

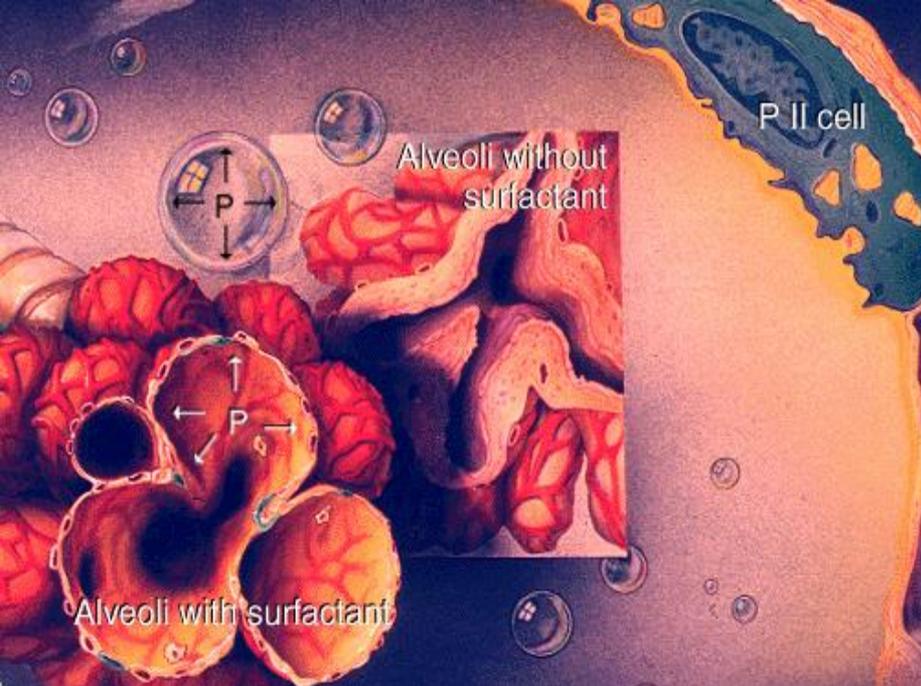
Учреждение образования
«Гомельский государственный
медицинский университет»

Кафедра нормальной и патологической
физиологии

ФИЗИОЛОГИЯ ДЫХАНИЯ

ЛЕГОЧНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

для студентов 2 курса
ст. преподаватель Шилович Л.Л.



План лекции Внешнее дыхание

- 1. *Сущность процесса и значение дыхания для организма.*
- 2. Последовательность процессов газообмена. Внешнее и внутреннее дыхание.
- 3. Приспособительные особенности легких для осуществления дыхания. Недыхательные функции легких.
- 4. Физиологическая роль дыхательных путей и легких. Дыхательный цикл. Дыхательные движения. Типы дыхания, его частота.
- 5. *Значение отрицательного внутриплеврального давления для дыхания.*
- 6. Эластическая тяга и эластические свойства грудной клетки и легких. Сурфактант, его роль.
- 8. Механизм вдоха и выдоха. Взаимосвязь между легочным кровотоком, вентиляцией и гравитацией.
- 7. *Методы исследования функции внешнего дыхания. Легочные объемы и емкости .*



Дыхание - совокупность процессов, обеспечивающих поступление во внутреннюю среду организма кислорода, использование его для окислительных процессов, и удаление из организма углекислого газа.

СИСТЕМА ДЫХАНИЯ

Внешнее звено:

1. *Воздухоносные пути и легкие.*
2. *Грудная клетка и мышцы (костно-мышечный каркас)*

Внутреннее звено

1. *Кровь*
2. *Сердечно-сосудистая система (малый круг кровообращения)*
3. *Органелы клеток*

**Нейрогуморальный
механизм регуляции**

ЭТАПЫ ДЫХАНИЯ

Комплекс последовательных физиологических и физико-химических процессов, обеспечивающих дыхание подразделяют на **5 этапов**:

Дыхание как целостный процесс включает:

□ Внешнее дыхание

1. Обмен газов между легочным воздухом и атмосферным воздухом (вентиляция легких)
2. Обмен газов между легочным воздухом и кровью капилляров малого круга кровообращения

□ Внутреннее

3. Транспорт O_2 и CO_2 кровью
4. **Тканевое дыхание** (обмен газов между кровью и клетками)
5. **Клеточное дыхание** - биохимические и физико-химические процессы, обеспечивающие аэробное окисление органических веществ с получением энергии, используемой для жизнедеятельности клетки. При этом образуется CO_2 и вода и азотистые основания (при окислении белков).

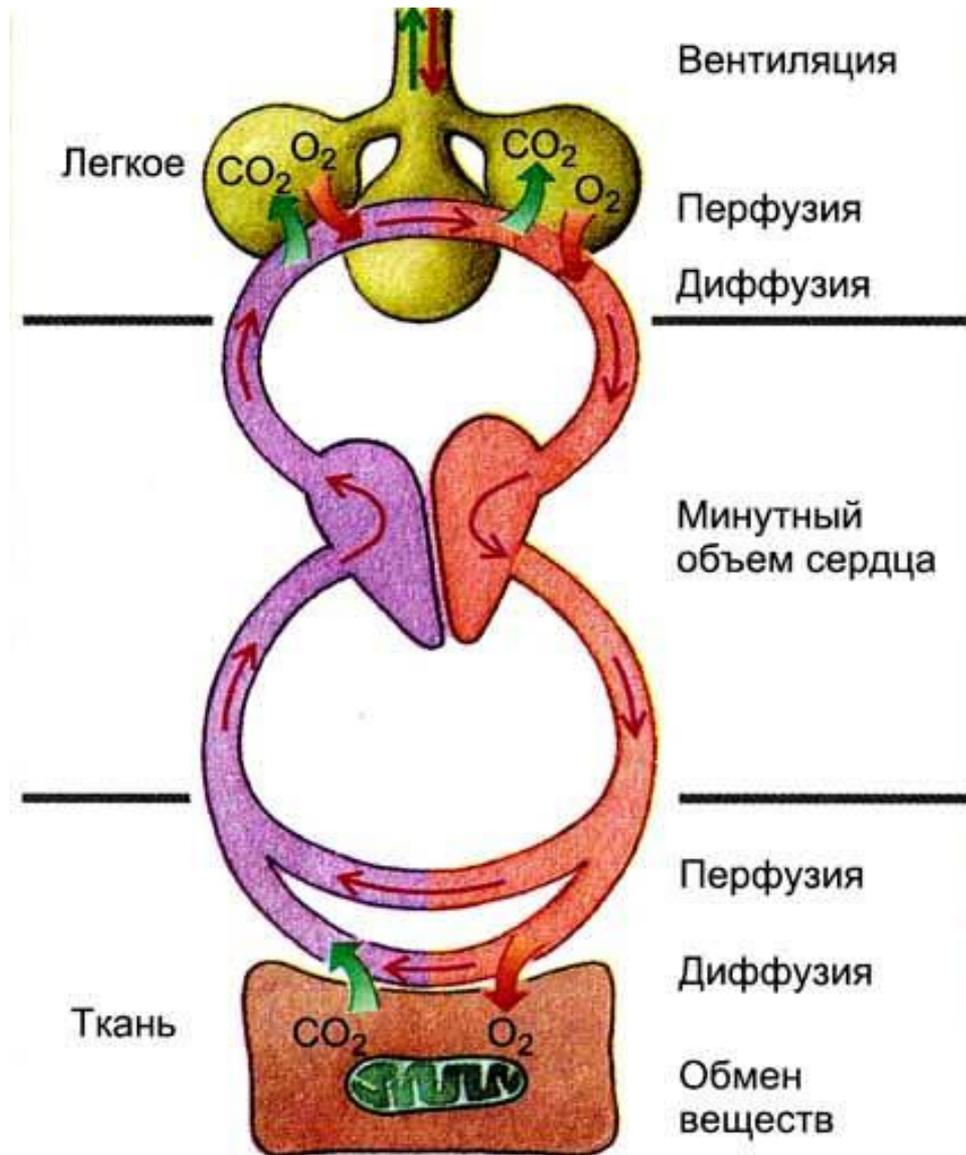
Этапы процесса дыхания

Внешнее дыхание

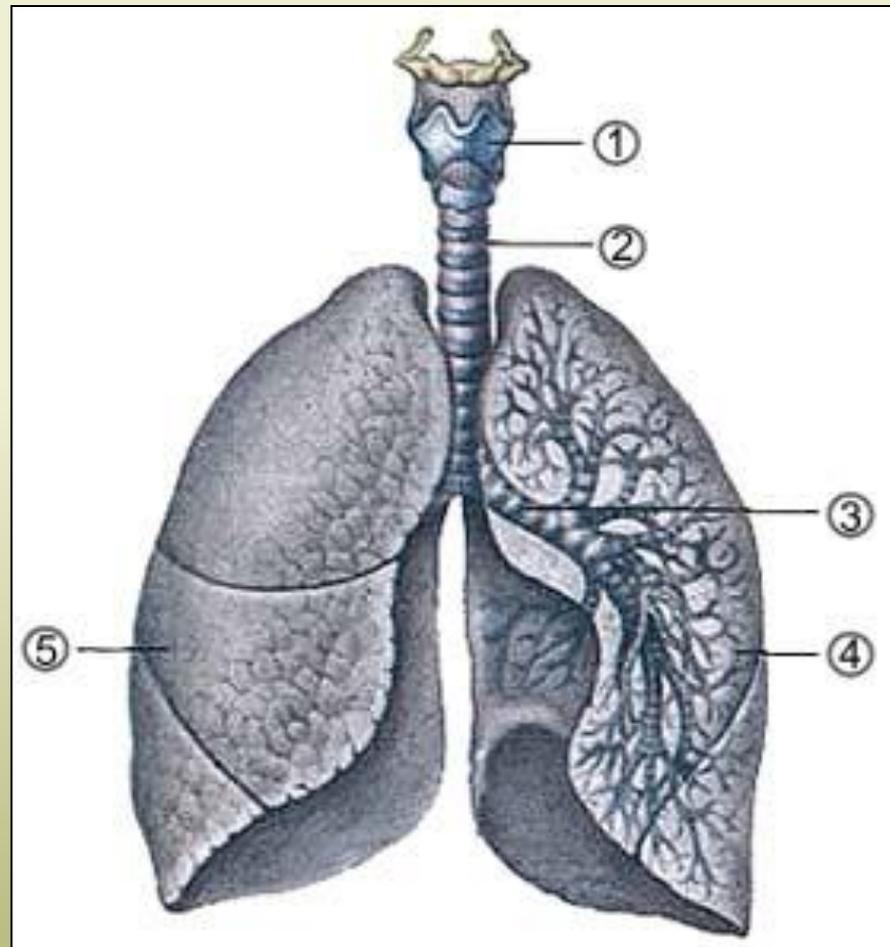
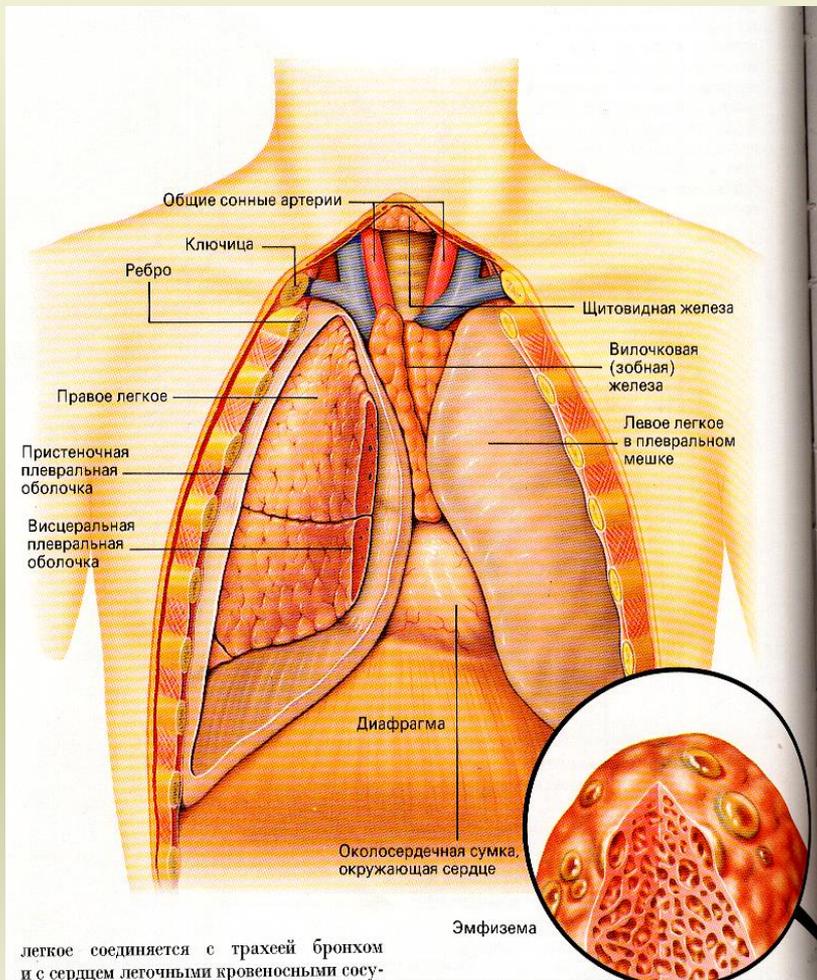
- ✓ 1) конвекционный транспорт в альвеолы (вентиляция легких);

Транспорт газов кровью

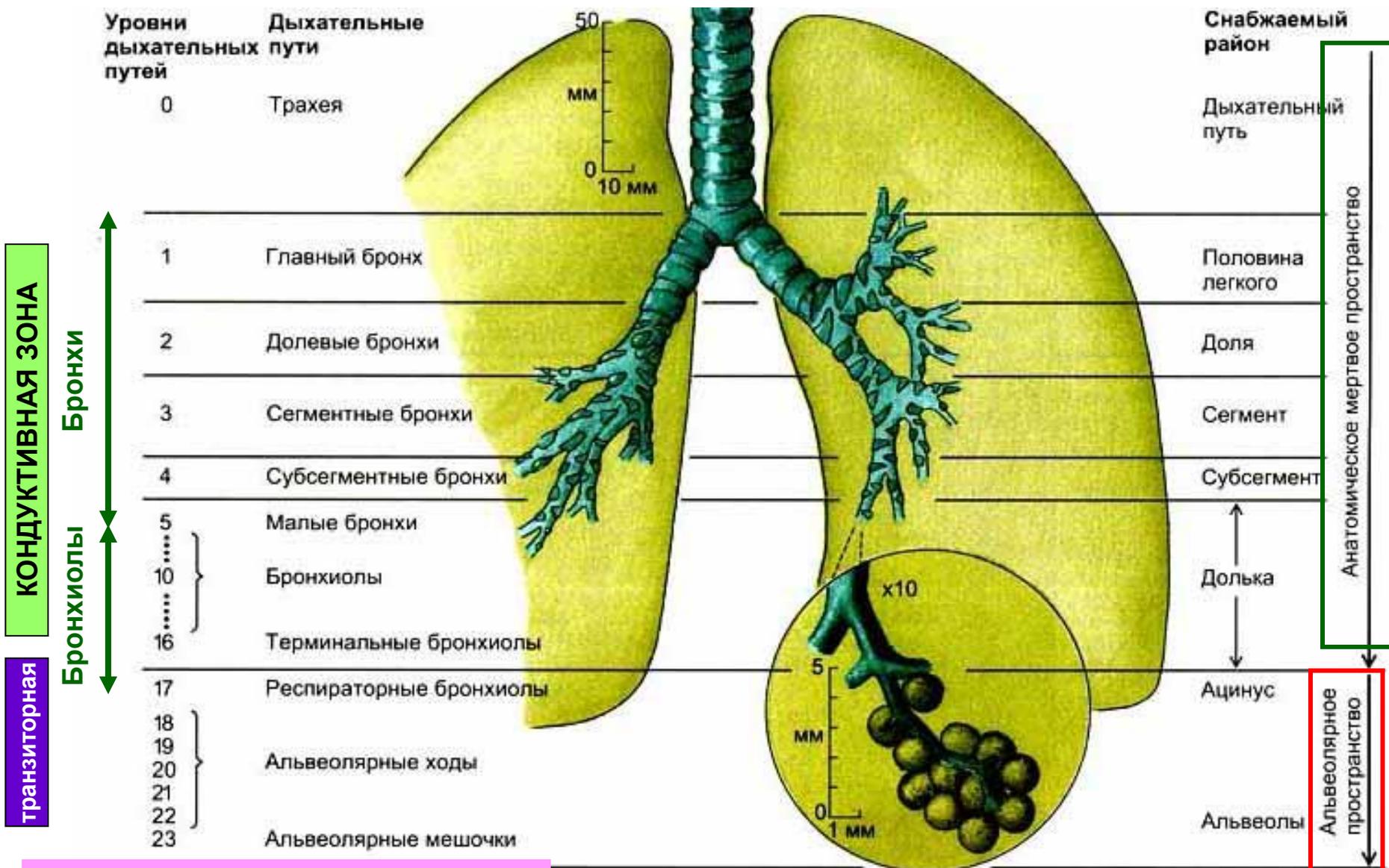
Диффузия газов
диффузия из альвеол в кровь
легочных капилляров;
в ткани
+ тканевое дыхание



Строение легких



Ветвление трахеобронхиального дерева

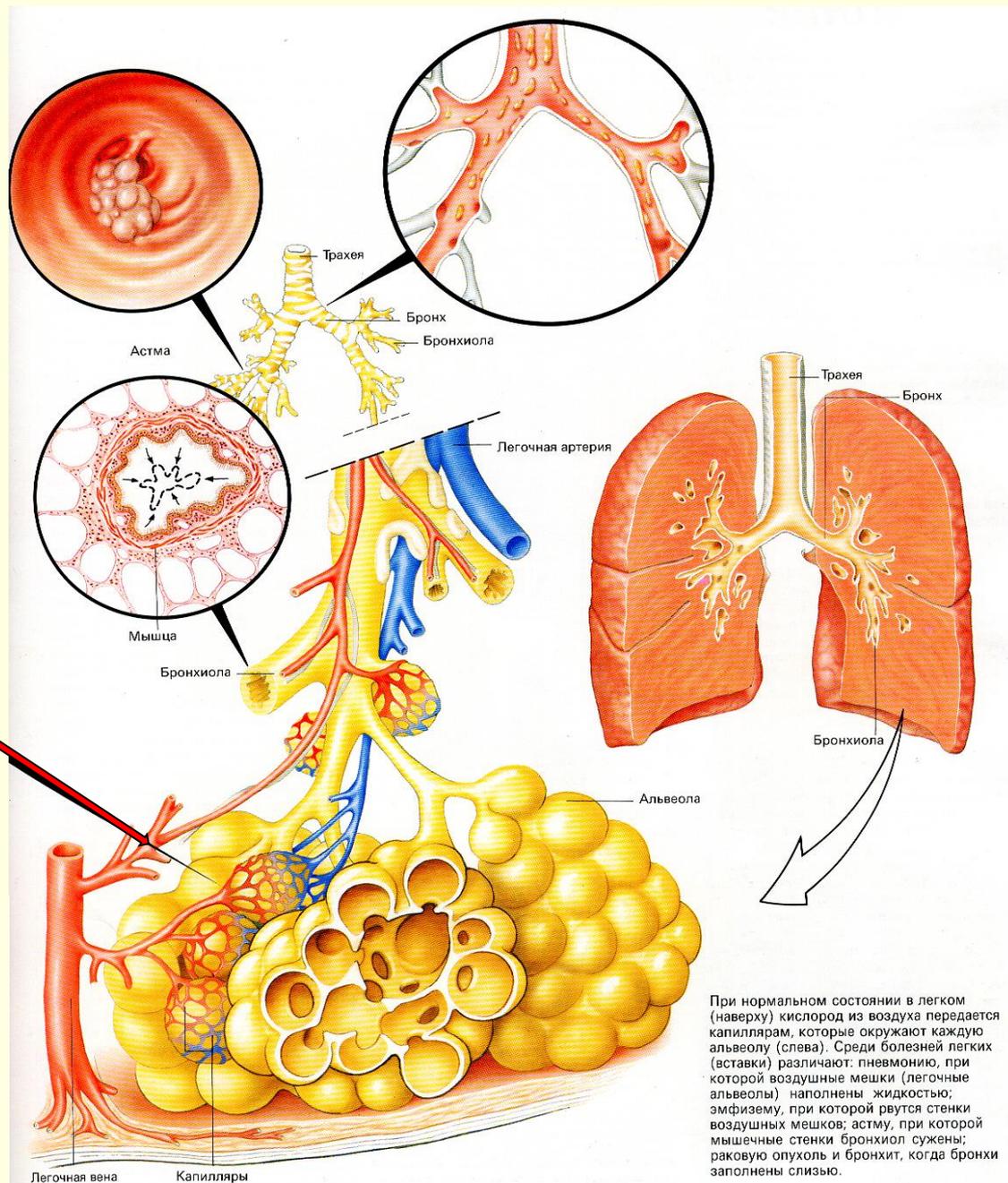


Респираторная 20-23 генерации

Общая диффузионная поверхность легких: 50-100 (в среднем 70) м²

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЕДИНИЦА ЛЕГКИХ - ацинус. Он включает одну концевую бронхиолу, которая делится на дыхательные бронхиолы разных порядков, альвеолярные ходы, альвеолы и мешочки. В одном лёгком **300-350 млн. альвеол**. Общая поверхность альвеол двух лёгких при вдохе составляет **80-120м²**. Каждая альвеола обильно кровоснабжается.

■ **Ацинус** - разветвление одной терминальной бронхиолы, включающее ее респираторные бронхиолы и альвеолярные ходы (**400-600 альвеол**)



ПРИСПОСОБИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛЕГКИХ ДЛЯ ДЫХАНИЯ

- ❑ Минимальное расстояние между **воздушным** и **кровеносным руслом** **0,4-1,5 мкм** (*называется **аэрогематическим барьером***)
- ❑ **Обширная дыхательная площадь легких** **50-100 м²**
- ❑ **Наличие особого - *малого круга кровообращения***
- ❑ **Наличие в легких *эластической ткани***
- ❑ **Наличие в дыхательных путях *опорной хрящевой ткани* в виде хрящевых бронхов**

НЕДЫХАТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ:

- **1. Защитная функция:** *иммунологическая, задерживаются лейкоциты.*

образуются антитела, осуществляется фагоцитоз, вырабатывается лизоцим, интерферон, иммуноглобулины(IgA)

- **2. Экскреторная функция** – через легкие удаляется более **200** летучих веществ.

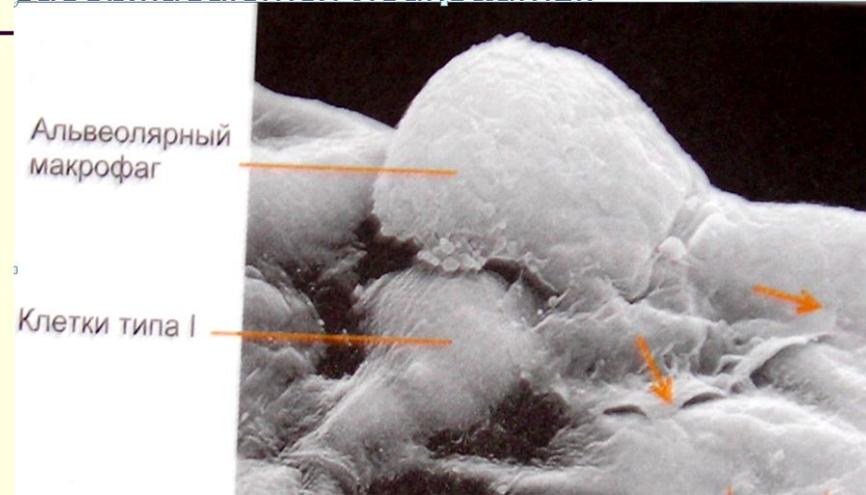
Эндогенных: углекислый газ, метан, ацетон и др.; экзогенных - **этиловый спирт, эфиры, закись азота** и т.д., испаряется вода

- **3. Депонирование крови** (до **15% объема** циркулирующей крови).

При этом “депонированная” кровь продолжает участвовать в газообмене с альвеолярным воздухом.

- **4. Гемостатическая функция** – в легких задерживаются и удаляются из крови **мелкие тромбы** . Интерстиций легких содержит большое количество **тучных клеток**, содержащих **гепарин** благодаря чему кровь, оттекающая от легких, свертывается медленнее, чем притекающая

В легких также синтезируются факторы свертывающей системы (**факторы VII, VIII, тромбоксана B2**)



НЕДЫХАТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ:

❑ 5. Выработка биологически активных веществ:

- легкими синтезируется гепарин, серотонин, гистамин;
образуются **сосудорасширяющий простагландин 1**, оксид азота (NO);
факторы свертывания крови **VII и VIII, эритропоэтины**.

Эпителиоцитами синтезируется коллаген и эластин, сурфактант а также мукополисахариды, входящие в состав бронхиальной слизи.

❑ 6. **Метаболическая.** Поглощению и ферментной трансформации в легких подвергаются такие вещества, как **серотонин, ацетилхолин** и в меньшей степени – **норадреналин**.

- **на 80% инактивируется брадикинин;**

- В легких человека инактивируются 90-95% **простагландинов группы E и F.**

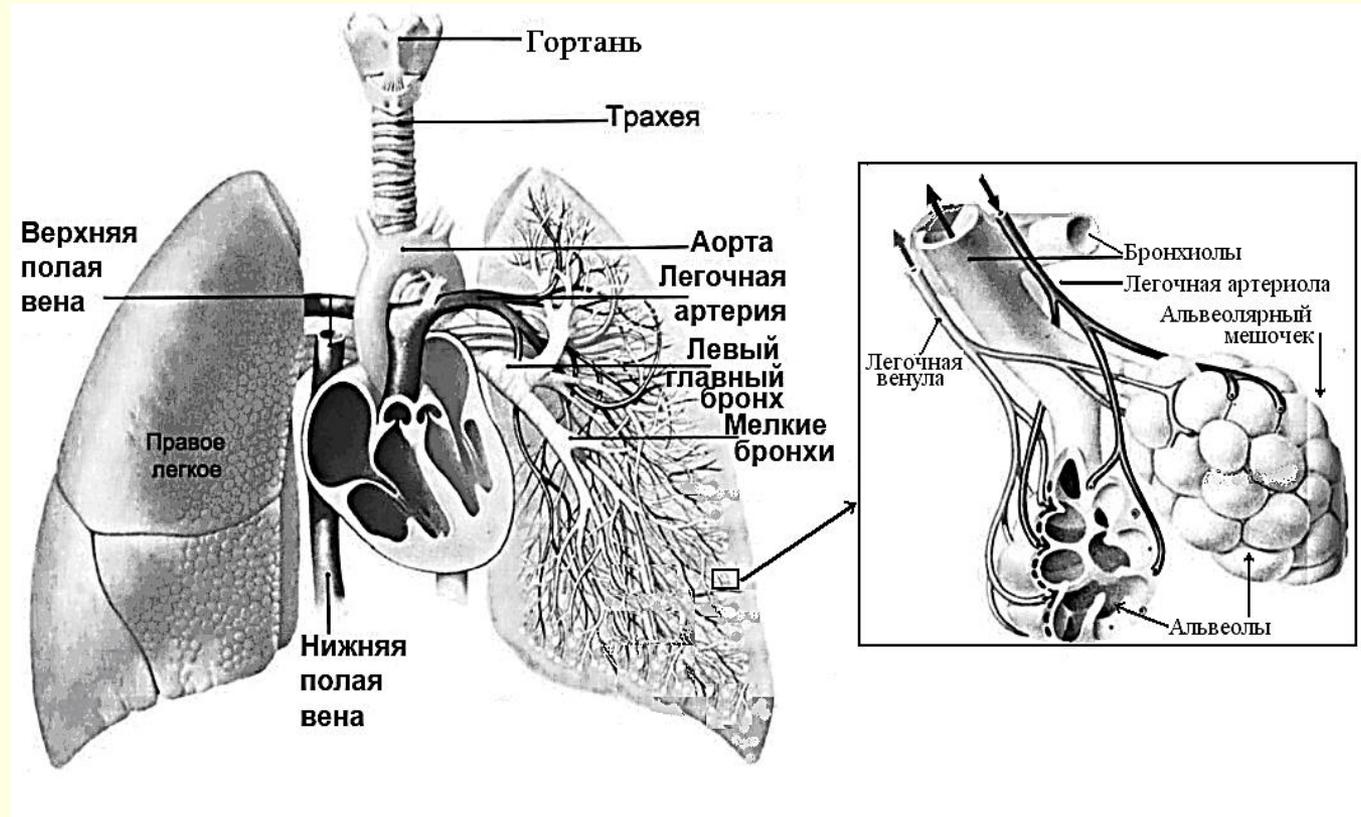
- **инактивируется до 25% инсулина;**

-Также метаболическая функция связана с процессом превращения **ангиотензина I** в **ангиотензин II**, под воздействием фермента **ангиотенгиназы**, содержащегося в мелких углублениях (кавеолах) на внутренней поверхности легочных капилляров.

В дыхательных движениях участвуют *три анатомо-функциональных образования:*

- дыхательные пути, которые по своим свойствам являются слегка растяжимыми и сжимаемыми и создают поток воздуха;
- легочная ткань в состав которой входят эластические волокна;
- грудная клетка и дыхательные мышцы. *Грудная клетка относительно ригидна на уровне ребер и подвижна на уровне диафрагмы. Грудная клетка по форме является конусом.*

Дыхательные пути подразделяют на верхние (полости носа, носоглотка, ротовая часть глотки) и нижние (гортань, трахея, бронхи и бронхиолы до 16 генерации).



- **Морфологические структуры нижних дыхательных путей и легких**

Физиологическая роль дыхательных путей

■ **1. Защитная функция:** Бокаловидные клетки и подслизистые железы секретируют слизь. Благодаря синхронным движениям ресничек слизь вместе с содержащимися в ней остатками клеток и инородных частиц перемещаются в направлении полости рта. В состав слизи, *бактерицидное вещество лизоцим, глобулины.*

2. **увлажнение воздуха кондиционирующая и терморегулирующая функции.**

 **Альвеолярный воздух нагревается до температуры около 37°C . Удаляемый из легких воздух, отдает до 30% своего тепла слизистым оболочкам верхних отделов дыхательных путей, согревая их.**

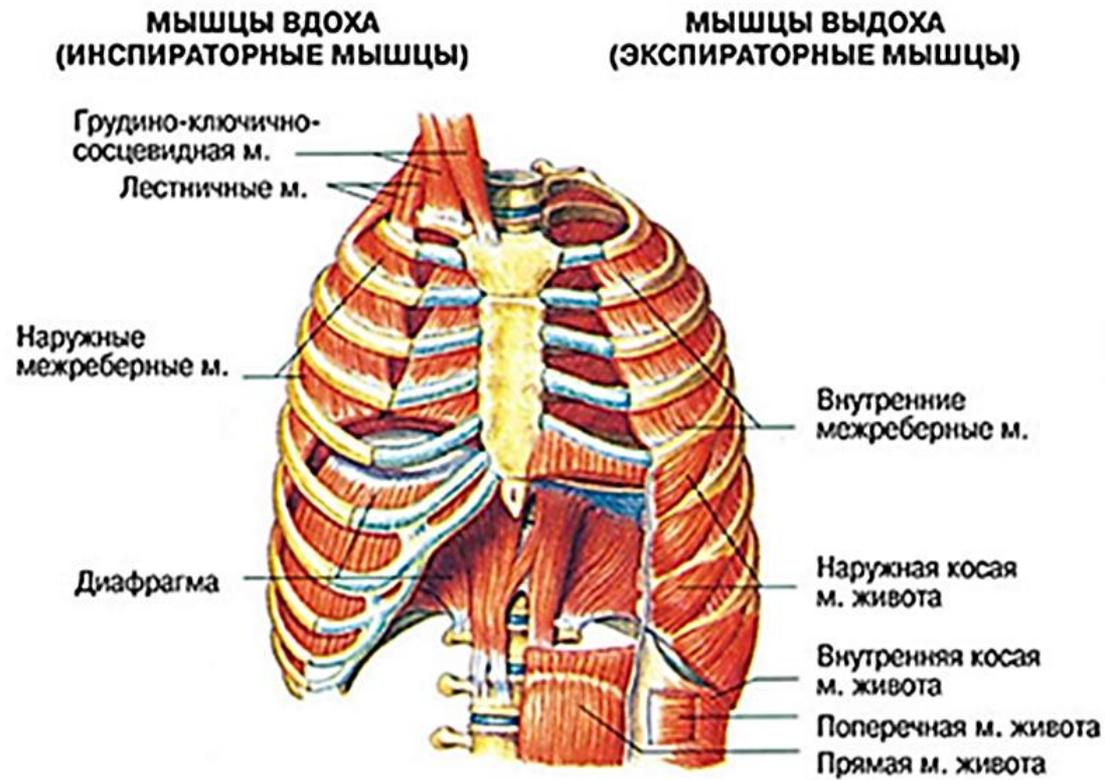
3. **Дыхательные пути участвуют в генерации звуков (голособразование) и придании им определенной окраски.**

БИОМЕХАНИКА ВДОХА И ВЫДОХА

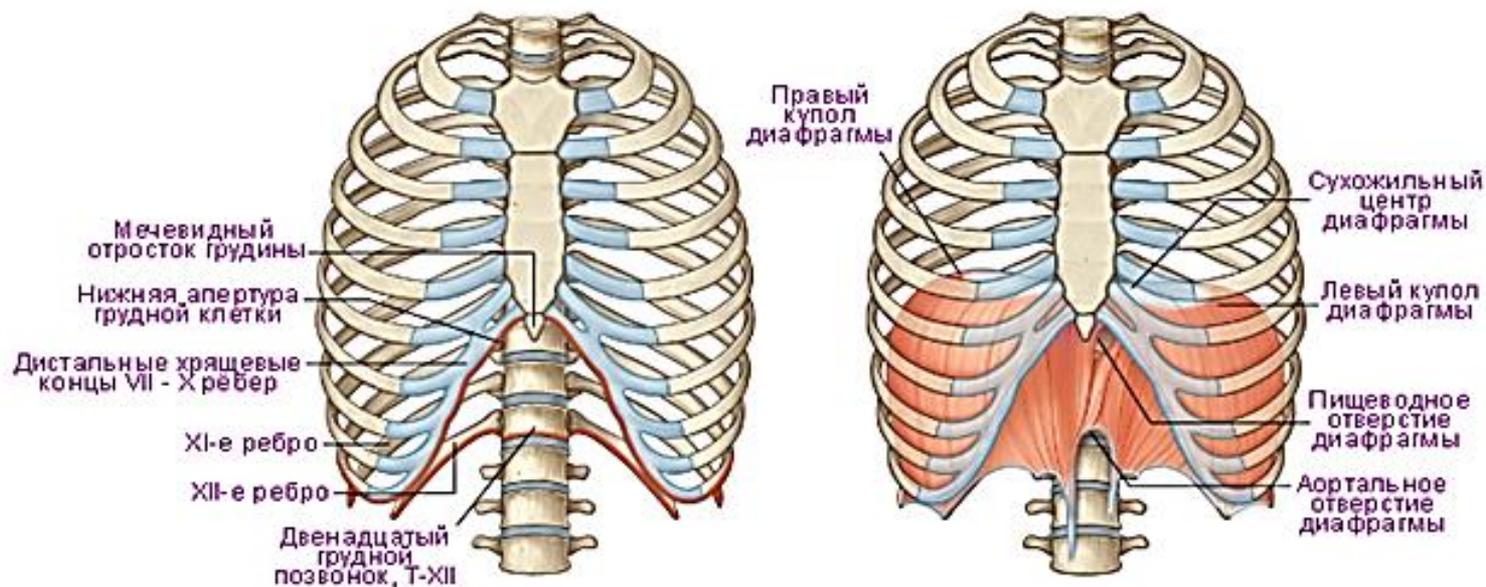
- 1) **Внешнее** дыхание осуществляется благодаря изменениям объема **грудной клетки** и **сопутствующим** изменениям **объема легких**.

2) Известно два биомеханизма, которые изменяют объем грудной клетки: **поднятие и опускание ребер** и **движения купола диафрагмы**; оба биомеханизма осуществляются дыхательными мышцами. Дыхательные мышцы подразделяют на **инспираторные** (мышцы вдоха) и **экспираторные** (мышцы выдоха).

Спокойный ВДОХ: наружные межреберные, межхрящевые и диафрагмальная.



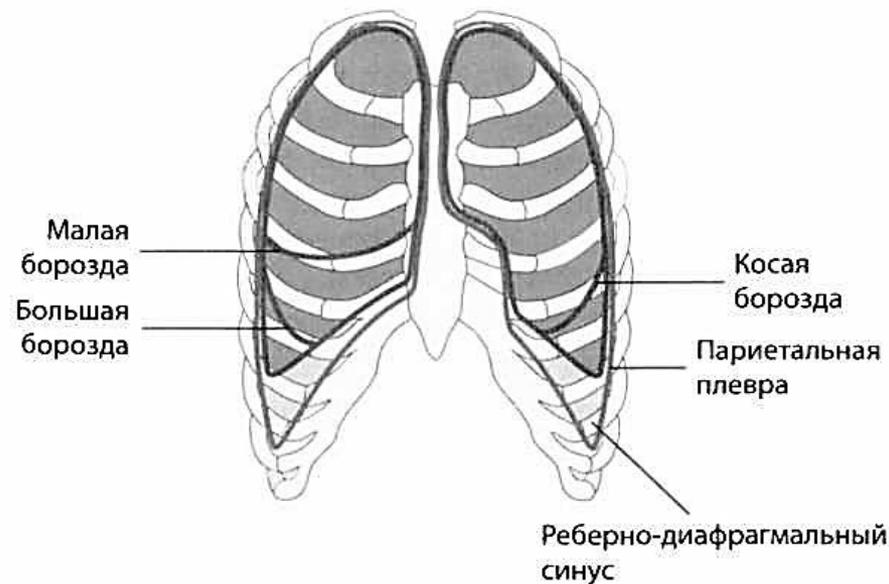
Диафрагма



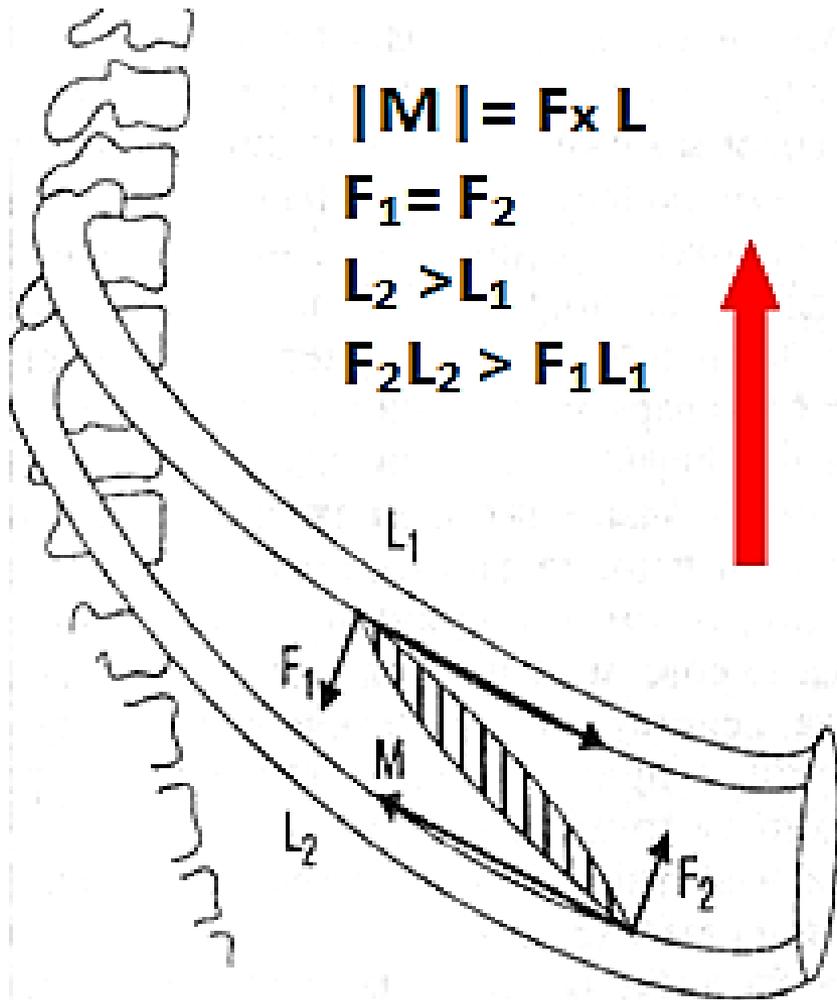
Подвижность грудной клетки

М – 7 - 10 см

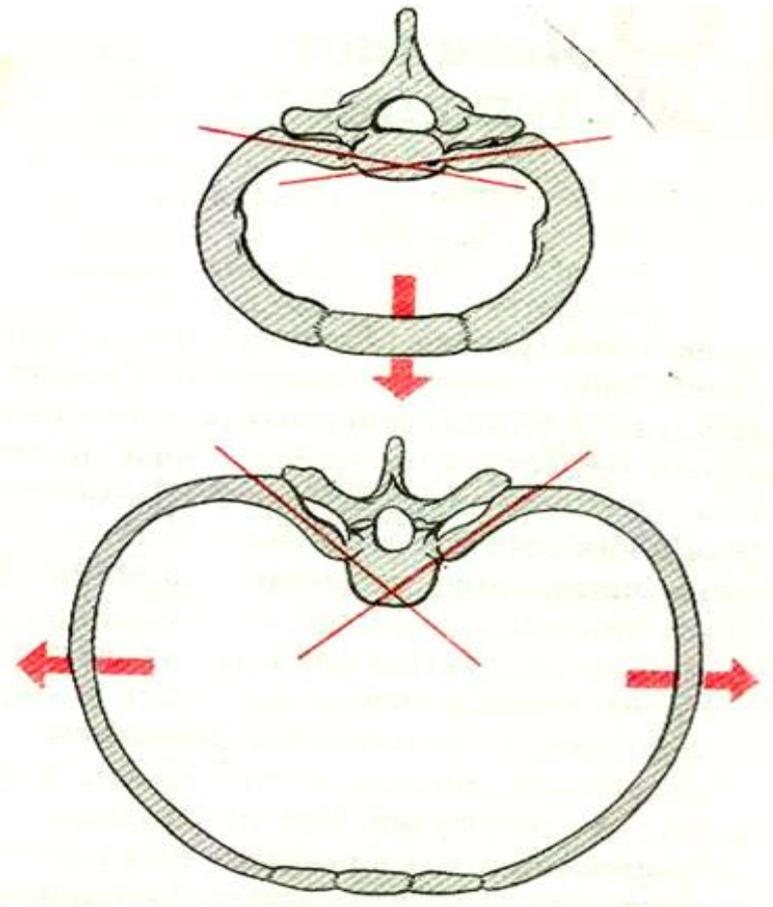
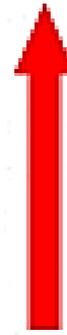
Ж – 5 - 8 см



Расширение грудной клетки во всех направлениях происходит за счет движения ребер.

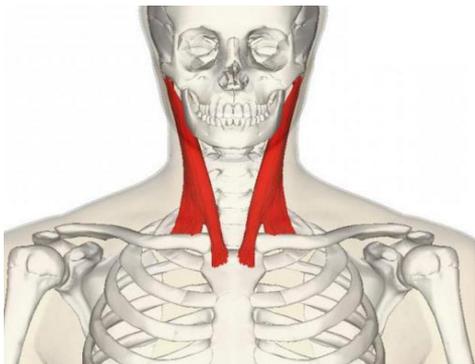


$$|M| = F \times L$$
$$F_1 = F_2$$
$$L_2 > L_1$$
$$F_2 L_2 > F_1 L_1$$

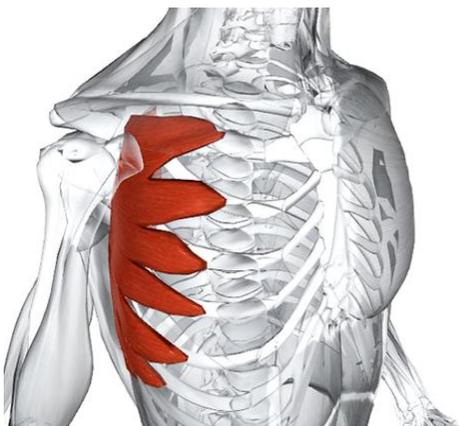
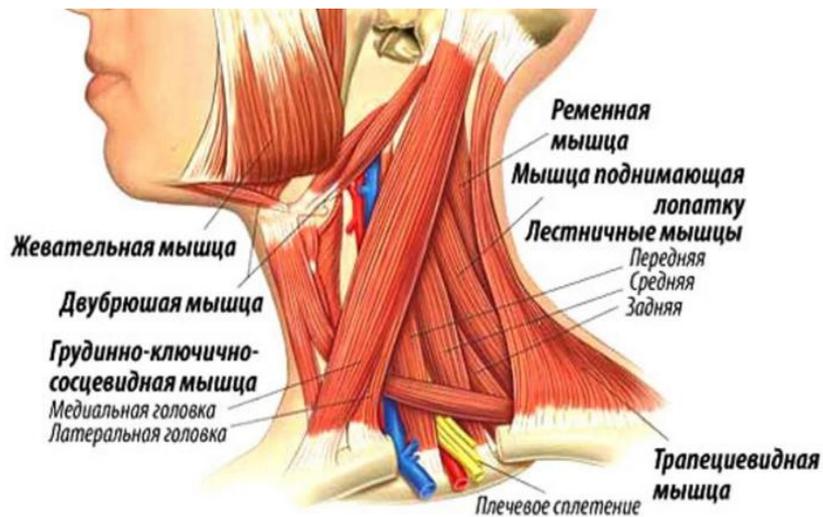


← Направление, в котором преимущественно увеличиваются размеры грудной клетки при вдохе

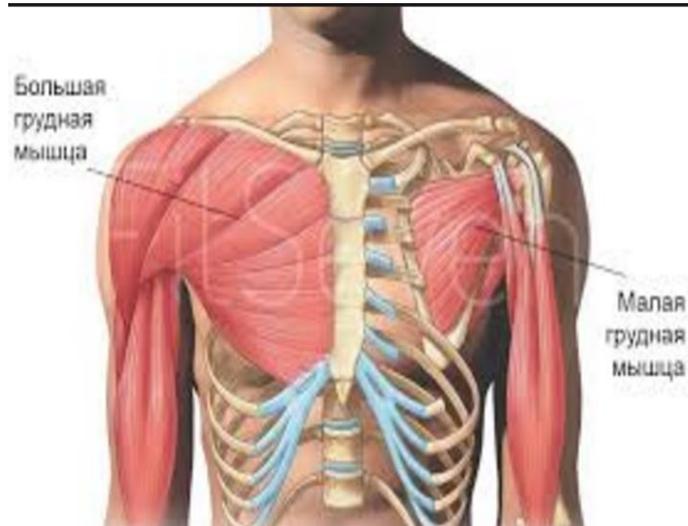
Усиленный вдох – подключаются вспомогательные мышцы: **большие и малые грудные, лестничные, грудино-ключично-сосцевидные, передние зубчатые**



грудино-ключично-сосцевидная



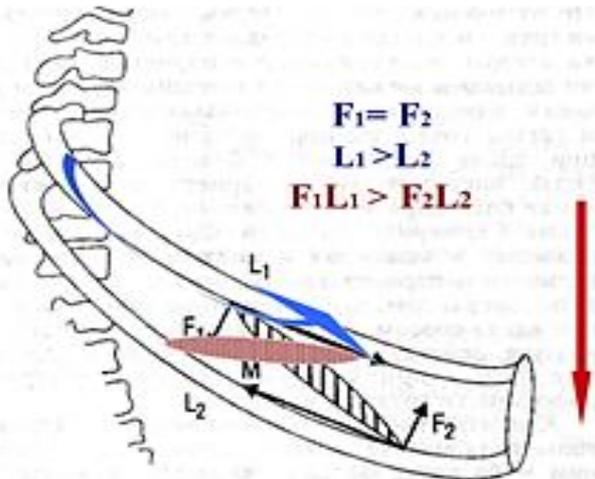
передняя зубчатая



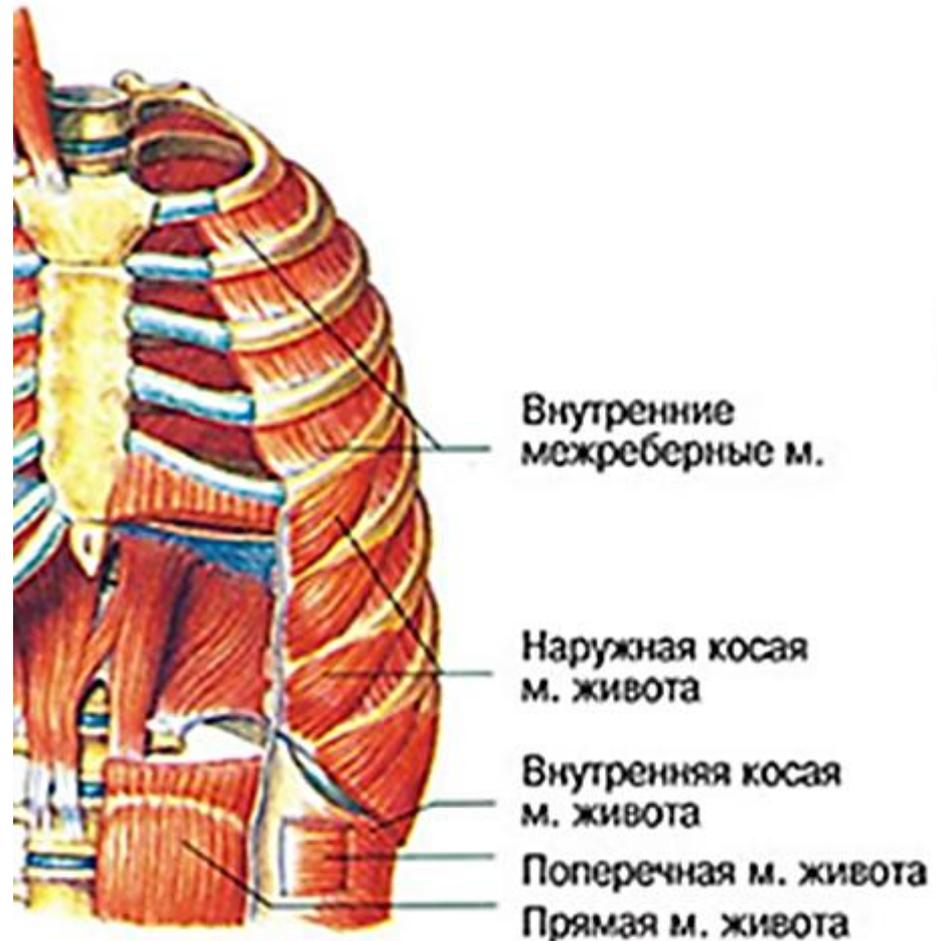
Спокойный выдох: происходит пассивно. **Силы обеспечивающие спокойный выдох:** *Сила тяжести грудной клетки; Эластическая тяга легких; Эластичность реберных хрящей; Давление органов брюшной полости на диафрагму.*

При глубоком (*форсированном*) выдохе. Основными экспираторными мышцами являются: 1 - **внутренние косые межреберные мышцы.**

В результате их сокращения происходит опускание ребер, поскольку, благодаря ходу их волокон, момент силы для каждого верхнего ребра больше, чем для нижнего.



МЫШЦЫ ВЫДОХА (ЭКСПИРАТОРНЫЕ МЫШЦЫ)



Экспираторные мышцы

2- **прямая, косые и поперечная мышцы живота** при их сокращении рёбра подтягиваются вниз.

К вспомогательным экспираторным мышцам относят **мышцы, сгибающие позвоночник.**



ТИПЫ ДЫХАНИЯ

В зависимости от вклада вносимого каждым из механизмов в увеличении размеров грудной клетки при вдохе различают:

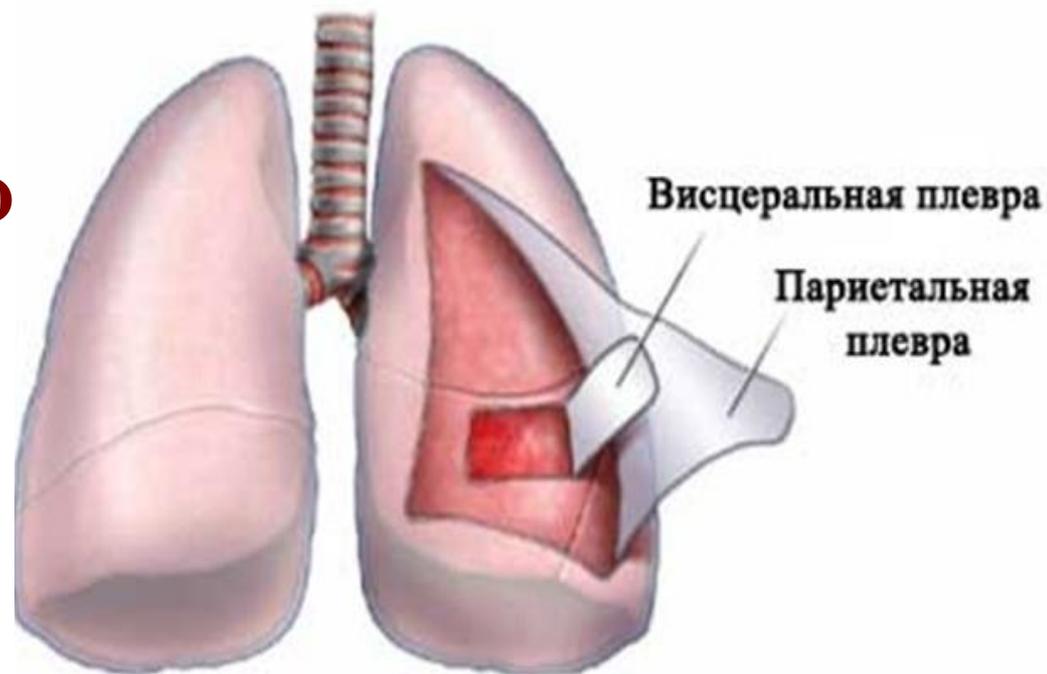
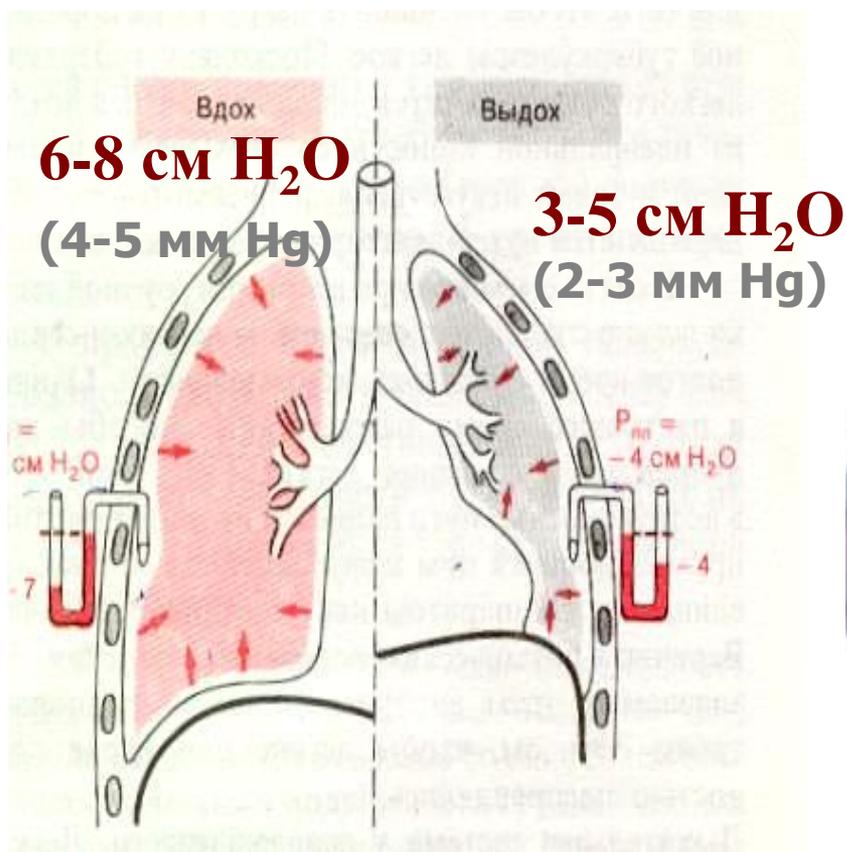
➤ **Грудной(реберный)**

➤ **Брюшной**

➤ **Смешанный**

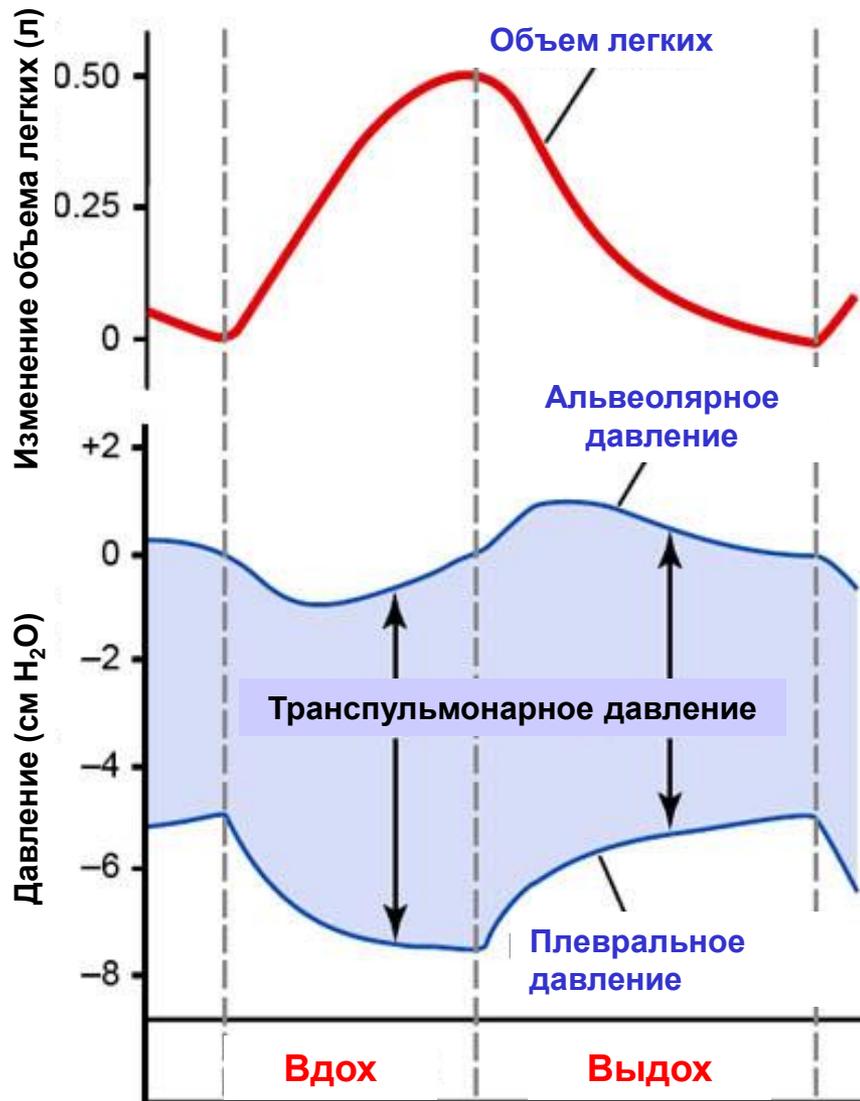


Листки висцеральной и париетальной плевры, покрывают соответственно легкие и внутреннюю поверхность грудной клетки, между ними имеется герметичная полость - тончайшая щель (5–10 мкм).



Давление в плевральной
ПОЛОСТИ

Изменения объема легких и давлений внутри и снаружи легких в течение дыхательного цикла



Давление в плевральной щели получило название **внутриплевральное давление**.
при вдохе – ниже на 6–8 см H₂O; при выдохе - на 3–5 см H₂O ниже атмосферного.
Т.е. если атмосферное давление равно 760 мм.рт.ст. то на вдохе давление становится 754-752 мм.рт.ст.

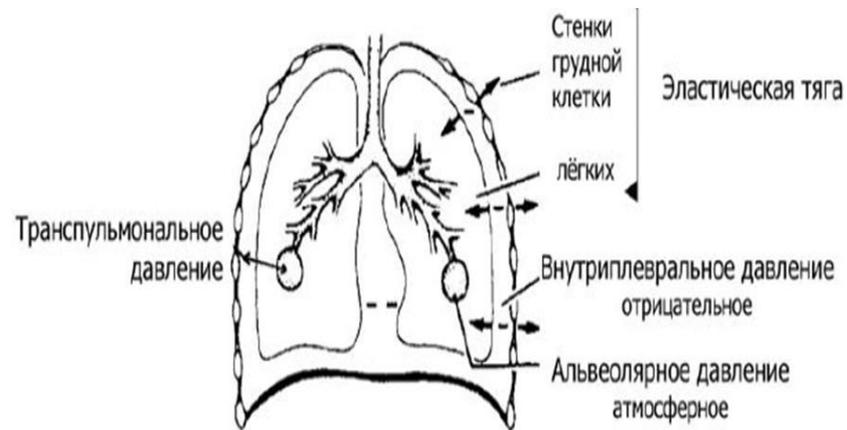
Давление в альвеолах называется **альвеолярным**.
Внутриплевральное давление всегда ниже альвеолярного.

Таким образом, создаётся градиент давлений, при котором лёгкие расправляются в зону с более низким давлением.

Разницу между **альвеолярным (P_a)** и **внутриплевральным давлениями (P_{pl})** называют **транспульмональным давлением (P_t)**.

$$[P_t = P_a - P_{pl}]$$

Альвеолярное
 давление выше
атмосферного на
 выдохе и ниже на
 вдохе. Значение
градиента между
 альвеолярным и
 атмосферным
 давлением влияет
 на **движение**
воздуха из
внешней среды к
 альвеолам и
 обратно.

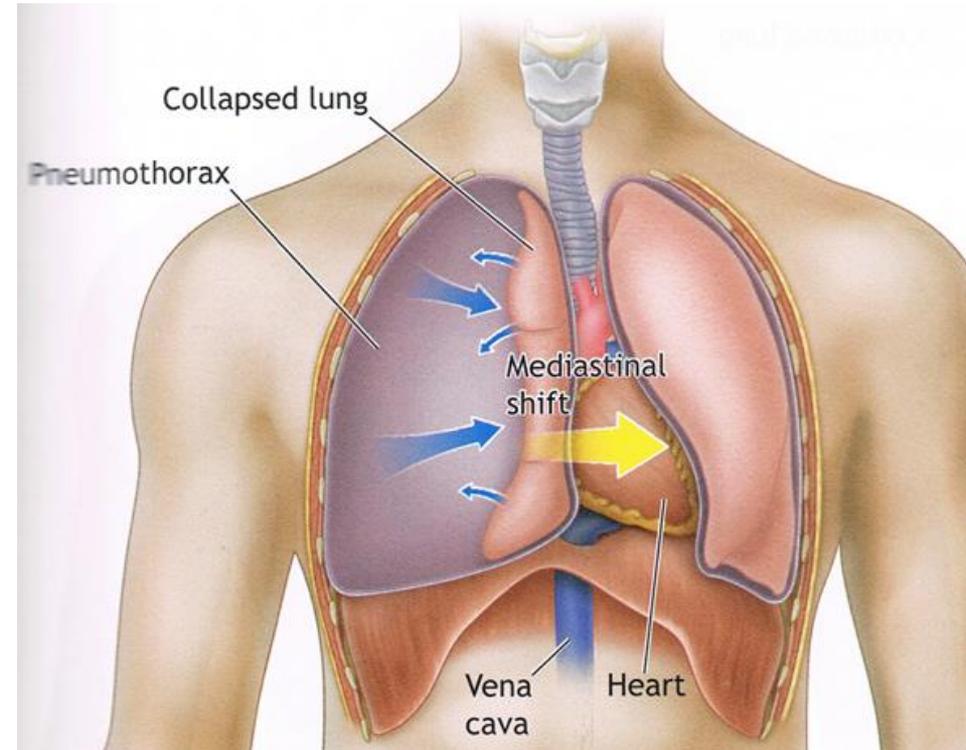


Пневмотораксом называют поступление воздуха в плевральную щель, приводящее к спадению легких.

- Пневмоторакс может быть **односторонним, двусторонним, открытым, клапанным, закрытым.**

• Кроме травматического пневмоторакса существует лечебный односторонний пневмоторакс, при котором в плевральную

полость вводится строго определенное количество азота –газа входящего в состав газовой смеси лёгких но не принимающего участия в газообмене . Лечебный пневмоторакс применяется для того чтобы вызвать покой заболевшего лёгкого при лечении туберкулеза (каверны).



Модель Дондерса – устройство для демонстрации роли внутриплеврального давления в дыхательном акте, представляющее собой препарат легких с трахеей, заключенный в прозрачную камеру; при уменьшении давления в камере относительно давления в легких происходит «вдох», при увеличении — «выдох».

Модель ДОНДЕРСА



Эластическая тяга легких

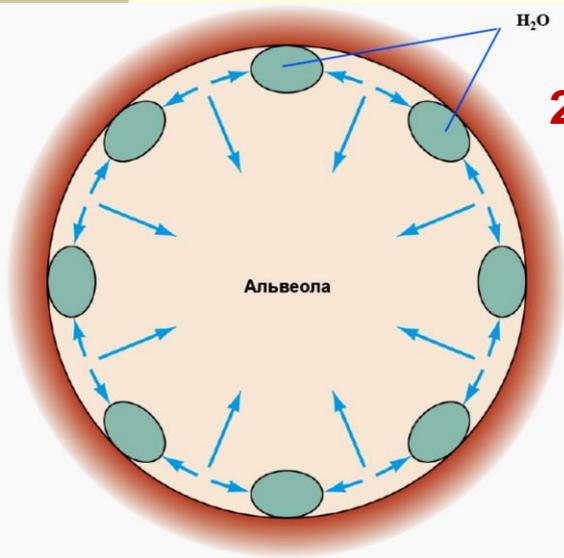
Эластическая тяга легких – сила, с которой легкие стремятся сжаться

- **Поверхностным натяжением пленки жидкости, покрывающей внутреннюю поверхность альвеол(2/3).**
- **Упругостью ткани стенок альвеол(содержит эластические волокна- 30%)**
- **Тонусом бронхиальных мышц**
(гладкомышечные волокна внутрилегочных бронхов 3 %).



Важным фактором, влияющим на эластические свойства и растяжимость легких, является поверхностное натяжение плёнки жидкости, которая выстилает внутреннюю поверхность альвеолы. В альвеолах жидкость стремится к сокращению, появляется стремление к выжиманию воздуха из альвеолы к бронхам, в результате альвеолы начинают спадаться, в лёгких образуется эластическая сила сокращения, которую называют **эластической силой поверхностного натяжения.**

Спадению альвеол препятствует сурфактант. Состоит из 90% фосфолипидов и липидов (на их долю приходится 90%, 45% из которых это дипальмитоилфосфатидилхолин, из липидов (холестерин, триглицериды). Из состава сурфактанта большую роль в снижении эластической силы поверхностного натяжения играет дипальмитоилфосфатидилхолин. Альвеолоциты II типа секретируют сурфактант в саму плёнку жидкости в полости альвеол, сурфактант растворяется в жидкости и в **10 раз** уменьшает силу поверхностного натяжения, теоретически рассчитанного для соответствующей водной поверхности.

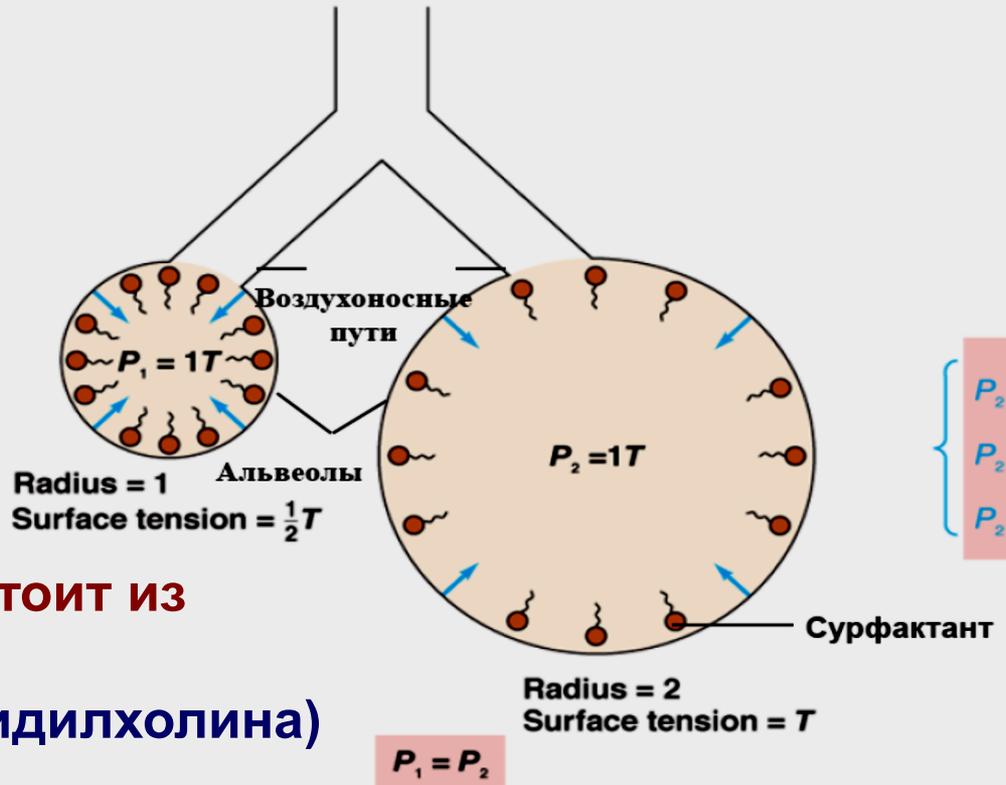


20-100 нм.

СУРФАКТАНТ

Нергардом в 1929 году

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \frac{2 \times T}{r} \\ P_1 &= \frac{2 \times \frac{1}{2}T}{1} \\ P_1 &= 1T \end{aligned} \right\}$$



$$\left. \begin{aligned} P_2 &= \frac{2 \times T}{r} \\ P_2 &= \frac{2 \times T}{2} \\ P_2 &= 1T \end{aligned} \right\}$$

$$P_1 = P_2$$

Сурфактант на 90% состоит из фосфолипидов

(в первую очередь, фосфатидилхолина)

+ 10% белков

ПРОДУЦИРУЕТСЯ пневмоцитами II типа

Функции сурфактанта:

- обеспечивает расправление легких при первом вдохе новорожденного,
- в 10 раз уменьшает силу поверхностного натяжения, стабилизирует размеры альвеол,
- оказывает противоотечное действие препятствуя переходу жидкости из легочных капилляров,
- обладает бактериостатическим действием, способствует активизации фагоцитоза альвелярными макрофагами,
- Является одним из факторов, способствующим диффузии O_2 , так как O_2 хорошо растворяется в фосфолипидах, входящих в сурфактант.



Механизм вдоха.

- **Механизм вдоха (инспирации). Вдох активный процесс.**
- 1) повышение количества CO_2 и снижение уровня O_2 . 2) в инспираторном центре возникает залп нервных импульсов и передача их в шейные и грудные отделы спинного мозга, где в шейных C3-C5 содержатся мотонейроны диафрагмы а в грудных Th2-Th6 мотонейроны межрёберных мышц. 3) сокращение инспираторных мышц 4) расширение грудной клетки во всех направлениях 5) движения грудной клетки передаются к легким, через плевральные листки. 6) давление в плевральной полости начинает снижаться до -6 – -10 см вод. ст. повышая градиент между этим давлением и давлением в альвеолах возрастает (т.е. транспульманальное давление возрастает). 7) сила градиента становится выше силы эластичной тяги лёгких и они растягиваются. 8) увеличение объёма лёгких приводит к снижению давления воздуха в альвеолах и атмосферный воздух по градиенту давления поступает в лёгкие.

Механизм выдоха.

■ Механизм выдоха (экспирации).

Спокойный выдох пассивный процесс.

- 1) повышение количества O_2 и снижение уровня CO_2
- 2) прекращение подачи импульсов из инспираторного центра
- 3) инспираторные мышцы расслабляются ребра и грудина под действием силы тяжести и энергии опускается.
- 4) диафрагма поднимается. Органы брюшной полости возвращаются в исходное положение.
- 5) объем грудной клетки уменьшается.
- 6) лёгкие снова спадаются. Этому способствует и эластическая тяга.
- 7) давление воздуха в альвеолах возрастает и воздух удаляется из альвеол.

Строение стенки бронха

На механизм вдоха и выдоха оказывает влияние просвет бронхов.

■ Сам просвет может регулироваться:

При действии парасимпатической нервной системы, гистамина, серотонина, простагландинов тонус мышц стенок бронхов повышается, что приводит к их сужению. Симпатическая нервная система расширяет бронхи.

Их просвет во время вдоха зависит от ряда факторов:

а) на стенки внутрилегочных бронхов действует эластическая тяга альвеолярной ткани.

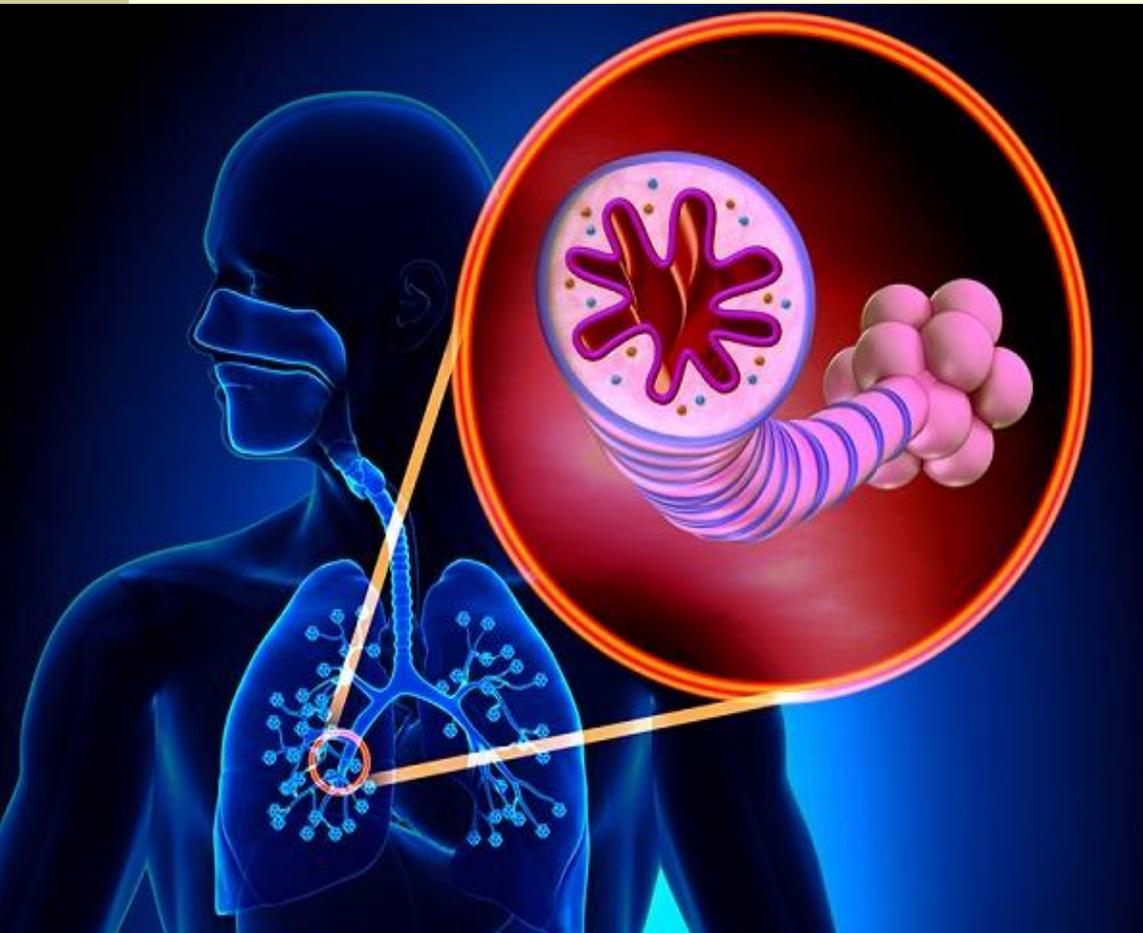
б) на стенки внелегочных бронхов – действует отрицательное давление в плевральной полости.

Во время выдоха просвет уменьшается. Это является одной из причин большей продолжительности выдоха по сравнению со вдохом (в среднем в 1,2 раза).



Просвет воздухоносных путей неодинаков в различные фазы дыхательного цикла.

Во время вдоха он увеличивается, что определяется физическими причинами – возрастанием эластической тяги, что расширяет



внутрилегочные бронхи, и уменьшением давления в плевральной полости, что увеличивает диаметр внелегочных бронхов. Во время выдоха просвет уменьшается. Это является одной из причин **большой продолжительности выдоха** по сравнению со **вдохом** **(в среднем в 1,2 раза).**

ПОКАЗАТЕЛИ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ

Статические

характеризуют *резервные*
(функциональные) возможности

ОБЪЕМЫ :

- ДО=0,3-0,9л
- РОВд=1,5-2,0л
- РОВыд=1,0-1,5л
- ОО=1,0-1,5л

ЕМКОСТИ :

- ЖЕЛ=3,5-5,0л
- ФОЕ=2,5л
- ЁВ=2,0
- ОЕЛ=4,2-6,0

Динамические

характеризуют *реализацию*
функциональных возможностей

МОД=ДОхЧД

АВ= ЛВ-ВМП

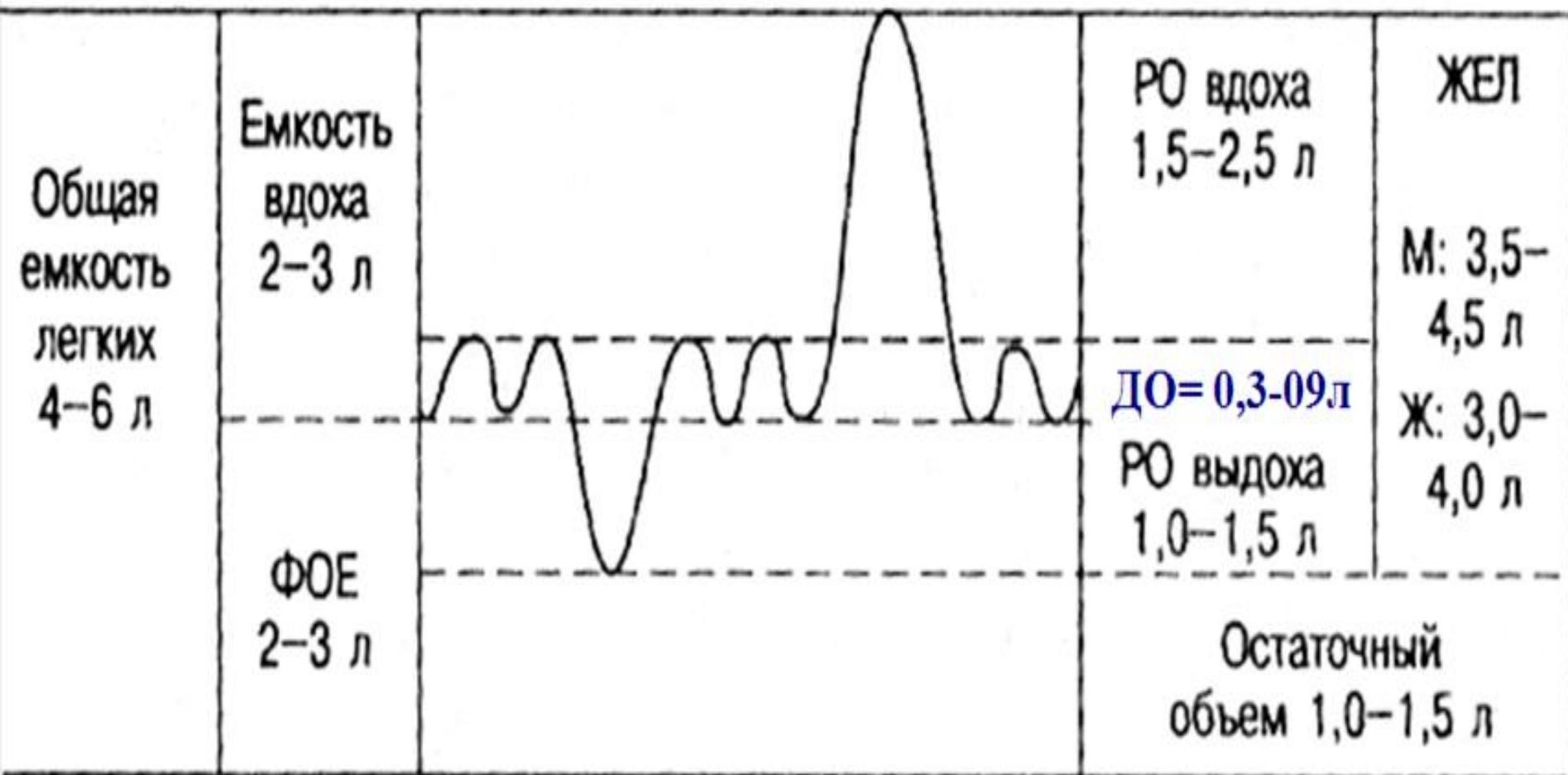
МВЛ (за 10сек)

ЭВД= АВ/МОДх100

ОФВыд (тест Тифно)

рО₂; рСО₂

Спирограмма



ЁМКОСТИ : ЖЕЛ, ФОЕ, ОЕЛ

- 1. Жизненная ёмкость легких (ЖЕЛ)
- $ЖЕЛ = ДО + РО_{вд} + РО_{выд}$
- Должная величина ЖЕЛ (ДЖЕЛ) по формуле Людвига:
- для женщин $ЖЕЛ = 3,8 \times P + 0,029 \times B - 3,190$;
- для мужчин $ЖЕЛ = 5,8 \times P + 0,085 \times B - 6,908$,
- где **P**-рост; **B** –возраст
- 2. Функциональная остаточная емкость (ФОЕ)
- $ФОЕ = РО_{вд} + ОО$
- 3. Общая емкость легких
- $ОЕЛ = ЖЕЛ + ОО = 4,2-6,0$ л.



Мертвое пространство подразделяют на **анатомическое и функциональное (физиологическое)**.

- **Анатомическое мертвое пространство** – объем воздухоносных путей, в которых не происходит газообмена (носовая полость, глотка, гортань, трахея, бронхи, бронхиолы, альвеолярные ходы). Объем **анатомического мертвого пространства** в среднем равен **150 мл (140-170 мл)**.

Функциональное мертвое пространство – это альвеолы, в которых не происходит газообмена, т.е. такие альвеолы, которые вентилируются, но не перфузируются кровью.



ДО-АМП=500-150=350 доходит до альвеол

■ Коэффициент легочной вентиляции –

■ $350 \text{ мл}/2500 \text{ мл}=1/7$

■ $\text{МОД} = \text{ЧД} \times \text{ДО}$

■ ЧД у взрослоЧД у взрослого = 14 (12-18) в мин

■ У новорожденных= 30-40 в мин

■ *МОД в покое - 7 литров*

При физической нагрузке до 120 литров

АВ=ЛВ-ВМП

Альвеолярная вентиляция

МОД(одинаков) = 6 000мл

1-й испытуемый

2-й испытуемый

Частота дыхания в 1 мин

15

20

Дыхательный объем

400 мл

300мл

Мертвое пространство у обоих 150 мл

В альвеолы поступит воздуха

250 мл

150 мл

Минутная вентиляция альвеол

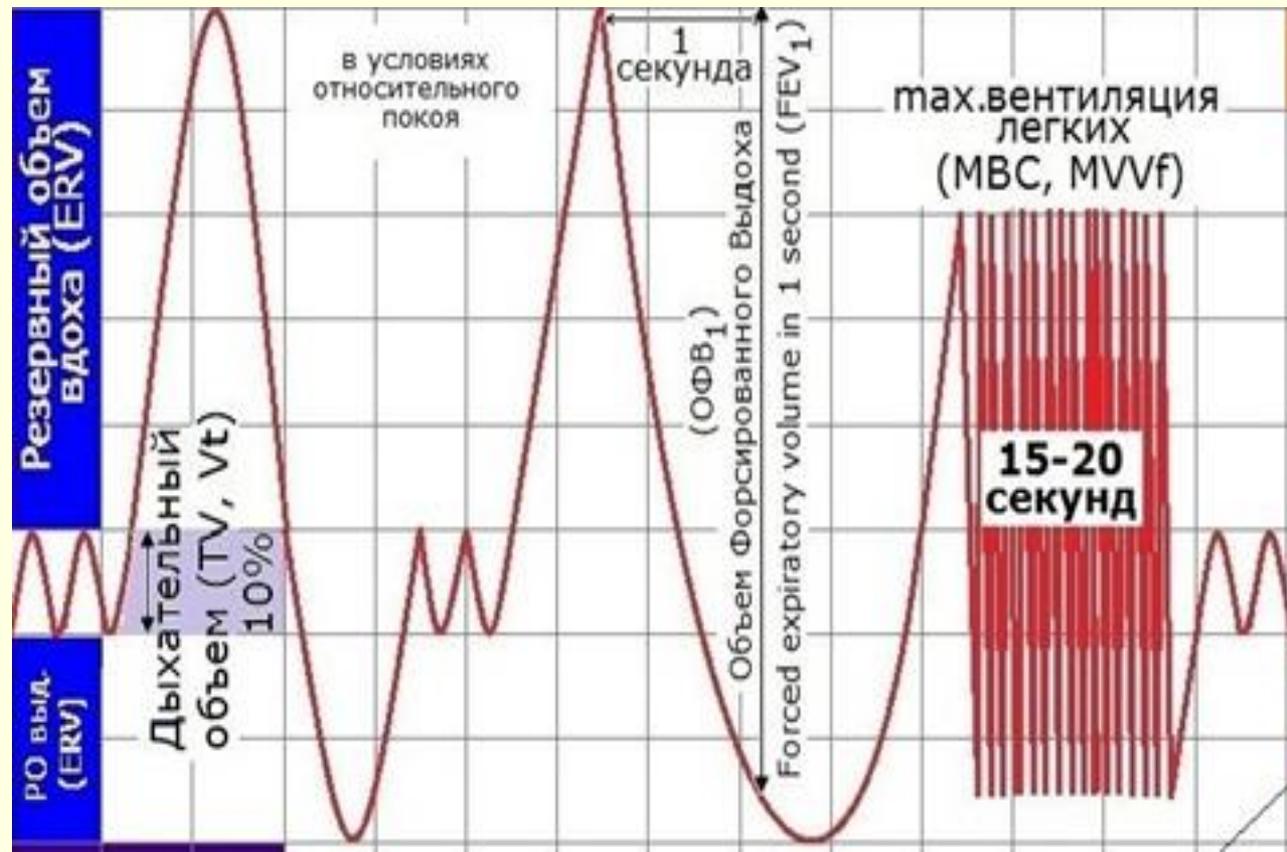
3750 мл

3000мл

Максимальная вентиляция легких (МВЛ) – объем воздуха, проходящий через легкие за определенный промежуток времени (обычно за 10 сек) при дыхании с максимальной частотой (40-60 в мин) и глубиной. Расчет делают на 1 минуту. составляет **120-170 л.**

- **Объем форсированного выдоха (ОФВ)** или **тест Тиффно** – максимальный объем воздуха, удаленный из легких при форсированном выдохе за единицу времени (1 сек). Применяется при диагностике обструктивных нарушений. В норме **ОФВ** равен примерно **3 литра**

- **Бронхиальное сопротивление** – определяется с помощью форсированной ФЖЕЛ. При определении пациент должен после максимального глубокого вдоха, сделать максимально быстрый глубокий выдох. В норме Разница между **ЖЕЛ** и **ФЖЕЛ** составляет **100-300 мл.**



Потоковые показатели внешнего дыхания

- (ПОС) – максимальная объемная скорость потока выдыхаемого воздуха, достигнутая в процессе выдоха форсированной жизненной емкости легких.
- Также определяют МОС - максимальная объемная скорость потока выдыхаемого воздуха, достигнутая в процессе маневра ФЖЕЛ *при определённом моменте выдоха, так различают:*
- **МОС25** – максимальная объемная скорость воздуха на уровне выдоха 25% объёма ФЖЕЛ.

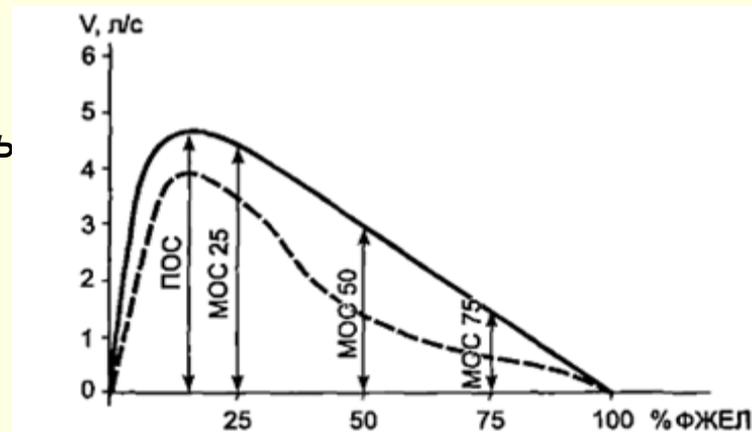
отражает проходимость для воздуха крупных бронхов, трахеи и верхних дыхательных путей

- **МОС50** – максимальная объемная скорость воздуха на уровне выдоха 50% объёма ФЖЕЛ.

отражает проходимость дистальных бронхов и бронхиол

- **МОС75** – максимальная объемная скорость объёма ФЖЕЛ.

указывает на проходимость мелких бронхов и бронхиол.



МЕТОДЫ исследования внешнего дыхания

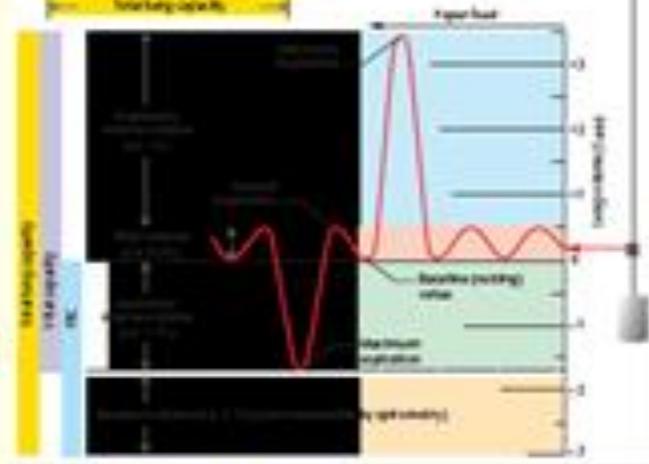
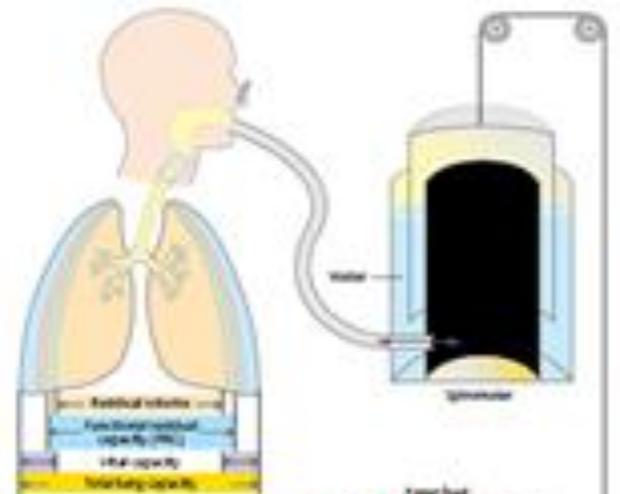
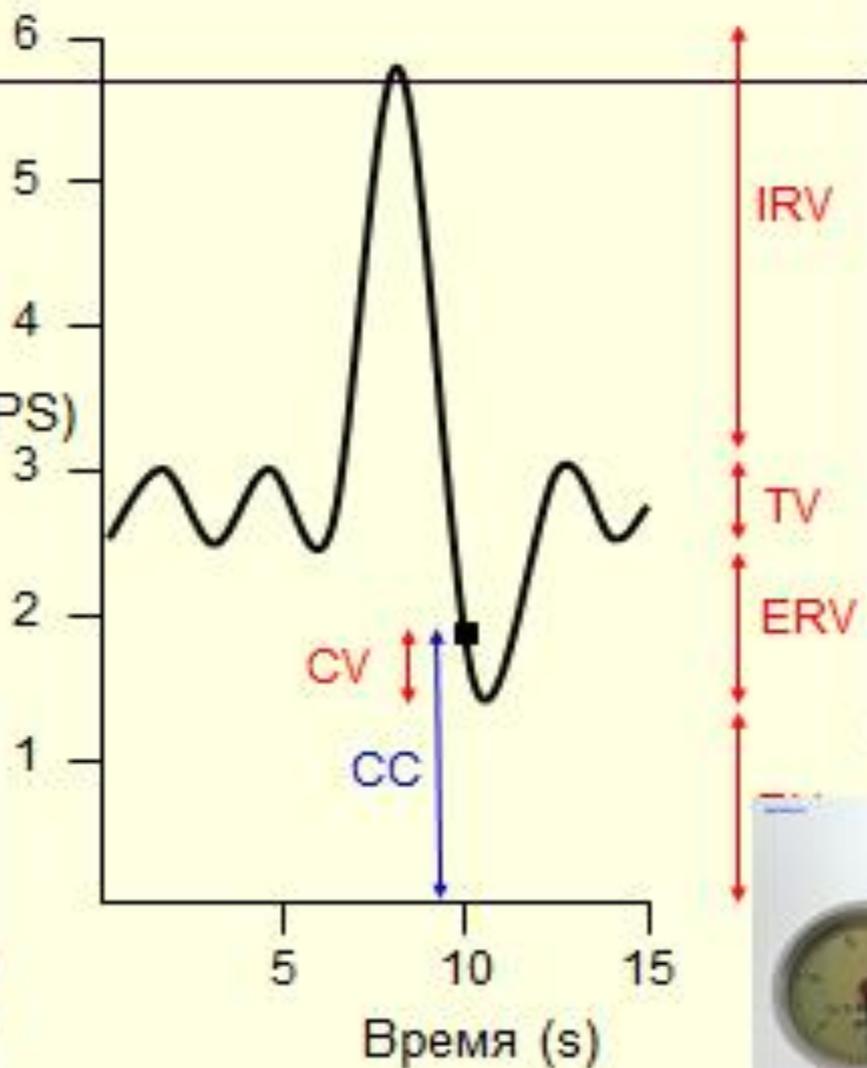
- **Спирометрия** - метод измерения объемов выдыхаемого воздуха с помощью прибора спирометра.
- **Спирография** - методика непрерывной регистрации объемов вдыхаемого и выдыхаемого воздуха. Получаемую при этом графическую кривую называют спирограммой
- **Пневмотахография** - методика непрерывной регистрации объемной скорости потоков вдыхаемого и выдыхаемого воздуха.
- Имеется много других методов исследования респираторной системы: **плетизмография грудной клетки, рентгеноскопия и рентгенография, оксиметрия, капнография, аускультация грудной клетки и другие.**





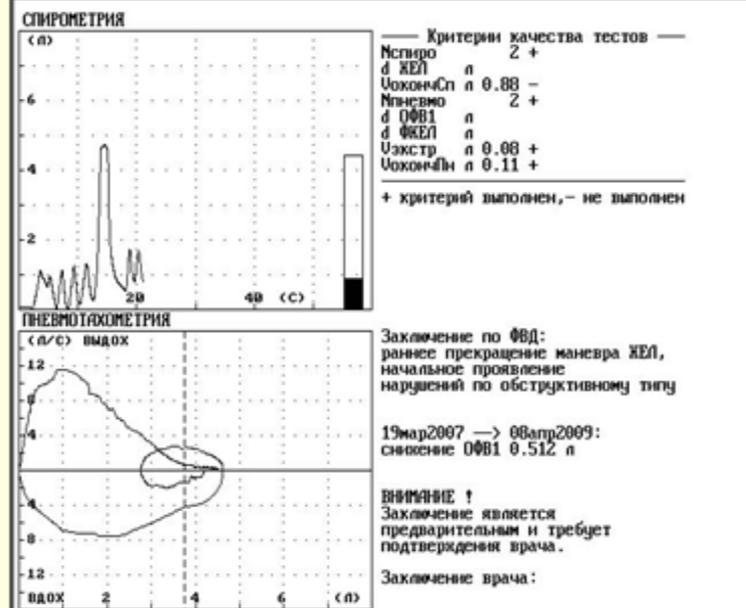
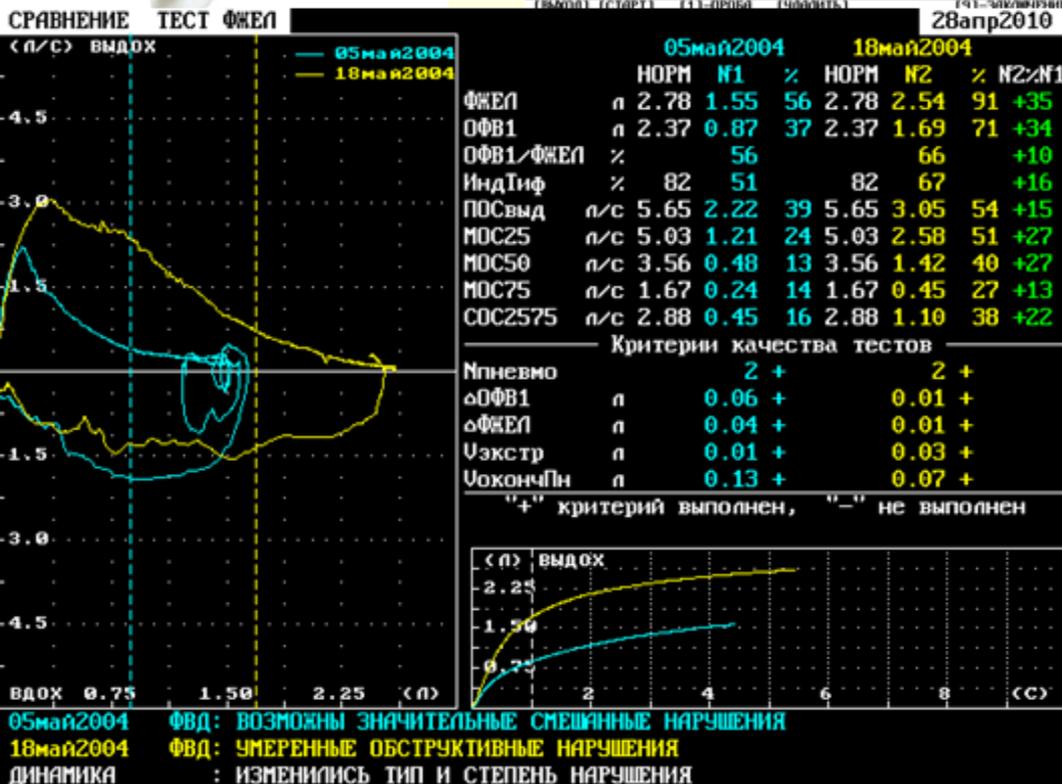
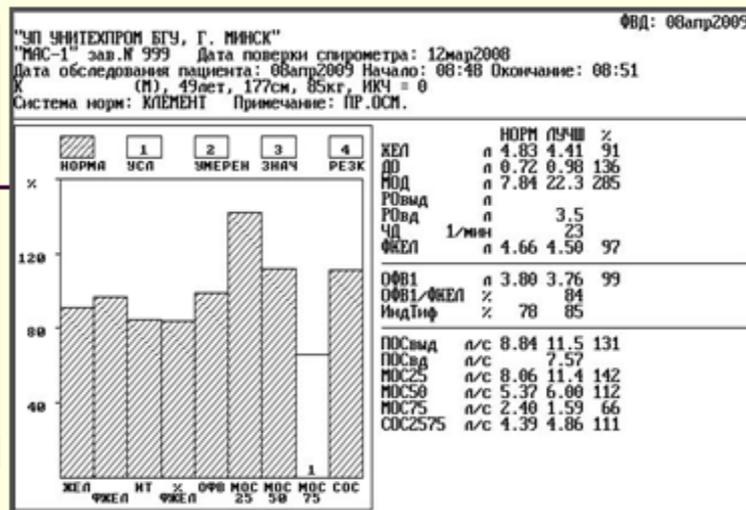
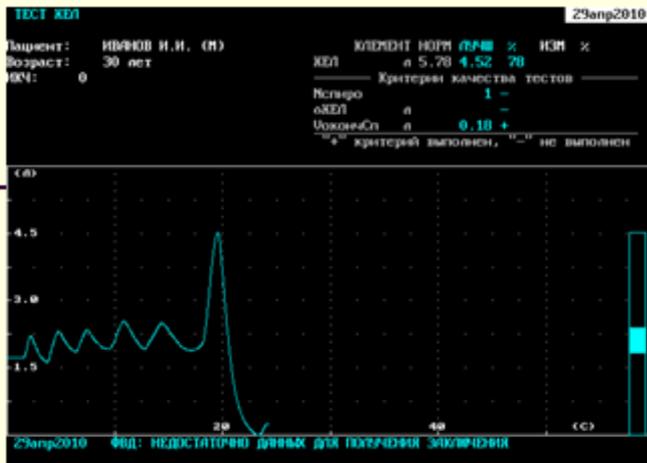
Спирометрия

лёгочные объёмы
(в литрах - ВТПС)



Процедура определения параметров легкого пациента с помощью спирометра называется спирометрией и дает возможность получить множество полезной информации о дыхательной системе человека, что, в свою очередь, способствует установке верного диагноза.

Спирометр MAC-1





Благодарю за внимание !