

**Волгоградский государственный  
медицинский университет  
Кафедра нормальной физиологии**

# **Внешнее дыхание**

**Кудрин Р.А.**

# План

1. Дыхание, его значение. Органы дыхания.
2. Основные этапы процесса дыхания.
3. Дыхательный цикл. Механизм вдоха и выдоха.
4. Объёмные характеристики внешнего дыхания.
5. Газообмен в лёгких, его физические и биологические закономерности.

# 1. Дыхание, его значение. Органы дыхания

Организм человека может нормально существовать только при постоянном поступлении энергии, необходимой для всех процессов жизнедеятельности.

Основным источником энергии является химическая энергия питательных веществ, которая освобождается в организме в результате окислительных процессов.

Поэтому организм человека нуждается в постоянном поступлении кислорода из окружающей среды.

# 1. Дыхание, его значение. Органы дыхания

В результате окисления органических веществ в клетках образуется *углекислый газ*, который удаляется в окружающую среду.

Таким образом, **дыхание** – это совокупность процессов, которая обеспечивает поступление кислорода в организм, окисление субстратов в клетках и удаление, образовавшегося при этом углекислого газа из организма.

Дыхание осуществляется при помощи **органов дыхания**, которые представляют **воздухоносные пути** (*носовая полость, глотка, гортань, трахея, бронхи*) и **дыхательную часть** (*лёгкие*).

Носовая  
полость

Ротовая  
полость

Глотка

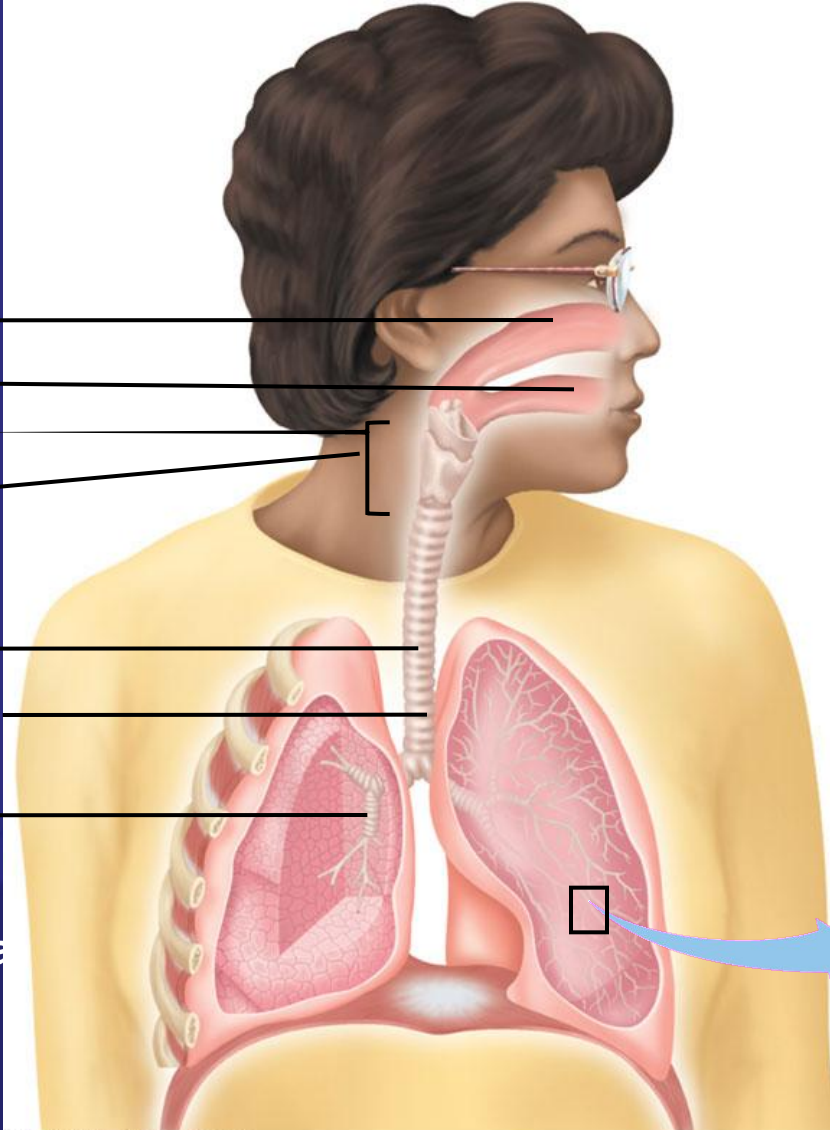
Гортань

Трахея

Хрящевые  
кольца

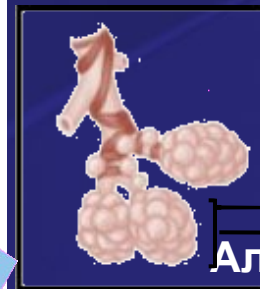
Правый  
бронх

Бронхиола



Терминальные  
бронхиолы

Респираторные  
бронхиолы



Альвеолы

Терминальные  
бронхиолы

# 1. Дыхание, его значение. Органы дыхания

Особенностью *строения дыхательных путей* является наличие *хрящевого остова* (в результате стенки дыхательной трубки не спадаются) и *мерцательного эпителия*, выстилающего слизистую оболочку (его реснички колеблются по направлению движения выдыхаемого воздуха и изгоняют вместе со слизью инородные частицы, загрязняющие дыхательные пути).

# 1. Дыхание, его значение. Органы дыхания

**Полость носа** образована *лицевыми костями* и хрящами и поделена носовой перегородкой на 2 симметричные половины, которые сообщаются с атмосферой через нос, а сзади – с глоткой при помощи хоан.

Слизистая оболочка содержит *слизистые железы*, секрет которых обволакивает частички пыли, увлажняет воздух и согревает его (слизистая оболочка богата поверхностно расположенными кровеносными сосудами). Носовая полость также выполняет функцию обоняния, так как слизистая оболочка выстлана обонятельным эпителием.

# 1. Дыхание, его значение. Органы дыхания

*Из полости носа вдыхаемый воздух попадает в носоглотку, далее в ротовую часть глотки и затем в гортань.*

**Гортань** находится на уровне IV-VI шейных позвонков. Она образована хрящами, соединёнными между собой суставами, связками и поперечно-полосатыми мышцами.

Внутреннюю поверхность гортани выстилает слизистая оболочка.



# 1. Дыхание, его значение. Органы дыхания

Сзади гортани находится *глотка*, с которой гортань сообщается при помощи отверстия, называемого входом в гортань. В *средней* части гортани находятся *голосовые связки*.

Вдыхаемый воздух вызывает их колебание, в результате чего появляются звуки различного тона и силы.

# 1. Дыхание, его значение. Органы дыхания

Внизу гортань переходит в *дыхательное горло* или *трахею*.

**Трахея** представляет собой хрящевую трубку (состоит из 15-20 гиалиновых хрящевых полуколец, соединённых кольцевыми связками) длиной 11-13 см, расположенной на уровне нижнего края VI шейного и IV-V грудного позвонков.

Здесь трахея делится на два **главных бронха** (правый и левый).

# 1. Дыхание, его значение. Органы дыхания

Каждый из главных **бронхов** входит в ворота правого или левого лёгкого и разделяется (по числу основных долей лёгкого) на **долевые бронхи** (3 ветви - в правом и 2 ветви - в левом лёгком).

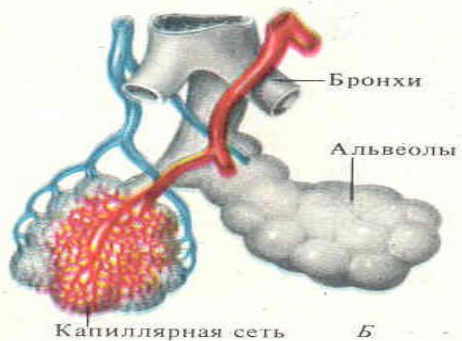
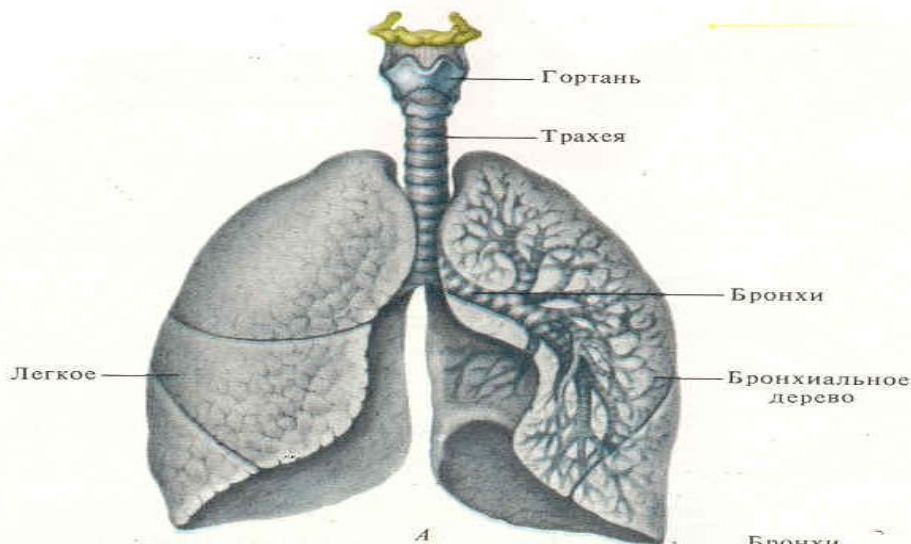
Эти крупные бронхиальные ветви разветвляются на более мелкие или сегментарные бронхи, которые, продолжая делиться, образуют **бронхиальное дерево**.

# 1. Дыхание, его значение. Органы дыхания

По мере деления бронхов происходит уменьшение их калибра, уменьшение хрящевых пластин и увеличение мышечной пластинки слизистой. В мелких бронхах исчезают хрящевые пластинки и железы.

**Лёгкие** располагаются в грудной полости, по обеим сторонам сердца. Имеют вид половины усечённого конуса, разрезанного пополам от вершины до основания. Основание обращено вниз и прилегает к диафрагме. Закруглённая верхушка лёгкого обращена вверх.

# 1. Дыхание, его значение. Органы дыхания



# 1. Дыхание, его значение. Органы дыхания

На вогнутой поверхности, обращённой к средостению, находятся ворота лёгкого, куда входят бронхи, артерии и нервы и откуда выходят вены и лимфатические сосуды.

Наружная выпуклая поверхность лёгкого прилегает к рёбрам.

Правое лёгкое состоит из 3-х долей, отделённых междолевыми бороздами.

Левое - из 2-х долей, разделённых междолевой бороздой.

# 1. Дыхание, его значение. Органы дыхания

Доли лёгкого состоят из сегментов, которые образованы дольками. *Морфологической и функциональной единицей* лёгкого является *ацинус* (12-18 ацинусов образуют одну лёгочную дольку).

Он начинается *респираторными бронхиолами*, которые переходят в разветвления *конечных бронхиол*.

Каждая *респираторная бронхиола* подразделяется на *альвеолярные ходы*, которые заканчиваются *альвеолярными мешочками*.

# 1. Дыхание, его значение. Органы дыхания

На стенках альвеолярных ходов и мешочков располагается несколько десятков альвеол.

*Альвеолы* имеют вид открытого пузырька и тесно примыкают друг к другу.

Ветви лёгочных артерий, сопровождая бронхиальное дерево, доходят до альвеол, где образуют капиллярную сеть. Альвеолярные капилляры собираются в посткапиллярные венулы, а затем в венулы, которые, сливаясь, образуют лёгочные вены. Такие морфологические особенности обеспечивают оптимальные условия для обмена газов между воздухом альвеол и кровью, протекающей в капиллярах.

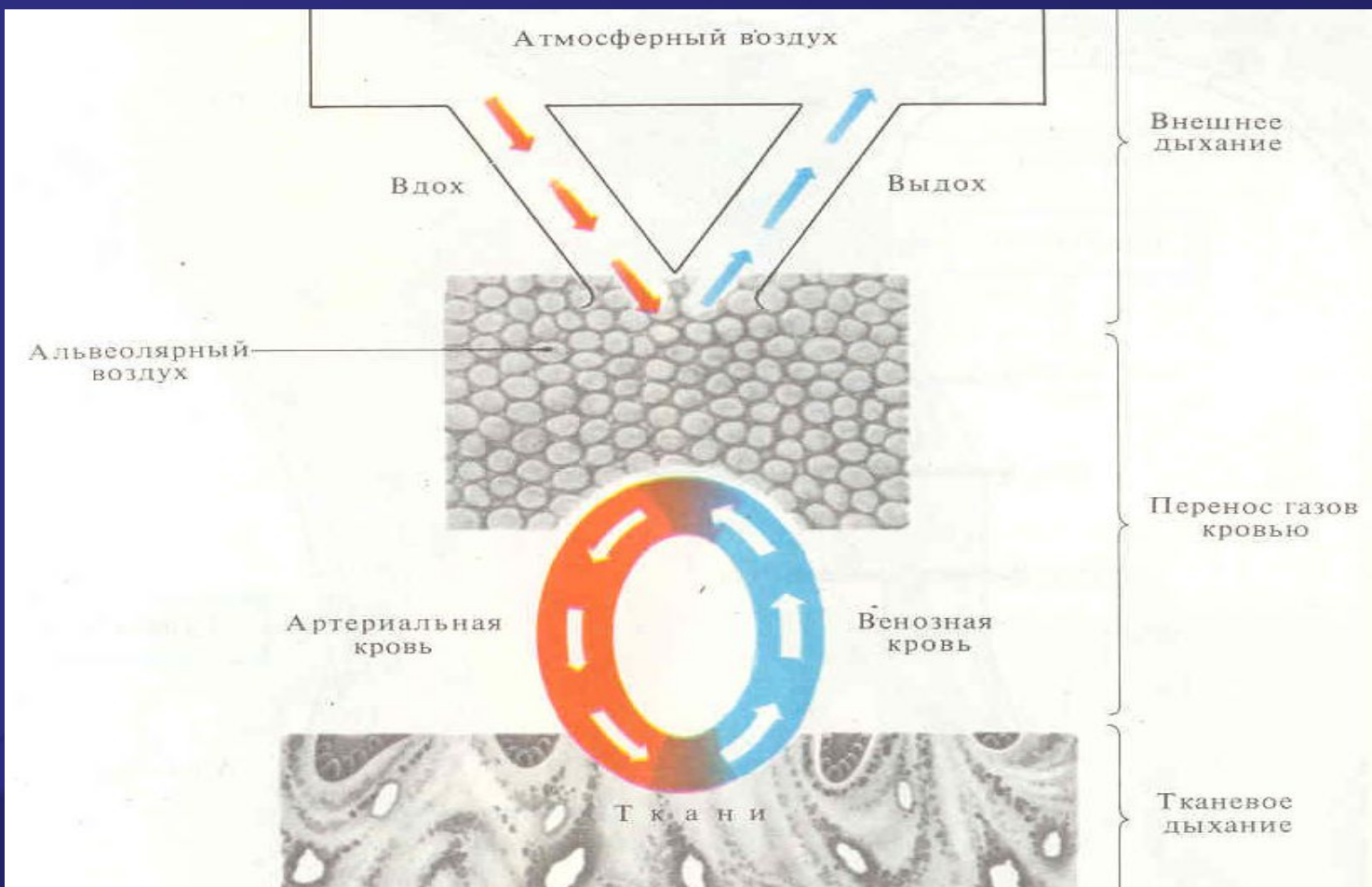


## 2. Основные этапы процесса дыхания

Дыхание включает следующие этапы:

1. **Внешнее дыхание** – обмен воздуха между внешней средой и альвеолами лёгких.
2. **Газообмен в лёгких** – газообмен между альвеолярным воздухом и кровью в лёгочных капиллярах.
3. **Транспорт газов кровью** – перенос газов кровью к тканям.
4. **Газообмен в тканях** – газообмен между кровью и тканями в тканевых капиллярах.
5. **Клеточное дыхание** – окисление органических веществ в клетках.

## 2. Основные этапы процесса дыхания



### 3. Дыхательный цикл. Механизм вдоха и выдоха

*Внешнее дыхание* включает в себя обмен воздуха между окружающей средой и лёгкими.

*Атмосферный воздух*, насыщенный кислородом, поступает в лёгкие через *воздухоносные пути* во время *вдоха*.

*При выдохе* альвеолярный воздух, насыщенный углекислым газом, удаляется по тем же путям в окружающую среду.

**Вдох** обеспечивается сокращением ***инспираторных дыхательных мышц.***

### 3. Дыхательный цикл. Механизм вдоха и выдоха

Различают основные и вспомогательные дыхательные мышцы.

**К основным** относят диафрагму и межрёберные мышцы, обеспечивающие вентиляцию лёгких в физиологических условиях.

**К вспомогательным** относятся мышцы шеи, часть мышц верхнего плечевого пояса, мышцы брюшного пресса, принимающие участие в форсированном вдохе или выдохе в обстоятельствах, затрудняющих вентиляцию лёгких.

### 3. Дыхательный цикл. Механизм вдоха и выдоха

В результате сокращения *наружных косых межрёберных и межхрящевых мышц* рёбра поднимаются вверх, разворачиваясь вокруг оси, отходят в стороны, грудина отходит вперед.

Объём грудной клетки увеличивается во *фронтальном и сагиттальном направлениях*.

Диафрагма, сокращаясь, *уплощается* (опускается вниз) и объём грудной клетки увеличивается в *вертикальном направлении*.

### 3. Дыхательный цикл. Механизм вдоха и выдоха

**Листки плевры** следуют за грудной клеткой и диафрагмой (*париетальный* листок плотно спаян со стенкой грудной клетки и диафрагмой, *висцеральный* – с тканью лёгкого, между ними действуют молекулярные силы сцепления, прижимающие их друг к другу).

В результате *лёгкие пассивно* следуют за увеличивающейся в размерах *грудной клеткой* и **объём лёгких увеличивается, внутрилегочное давление падает.**

### 3. Дыхательный цикл. Механизм вдоха и выдоха

**Атмосферное давление** становится **больше внутрилёгочного** и по градиенту давлений происходит пассивное **заполнение лёгких воздухом**.

*Чем больше градиент давлений (определяется степенью сокращения дыхательной мускулатуры, а, следовательно, и степенью увеличения объёма грудной клетки), тем **большой объём воздуха** поступает в лёгкие.*

### 3. Дыхательный цикл. Механизм вдоха и выдоха

**Выдох** наступает в результате **расслабления дыхательной мускулатуры рёбра** (в силу тяжести) опускаются вниз, грудина возвращается назад, диафрагма вновь принимает куполообразную форму (под давлением брюшных органов).

Объём грудной клетки уменьшается (во **фронтальном, сагиттальном и вертикальном направлениях**).

Листки плевры следуют за *грудной клеткой и диафрагмой*.

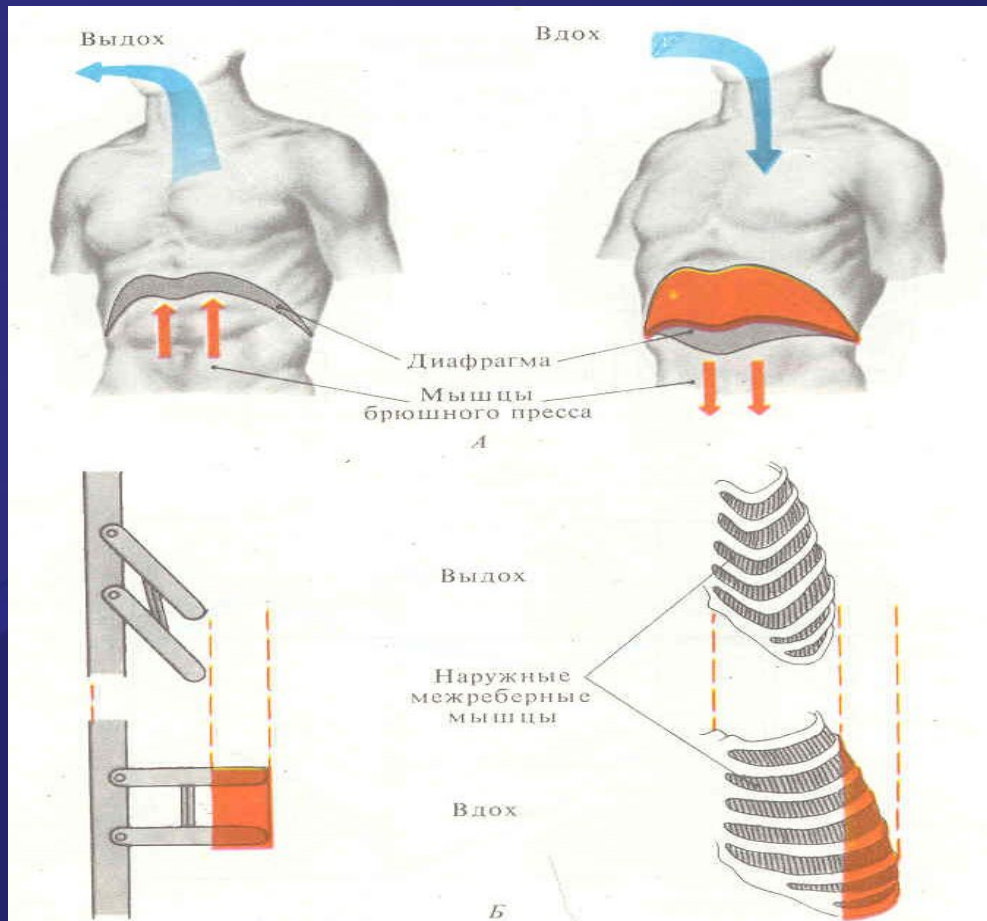


### 3. Дыхательный цикл. Механизм вдоха и выдоха

**Объём лёгких уменьшается, внутрилегочное давление увеличивается, становится больше атмосферного и по градиенту давлений воздух выходит из лёгких.**

Следовательно, спокойный вдох – активный процесс, а спокойный выдох – пассивный.

# 3. Дыхательный цикл. Механизм вдоха и выдоха



### 3. Дыхательный цикл. Механизм вдоха и выдоха

Давление в плевральной полости всегда ниже атмосферного - **отрицательное давление**.

Величина отрицательного давления в плевральной полости:

к концу максимального выдоха - 1-2 мм рт. ст.,

к концу спокойного выдоха - 2-3 мм рт. ст.,

к концу спокойного вдоха - 5-7 мм рт. ст.,

к концу максимального вдоха - 15-20 мм рт. ст.

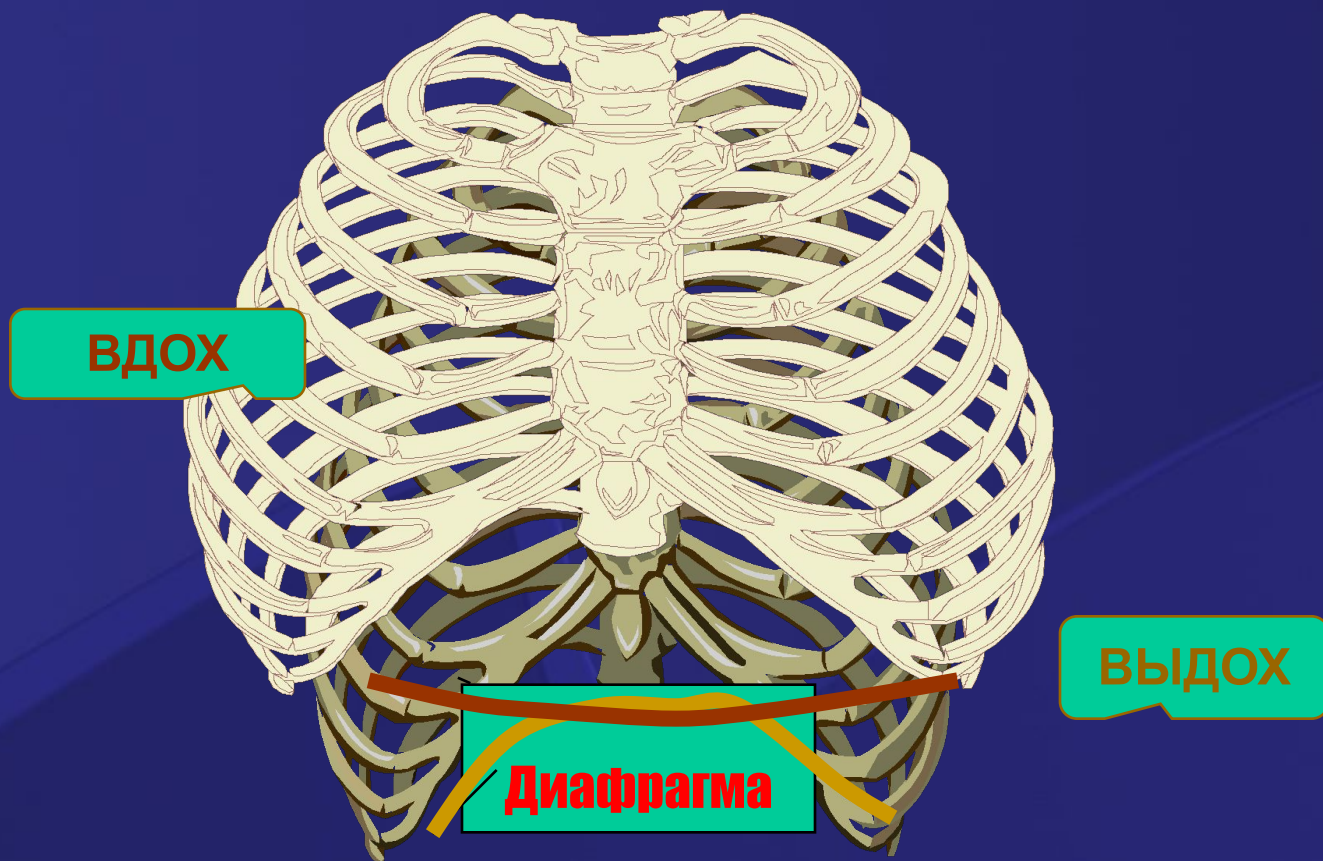
### 3. Дыхательный цикл. Механизм вдоха и выдоха

Отрицательное давление в плевральной полости обусловлено так называемой **эластической тягой лёгких - силой**, с которой лёгкие постоянно стремятся уменьшить свой объём.

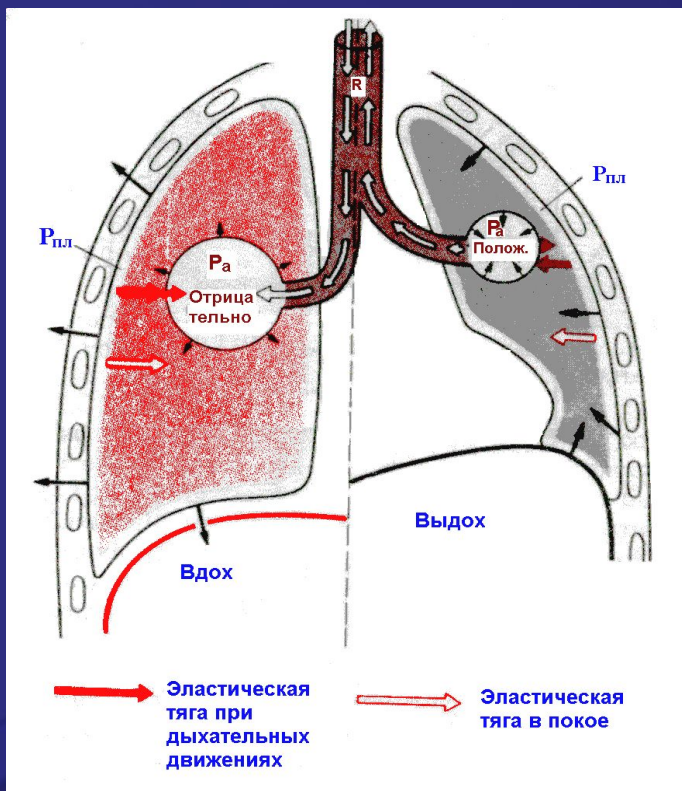
Эластическая тяга лёгких обусловлена:

- 1) поверхностным натяжением плёнки жидкости, покрывающей внутреннюю поверхность альвеол;
- 2) упругостью ткани стенок альвеол вследствие наличия в них эластических волокон;
- 3) тонусом бронхиальных мышц.

# Изменения формы грудной клетки при вдохе и выдохе



# 3. Дыхательный цикл. Механизм вдоха и выдоха



Транспульмональное давление:

$$P_{\text{трп}} = P_{\text{альв}} - P_{\text{плевр}}$$

На вдохе  $P_{\text{плевр}} = -9 \text{ мм Нг}$

Перед вдохом  $P_{\text{плевр}} = -3 \text{ мм Нг}$

На выдохе  $P_{\text{плевр}} = +4-10 \text{ мм Нг}$

Трансреспираторное давление:

$$P_{\text{трр}} = P_{\text{альв.}} - P_{\text{внешн.}}$$

На вдохе:  $P_{\text{трр}} = 756 - 760 = -4 \text{ мм Нг}$

На выдохе:  $P_{\text{трр}} = 764 - 760 = +4 \text{ мм Нг}$

**Эластическая тяга дыхания  
= эластическая тяга  
лёгких + эластическая  
тяга грудной клетки**

## 4. Объёмные характеристики внешнего дыхания

*Движение воздуха в лёгких во время дыхания называют лёгочной вентиляцией. Она характеризуется минутным объёмом дыхания.*

**Минутный объём дыхания** (МОД) – это то количество воздуха, которое проходит через лёгкие за одну минуту.

МОД зависит от величин **дыхательного объёма** и **частоты дыханий** в минуту.

**Дыхательный объём** – это то количество воздуха, которое поступает в лёгкие при одном спокойном вдохе.

## 4. Объёмные характеристики внешнего дыхания

Его величина, в среднем, составляет 500 мл, частота дыханий за минуту равна 16-20 и, следовательно, минутный объём дыхания, в среднем, составляет 6-8 л.

Однако, не весь воздух, поступивший в органы дыхания, принимает участие в газообмене. Часть воздуха заполняет воздухоносные пути (гортань, трахею, бронхи, бронхиолы) и не доходит до альвеол, поскольку при выдохе первым покидает организма.



## 4. Объёмные характеристики внешнего дыхания

Этот воздух получил название – **воздух вредного пространства**. Его объём, в среднем, составляет 140-150 мл. Поэтому вводится понятие эффективная лёгочная вентиляция.

**Это то количество воздуха за одну минуту, которое принимает участие в газообмене.**

*Эффективная лёгочная вентиляция при одном и том же минутном объёме дыхания может быть различной. Так, чем больше дыхательный объём, тем меньше относительный объём воздуха вредного пространства. Поэтому редкое и глубокое дыхание более эффективно для снабжения организма кислородом, так как вентиляция альвеол увеличивается.*

## 4. Объёмные характеристики внешнего дыхания

*Характеризует резервные возможности внешнего дыхания **жизненная ёмкость лёгких (ЖЕЛ)**.*

Это тот объём воздуха, который человек максимально может вдохнуть после максимального глубокого выдоха. В среднем это величина составляет **3500 мл**. Чем выше жизненная ёмкость, тем лучше снабжается организм кислородом. Жизненная ёмкость лёгких, как правило, выше у мужчин и у физически тренированных лиц.

# Легочные объёмы и ёмкости

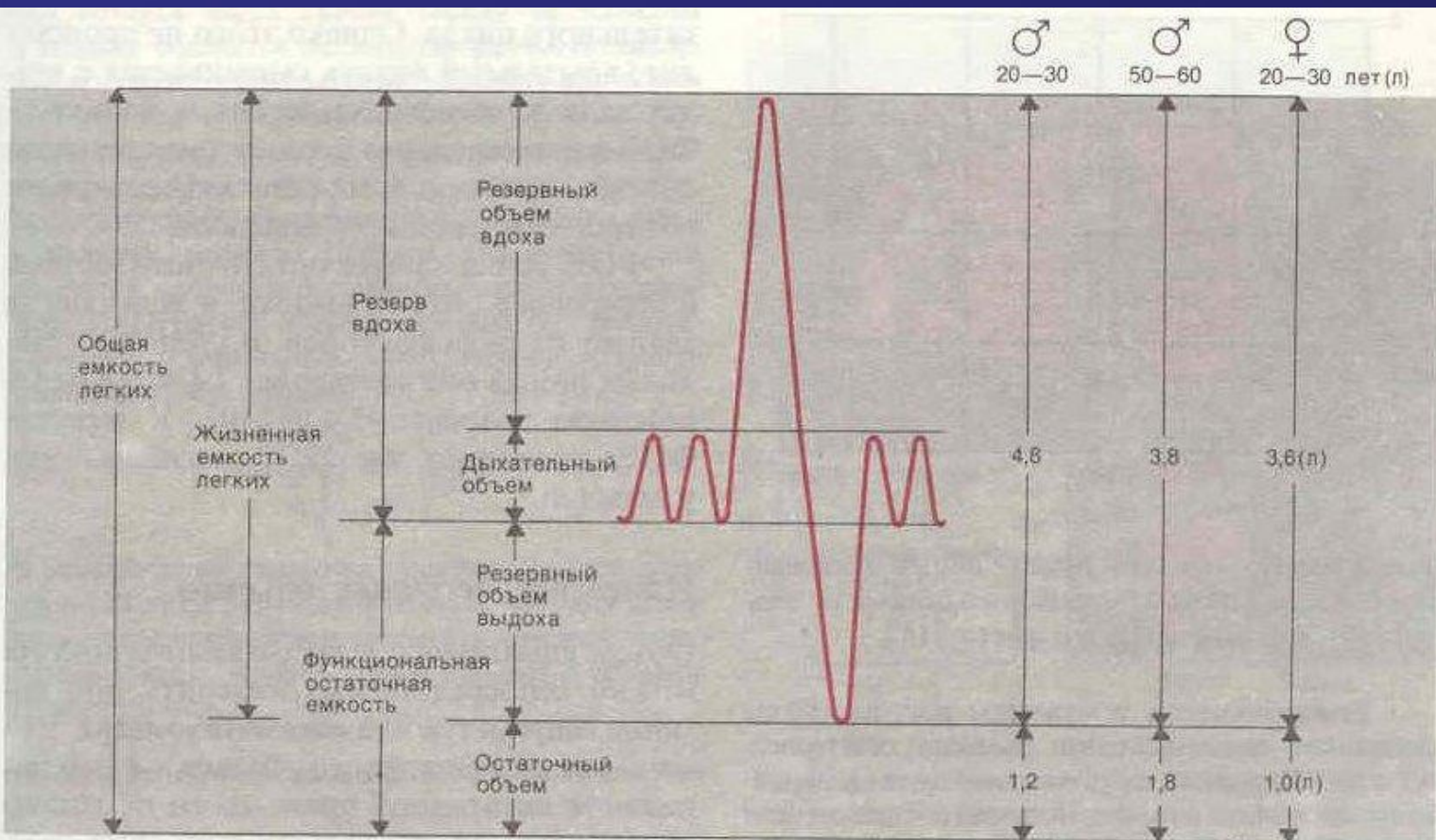
## Лёгочные объёмы:

1. Дыхательный объём (ДО) = 500 мл
2. Резервный объём вдоха ( $PO_{\text{вдоха}}$ ) = 1500-2500 мл
3. Резервный объём выдоха ( $PO_{\text{выдоха}}$ ) = 1000 мл
4. Остаточный объём (ОО) = 1000 -1500мл

## Лёгочные ёмкости:

- общая ёмкость лёгких (ОЕЛ) = (1+2+3+4) = 4-6 литров
- жизненная ёмкость лёгких (ЖЕЛ) = (1+2+3) = 3,5-5 литров
- функциональная остаточная ёмкость лёгких (ФОЕ) = (3+4) = 2-3 литра
- ёмкость вдоха (ЕВ) = (1+2) = 2-3 литра

# 4. Объёмные характеристики внешнего дыхания



## 5. Газообмен в лёгких, его физические и биологические закономерности

*В лёгких совершается обмен  $O_2$  и  $CO_2$  между воздухом и кровью. Этот обмен происходит благодаря разнице парциального давления газов в альвеолярном воздухе и в крови, протекающей в капиллярах лёгких.*

*Диффузия газов из окружающей среды в жидкость подчиняется законам движения газов.*

## 5. Газообмен в лёгких, его физические и биологические закономерности

Если над жидкостью находится смесь газов, то каждый газ растворяется в жидкости соответственно его парциальному давлению, то есть тому давлению, которое приходится на его долю от общего давления смеси газов. Парциальное давление пропорционально содержанию каждого газа в смеси.

При **атмосферном** давлении 760 мм рт. ст. и температуре 22 С° парциальное давление кислорода воздуха умеренной влажности составляет 21 % от 760 мм рт. ст. и равно 159 мм рт. ст.

## 5. Газообмен в лёгких, его физические и биологические закономерности

В тех же условиях парциальное давление углекислого газа составляет 0,03 % от 760 мм рт. ст. и равно 0,23 мм рт. ст.

Остальная часть атмосферного давления приходится на азот, пары воды и инертные газы.

*В альвеолярном воздухе* содержится  $O_2$  – 14 %,  $CO_2$  – 6 % и присутствует большее количество воды.

*Поэтому здесь парциальное давление  $O_2 = 105$ , а  $pCO_2 = 40$  мм рт. ст.*

## 5. Газообмен в лёгких, его физические и биологические закономерности

*Парциальное давление* газов в крови называется их напряжением.

Оно также пропорционально содержанию газа в крови.

Альвеолярный воздух непосредственно не соприкасается с кровью, так как отделён от неё тканевыми мембранами.

Однако анатомо-физиологические особенности лёгких создают благоприятные условия для газообмена.



## 5. Газообмен в лёгких, его физические и биологические закономерности

*В притекающей к альвеолам лёгких венозной крови  $pO_2$  ниже, чем в альвеолярном воздухе, и не превышает 40 мм рт. ст., а  $pCO_2$ , наоборот, выше и равно 46 мм рт. ст.*

*Благодаря градиенту давлений происходит диффузия  $CO_2$  из венозной крови в альвеолярный воздух и  $O_2$  - наоборот, из альвеол в кровь.*

## 5. Газообмен в лёгких, его физические и биологические закономерности

В оттекающей от альвеол *артериальной крови* парциальное напряжение  $O_2$  составляет 100 мм рт.ст. и  $pCO_2$  - 40 мм рт. ст.

Артериальная кровь направляется к *тканям*, где в процессе *тканевого дыхания* происходит утилизация  $O_2$  и образование  $CO_2$ .

В результате  $pO_2$  в тканях снижается до 20 мм рт. ст., а  $pCO_2$  увеличивается до 60 мм рт. ст.

## 5. Газообмен в лёгких, его физические и биологические закономерности

*Возникший градиент давлений* обеспечивает переход  $O_2$  из артериальной крови в ткани и, наоборот,  $CO_2$  - от тканей в кровь образовавшаяся **венозная кровь** направляется к альвеолам лёгких, где она вновь отдает  $CO_2$  и обогащается кислородом.

После газообмена в альвеолах воздух проходит через воздухоносные пути и смешивается с воздухом вредного пространства, который не принимает участия в газообмене.

## 5. Газообмен в лёгких, его физические и биологические закономерности

Поэтому *выдыхаемый воздух* отличается от альвеолярного большим содержанием  $O_2$  (16 %) и меньшим содержанием  $CO_2$  (4 %)

Таким образом, для парциальных напряжений как  $O_2$ , так и  $CO_2$  существует **артерио-венозная разница**, которая характеризует различия в парциальных напряжениях газов в притекающей к тканям артериальной крови и оттекающей от них венозной крови.

## 5. Газообмен в лёгких, его физические и биологические закономерности

*Величина артерио-венозной разницы определяет степень утилизации  $O_2$  тканями и образование  $CO_2$ .*

Эта величина также зависит от общего содержания  $O_2$  и  $CO_2$  в организме.

## 5. Газообмен в лёгких, его физические и биологические закономерности

Атмосферный воздух:

$O_2$  — 20,93 %

$CO_2$  — 0,03 %

Альвеолярный воздух:

$O_2$  — 14 %

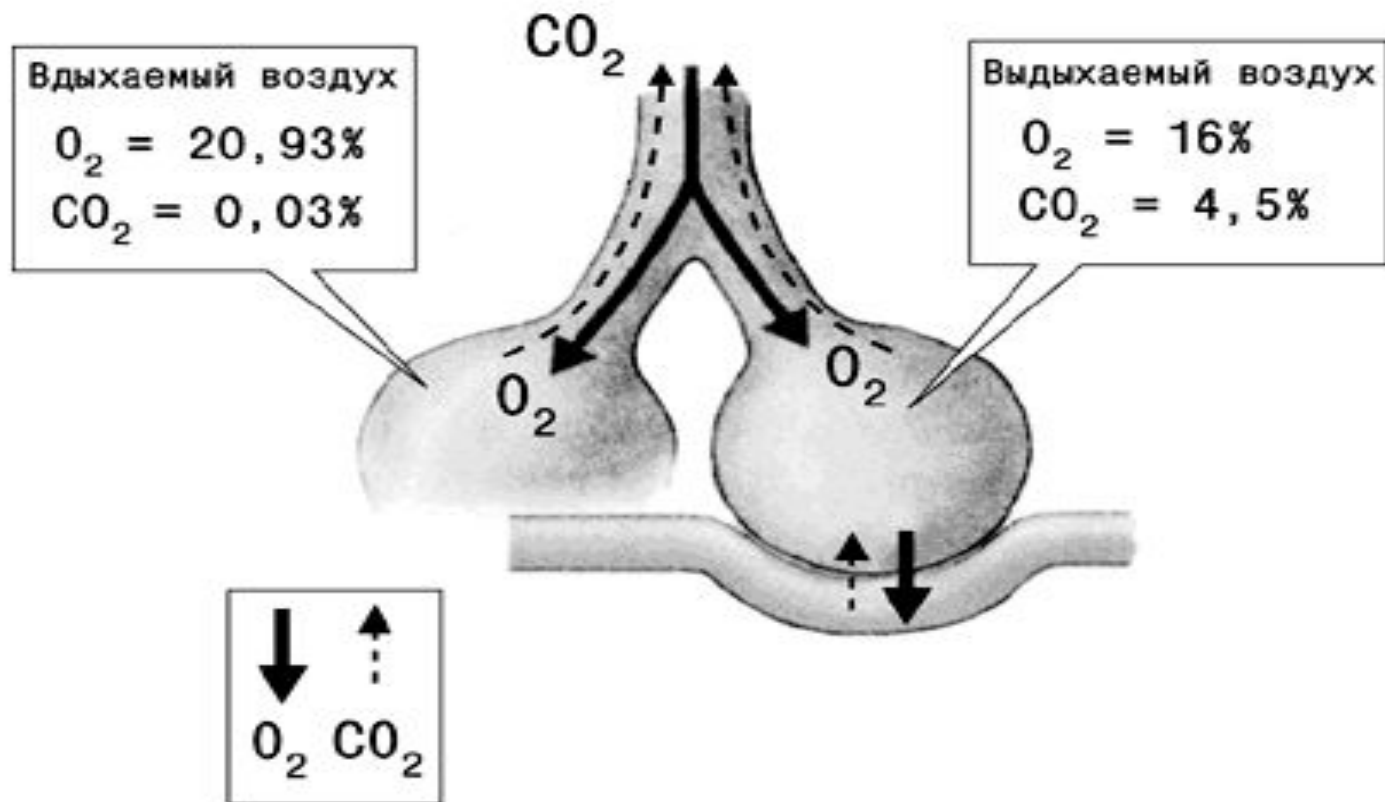
$CO_2$  — 6 %

Выдыхаемый воздух:

$O_2$  — 16 %

$CO_2$  — 4,5 %

## 5. Газообмен в лёгких, его физические и биологические закономерности



# 5. Газообмен в лёгких, его физические и биологические закономерности

Атмосферный воздух:

$pO_2=159$  мм рт. ст.,  $pCO_2=0,23$  мм рт. ст.

Альвеолярный воздух:

$pO_2=105$  мм рт. ст.,  $pCO_2=40$  мм рт. ст.

Венозная кровь:

$pO_2=40$  мм рт. ст.,  $pCO_2=46$  мм рт. ст.

Артериальная кровь:

$pO_2=100$  мм рт. ст.,  $pCO_2=40$  мм рт. ст.

Ткани:

$pO_2=20$  мм рт. ст.,  $pCO_2=60$  мм рт. ст.

Альвеолярный воздух:

$pO_2=105$  мм рт. ст.,  $pCO_2=40$  мм рт. ст.



**Спасибо за внимание!**

