 1л крови -150г гемоглобина, 1л крови содержит 0,2 л кислорода



# Биологическое значение кривой диссоциации оксигемоглобина

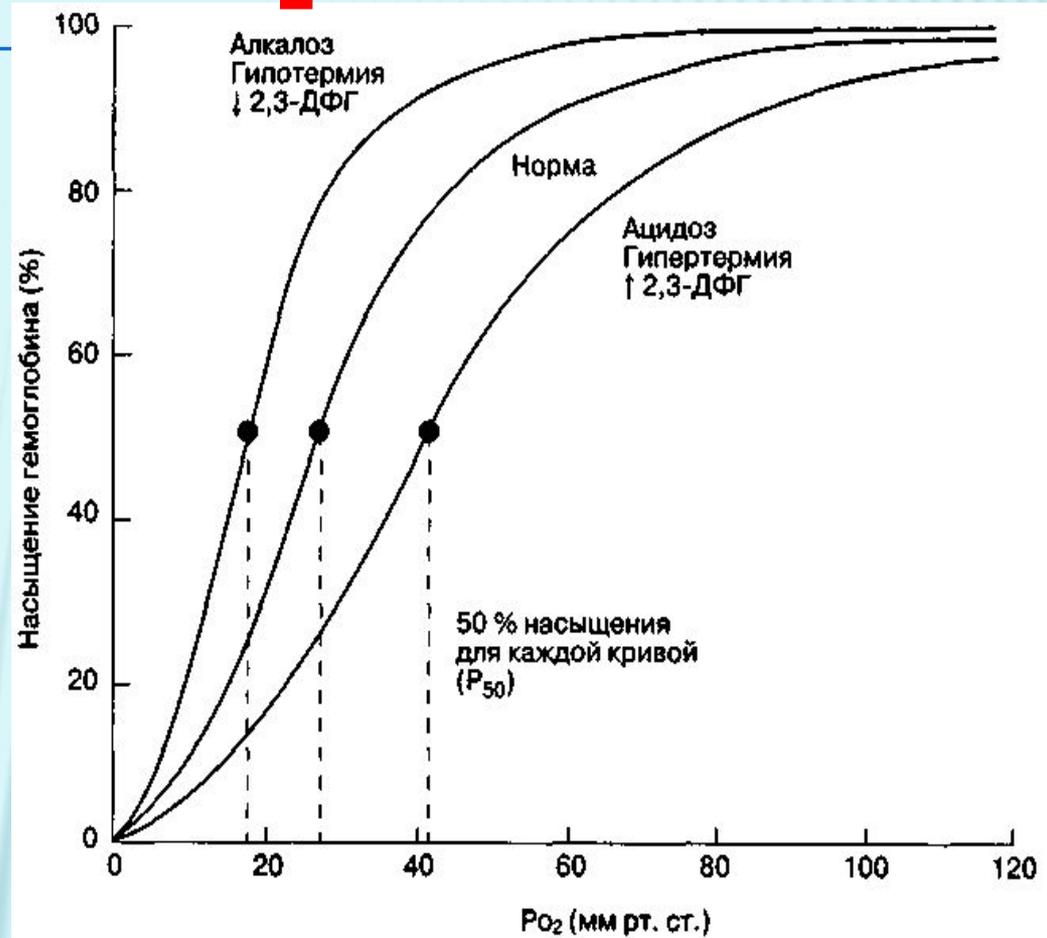
Участок кривой соответствующий низким парциальным значениям кислорода, характеризует содержание оксигемоглобина в капиллярах тканей, а участок, соответствующий высоким парциальным значениям кислорода, характеризует содержание оксигемоглобина в легочных капиллярах.



# Эффект Бора

При увеличении парциального давления двуокиси углерода в тканях кривая диссоциации оксигемоглобина, сдвигаясь вправо, отражает повышение способности оксигемоглобина отдавать кислород тканям и тем самым высвобождается для дополнительного связывания двуокиси углерода и переноса ее избытка из тканей в легкие.

При снижении парциального давления двуокиси углерода и смещении рН крови в основную сторону (алкалоз) сдвиг кривой диссоциации оксигемоглобина влево означает снижение способности оксигемоглобина отдавать кислород тканям и поглощать двуокись углерода для транспорта ее к легким.



Сдвиг кривой диссоциации оксигемоглобина иллюстрирует взаимосвязь транспорта кислорода и двуокиси углерода в крови и сродством гемоглобина к этим газам.

# Транспорт двуокиси углерода

- 1) Физическое растворение - содержание физически растворенной двуокиси углерода в артериальной крови составляет 0,0026 мл в 1 мл крови (где – то 1,3 ммоль/л, 5% всего углекислого газа в крови).
- 2) В виде химического соединения с гемоглобином – карбогемоглобином (где – то 1,3 ммоль/л, 10% всего углекислого газа в крови).



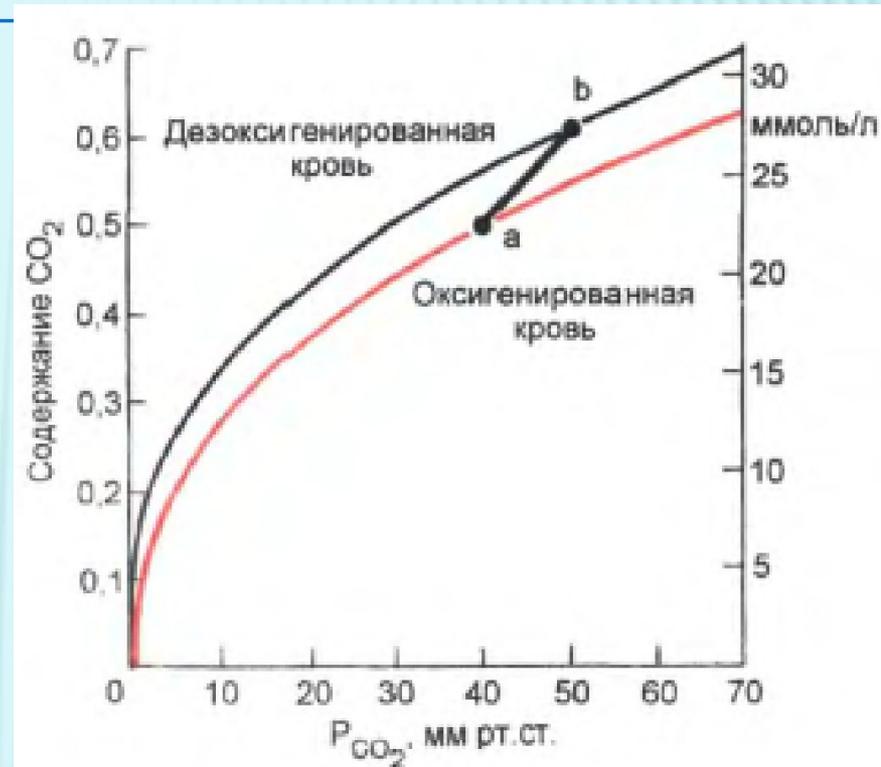
- 3) В составе бикарбоната, образующегося в результате диссоциации угольной кислоты (23 ммоль/л, 85% всего углекислого газа в крови).

Наибольшее парциальное давление двуокиси углерода в клетках тканей и в тканевых жидкостях – 60 мм.рт.ст. ; в протекающей артериальной крови оно равно 40 мм.рт.ст. Благодаря этому градиенту двуокись углерода движется из тканей в капилляры. В результате ее парциальное давление возрастает, достигая венозной крови 46-48 мм.рт.ст.

# Кривая диссоциации двуокиси углерода

Отражает все три вида транспорта. Содержание двуокиси углерода в крови зависит от ее парциального давления. Общая закономерность проявляется в увеличении содержания двуокиси углерода в крови при возрастании ее парциального давления.

При одном и том же парциальном давлении содержание двуокиси углерода в дезоксигенированной крови больше, чем в оксигенированной.



Реальная кривая диссоциации двуокиси углерода в крови проходит между двумя графиками, относящимися к оксигенированной и дезоксигенированной крови в диапазоне между 40-46 мм.рт.ст., которая соответствует парциальному давлению двуокиси углерода в артериальной и венозной крови.

# Гуморальная регуляция

Главным физиологическим стимулом дыхательных центров является двуокись углерода. Регуляция дыхания обуславливает поддержание нормального содержания  $\text{CO}_2$  в альвеолярном воздухе и артериальной крови. Возрастание содержания  $\text{CO}_2$  в альвеолярном воздухе на 0,17% вызывает увеличение МОД, а снижение  $\text{O}_2$  на 39-40% не вызывает существенных изменений МОД.

## Роль двуокиси углерода:

**Гиперкапния** (избыток двуокиси углерода в воздухе и крови) вызывает стимуляцию дыхания (одышка, гиперпноэ).

**Гипокапния** (снижение парциального давления двуокиси углерода в крови) вызывает угнетение дыхания и его остановку (апноэ).

## Роль кислорода:

**Гипоксия** (снижение парциального давления кислорода) - стимулирует работу сердца, вызывает гиперпноэ.

**Гипероксия** (избыток кислорода в атмосфере) - торможение дыхательного центра и остановку дыхания (апноэ).

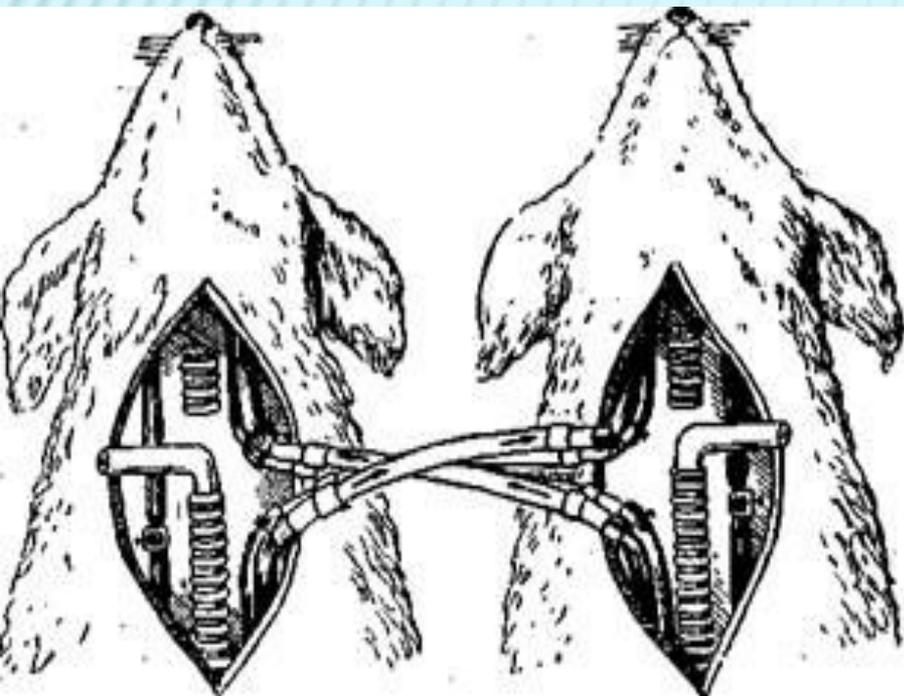
# Опыты



Главным гуморальным стимулятором дыхания является избыток углекислого газа в крови, что продемонстрировано на опыте *Фредерика*

# Опыт Фредерика

Если у одной из этих собак зажать трахею и таким образом производить удушье организма, то через некоторое время у нее происходит остановка дыхания (апноэ), у второй же собаки возникает резкая одышка (диспноэ). Это объясняется тем, что зажатие трахеи у первой собаки вызывает накопление  $\text{CO}_2$  в крови ее туловища (гиперкапния) и уменьшение содержания кислорода (гипоксемия).



Кровь из туловища первой собаки поступает в голову второй собаки и стимулирует ее дыхательный центр. В результате возникает усиленное дыхание – гипервентиляция – у второй собаки, что приводит к снижению напряжения  $\text{CO}_2$  и повышению напряжения  $\text{O}_2$  в крови сосудов туловища второй собаки. Богатая кислородом и бедная углекислым газом кровь из туловища этой собаки поступает в голову первой и вызывает у нее апноэ.

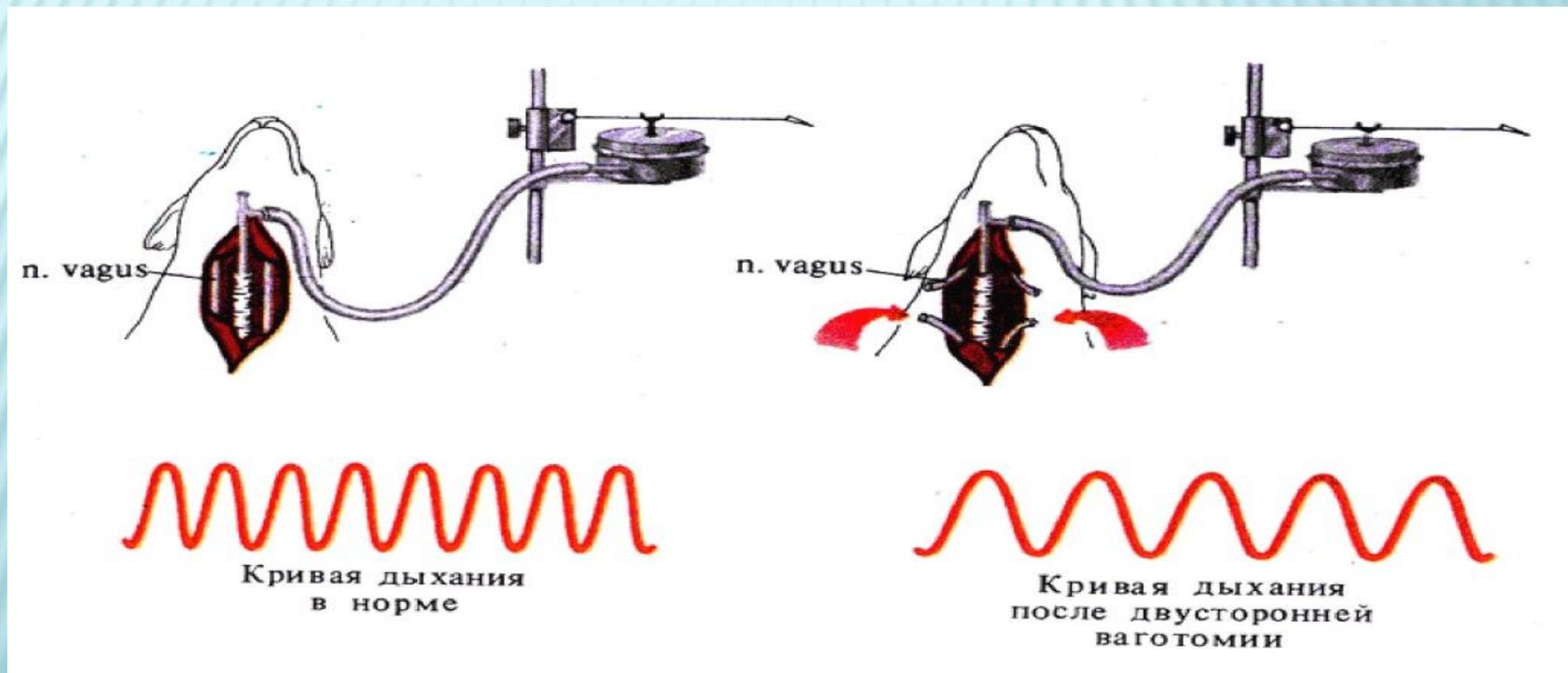
# Рефлекторная регуляция

An anatomical diagram of a neuron is visible in the background. It shows a cell body with branching dendrites and a long axon. Labels include 'Neuron' at the top, 'Dendrites' on the left, 'Axon' in the middle, 'Neurotransmitter' near a synapse, and 'Synapse' and 'Receptor' at the bottom right. The diagram illustrates the structure and function of a neuron in a biological context.

- 1) Медленно адаптирующиеся рецепторы растяжения легких – расположены в гладких мышцах трахеи, бронхов; возбуждаются при вдохе.**
- 2) Ирритантные быстро адаптирующиеся механорецепторы - расположены в слизистой оболочке трахеи, бронхов; возбуждаются при резких изменениях объёма лёгких, при действии раздражителей.**
- 3) J-рецепторы «юкстакапиллярные» рецепторы легких – находятся в интерстиции альвеол дыхательных бронхов вблизи от капилляров; возбуждаются при отёке лёгких, действии БАВ.**

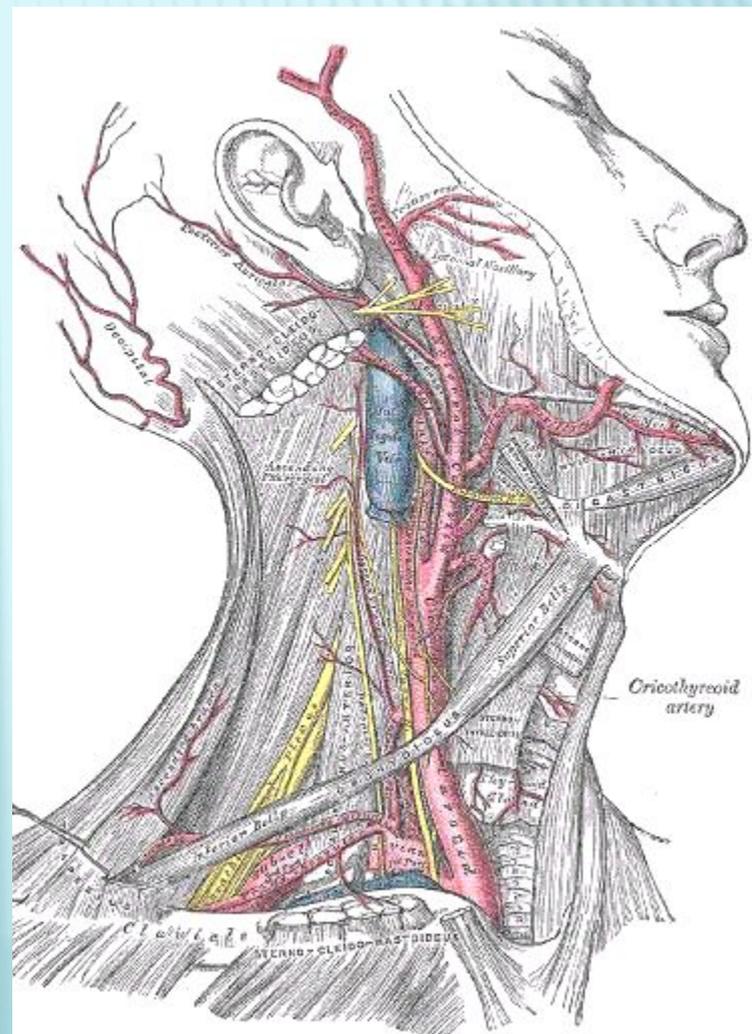
**Физиологическое значение эффекта Геринга-Брейера** заключается в организации дыхательной экскурсий, в экстремальных условиях данный рефлекс препятствует перерастяжению легких.

**Роль блуждающих нервов** в регуляции вдоха и выдоха доказали Геринг и Брейер в опыте с раздуванием лёгких воздухом в различные фазы дыхательного цикла. После перерезки блуждающих нервов дыхание становится редким и глубоким.



# Рефлекс Геринга -Брейера

Это рефлекс торможения вдоха при растяжении лёгких. Он контролирует глубину и частоту дыхания. Является примером регуляции по принципу обратной связи. Оказалось, что раздувание легких воздухом тормозит вдох, после чего начинается выдох. Забор воздуха, то есть уменьшение объема легких, тормозит выдох и ускоряет вдох. Результаты опыта свидетельствуют о том, что во время вдоха вследствие растяжения лёгких возбуждаются их механорецепторы. Аfferентные импульсы по блуждающим нервам поступают к дыхательным нейронам, тормозят вдох и обеспечивают смену вдоха на выдох. При этом возбуждаются экспираторные и поздние инспираторные нейроны, которые тормозят ранние инспираторные.

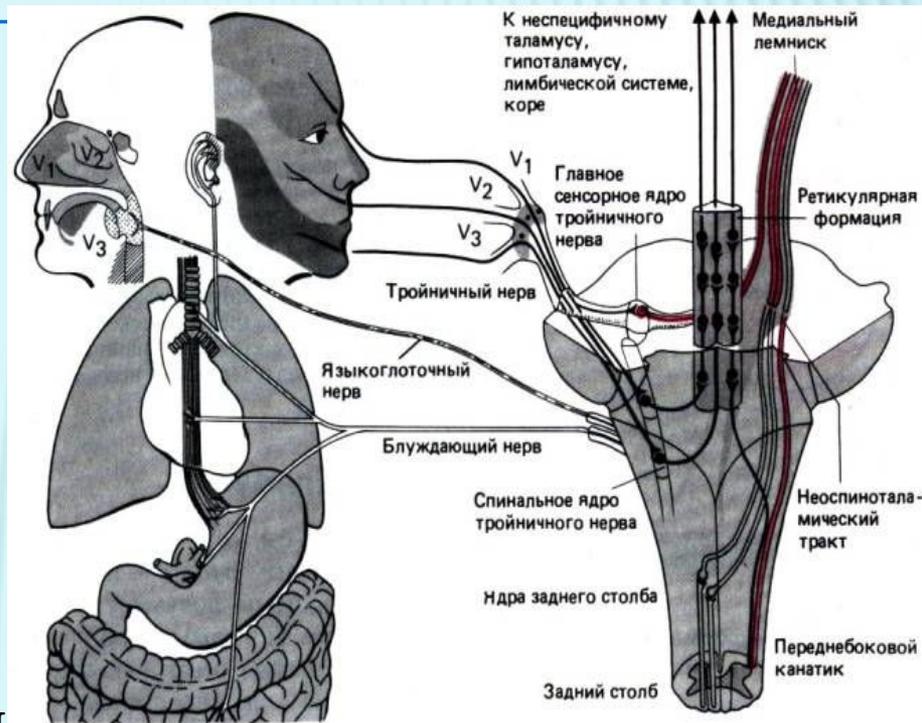
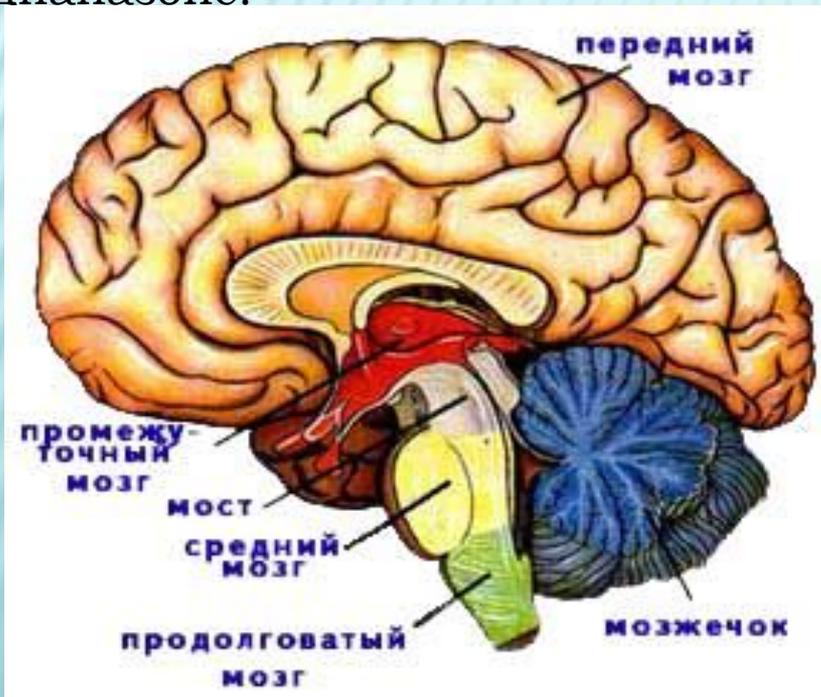


# Дыхательный центр

## Дыхательный центр

– нейронная организация, определяющая ритмический характер дыхания и расположенная в области продолговатого мозга.

Благодаря коре больших полушарий глубину и частоту дыхания можно изменять произвольно в широком диапазоне.

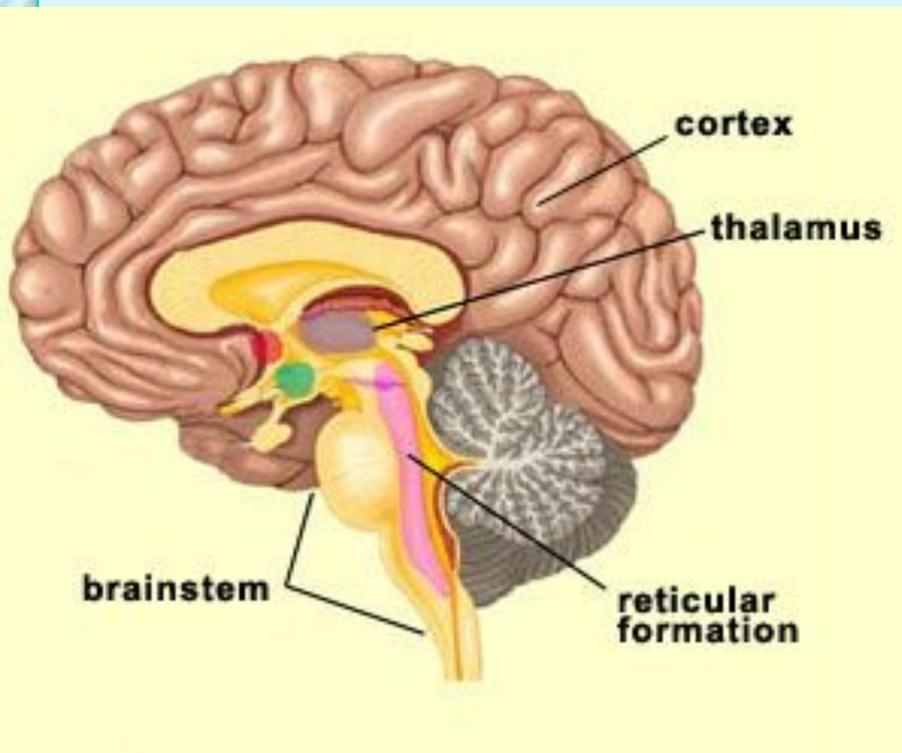


Мост играет важную роль в регуляции продолжительности фаз вдоха, выдоха и паузы между ними. Средний мозг – в регуляции тонуса всей мускулатуры организма. Гипоталамус – в регуляции частоты и глубины дыхания при физической деятельности, в повышении температуры среды.

# Особенности автоматизма дыхательного центра

Первые опыты по изучению ритмической активности дыхательного центра были проведены И.М. Сеченовым в

**Автоматия дыхательного центра** – это циркуляция возбуждения в его нейронах, обеспечивающая саморегуляцию вдоха и выдоха.



## Особенности:

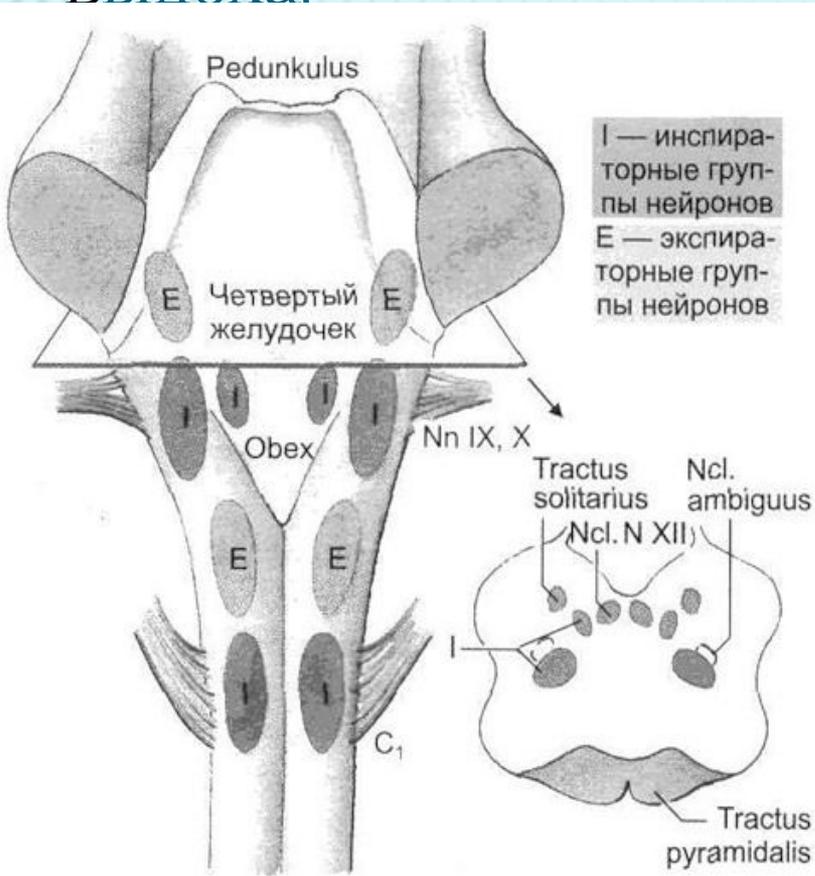
Способностью самопроизвольно возбуждаться обладают отдельные нейроны, а группы нейронов (4-12), возбуждение по которым циркулирует, периодически возбуждая инспираторные и экспираторные нейроны;

Зависимость автоматизма от моральных факторов (парциальное давление углекислого газа).

# Дыхательные нейроны

Выделяют два типа дыхательных нейронов:

- **Инспираторные нейроны** — возбуждаются преимущественно в фазе вдоха.
- **Экспираторные нейроны** — разряжаются в фазе ВЫДОХА.



В продолговатом мозге наблюдаются скопления дыхательных нейронов:

- 1) Дорсальная группа дыхательных нейронов состоит на 90% из инспираторных нейронов;
- 2) Вентральная группа — большинства экспираторных нейронов, расположенных около боудного ядра между обеими зонами инспираторных клеток, а также ростральнее в области заднего ядра лицевого нерва.

# Типы дыхательных нейронов

**Э:** поздние экспираторные нейроны (частота импульсации возрастает в фазу экспирации);

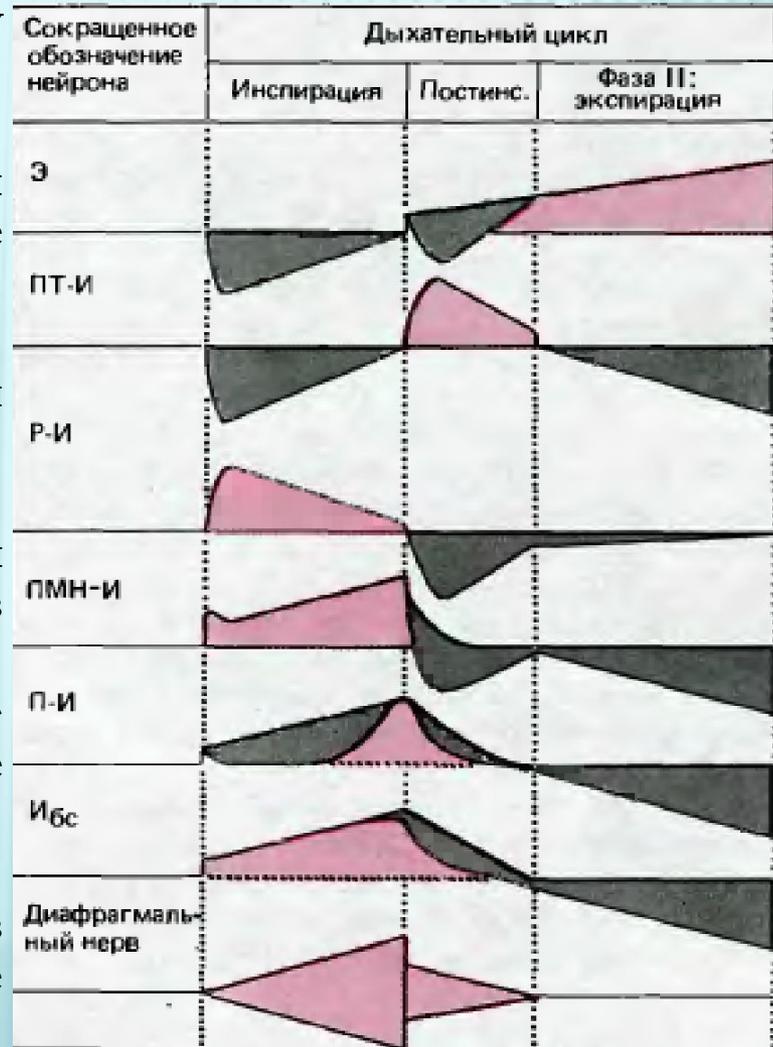
**ПТ-И:** постинспираторные нейроны (частота импульсации быстро возрастает, а затем медленно снижается в фазе постинспирации);

**Р-И:** ранние инспираторные нейроны (частота импульсации быстро возрастает, а затем медленно снижается в фазе инспирации);

**ПМН-И:** полные инспираторные нейроны с медленно нарастающей импульсацией (частота импульсации медленно нарастает в фазе инспирации);

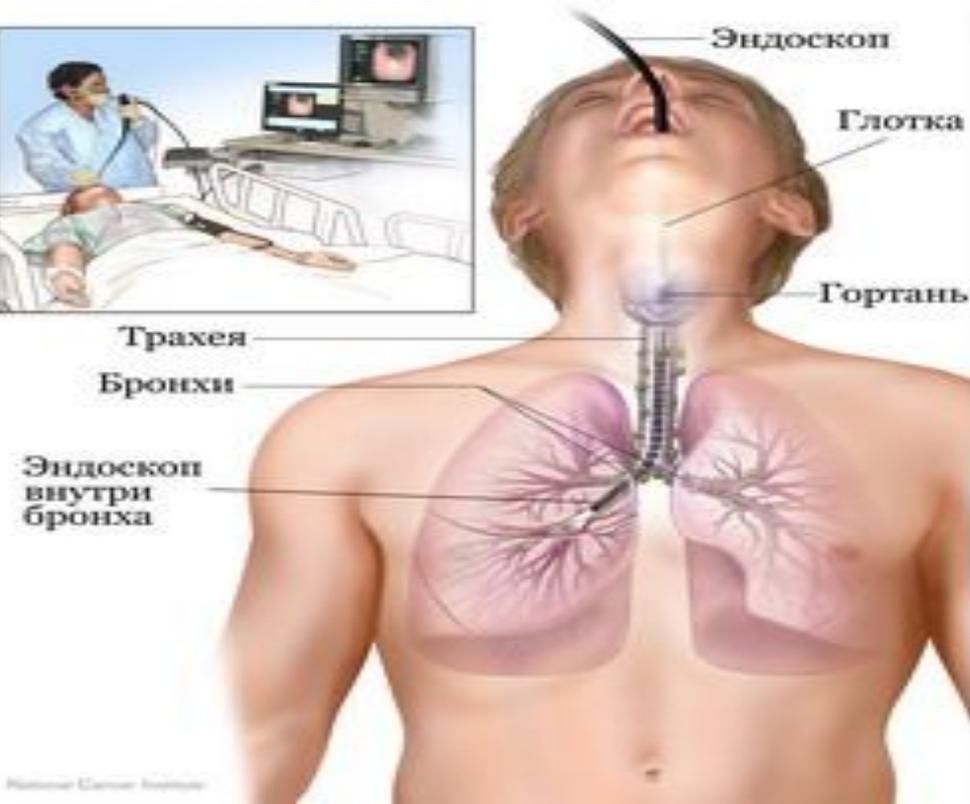
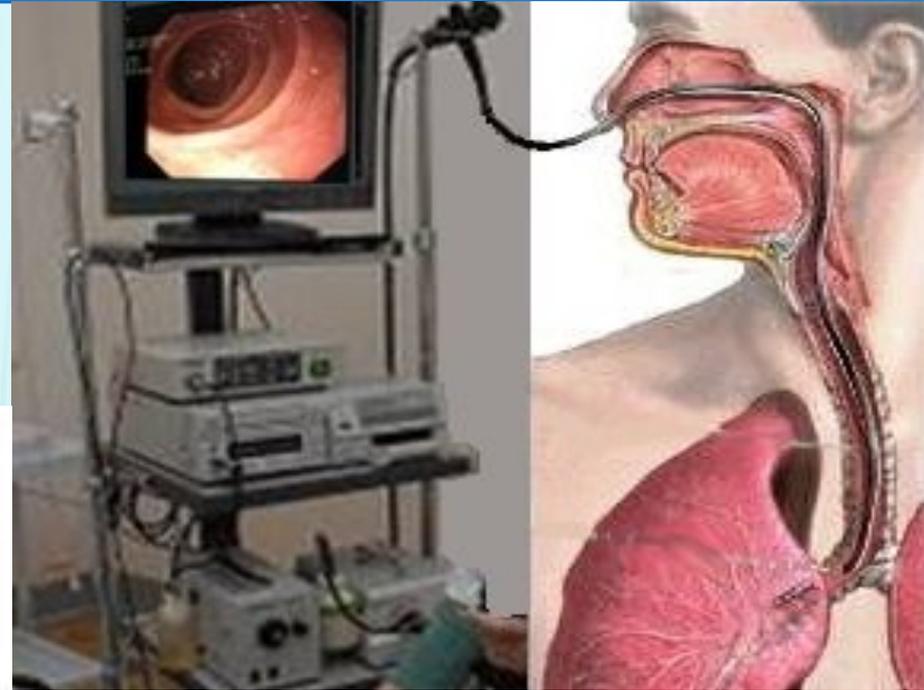
**П-И:** поздние инспираторные нейроны (выдают короткую вспышку импульсации в конце фазы инспирации);

**Ибс:** бульбоспинальные инспираторные нейроны (частота импульсации нарастает в фазе инспирации и снижается в фазе постинспирации)



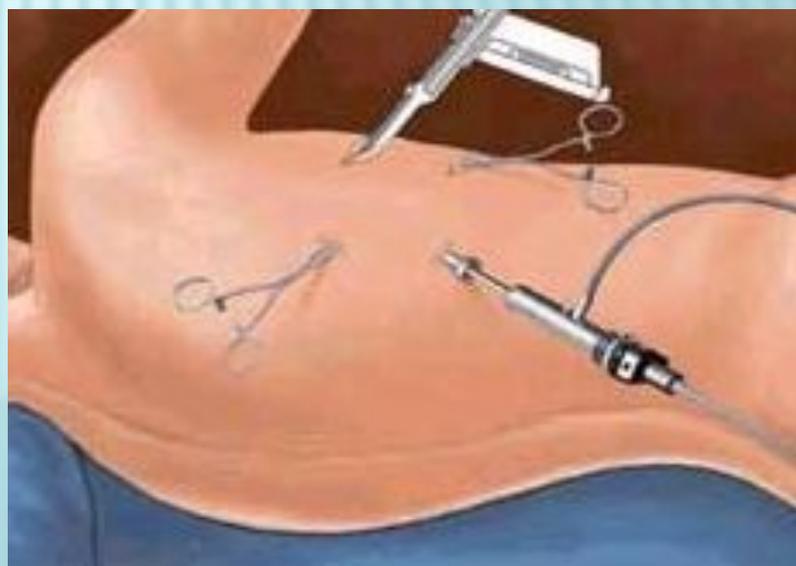
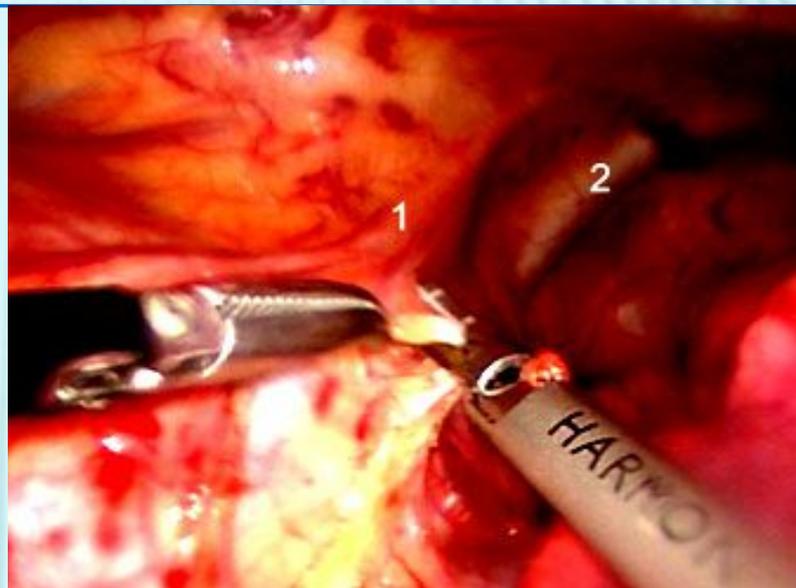
# Методы исследования

**Бронхоскопия** применяется для осмотра слизистой оболочки трахеи и бронхов первого, второго и третьего порядка. Она производится специальным прибором — бронхоскопом, к которому прилагаются специальные щипцы для биопсии, извлечения инородных тел, удаления полипов, фотоприставка и т.д.



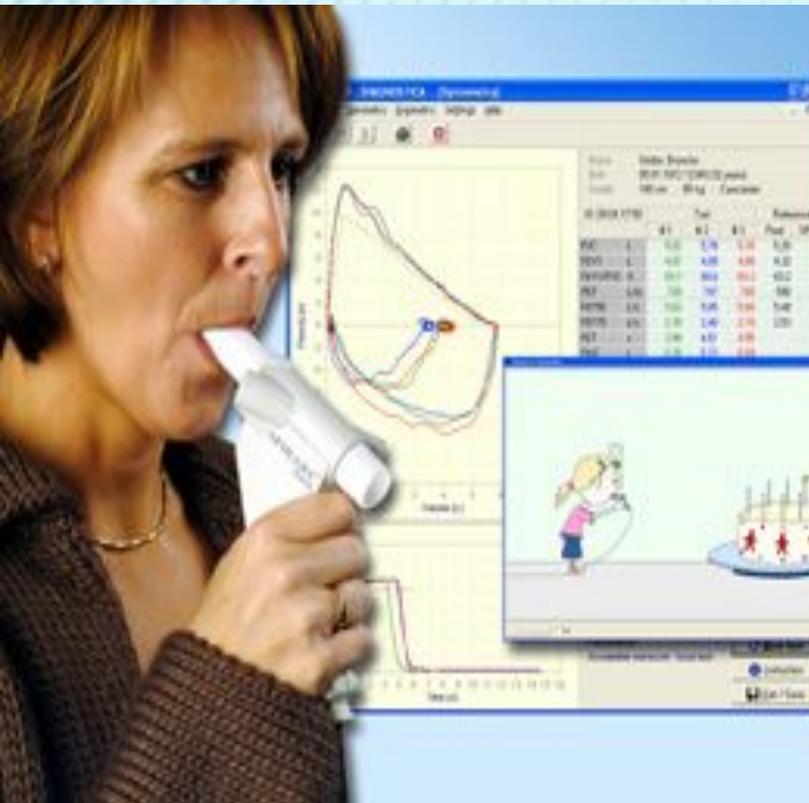
# Торакоскопия

При помощи специального прибора - торакоскопа - производят осмотр плевральной полости и разъединение спаек между висцеральным и париетальным листками плевры, образовавшихся после перенесенного плеврита или пневмоторакса. Торакоскоп представляет собой трубку с оптическим устройством для визуального наблюдения плевральной полости. Торакоскоп вводится через специальный троакар после прокола им грудной клетки и накладывания искусственного пневмоторакса.



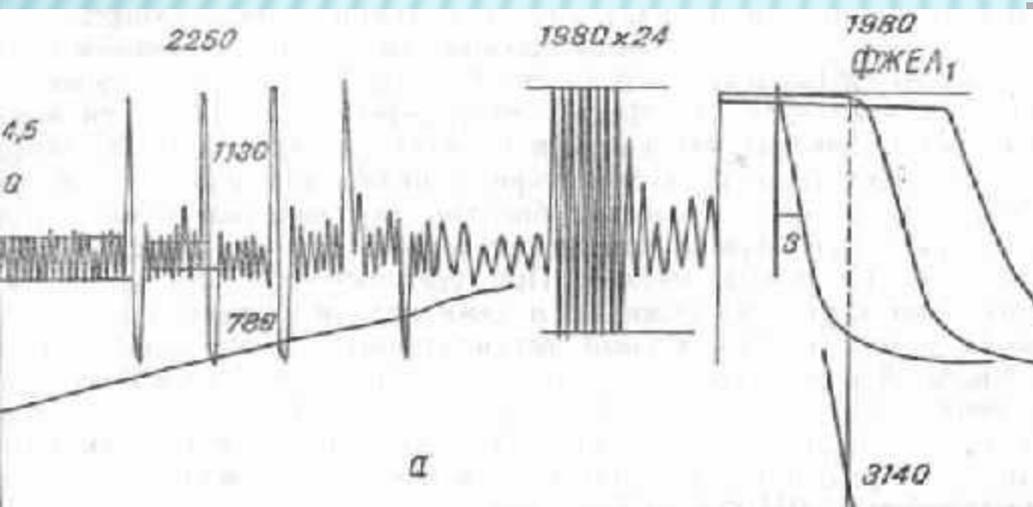
# Спирометрия

Спирометрией называется метод измерения жизненной емкости легких. Для измерения жизненной емкости легких применяется прибор, называемый спирометром.



# Спирография

Измерение и графическая регистрация дыхательных объемов проводится с помощью спирографии. Для спирографии используются приборы, называемые спирографами. Спирограф представляет собой спирометр, соединенный с кимографом. Спирограмма регистрируется на движущейся ленте. Зная масштаб шкалы спирографа и скорость движения бумаги, можно определить основные показатели внешнего дыхания. Помимо определения легочных объемов и жизненной емкости легких с помощью спирографии можно также определить показатели легочной вентиляции: минутный объем дыхания (сумма дыхательных объемов в 1 мин), максимальную вентиляцию легких.



**Спасибо за  
внимание!**

