

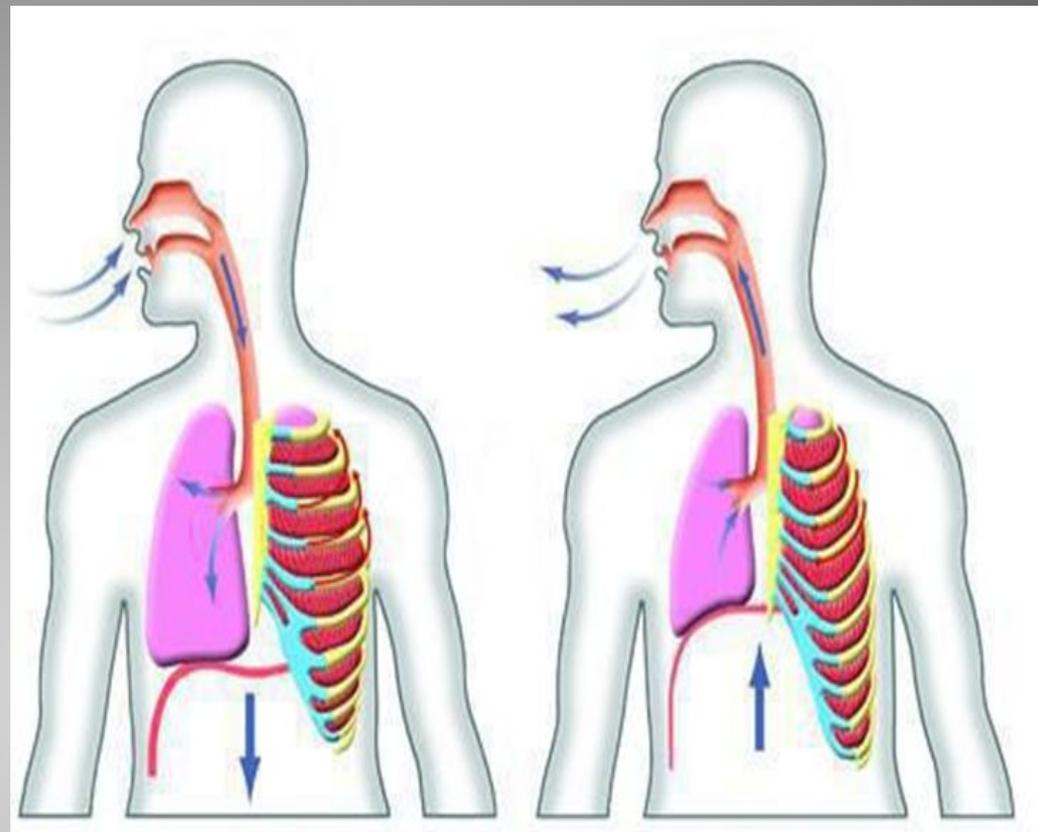
# Физиология дыхания

**Дыхание** – это совокупность процессов и механизмов, обеспечивающих потребление кислорода и выделение избытка углекислого газа организмом, и направленных на поддержание газового гомеостаза.

### **Функции дыхания.**

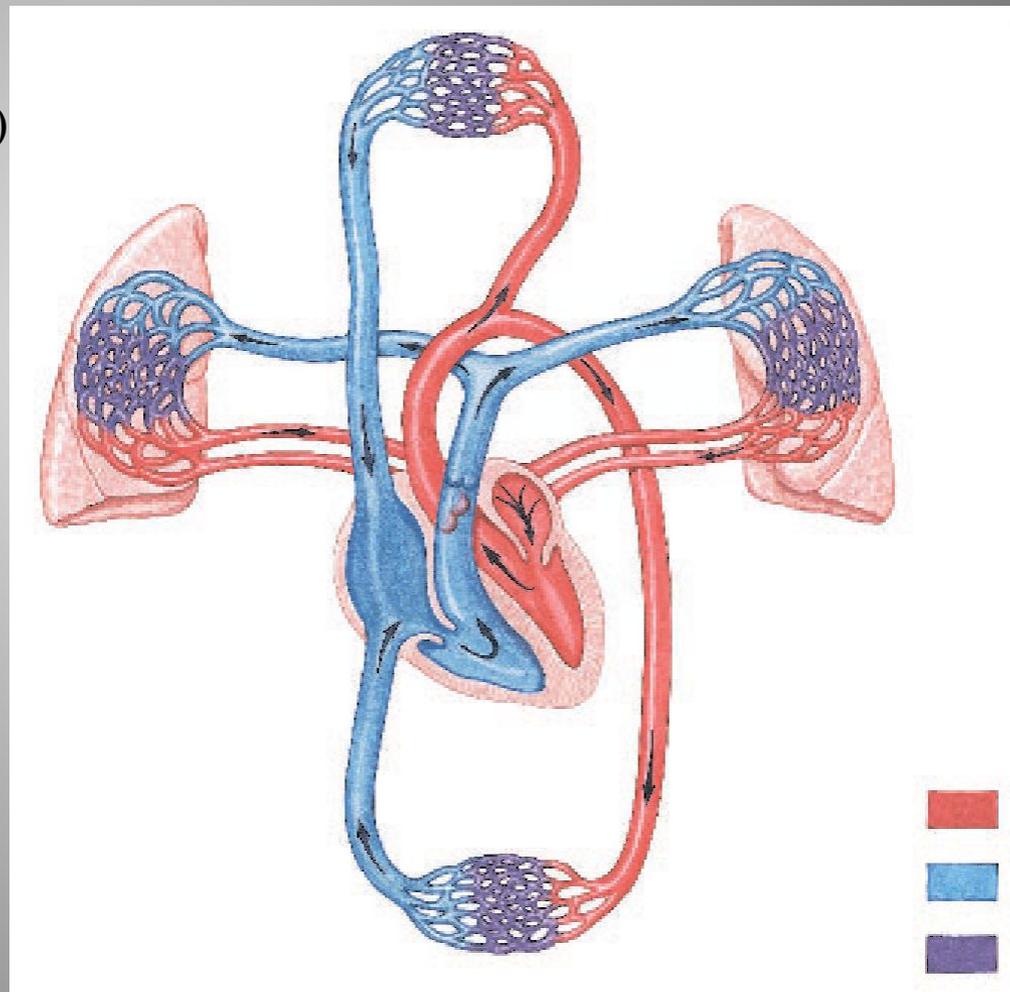
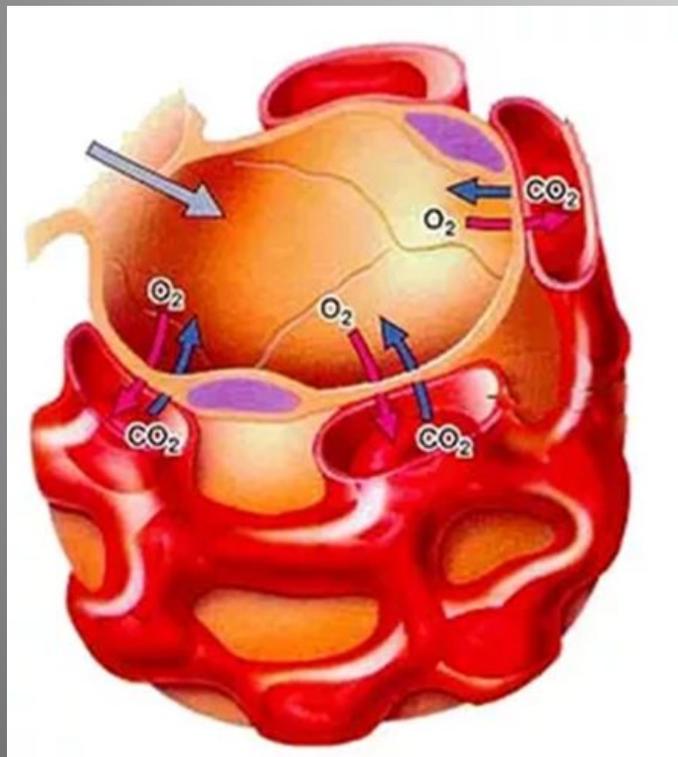
1. газообмен между клетками организма и окружающей средой,
2. выделение летучих соединений,
3. депонирование крови.

С точки зрения физики газообмен происходит с использованием **конвекции** (перемещение молекул на большие расстояния с током воздуха и крови) и **диффузии** (движение газов по градиенту парциального давления на небольшие расстояния).



## Этапы (стадии) дыхания

1. Газообмен между внешней средой и альвеолярным воздухом (конвекция)
2. Газообмен между альвеолярным воздухом и кровью (диффузия)
3. Транспорт газов кровью по малому и большому кругу кровообращения (конвекция)
4. Газообмен в тканях (диффузия)
5. Клеточное дыхание (изучает биохимия)

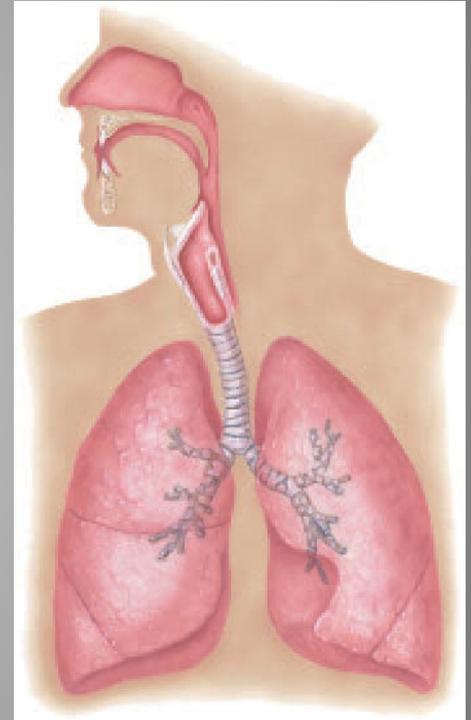


Газообмен в легких происходит благодаря ритмичным дыхательным движениям, **инспирации** (вдох) и **экспирации** (выдох). Длительность фазы вдоха и выдоха при различных нагрузках на организм меняется, поэтому введено понятие о паттерне дыхания.

**Паттерн дыхания** – это совокупность объемных и временных параметров, характеризующих структуру дыхательного цикла и легочную вентиляцию в целом.

### Параметры дыхания.

1. Количество дыхательных циклов в 1 минуту. Частота дыхания.
2. Длительность одного дыхательного цикла.
3. Длительность инспираторной и экспираторной фазы.
4. Дыхательный объем или глубина дыхания.
5. Легочная вентиляция (минутный объем дыхания)



### Выделяют

- **нормпноэ**, или нормопноическое дыхание, (12-16 дыхательных циклов в мин);
- **тахипноэ** (частое, но неглубокое дыхание, более 20 циклов в минуту);
- **брадипноэ** (медленное, глубокое дыхание, менее 8 вдохов-выдохов в минуту).

Рабочее гиперпноэ может наблюдаться при мышечной нагрузке.

Необходимую для организма интенсивность альвеолярной вентиляции можно обеспечить при различных паттернах дыхания, частоты и глубины его.

Чем больше дыхательный объем, тем большее усилие необходимо приложить для преодоления эластичной тяги легких, т.е. при таком дыхании большая нагрузка ложится на вдыхательные мышцы. С другой стороны, при частом поверхностном дыхании нагрузка на дыхательную мускулатуру возрастает из-за сопротивления току воздуха в воздухоносных путях.

При **физиологической одышке** может быть частое поверхностное дыхание, встречается такой паттерн дыхания при повышенной температуре воздуха и гипертермии. Газообмен в этом случае происходит только в пределах мертвого пространства, отчего обмен кислорода и диоксида углерода в альвеолах снижен.

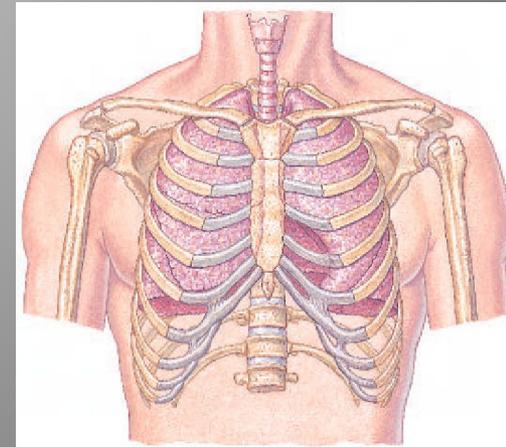
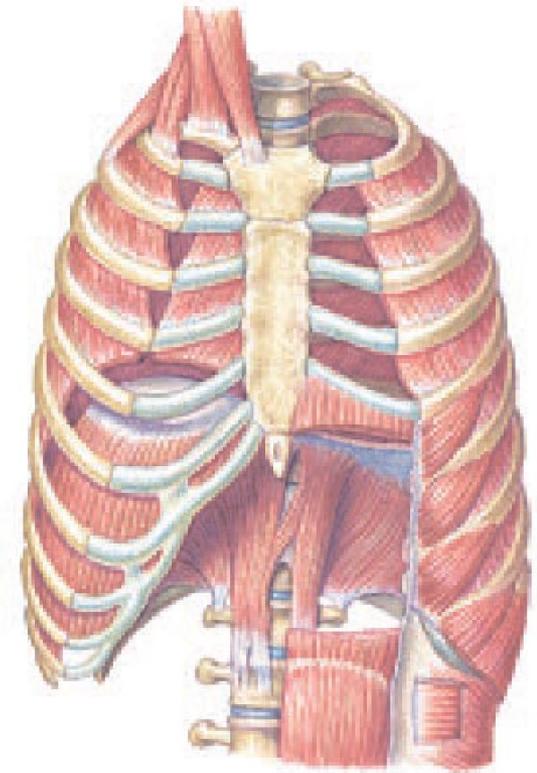
Кроме указанных, различают понятия гиперпноэ и гипервентиляция легких, в первом случае газообмен в альвеолах нормален, во втором происходит «вымывание»  $\text{CO}_2$  из альвеол, и из крови, наступает **гипокапния**. При гиповентиляции наблюдается **гиперкапния**, избыток углекислоты в крови или альвеолярном газе.

Недостаток кислорода обозначается как **гипоксия**, недостаток кровоснабжения в тканях – **ишемия**.

Дыхательные движения обеспечиваются работой **дыхательных мышц**.

Исполнительными (эффлекторными) образованиями системы дыхания у человека являются инспираторные и экспираторные мышцы. При сокращении инспираторных мышц объем грудной клетки увеличивается за счет поднятия ребер и уплощения диафрагмы. Основные **инспираторы** – наружные межреберные мышцы и диафрагма. При вдохе межреберные мышцы подтягивают нижележащие ребра вверх, диафрагма опускается книзу. При глубоком вдохе дополнительно в акт включаются грудино-ключично-сосцевидная и трапециевидная мышцы.

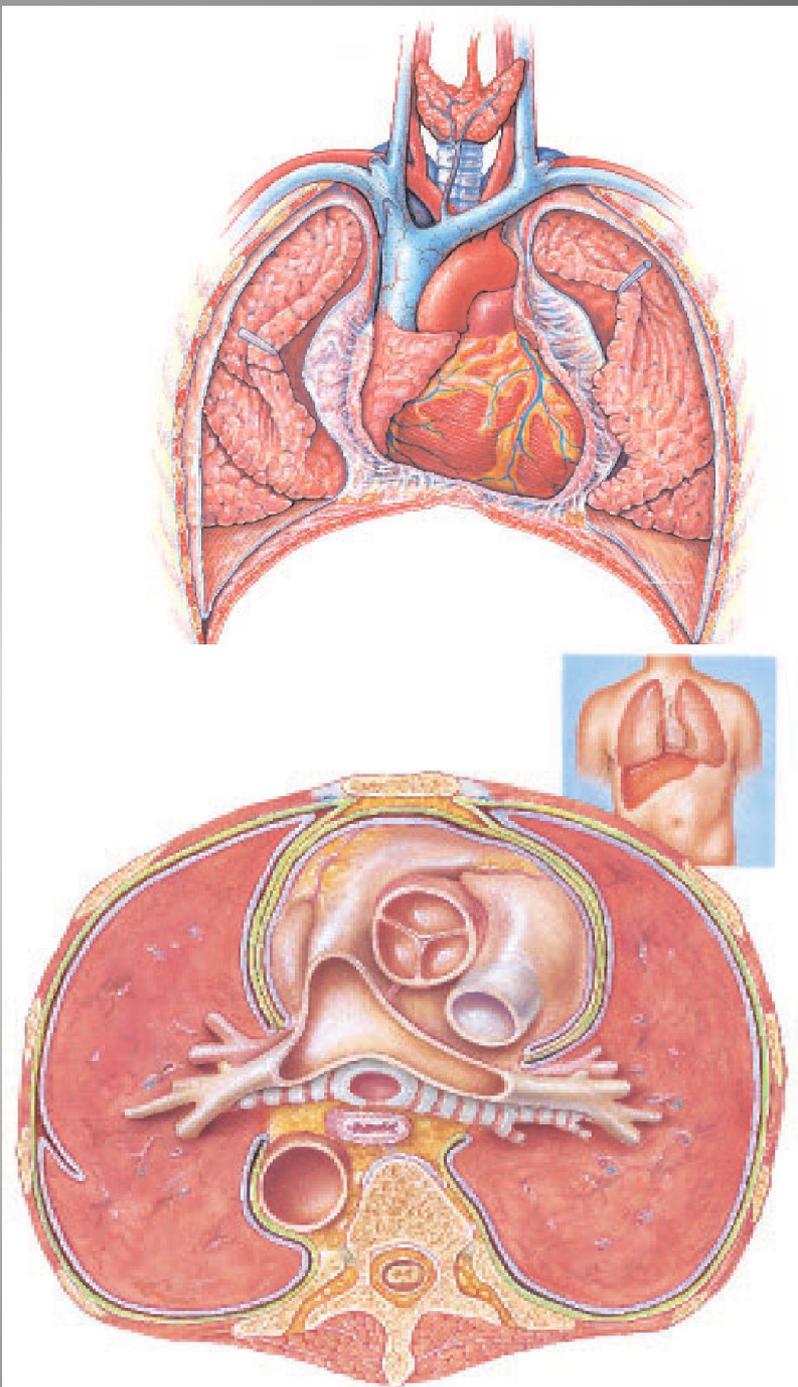
Основные **экспираторы** – внутренние межреберные мышцы, вспомогательные – мышцы живота. Они способствуют опусканию ребер, а также способствуют пассивному смещению диафрагмы при выдохе.



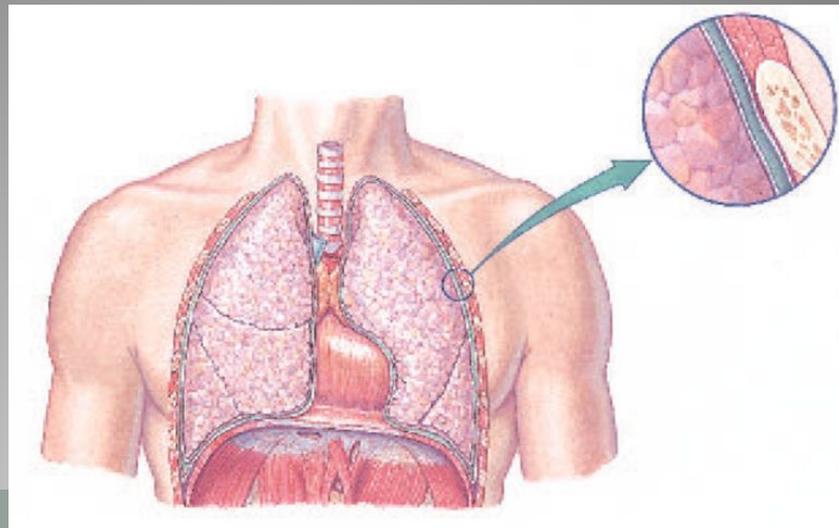
Грудная клетка герметична. С внутренней стороны она выстлана париетальной плеврой. Между тканью легкого (покрытой висцеральной плеврой) и париетальной плеврой имеется **плевральная полость**, заполненная плевральной жидкостью.

Клетки париетальной плевры фильтруют до 300 мл плевральной жидкости в час. Висцеральная плевра эту жидкость адсорбирует (поглощает), причем более активно, чем она секретируется. Этим создаются условия для отрицательного (относительно атмосферного) давления в плевральной полости.

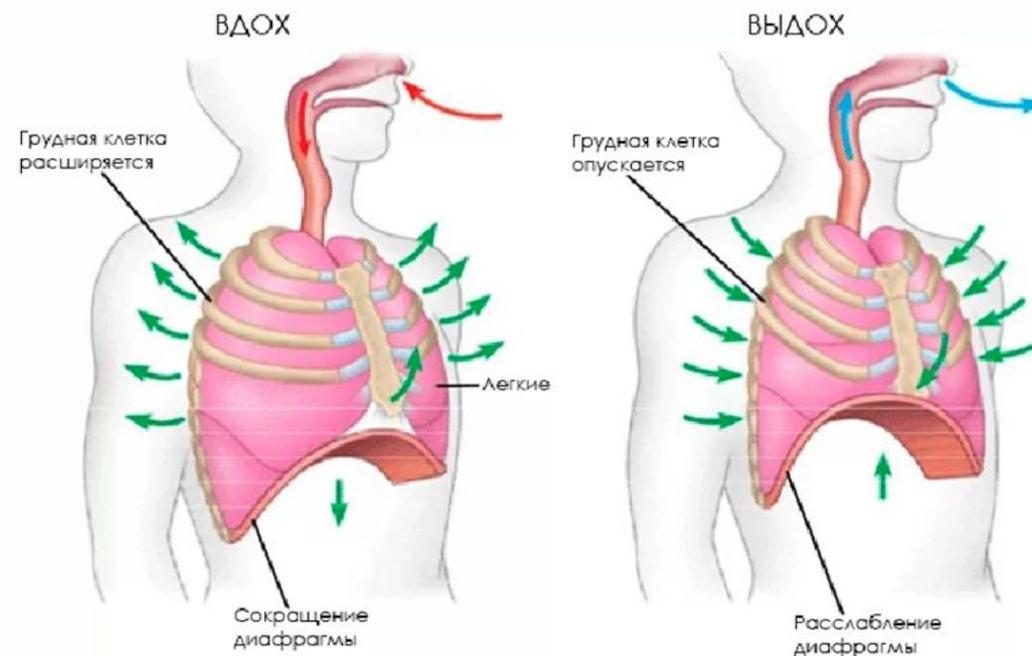
Ткань легкого эластична и стремится занять как можно меньший объем. Поэтому растяжение легких происходит за счет распирающего давления атмосферы, атмосферное давление прижимает легкие к париетальной плевре.



Нарушение герметичности грудной клетки носит название **пневмоторакса**.



Таким образом, периодические экскурсии грудной клетки «затягивают» дыхательную порцию воздуха в трахею и далее в легкие, при условии отрицательного давления в плевральной полости.

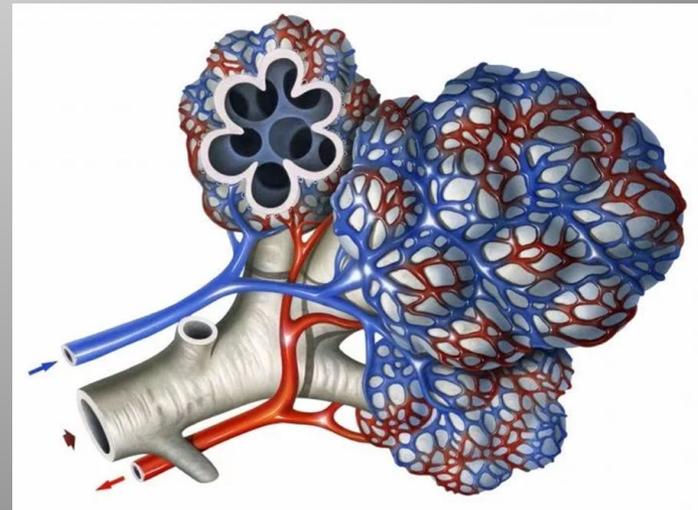
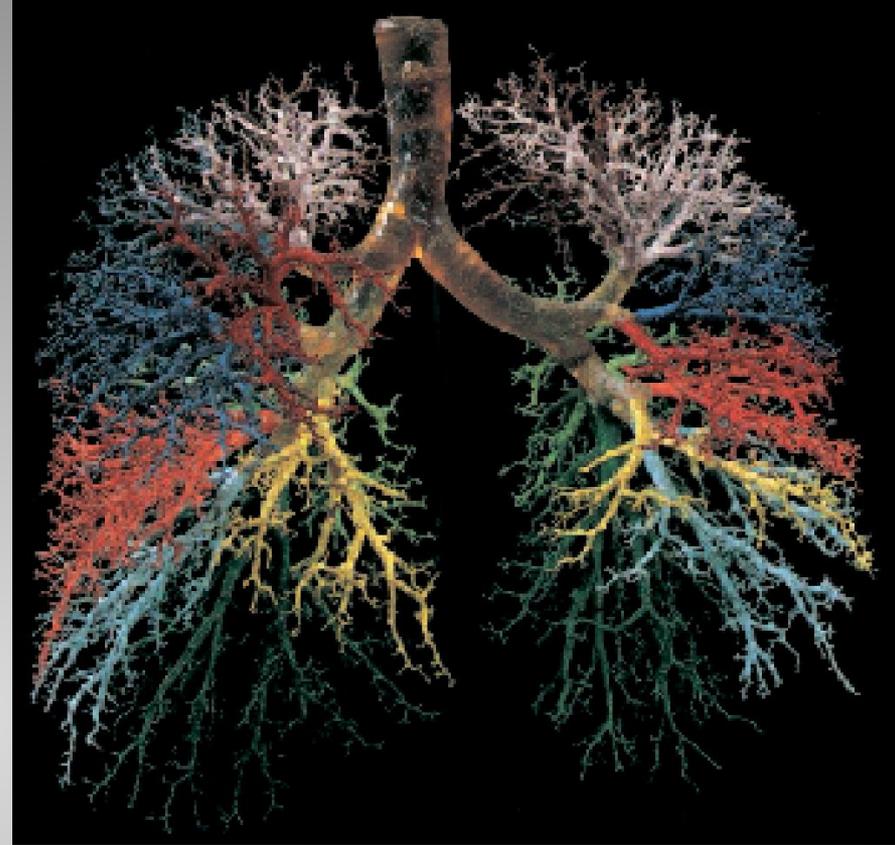


Воздухопроводящий путь включает носоглотку, трахею, бронхи, 23 поколения которых составляют бронхиальное дерево.

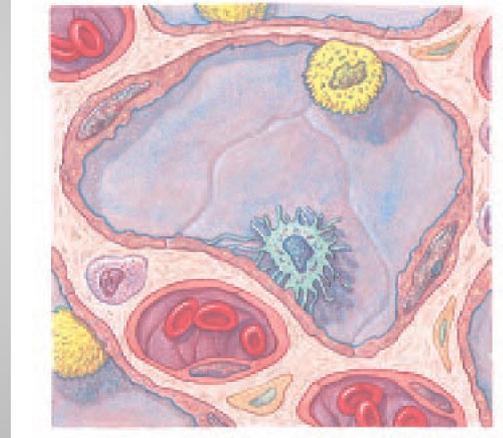
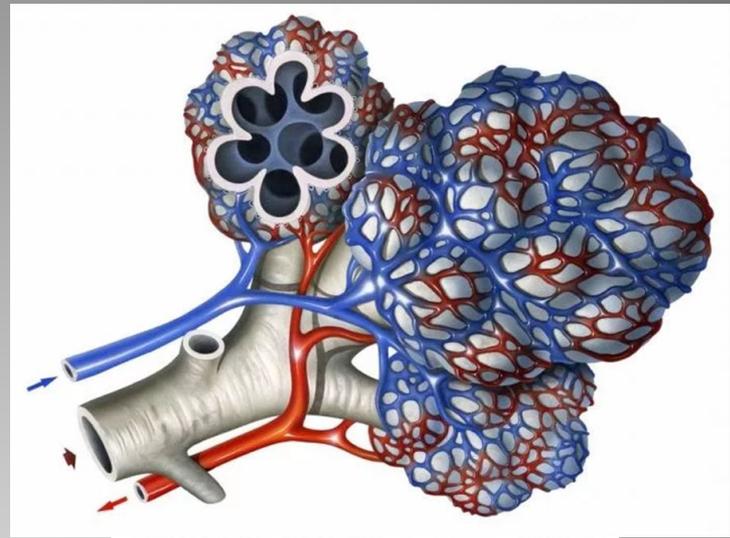
Первые 16 поколений бронхов с общим объемом 130-180 мл составляют **мертвое пространство**, названное так потому, что здесь газообмен с кровью не происходит (**кондуктивная зона**).

**Транзиторная зона**, 17-19 ветвления бронхов, может содержать альвеолярные ходы.

**Респираторная зона** бронхиального дерева включает 20-23-е разветвления бронхов. Бронхи образуют альвеолярные бронхиолы и альвеолы.



Функциональной единицей легких являются дольки. Наиболее мелкие бронхиолы входят в дольку и делятся здесь на 12-18 конечных бронхиол, те образуют альвеолярные бронхиолы и ацинусы, состоящие из альвеол. Число альвеол у человека варьирует от 300 до 700 миллионов. Общая поверхность доходит до 100-130 кв. метров. Альвеолы густо оплетены капиллярами, куда поступает венозная кровь из легочных артерий, а оксигенированная кровь затем отводится из легочного круга кровообращения по легочным венам в левое предсердие.



Альвеолярный эпителий (респираторный) на поверхности покрыт вырабатываемым в нем специальным веществом фосфолипипротеиновой природы – **сурфактантом**. Пленка сурфактанта уменьшает поверхностное натяжение альвеолярной стенки, что препятствует слипанию альвеол. Сурфактант постоянно вырабатывается разновидностью эпителиальных клеток – гранулярными пневмоцитами под контролем блуждающих нервов.

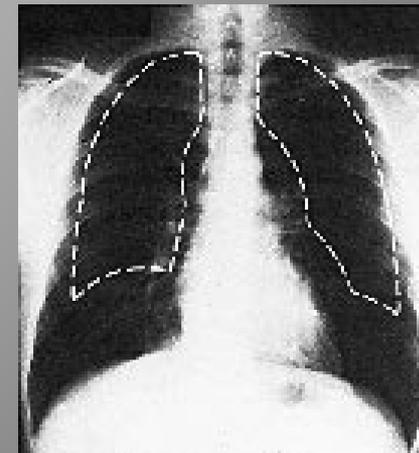
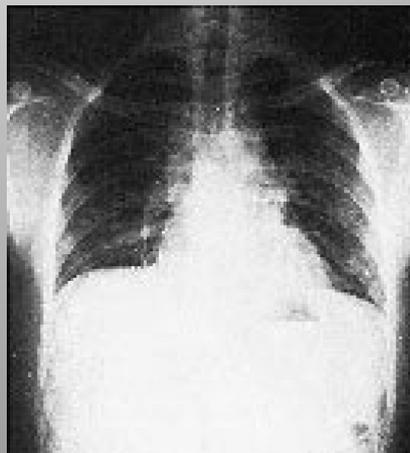
## Легочные объемы.

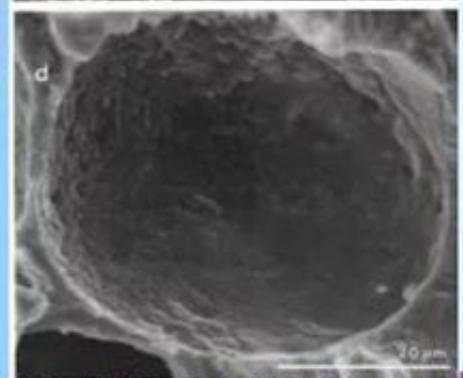
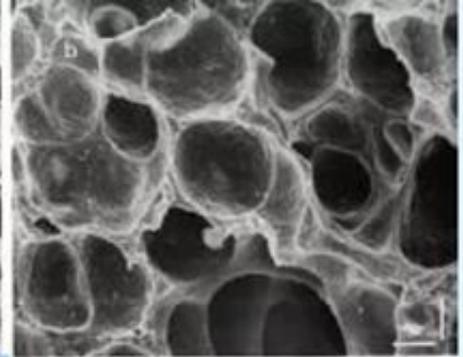
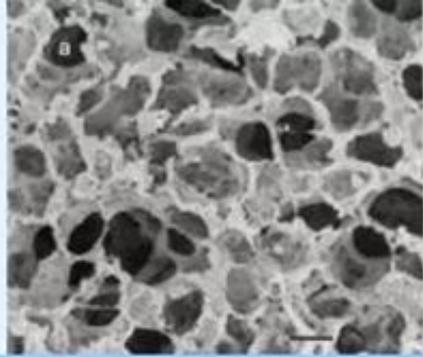
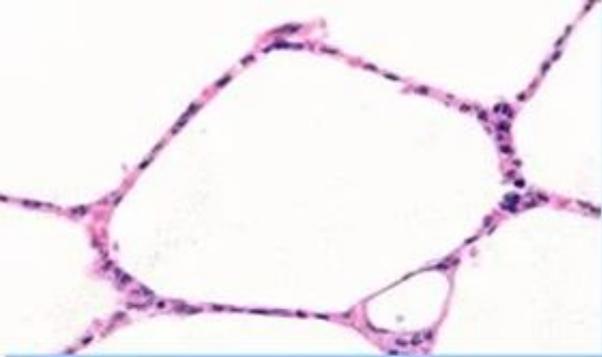
В условиях покоя человек дышит так, что используется только часть всего объема легких, поэтому всегда есть резерв для дополнительного вдоха и выдоха. Но даже при самом глубоком дыхании в легких остается определенное количество воздуха, составляющее **остаточный объем**.

**Дыхательный объем** – объем воздуха, который входит в легкие при каждом спокойном вдохе и выходит при спокойном выдохе.

**Резервные объемы вдоха и выдоха** – объемы воздуха, которые человек может произвольно вдохнуть и выдохнуть сверх дыхательного объема.

**Жизненная емкость легких** – количество воздуха, которое может выдохнуть человек после глубокого вдоха. Она равна сумме дыхательного объема, резервных объемов вдоха и выдоха.





Общая поверхность альвеол – 50-100 м<sup>2</sup> (80 м<sup>2</sup>)  
Диаметр альвеолы – около 0.33 мм  
Общее число альвеол – около 300 млн.

**Альвеолярный объем**  
(в конце нормального выдоха) – около 3000 мл  
Мертвый объем – около 150 мл  
Дыхательный объем – 450-500 мл  
(альвеолярной зоны достигает 2/3 свежего воздуха:  
примерно 10 %-ное обновление)

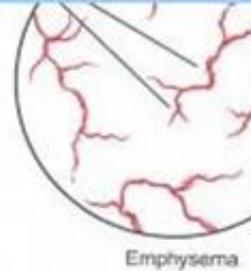
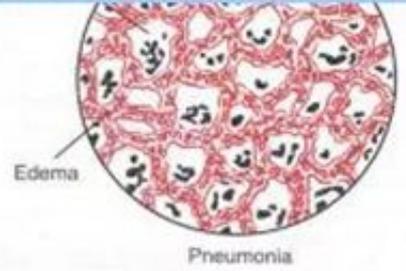
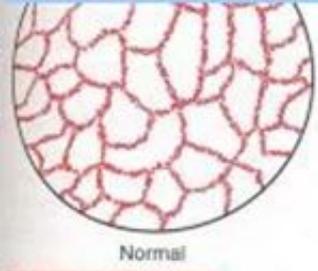
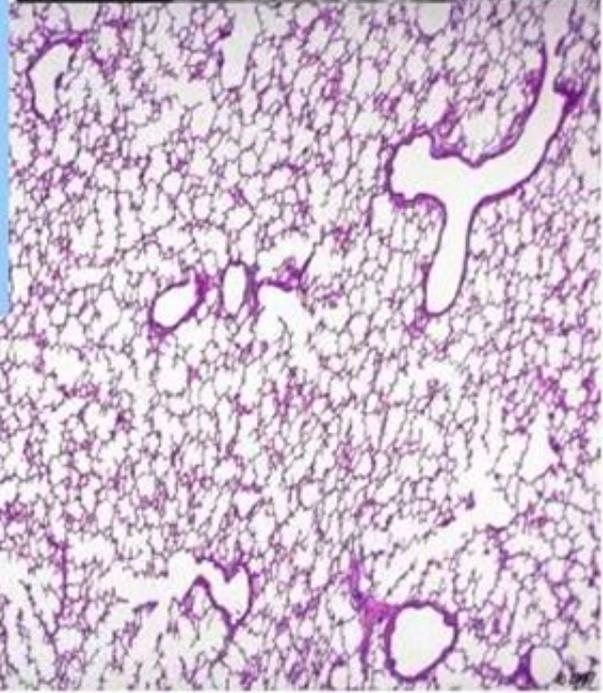


FIGURE 42-5

Pulmonary changes in pneumonia and emphysema.

Легочная вентиляция всегда находится в точном соответствии с текущими метаболическими потребностями организма. Увеличение вентиляции происходит как за счет роста дыхательного объема, так и увеличением частоты дыхания.



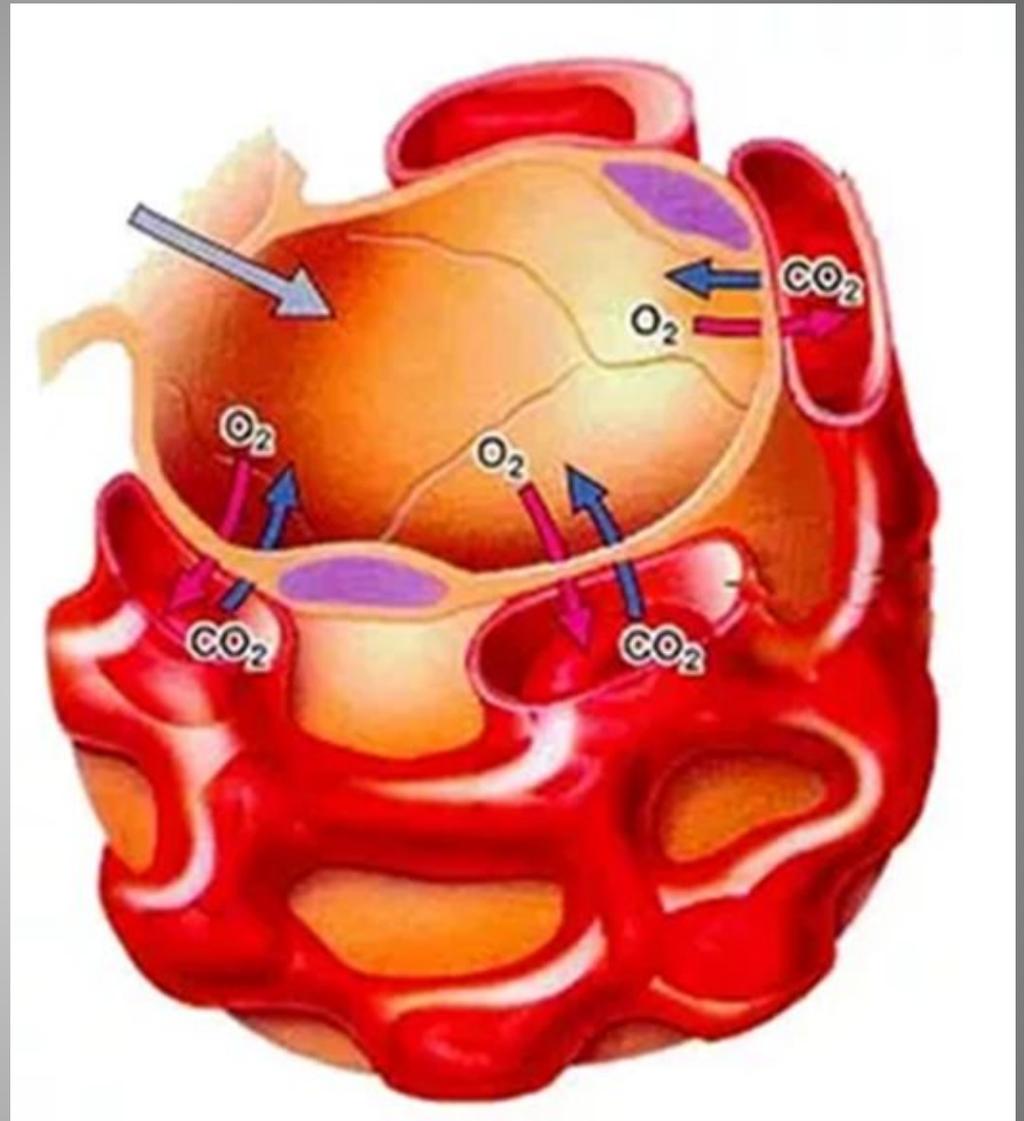
Не весь воздух, поступающий в легкие, участвует в газообмене, анатомическое мертвое пространство соответствует (в мл) цифре удвоенной массы тела. Функциональное мертвое пространство дополнительно снижает степень газообмена.

Газ в альвеолах имеет постоянный состав, обусловленный буферными функциями мертвого пространства, где воздух увлажняется и нагревается.

В условиях покоя оптимальным является дыхание через нос, хотя при этом сопротивление дыханию возрастает по сравнению с дыханием через рот.

Перенос кислорода из альвеолярного газа в кровь и диоксида углерода из крови в альвеолярный газ происходит исключительно путем **диффузии**. Движущей силой диффузии служит градиент парциального давления каждого из газов по обе стороны аэрогематического барьера. Диффузия осуществляется в водной среде. В слое сурфактанта растворимость кислорода повышается.

**Аэрогематический барьер** состоит из слоя сурфактанта, альвеолярного эпителия, двух основных мембран, эндотелия капилляра и мембраны эритроцита.



## Транспорт кислорода кровью.

Все пигменты – переносчики кислорода представляют собой металлоорганические соединения, большинство содержит Fe, некоторые Cu.

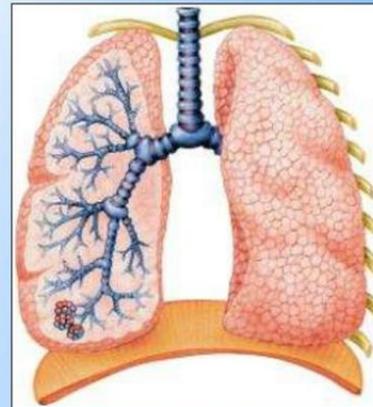
Гемоглобины представляют собой железопорфирины (гем), связанные с глобином (белком). Гемоглобин у человека всегда находится в специализированных клетках крови эритроцитах. Установлено более 90 типов гемоглобинов, отличающихся белковыми составляющими.

Молекула гемоглобина состоит из нескольких мономеров, каждый из которых содержит один гем, соединенный с глобином. У человека гемоглобин содержит 4 таких мономера. Миоглобин содержит только 1 гем.

**Оксигенация** гемоглобина представляет собой обратимое присоединение кислорода к двухвалентному железу в количествах, зависящих от напряжения кислорода в окружающем пространстве.



### Это интересно:



1. 300-350 млн. альвеол с общей площадью – 100 кв.м
2. Длина легочного капилляра – 7-8 мкм
3. Через капилляры альвеол кровь проходит за 0,8 с, но гемоглобин успевает насытиться кислородом

Гем в молекуле гемоглобина способен присоединять другие молекулы. Если он присоединяет диоксид углерода, его называют **карбогемоглобином**. Если к гему присоединятся монооксид углерода, образуется **карбоксигемоглобин**. Сродство гемоглобина к CO в 300 раз выше, чем к O<sub>2</sub>. Поэтому отравление угарным газом очень опасно. Если во вдыхаемом воздухе содержится 1% CO, человек может погибнуть.

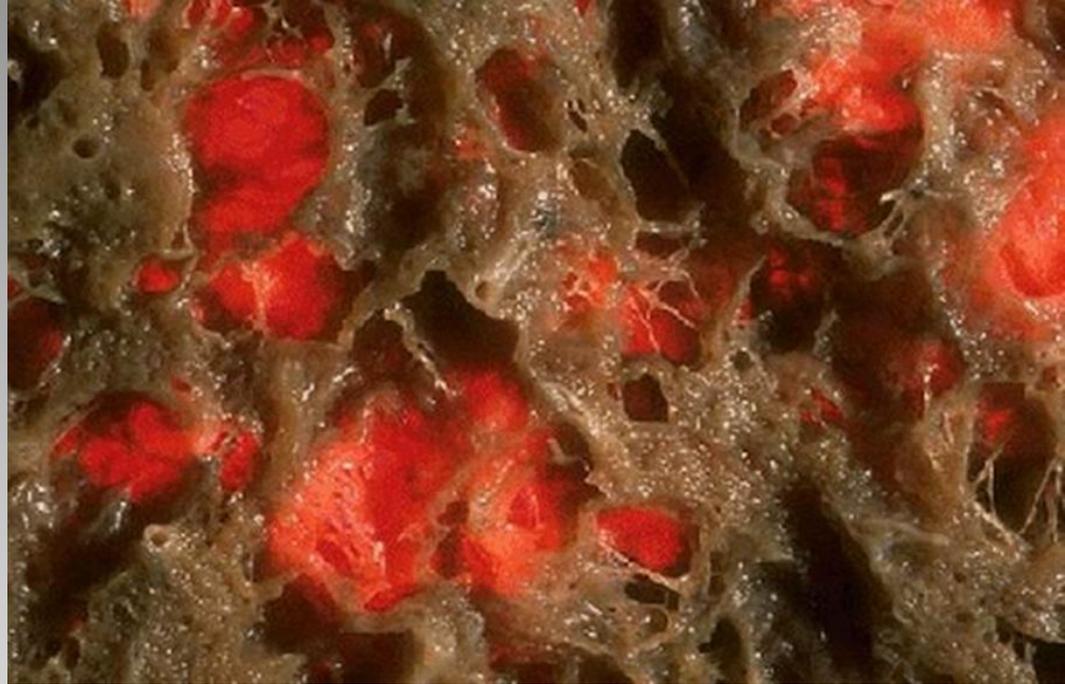


Артериальная кровь насыщается кислородом на 96-97%. Этот процесс происходит очень быстро, всего за четверть секунды в альвеолярных капиллярах.

Кислородная емкость крови – это максимальное количество кислорода, которое может присоединить 100 мл крови. В 5 литрах крови (полная кислородная емкость индивидуума, у которого 5 л крови в системе кровообращения) содержится 1 литр кислорода.

Не весь оксигемоглобин диссоциирует в тканях. От 40 до 70% его сохраняется в венозной крови. У человека каждые 100 мл крови отдают тканям 5-6 мл кислорода, и на такую же величину обогащаются новой его порцией в легочных капиллярах. Для оценки этих процессов (утилизации кислорода тканями) введен показатель **артерио-венозная разница** по кислороду.

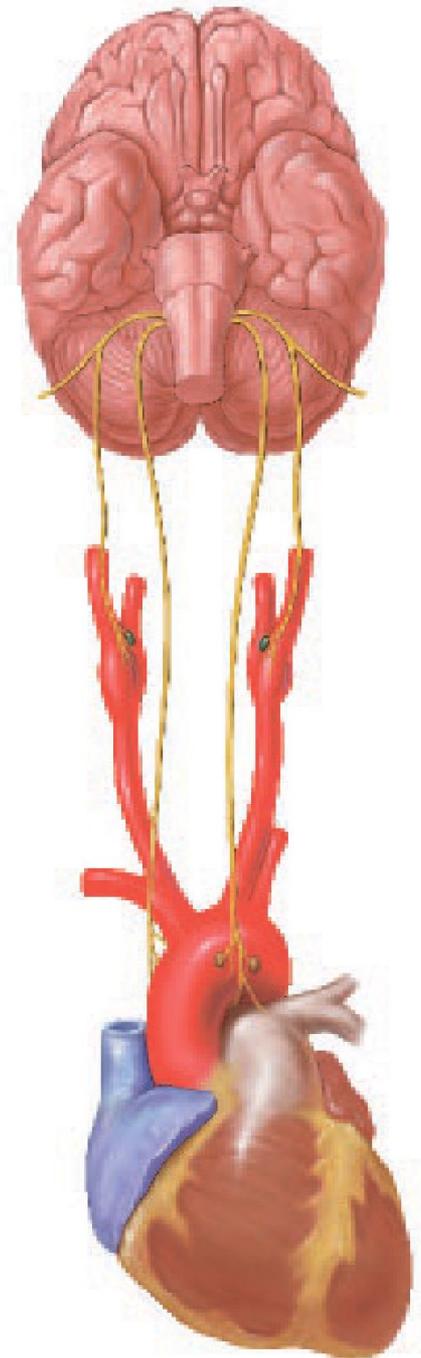
Общее содержание  $\text{CO}_2$  в 100 мл венозной крови составляет около 52 мл, в артериальной крови и легочных капиллярах только 47-48. Артерио-венозная разница по  $\text{CO}_2$  составит 4-5 мл на 100 мл крови.



## Регуляция дыхания.

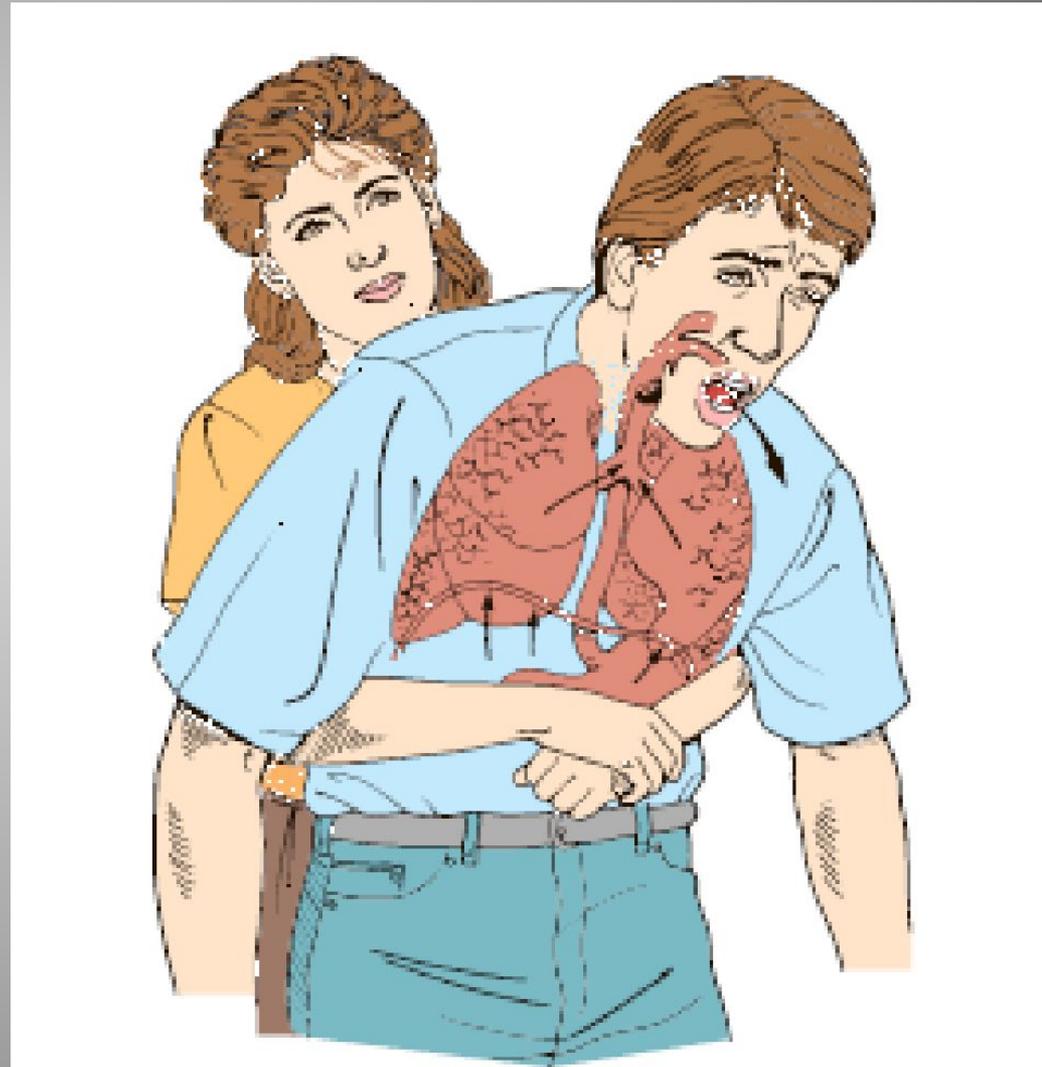
Координированные сокращения дыхательных мышц обеспечиваются ритмической активностью нейронов дыхательного центра. К дыхательным нейронам относят те нервные клетки, импульсная активность которых меняется в соответствии с фазами дыхательного цикла. Различают инспираторные нейроны (нейроны вдоха) и экспираторные (нейроны выдоха) и клеточные популяции, согласовывающие смену дыхательных фаз. Центральный дыхательный механизм локализован в ретикулярной формации продолговатого мозга. Большинство нейронов сгруппированы в двух главных группах ядер – дорсальной и вентральной. В дорсальной группе сосредоточены инспираторные нейроны, посылающие аксоны в шейные сегменты спинного мозга, где они синаптически оканчиваются на мотонейронах ядра диафрагмального нерва. Ядра вентральной группы дыхательных ядер содержат как инспираторные, так и экспираторные нейроны. Они связаны синаптически с теми нейронами спинного мозга, которые иннервируют межреберные мышцы. Для 80% нейронов грудного отдела спинного мозга характерна дыхательная ритмика. В области моста выделен пневмотаксический центр, клетки которого принимают участие в переключении фаз дыхательного цикла. Для нейронов центрального дыхательного механизма характерен автоматизм, хотя пейсмекеров пока не обнаружено.

**Основной активатор дыхательного механизма** – афферентная сигнализация от рецепторов, расположенных во внутренней среде организма. Главный дыхательный стимул – снижение в крови содержания кислорода и повышение напряжения диоксида углерода. Хеморецепторы посылают в ЦНС сигналы о степени отклонения этих показателей от нормы. Основное место локализации хеморецепторов дыхательной системы – область каротидного синуса (каротидные клубочки **Каротидный синус** (bulbus, или **sinus caroticus**) (от др.-греч. *καρόω* — погружаю в сон и лат. **sinus** — пазуха, залив), место расширения внутренней сонной артерии сразу после отхождения её от общей сонной артерии. В области дуги аорты расположена вторая группа хеморецепторов, контролирующая газовые и кислотные показатели той порции крови, которая направляется к внутренним органам. В продолговатом мозге имеются и центральные хеморецепторы.



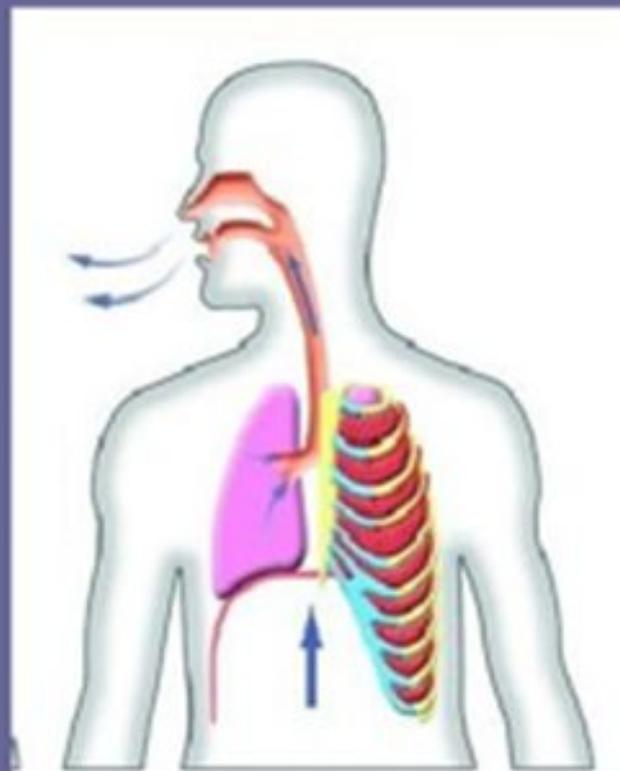
В трахее, бронхах имеются собственные рецепторы, инициирующие защитные рефлексы дыхания, например, кашель. Кроме того, часть из них используется и для коррекции частоты и глубины дыхания.

Имеются рецепторы и в верхних дыхательных путях, они активируются при попадании в нос и рот пыли. Кашель, чихание, принюхивание, остановка дыхания на вдохе при обнаружении резкого неприятного запаха или химическом загрязнении среды – рефлекторные проявления их активации.



# ВДОХ

- Увеличение  $\text{CO}_2$  в крови
- Возбуждение в центре вдоха-выдоха, в продолговатом мозге
- Нервные импульсы от дыхательного центра проводят импульсы к дыхательным центрам спинного мозга
- По диафрагмальными межреберным нервам к дыхательным мышцам
- Сокращение межреберных мышц и диафрагмы
- Подъем концов ребер
- Выдвижение грудины вперед, опускание купола диафрагмы
- Объем грудной полости увеличивается
- Давление в полости легких ниже атмосферного



# ВЫДОХ

- Грудная клетка в силу своей тяжести опускается и возвращается в исходное положение
- Расслабившаяся диафрагма под давлением брюшных внутренностей поднимается вверх
- Диафрагма принимает форму купола
- Растянутые легкие уменьшаются в объеме
- Внутрилегочное давление повышается
- Начинается отток воздуха из легких наружу

