

Лекция по нормальной физиологии для
студентов 2-го курса 1-го и 2-го медицинского
факультета, обучающихся по специальности
«Лечебное дело»

2016 В.
М.

Система дыхания

Лекция № 1

* ДЫХАНИЕ

Поступление кислорода в организм, использование его в окислительных процессах в митохондриях и обратный транспорт образовавшегося углекислого газа составляет единую систему дыхания.

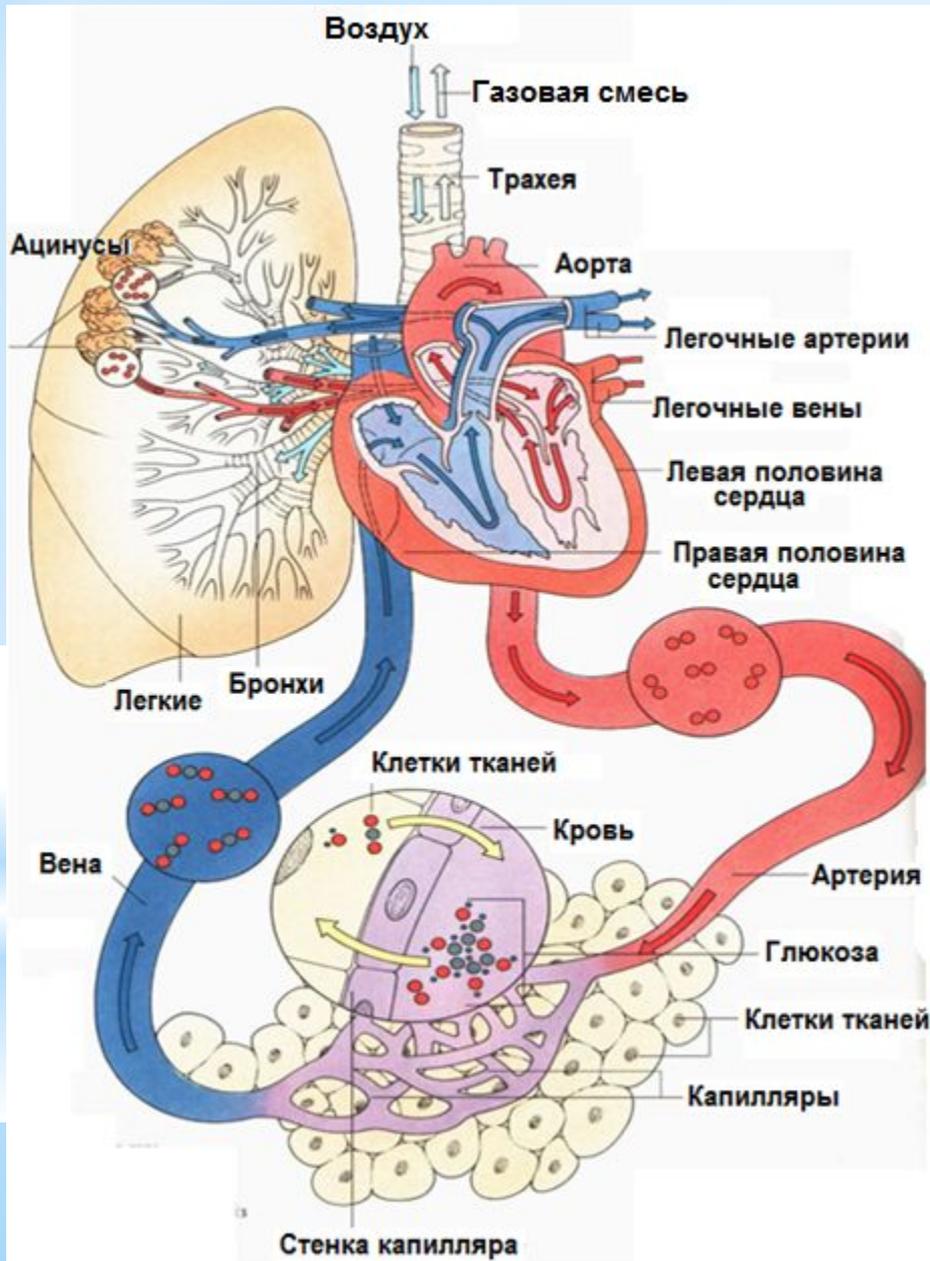
Эти процессы изучаются физиологами и биохимиками.

Физиология изучает внешнее дыхание и транспорт газов кровью.

* Вопросы лекции:

- * **Функции воздухоносных путей.**
- * **Механизм вдоха и выдоха.**
- * **Газообмен в легких.**

* Транспорт газов



* Функциональная система транспорта газов состоит из:

* дыхательных путей,

* легких,

* сердечно-сосудистой системы,

* крови (эритроцитов и плазмы).

* Потребление кислорода

- * Суммарным показателем активности всей системы дыхания является *потребление кислорода за 1 мин (ПК)*. У взрослого человека в состоянии покоя ПК около 3,5 мл/мин/кг.
- * При физической работе появляется форсированное дыхание - *одышка*. При этом ПК возрастает адекватно интенсивности работы.
- * Одышка возникает и при многих заболеваниях, так или иначе нарушающих функцию различных подсистем дыхания.

* Механизмы газопереноса

* Дыхание и обмен газов обеспечивают два механизма: конвекция и диффузия.

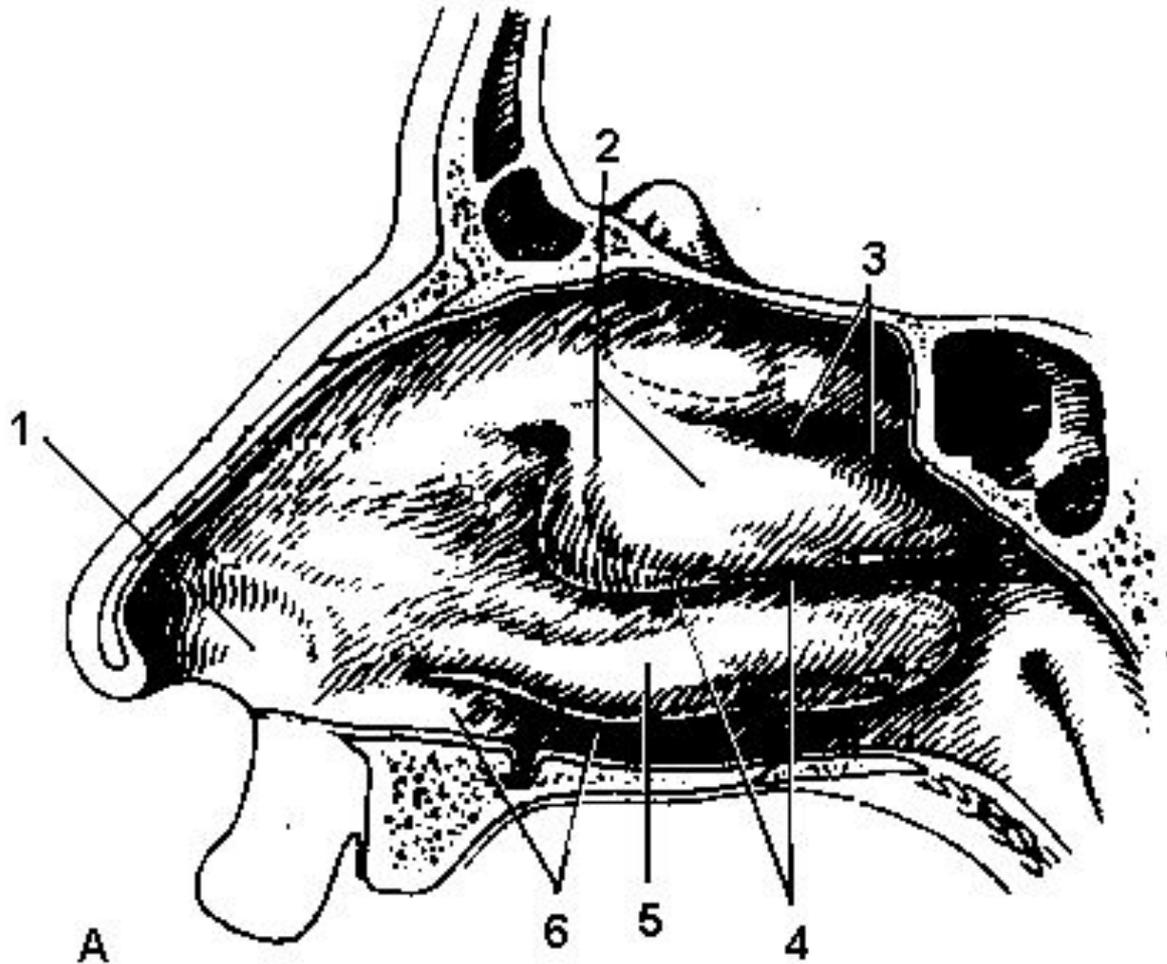
* **Конвекция** - струйное перемещение масс газа, жидкости. Основой ее является **градиент давления**. Для создания градиента давления требуется затратить энергию (дыхательных мышц, сокращающегося миокарда).

* Движущей силой **диффузии** газов является **градиент парциального давления газа** ($\Delta P = P_1 - P_2$): чем он выше (больше разница), тем интенсивнее газообмен.

* Этапы газопереноса

- * В системе дыхания можно выделить 5 основных этапов, различающихся по механизму газопереноса:
- * 1. *Конвекционное (струйное) поступление воздуха в воздухоносные пути.*
- * 2. *Конвекция воздуха и диффузия газов между воздухоносными путями и альвеолами.*
- * 3. *Диффузия газов между альвеолами и кровью.*
- * 4. *Конвекционный перенос газов кровью.*
- * 5. *Диффузия газов между капиллярной кровью и тканями.*

* Носовые ходы (начало дыхательных путей)



- 1 – ноздри,
- 3 – верхний,
- 4 – средний,
- 6 – нижний.

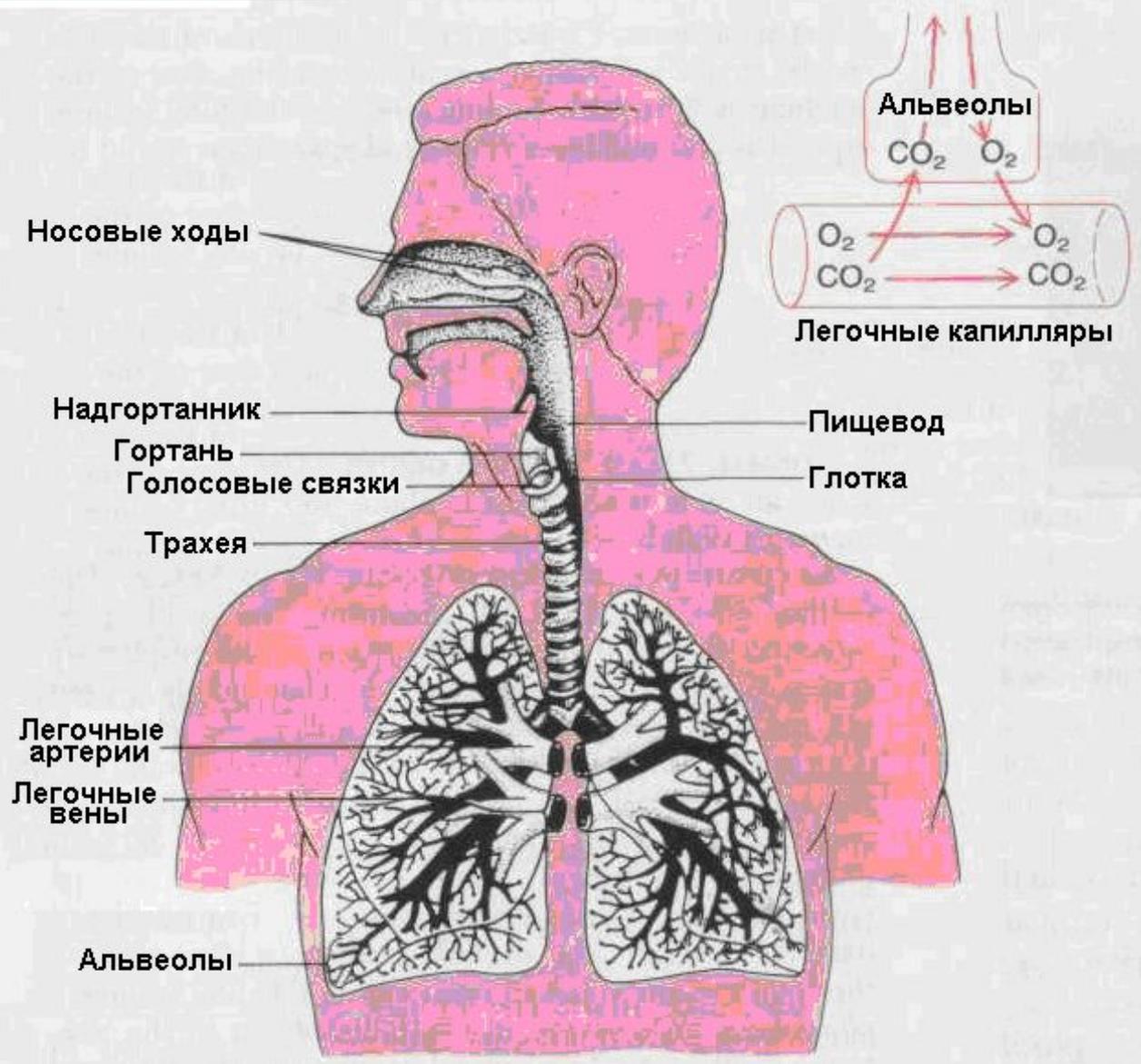
**В покое воздух
проходит главным
образом через
нижний и средний
ходы.**

**При одышке – через
все ходы.**

* **Функции начальных отделов воздухоносных путей**

- * **1. *Согревание.*** Проходящий по дыхательным путям воздух согревается, благодаря тесному контакту с широкой сетью кровеносных капилляров подслизистого слоя.
- * **2. *Увлажнение.*** Вне зависимости от влажности атмосферы в легких воздух насыщен до 100% парами воды.
- * **3.** Воздух, проходя по дыхательным путям, во время выдоха частично успевает вернуть слизистым, как тепло, так и воду. Таким путем в воздухоносных путях совершается ***регенерация воздуха***. Но все же часть тепла и воды может выделяться. Выраженность этих процессов во многом зависит от состояния окружающей среды и глубины дыхания.
- * **4. *Очищение*** (защитная функция).

* Воздухоносные пути

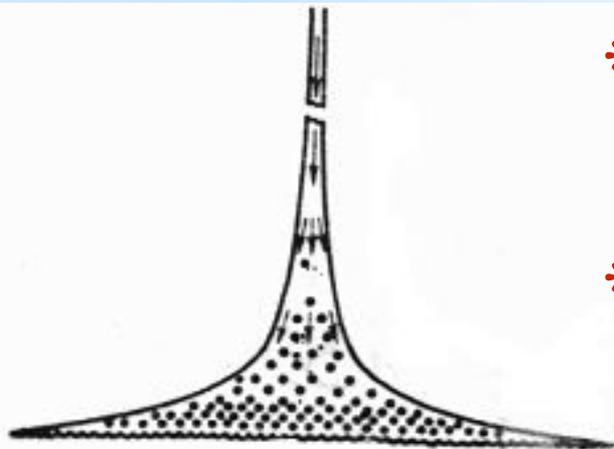


* Трахея делится примерно 23 раза.

* Единичные альвеолы начинаются с 17 генерации бронхиол.

* Расширение дыхательных путей

* Начиная с носовых ходов до 4-й генерации бронхов - **самый узкий участок дыхательных путей - 2,0 - 2,5 см²**.



* **Кондуктивная зона (проводящая) 1-16 генерации бронхов - воздух занимает 3% общего объема (около 150 мл).**

* **Транзиторная (переходная) 17-19 генерации занимает около 30% (приблизительно 1500 мл).**

* **Дыхательная - 17-23 генерации (появляются единичные альвеолы).**

* **23 генерация - альвеолярные ацинусы - 300 млн. альвеол диаметром 0,15-0,3 мм.**

* **Общий объем легких (около 3500-4500 мл).**

* Дыхательные мышцы (скелетные!)

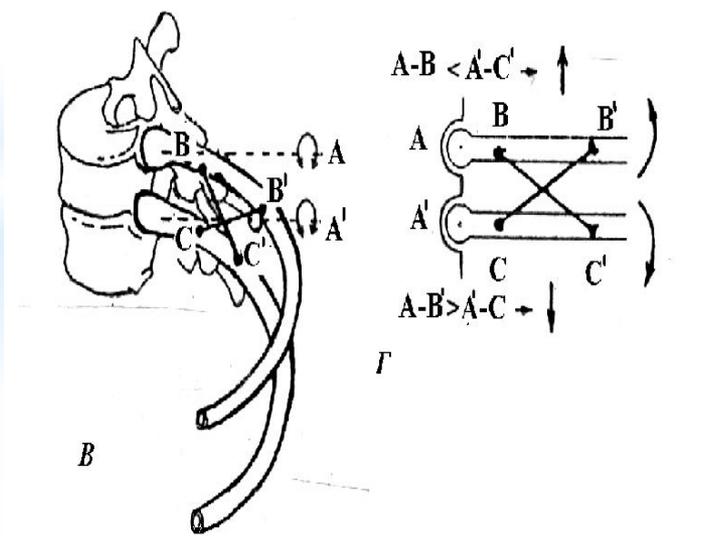
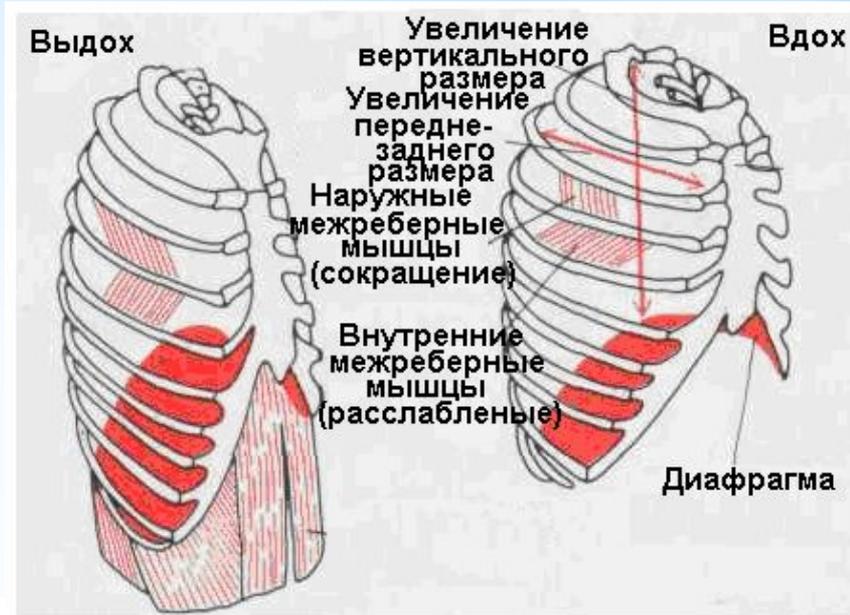
- * Различают **основные** и **вспомогательные**.
- * Основные мышцы обеспечивают **спокойный вдох**.
- * Вспомогательные мышцы подключаются для выполнения более **глубокого вдоха**, и для осуществления **глубокого выдоха**.
- * Мышцы вдоха **уплощают диафрагму, поднимают ребра** и способствуют разгибанию грудного отдела позвоночника.
- * Мышцы выдоха – **противоположные движения**.

* Механизм вдоха

При сокращении (уплощении) **диафрагмы** увеличивается вертикальный размер грудной клетки.

А при сокращении **наружных межреберных мышц** каждое **нижнее ребро подтягивается к верхнему**.

Это обусловлено разностью рычагов ребер (см. рис. внизу), что является следствием косою расположением мышц. При этом увеличиваются передне-задние и боковые размеры грудной клетки.



* Спокойное дыхание

* Спокойное дыхание:

Вдох – диафрагма (4/5 объема) и наружные межреберные.

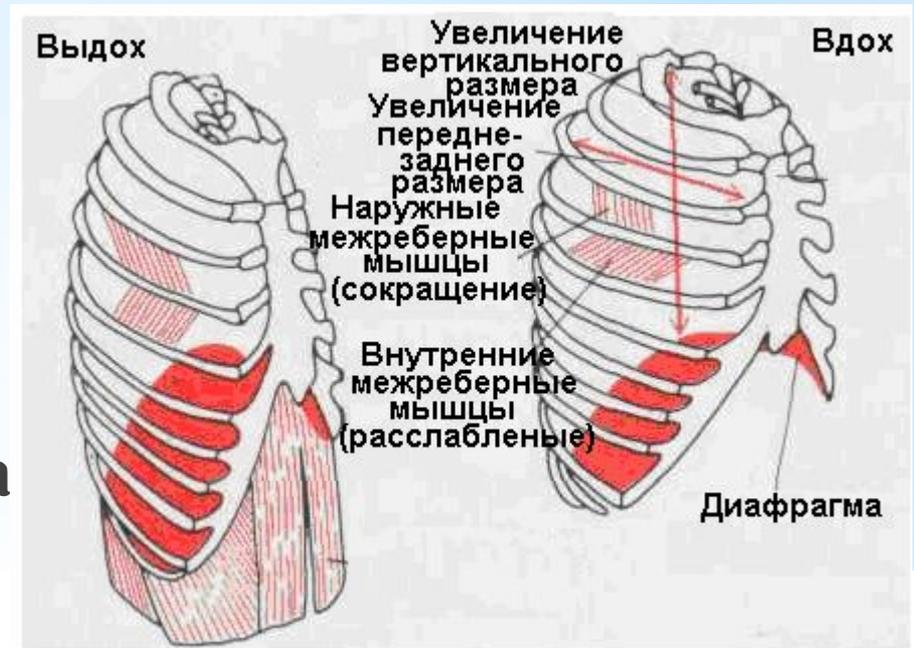
Выдох – пассивно.

Поднятая грудная клетка опускается, брюшные органы поднимают диафрагму. Т.е.

используется

потенциальная энергия

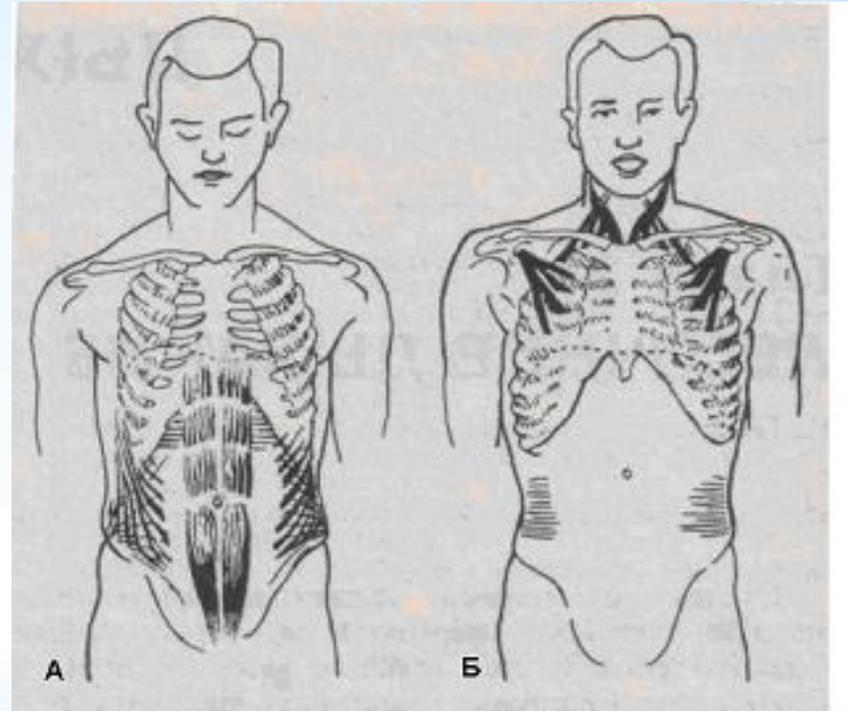
мышц вдоха.



* Форсированное дыхание

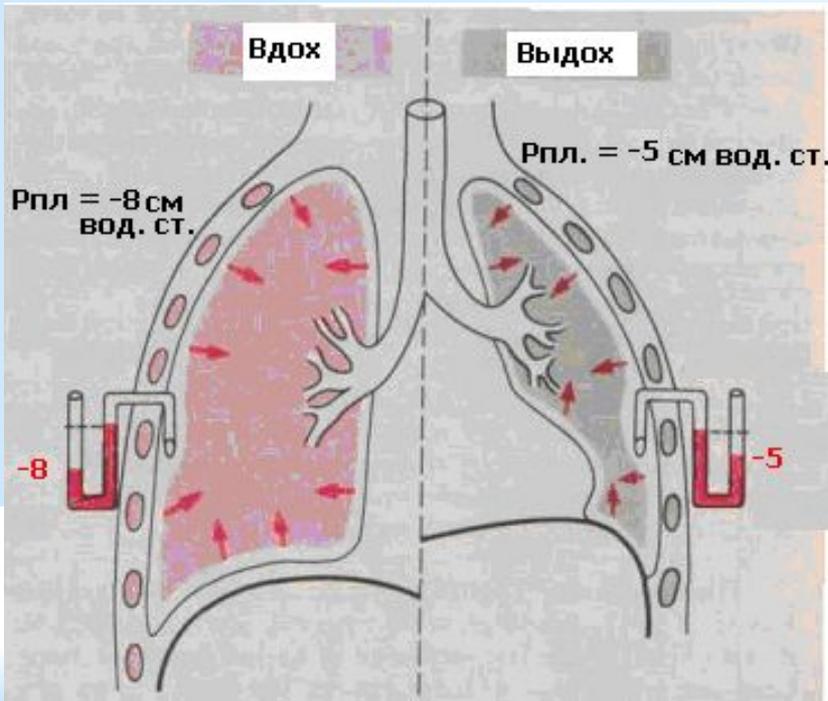
* Вдох и выдох активные с подключением вспомогательных мышц. При вдохе они дополнительно поднимают ребра и разгибают позвоночник.

* При выдохе они активно опускают ребра, сгибают позвоночник, а мышцы брюшного пресса, давя на кишечник, способствуют поднятию диафрагмы.



Вспомогательные инспираторны (А) и экспираторные (Б) дыхательные мышцы.

* Внутривнутриплевральное давление



* Между листками плевры у взрослого человека создается **отрицательное** давление. Оно возникает в связи с несоответствием объема грудной полости и суммарной емкости альвеол.

* У новорожденных в легких -

30 млн. альвеол, а у взрослых – 300 млн. А размер альвеол примерно одинаков.

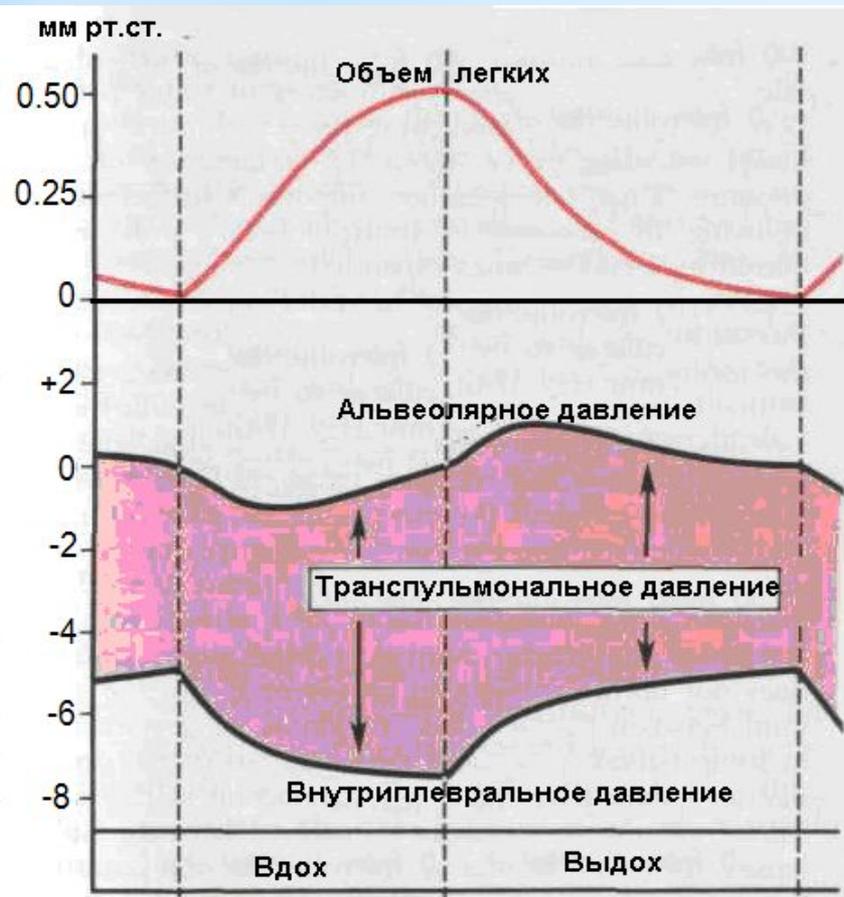
Но, так как тело растет быстрее, а рост легких отстает, то альвеолы с возрастом несколько растягиваются. **Эластичность тканей легких** и создает отрицательность **внутриплеврального давления**.

Поэтому во время вдоха мышцы **преодолевают еще и вязкое сопротивление тканей альвеол**.

* Работа дыхательных мышц

- * Работа дыхательных мышц, осуществляющих вдох, направлена на преодоление:
 - * а) сил гравитации, препятствующих подъему грудной клетки и плечевого пояса при вдохе,
 - * б) всех видов сопротивлений легких (эластического, поверхностного, аэродинамического),
- * Тем самым мышцы, поднимая грудную клетку, растягивая эластические элементы альвеол, создают **потенциальную энергию**, обеспечивающую пассивный выдох при спокойном дыхании.
- * Кроме того, они преодолевают вязкое сопротивление кишечника и грудной клетки.

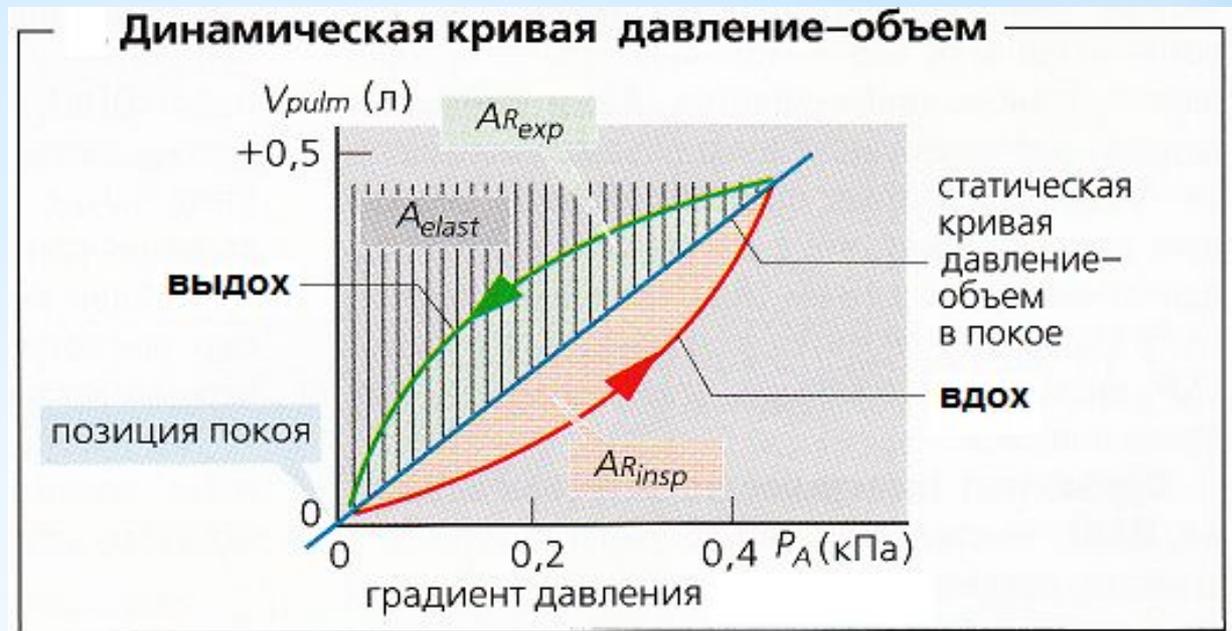
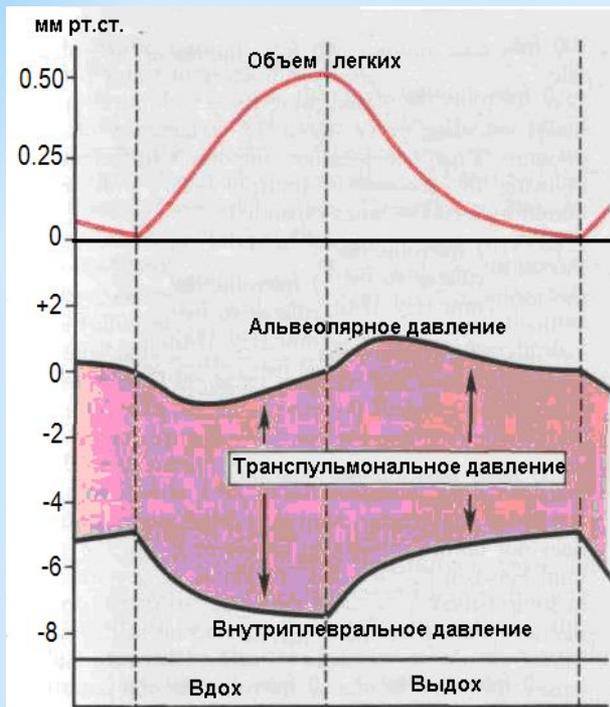
* Динамика давлений и объемов



* Увеличение объема грудной клетки при вдохе способствует росту отрицательности внутриплеврального давления. При этом происходит расширение легких (альвеолярное давление становится ниже атмосферного) и засасывание в них воздуха (вдох).

* При снижении альвеолярного давления на каждый -1 см вод. ст. всасывается около 200 мл воздуха.

* Выдоху способствует противоположное.



* При вдохе в связи с преодолением суммы всех сопротивлений (суммарной **вязкости альвеол**) объем легких изменяется не прямо пропорционально увеличению грудной полости (рис. слева). То же происходит и при выдохе.

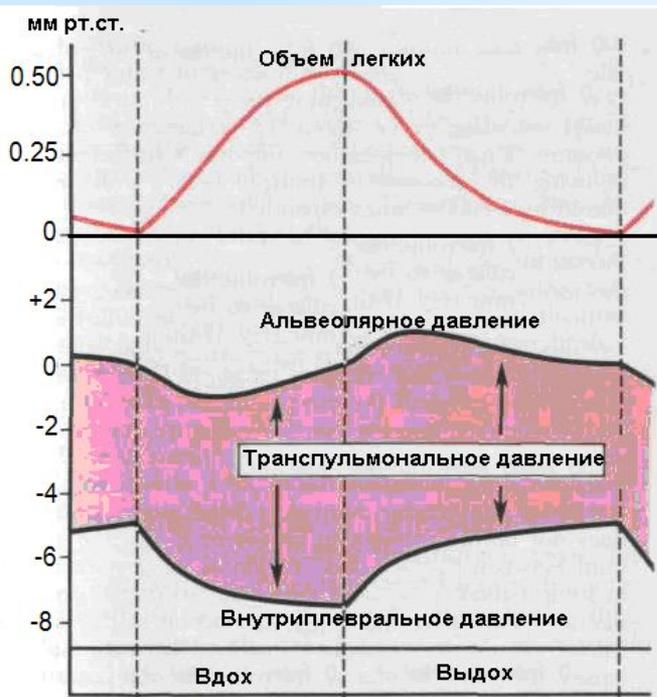
* Это можно отразить на одном графике (см. правый рис.). Эта кривая называется динамическая кривая давления-объема или **петля гистерезиса**.

* СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЫХАНИЮ

* Аэродинамическое сопротивление создается трением воздуха о стенки. Наиболее значимо оно в самых узких частях дыхательных путей (начало, где просвет = $2,0-2,5 \text{ см}^3$). Оно растет в результате многих ситуаций, как при сужении воздухоносных путей, так даже и при увеличении скорости вентиляции легких. К примеру, отечность слизистой, возникающая даже при кратковременном вдыхании дыма сигареты, в течение ближайших 20-30 минут повышает сопротивление дыханию в 2-3 раза. Еще в большей степени растет сопротивление движению воздуха при сужении бронхов, например, при бронхиальной астме.

* Другие виды внутрилегочного сопротивления

* Эластичность и поверхностное натяжение легких также создают сопротивление дыханию. Растягиваемые коллагеновые и эластические волокна стенки альвеол создают *эластическое сопротивление легких*, которое стремится уменьшить объем альвеолы.



* Поверхностное натяжение легких

* Кроме того: на границе раздела между воздухом и жидкостью, покрывающей тонким слоем эпителий альвеол, возникают еще и дополнительные силы, которые также стремятся уменьшить площадь этой поверхности - это силы **поверхностного натяжения** (примерно так образуются капли дождя). Причем, чем **меньше диаметр альвеол, тем больше силы поверхностного натяжения**. Эти силы «стремятся уничтожить» в первую очередь именно такие альвеолы.

* По закону Лапласа: $\Delta P = 2 \gamma / r$, т. е. ΔP растет с уменьшением радиуса.

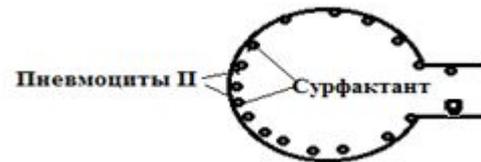
* Сурфактанты

* Противодействуют указанным физическим силам, которые стремятся уничтожить альвеолы (особенно самые малые) – **сурфактанты**.

* Сурфактанты это *поверхностно активные вещества (ПАВ)*, продуцируемые в поверхностный слой жидкости **пневмоцитами II типа**.

* Эти пневмоциты располагаются в альвеолах напротив входа.

* Выделяясь при расширении альвеолы (вдох) продвигаются новыми порциями к выходу.



* Сурфактанты это комплекс веществ, основные из которых являются липиды, имеющие гидрофильный и гидрофобный фрагменты, которые встраиваются между липидной мембраной и водной средой, покрывающей тонким слоем альвеолу. В результате **поверхностное натяжение уменьшается в 3-5 раз**.

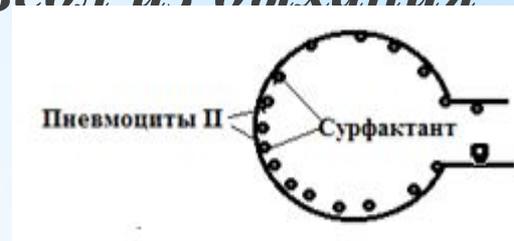
* **Функции сурфактантов**

* *Сохранение альвеол (особенно малых, в которых этих веществ больше)*

* *Гистерезис легких*

* *Периодическое выключение части альвеол из дыхания*

* *На них оседает пыль и тем самым происходит очищение альвеол (рис.)*

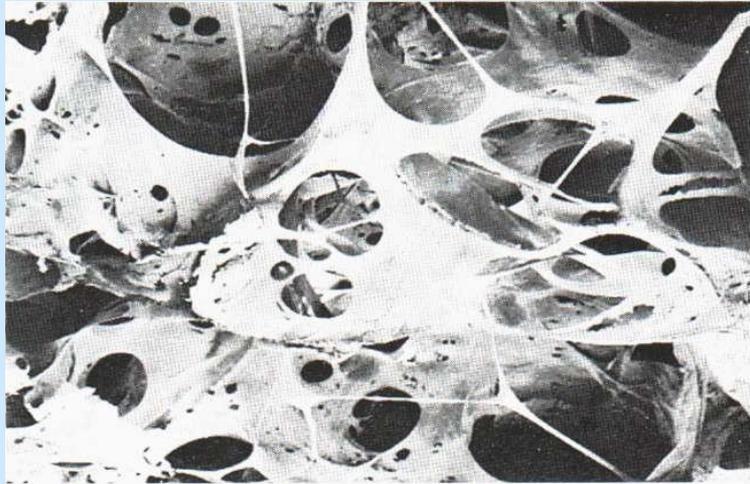


* *Сохранение сухости поверхности альвеол*

* *Активация противомикробных и противовирусных защитных механизмов легких*

* **Сурфактанты начинают синтезироваться лишь в конце внутриутробного периода, начиная с 7-го месяца. Его присутствие облегчает выполнение первого вдоха и расправление альвеол.**

* Примеры исчезновения альвеол при недостатке сурфактантов



* Плотность сурфактантов в малых альвеолах выше!

* На рис. гистология альвеол:

* Вверху - ателектазы (исчезновение мелких альвеол) при эмфиземе легких. **Это обусловлено истощением их синтеза пневмоцитами II типа**, что наблюдается при длительном пребывании в запыленной среде.

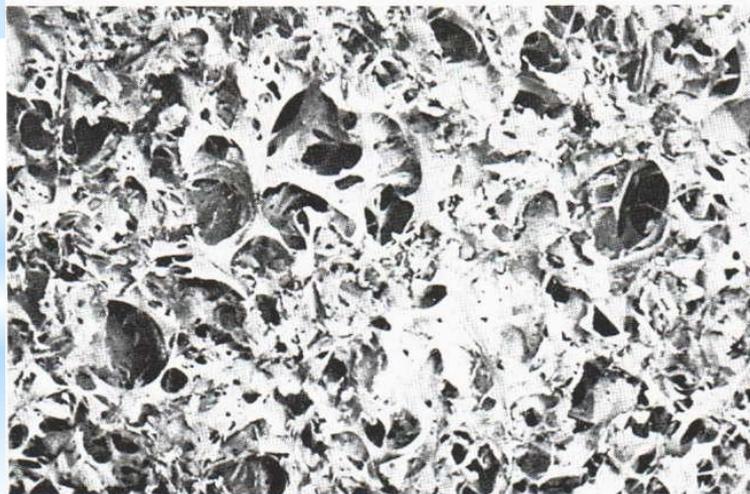
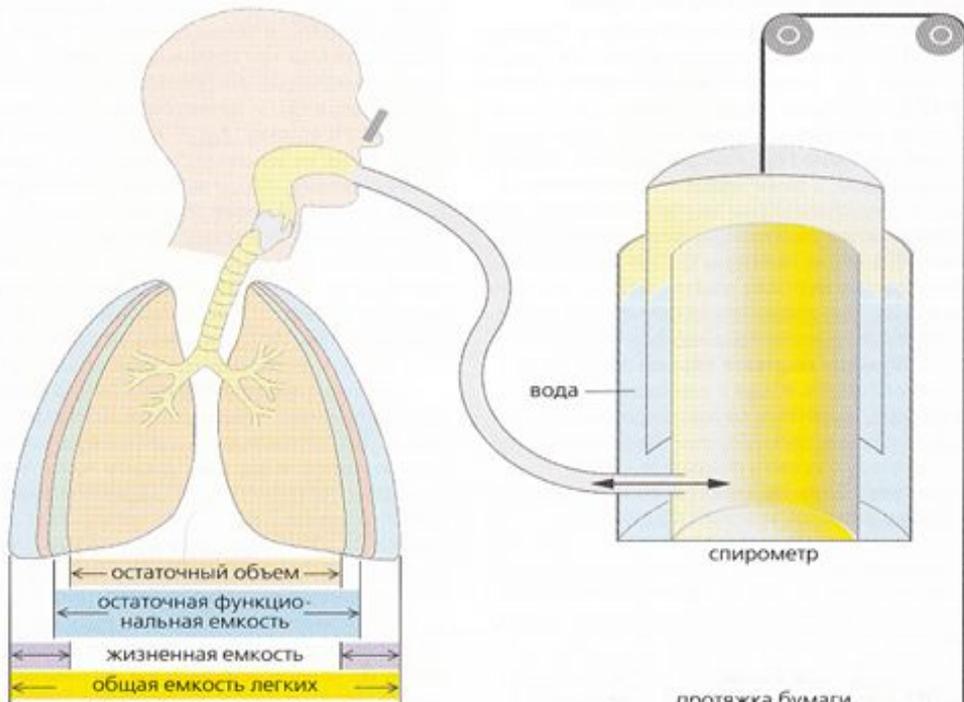


Рис. 42-4

* Внизу - норма

*** Очищение вдыхаемого воздуха**

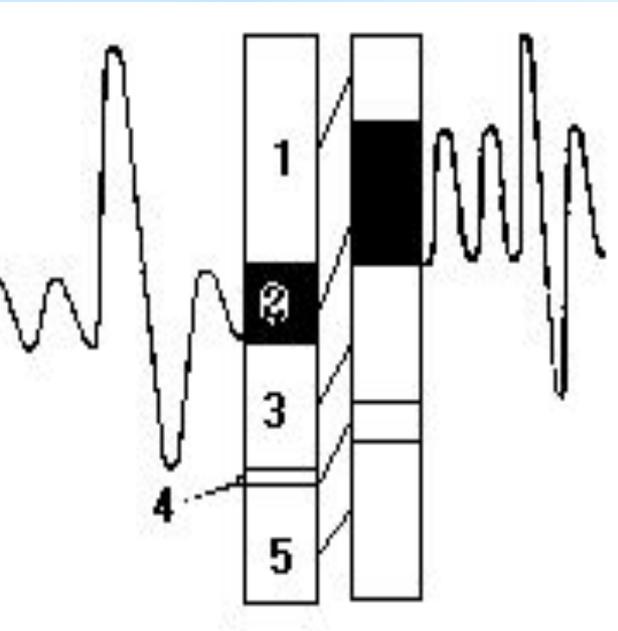
- * 1. Частицы пыли более 10 мкм задерживаются на волосках и влажной слизистой оболочке носовых ходов.**
- * 2. Оседание на стенках трахеи, бронхов, бронхиол. Реснички эпителия этих отделов совершают колебательные движения, медленно наклоняясь и быстро выпрямляясь, они выталкивают пылевые частицы к выходу в сторону гортани, где отхаркиваются или проглатываются.**
- * 3. Мелкие частицы в альвеолах, оседая на сурфактантах, частично выходят при их движении к выходу.**
- * 4. В альвеолах они могут фагоцитироваться и макрофагами.**
- * 5. Рефлексы - кашель, чихание также удаляют слизь с**



* Спирометрия (спирография)

- * Самый простой метод изучения дыхания – спирометрия (-графия) [рис.], с помощью которой можно оценить объемы легких и интенсивность дыхания.

* Дыхательные объемы



- * 1 - резервный объем вдоха (1,5 л),
- * 2 - дыхательный объем (0,5 л),
- * 3- резервный объем выдоха(1-1,5 л)
- * 4 - объем крови в легких,
- * 5 - остаточный объем (около 1,0 л).

* Исходя из этого можно подсчитать:

$$* \text{ЖЕЛ} = \text{ДО} + \text{Ровд} + \text{Ровыд}$$

* *Общая емкость легких*

$$\text{ОЕЛ} = \text{ЖЕЛ} + \text{ОО}$$

Рис.: При спокойном (слева) и форсированном (справа) дыхании.

* Другие функциональные показатели дыхания:

* *Минутный объем дыхания*

$$(МОД = ДО \cdot ЧДД): \quad 500 \text{ мл} \cdot 16 = \underline{8.000} \text{ мл}$$

* *Альвеолярная минутная вентиляция*

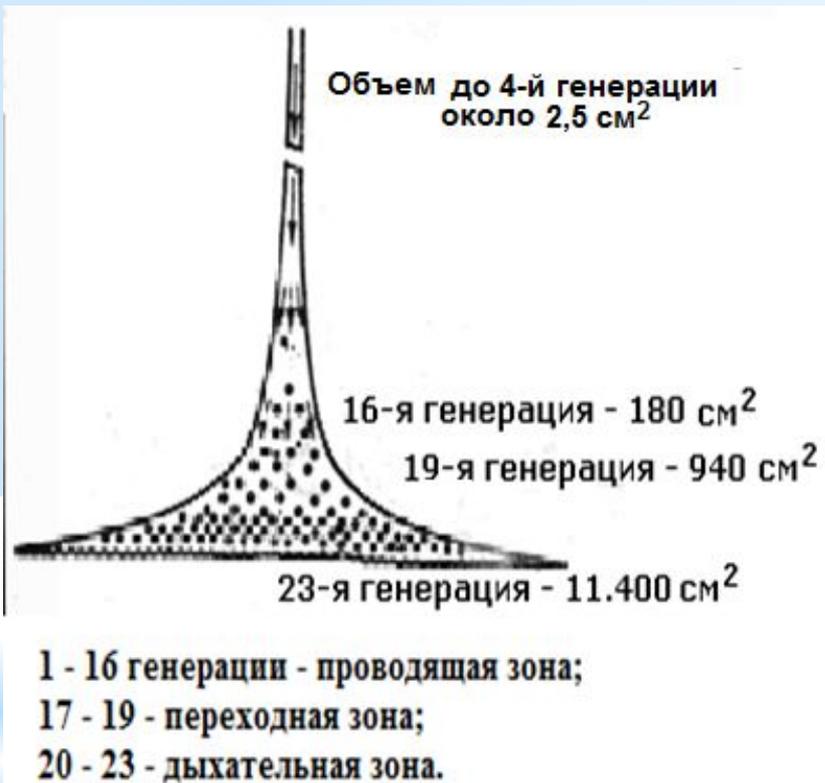
$$АВ = (ДО - МП) \cdot ЧДД$$

* *Объем дыхательных путей - это анатомическое «мертвое пространство» (МП = 150 мл).*

* *Так как величина МП в среднем около 150 мл, то*

$$АВ = (500 - 150) \cdot 16 = \underline{5.600} \text{ мл}$$

* Воздухоносные пути



* Из гидродинамики известно, что при расширении русла линейная скорость потока уменьшается.

* Это наблюдается и в воздухоносных путях.

* Во время вдоха **воздух** вначале поступает **струйно** (**конвекция**). Таким путем при спокойном вдохе воздух успеет пройти лишь до 17-19 поколений бронхиол.

* А затем начинается **обмен газов**: что происходит путем **диффузии**.

* Состав газов (%)

Воздух	O ₂	CO ₂	N ₂ и инертные газы
Вдыхаемый	20,83	0,03	79,04
Выдыхаемый	16,0	4,5	79,5
Альвеолярный	14,0	5,5	80,5

* Для характеристики диффузии газов необходимо вначале знать % состава газов в газовой смеси.

* Затем, зная суммарное давление газов (на равнине - 760 мм рт.ст.), можно рассчитать и их **парциальное давление (P)**.

* Парциальное давление газов

Парциальное давление газа обозначается:

P_{O_2} и P_{CO_2}

В воздухе:

$P_{vO_2} = 159$ мм рт.ст.

(21% от 760

мм. рт. ст.)

В альвеолах – P_{AO_2}

В арт. крови – P_{aO_2}

В венозной – P_{vO_2}

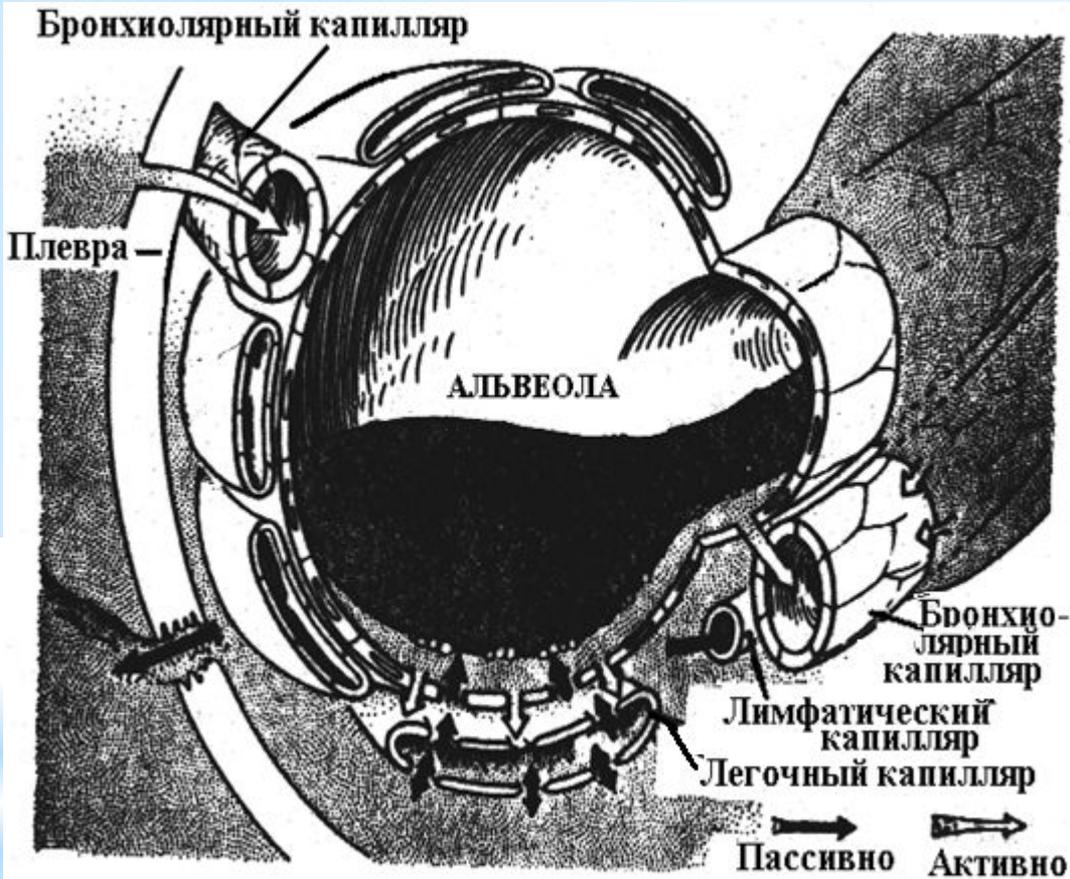
Для определения $P_A O_2$ и $P_A CO_2$ в альвеолярной газовой смеси вначале необходимо вычесть из общего давления ту его часть, которая приходится на пары воды (47 мм рт. ст.) и азот.

Учтя это получается, что уровень $P_A O_2$ равен 13,6 кПа (102 мм рт. ст.), $P_A CO_2$ - 5,3 кПа (40 мм рт. ст.).

* Таблица парциальных давлений

Газы	Венозная кровь	Альвеолярная газовая смесь	Артериальная кровь
O_2 мм рт. ст. кПа	40 5,3	102 13,6	96 13,3
CO_2 мм рт. ст. кПа	46 6,1	40 5,3	39-40 5,3

* Капилляры и альвеола



* Вокруг альвеолы капилляры располагаются очень тесно, образуя почти сплошной поток крови.

* Диффузия газов через легочную мембрану



* Исходя из указанных выше величин:

* O_2 диффундирует из альвеол в венозную кровь.

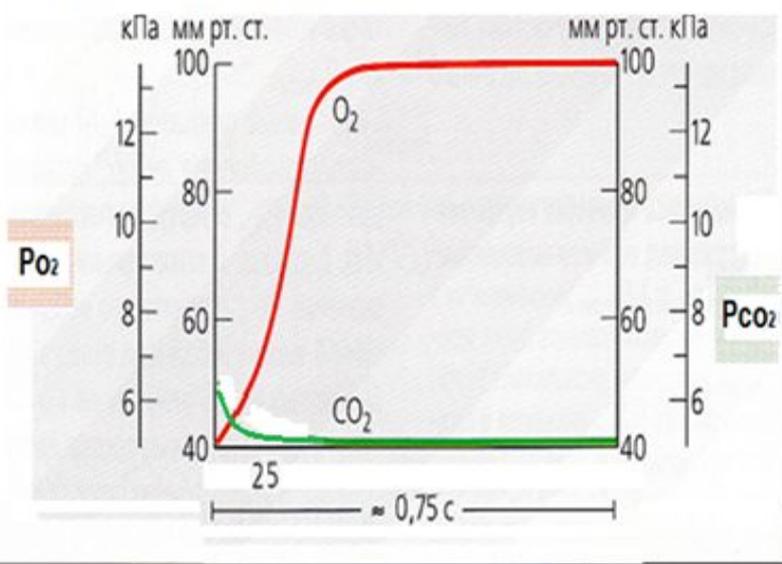
* CO_2 диффундирует навстречу из крови в альвеолы.

* Легочная мембрана и транспорт газов



* O_2 и CO_2 должны **раствориться**: 5 раз в липидах мембран (включая эритроциты) и 6 раз в водных средах (начиная с воды, покрывающей альвеолы, и заканчивая цитоплазмой эритроцита).

Газообмен в альвеолах



* O_2 , как в воде, так и липидах мембран, растворяется в **23 раза хуже, чем CO_2** !

* Поэтому у этих газов величина градиента давления между альвеолами и кровью существенно различается (табл.).

* Однако, несмотря на то, что ΔP для O_2 в = 60 мм рт.ст. кровь он поступает медленнее, чем CO_2 выводится ($\Delta P = 6$ мм рт.ст.).

* Поэтому при выполнении интенсивной работы, когда резко растет МОК и скорость кровотока, эритроциты могут даже не успевать полностью насыщаться O

Газы	Венозная кровь	Артериальная кровь
O_2 мм рт. ст. кПа	40 5,3	96 13,3
CO_2 мм рт. ст. кПа	46 6,1	39-40 5,3