

# СИСТЕМА ДЫХАНИЯ

---

*«Дышать ртом  
все равно, что есть носом»*

**Китайская мудрость**

**Дыхание** — обмен газов между организмом и окружающей средой. Оно заключается в поступлении кислорода и удалении углекислого газа.

В состоянии покоя человек потребляет в течение минуты 250 мл  $O_2$  и выделяет 230 мл  $CO_2$ .

**Значение дыхания** — обеспечение организма энергией.

**Источник энергии** — органические вещества, поступающие в организм с пищей, из которых дыхание высвобождает энергию.

**Механизм высвобождения энергии** — аэробное окисление.

# Этапы дыхания

## ВНЕШНЕЕ ДЫХАНИЕ

1. Газообмен между альвеолами и окружающей средой – вентиляция легких.
2. Газообмен между кровью организма и газовой смесью в легких.

## ВНУТРЕННЕЕ ДЫХАНИЕ

1. Транспорт газов кровью –  $O_2$  от легких к тканям;  $CO_2$  от тканей к легким.
2. Газообмен между кровью и тканями организма.
3. Потребление  $O_2$  тканями с образованием  $CO_2$  и воды – тканевое дыхание.

# Структура дыхательной системы

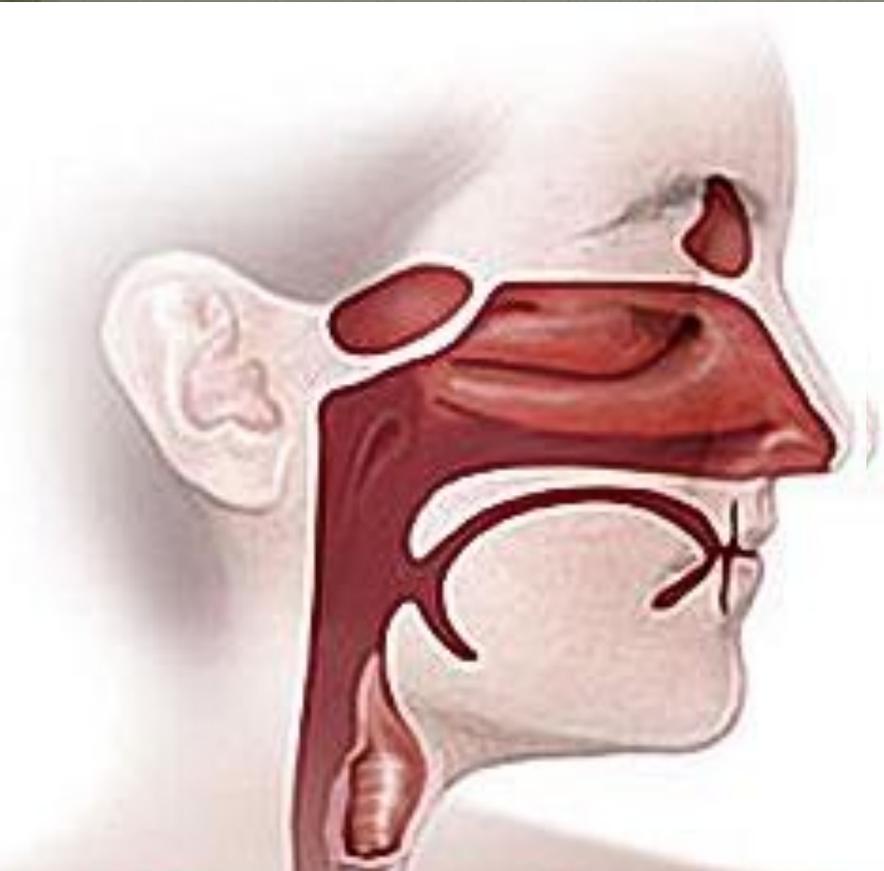
## ВНЕШНЕЕ ЗВЕНО СИСТЕМЫ

1. Легкие
2. Воздухоносные пути
3. Грудная клетка и дыхательные мышцы

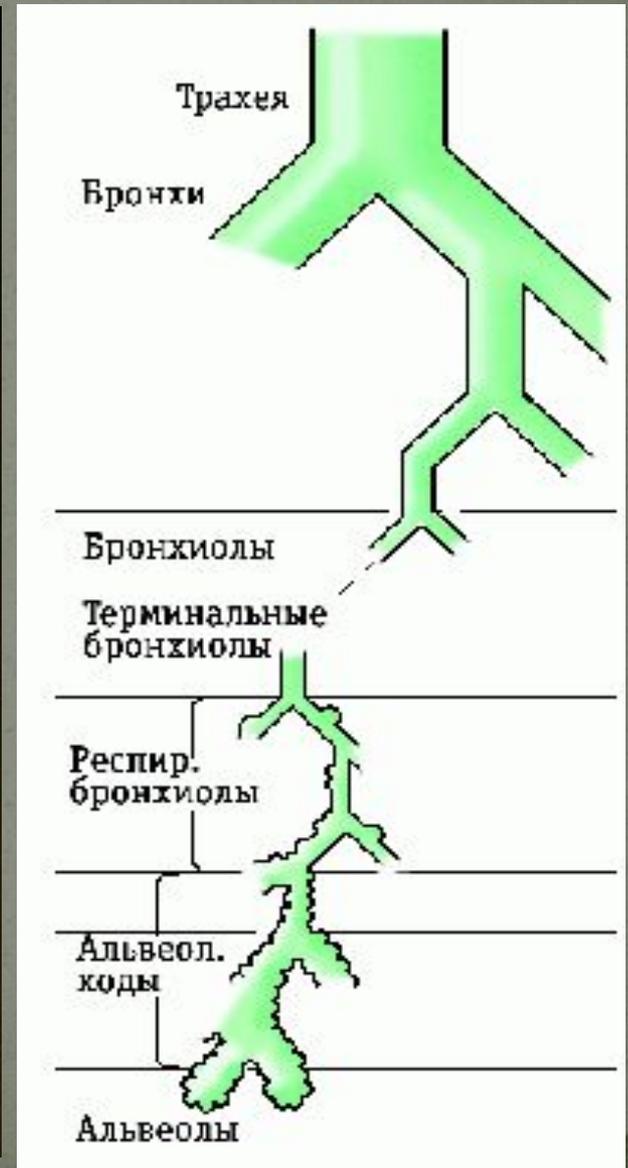
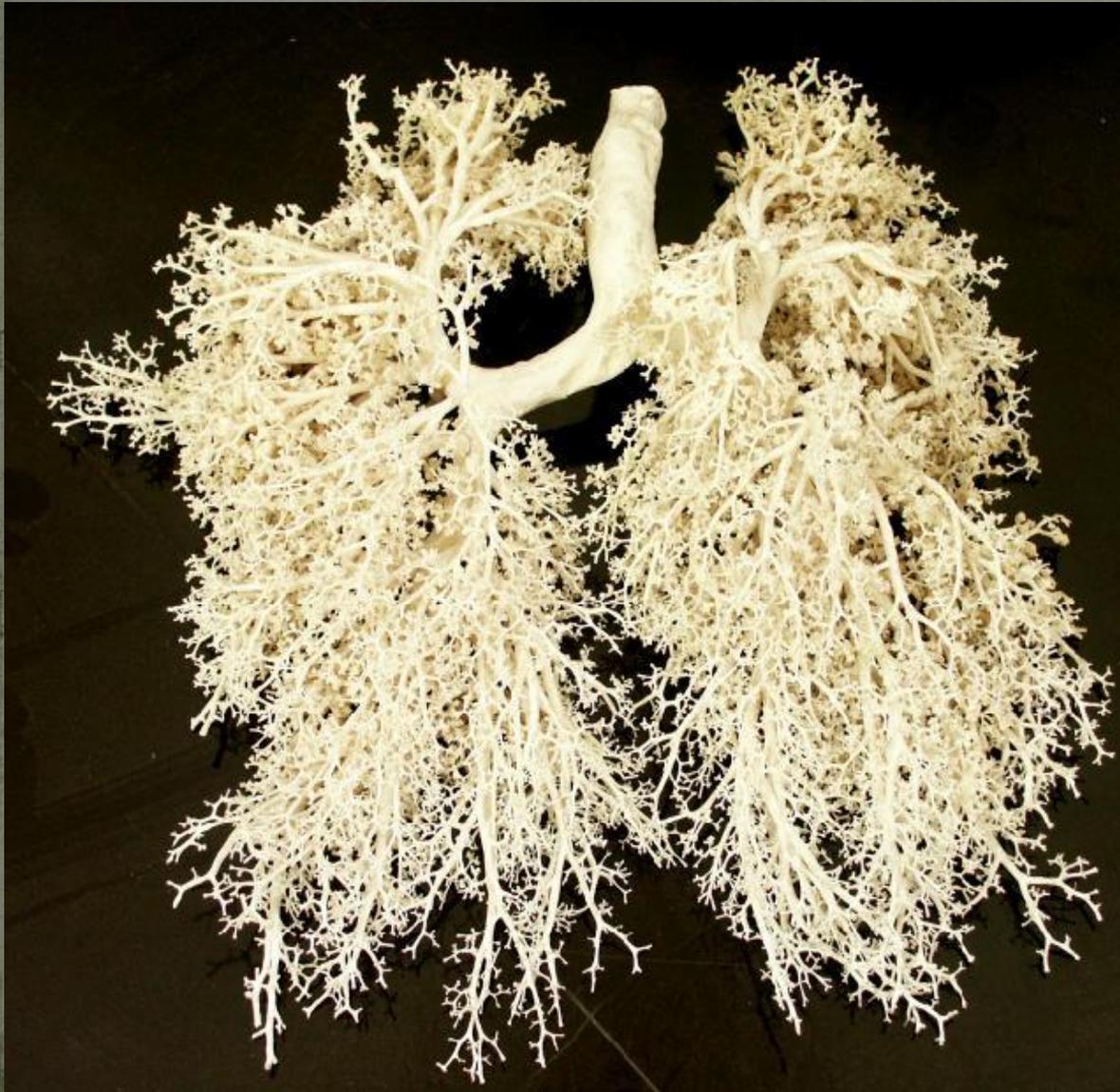
## ВНУТРЕННЕЕ ЗВЕНО СИСТЕМЫ

1. Кровь
2. Сердечнососудистая система
3. Органеллы клеток, обеспечивающих тканевое дыхание

# Структура дыхательной системы: верхние и нижние дыхательные пути



# Структура дыхательной системы: бронхиальное дерево (воздухоносные пути)



# ФУНКЦИИ ВОЗДУХОНОСНЫХ ПУТЕЙ

- Газообменная — доставка атмосферного воздуха в газообменную область.

- **Негазообменные функции:**

1. Очищение вдыхаемого воздуха.

2. Увлажнение вдыхаемого воздуха.

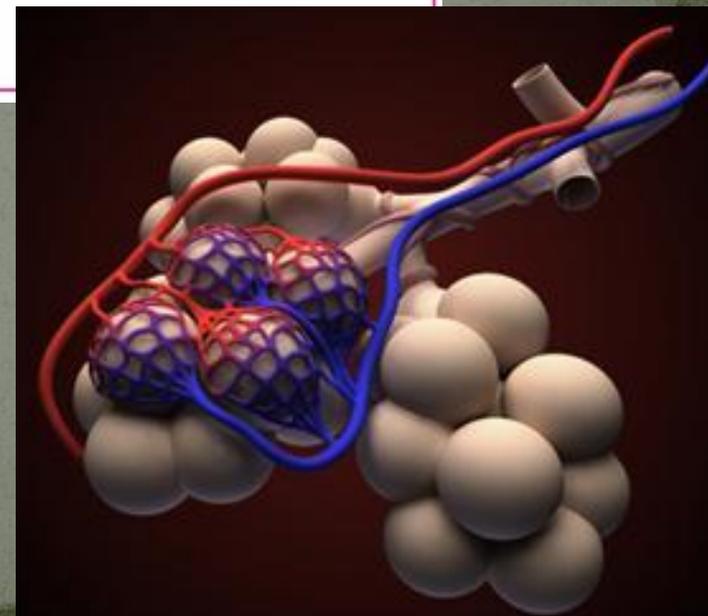
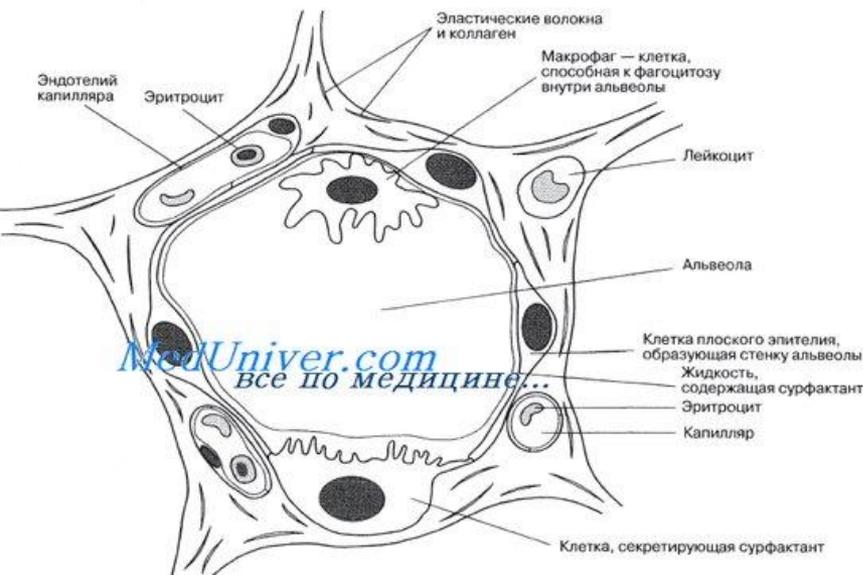
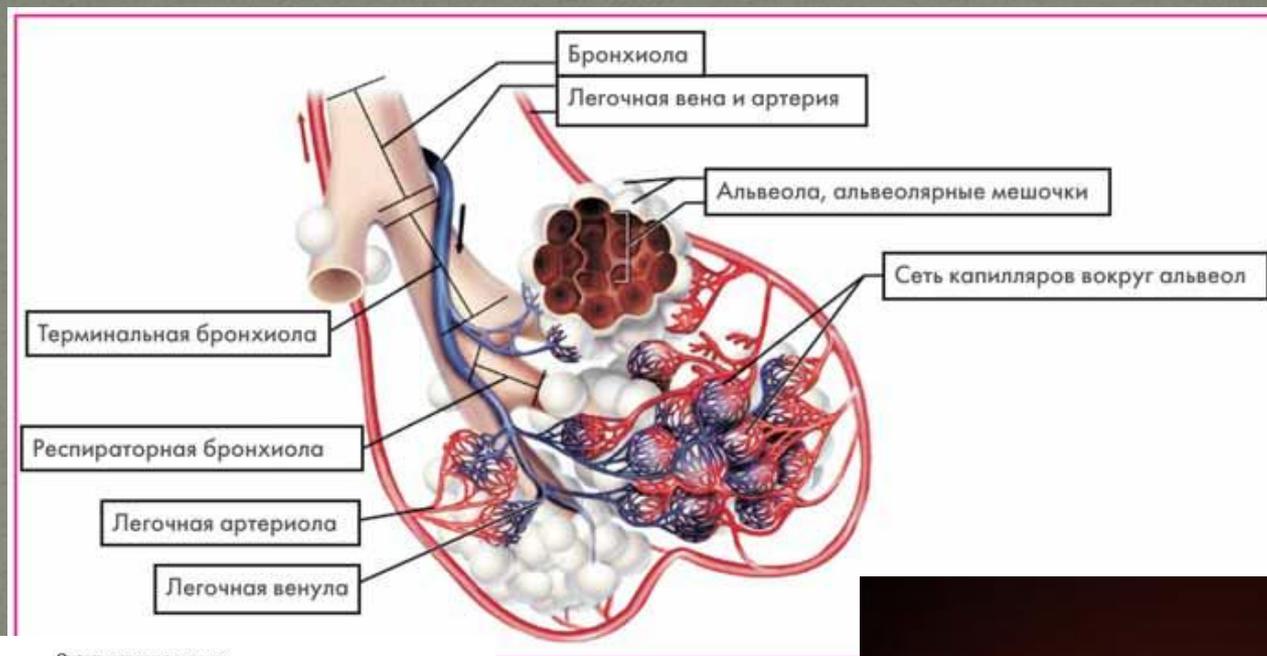
3. Инактивация биологически активных веществ в эндотелии легочных капилляров.

4. Согревание воздуха.

5. Терморегуляция — теплоиспарение, конвекция и теплопродукция.

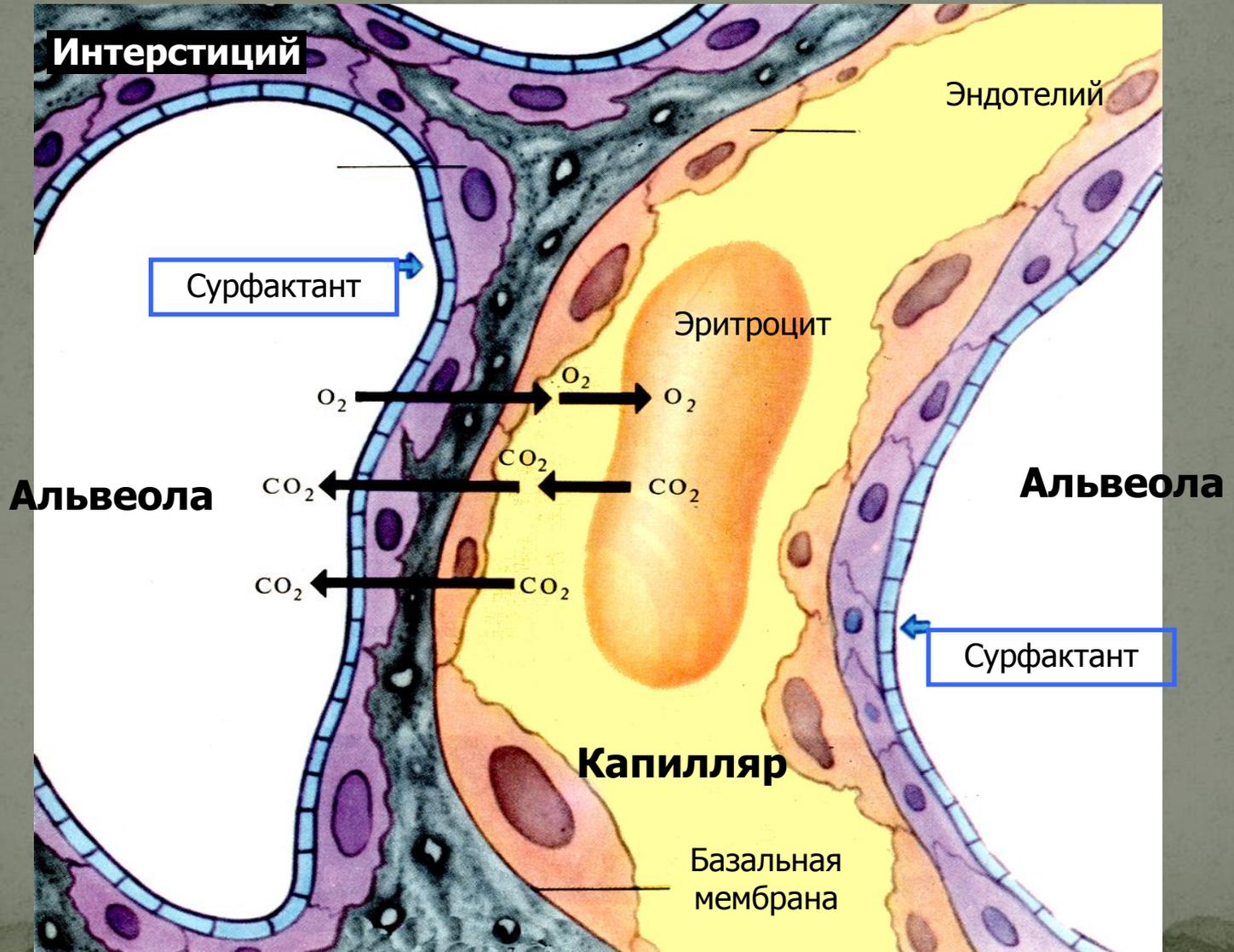


# Структура дыхательной системы: строение альвеол



# ГАЗООБМЕННАЯ ОБЛАСТЬ (АЭРОГЕМАТИЧЕСКИЙ БАРЬЕР)

Строение аэрогематического барьера

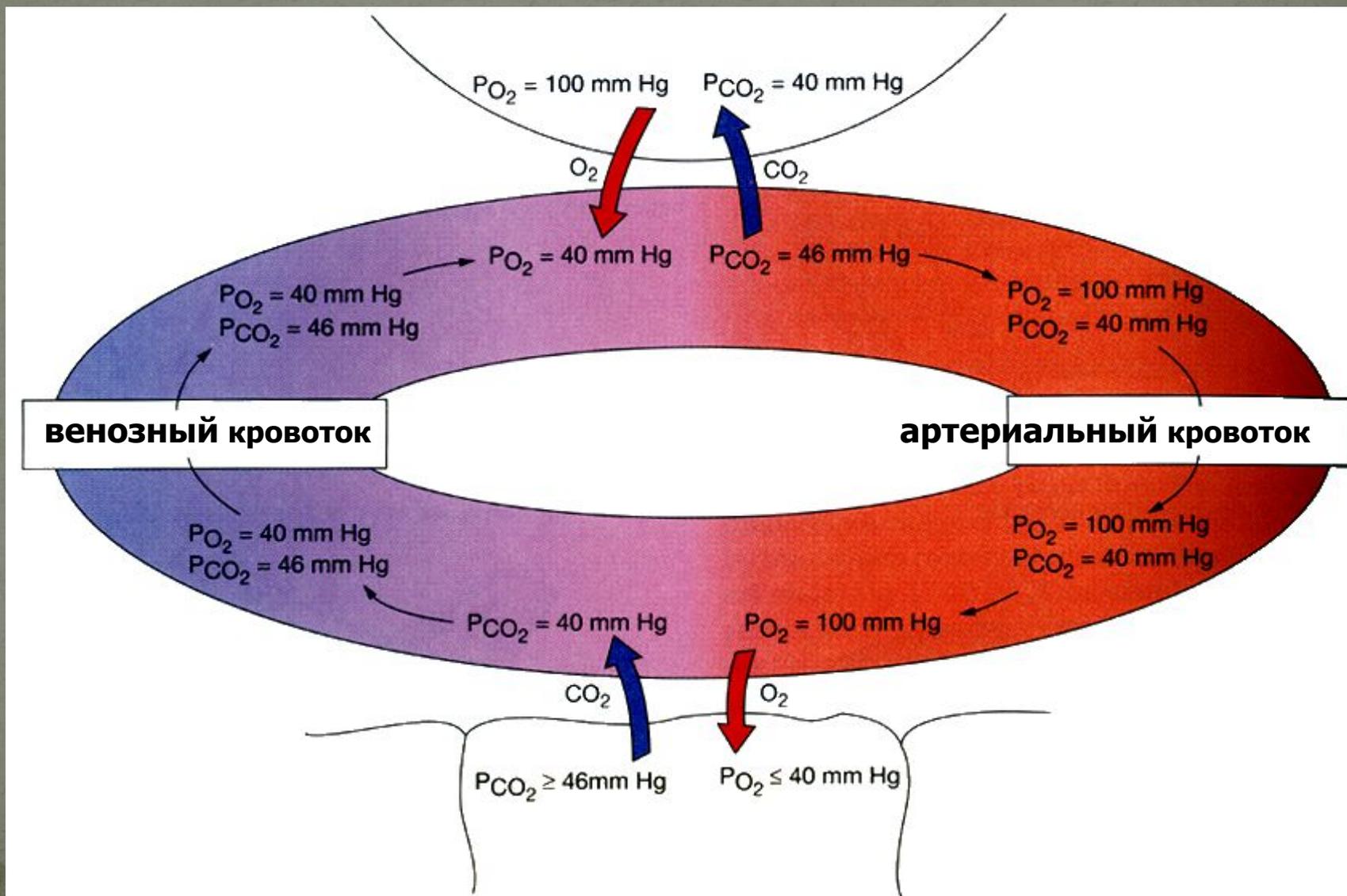


# Роль сурфактанта

1. Уменьшение поверхностного натяжения жидкости, покрывающей альвеолы в 10 раз – предотвращение спадения (ателектаза) альвеол и облегчение вдоха.
2. Защита – бактериостатическая активность; обратный транспорт пыли и микробов, защита стенок альвеол от действия окислителей; уменьшение проницаемости легочной мембраны.
3. Облегчение диффузии кислорода из альвеол в кровь.

# ФУНКЦИИ ЛЕГКИХ

- Газообмен между организмом и окружающей средой и выделение  $\text{CO}_2$ .

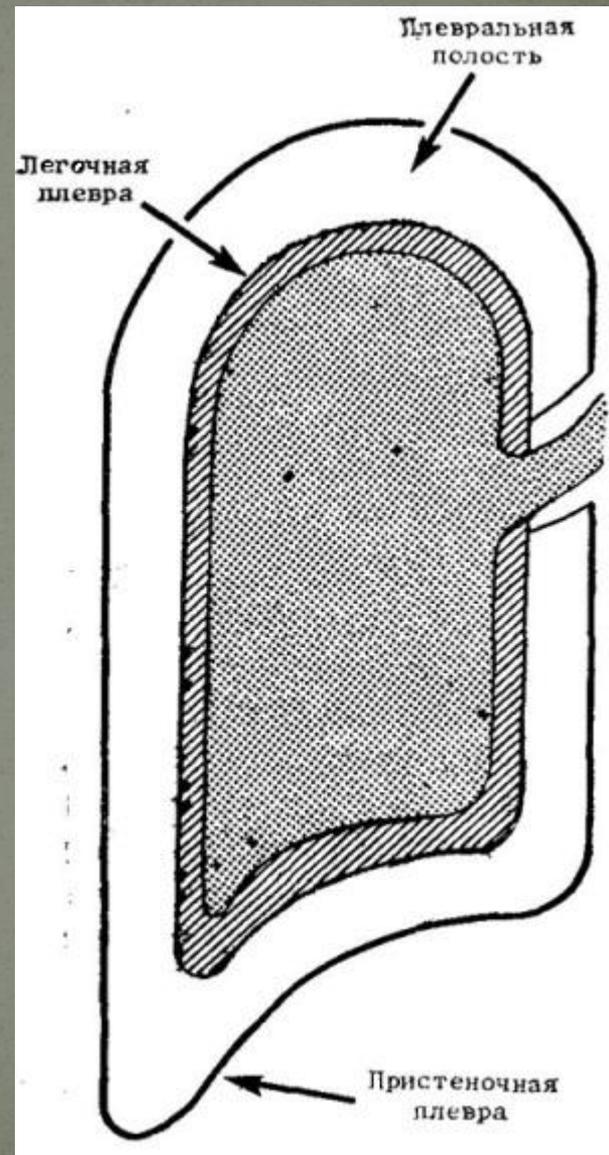
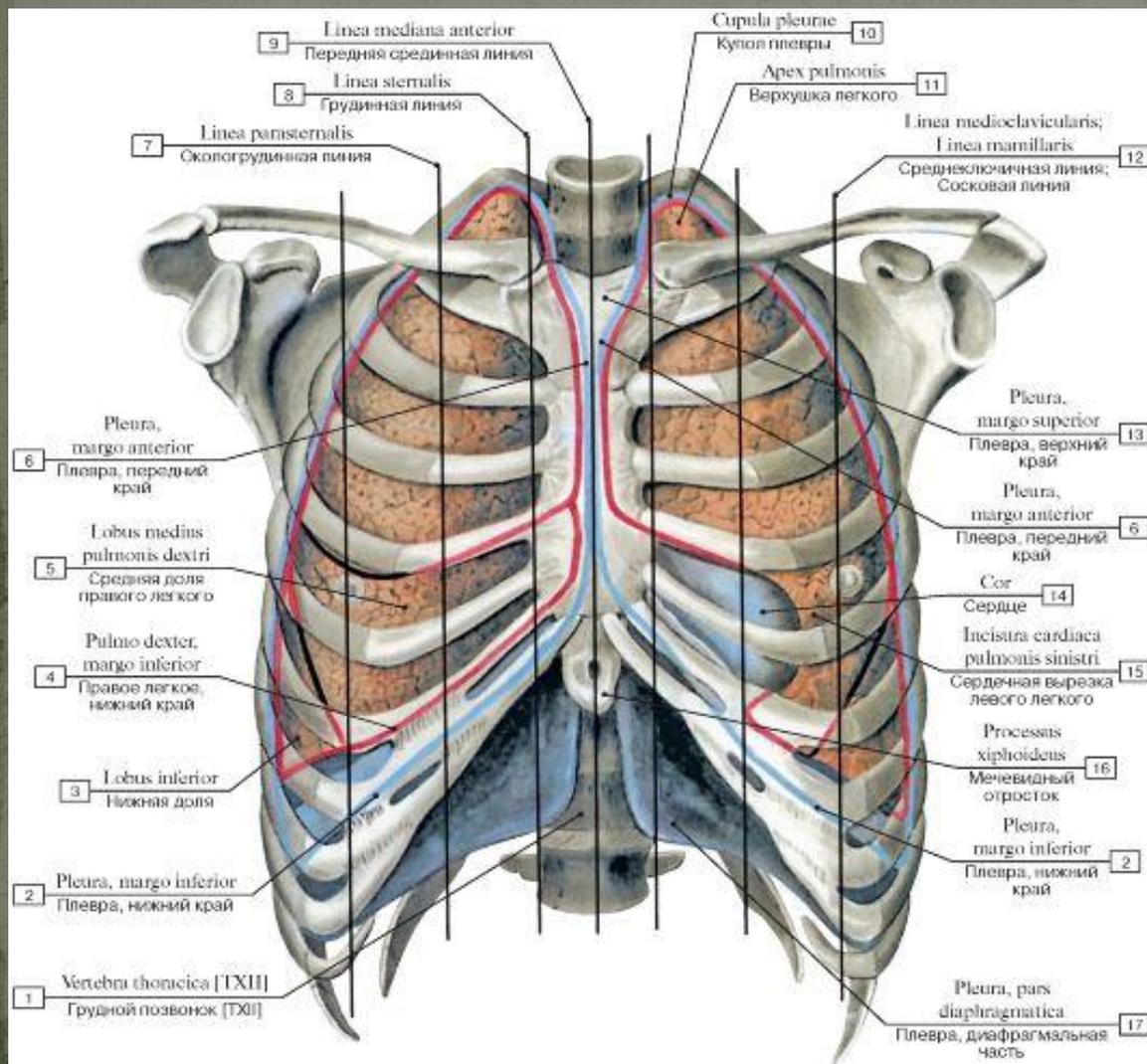


# ФУНКЦИИ ЛЕГКИХ

## Негазообменные функции:

1. Выделительная – удаление воды и летучих веществ.
2. Выработка биологически активных веществ – гепарина, тромбоксана В<sub>2</sub>, тромбопластина, факторов свертывания крови, гистамина, серотонина и др.
3. Инактивация биологически активных веществ в эндотелии легочных капилляров.
4. Защитная – образование антител; фагоцитоз; выработка лизоцима, интерферона, иммуноглобулинов; задержка и разрушение в капиллярах микробов.
5. Терморегуляция – выработка тепла.
6. Голособразование легкие резервуар воздуха

# ГРУДНАЯ КЛЕТКА И ПЛЕВРА



# ФУНКЦИИ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ И ПЛЕВРЫ

1. Защита и предохранение от высыхания легких.
2. Обеспечение вентиляции легких – сужение и расширение (вдох-выдох).
3. Поддержка отрицательного давления в плевральной щели – пространство между париетальным и висцеральным листками плевры.
4. Образование и сохранение сурфактанта – активного вещества альвеол.

# Отрицательное давление в плевральном пространстве

- Плевральное пространство – герметично.
- Растяжение легких создает явление эластической тяги легких (ЭТЛ).
- Давление в плевральной щели ниже атмосферного на величину ЭТЛ:
  - при спокойном вдохе – на **-8** мм рт.ст.
  - при спокойном выдохе – на **-4** мм рт.ст.
  - при глубоком вдохе – до **-30** мм рт.ст.
- Отрицательное давление обеспечивает сжатие грудной клетки при выдохе и способствует возврату крови и лимфы к сердцу.

# ПНЕВМОТОРАКС

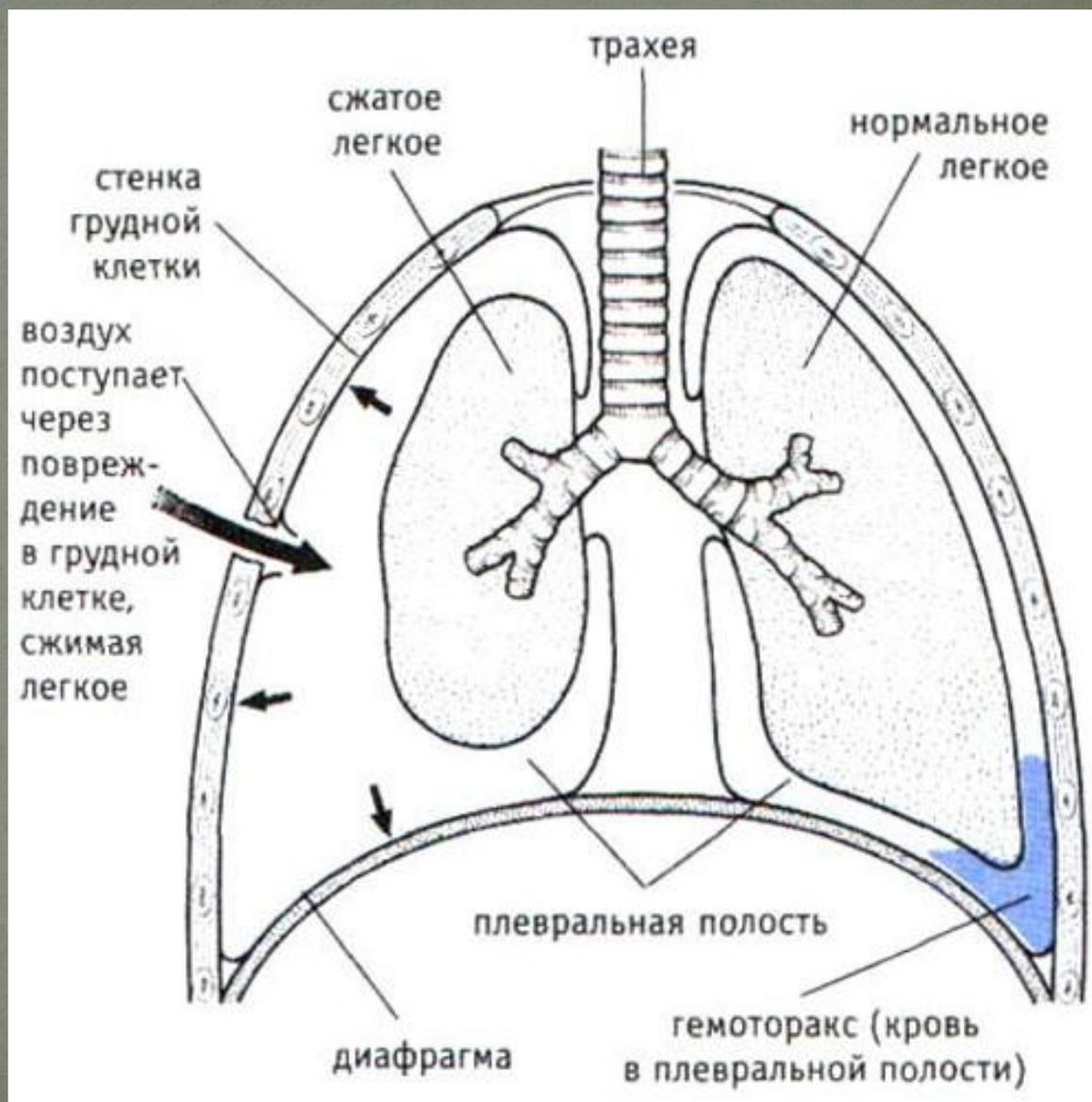
- Поступление воздуха в межплевральную щель при нарушениях целостности грудной клетки, а иногда стенки легкого изнутри.
- Плевральная щель сообщается с окружающей средой, воздух поступает в нее – давление в ранее герметичной полости становится таким же, как и в альвеолах, т.е. атмосферным; легкое при этом спадается, и человек перестает им дышать.
- Различают открытый, закрытый и клапанный пневмоторакс.

# ПНЕВМОТОРАКСЕ

Плевральная полость после травмы продолжает сообщаться с внешней средой и воздух свободно циркулирует между плевральной полостью и внешней средой.

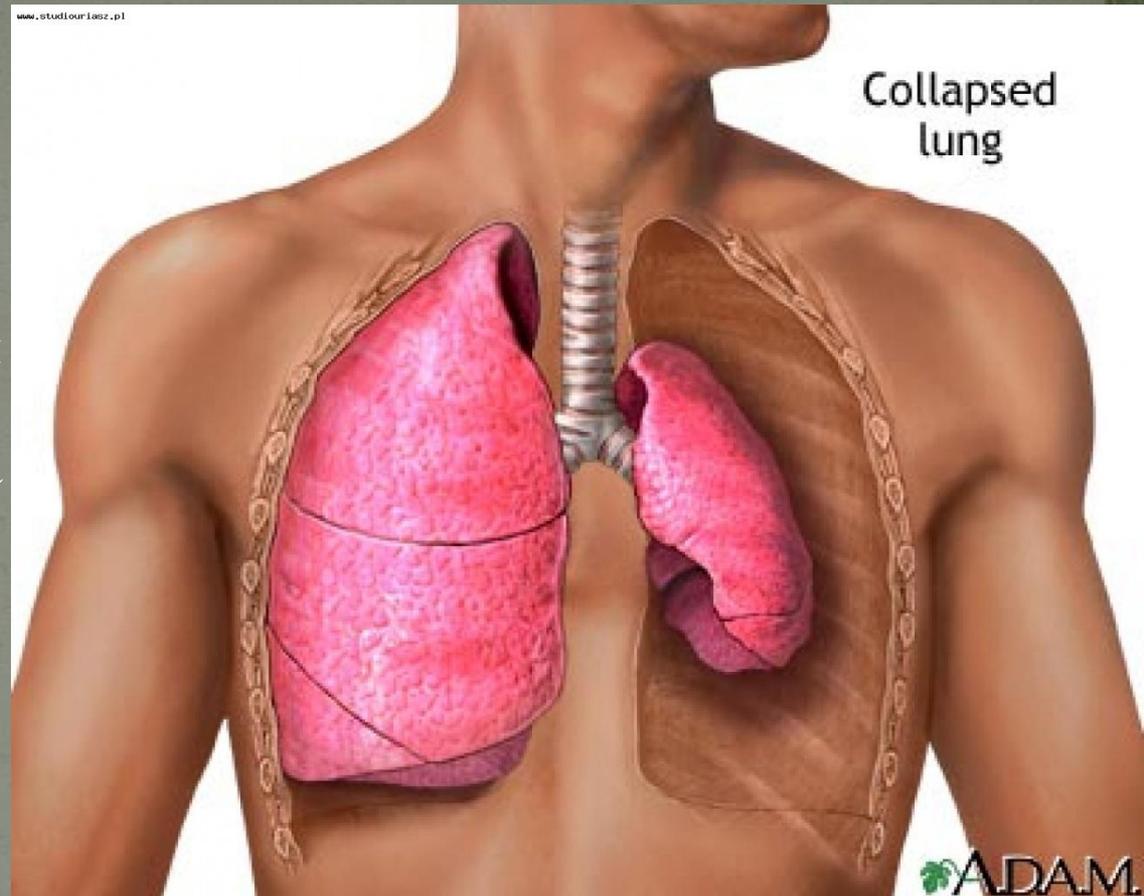
При открытом пневмотораксе легкое спадается (ателектаз) и его функции не выполняются.

Открытый пневмоторакс требует применения экстренных мер первой помощи – наложения герметизирующей повязки.



## ПРИ ЗАКРЫТОМ ПНЕВМОТОРАКСЕ

плевральная полость не сообщается с внешней средой и объем воздуха, попавший в плевральную полость, не меняется. Если не происходит образования клапанного механизма, закрытый пневмоторакс протекает относительно доброкачественно: рана довольно быстро закрывается самостоятельно, а имеющееся небольшое количество воздуха в плевральной полости не вызывает угрожающего жизни состояния, однако требует неотложных мер.



## ПРИ КЛАПАННОМ ПНЕВМОТОРАКСЕ

воздух на вдохе свободно попадает в плевральную полость, но выход его затрудняется из-за наличия клапанного механизма. Клапанный пневмоторакс может быть наружным и внутренним.

# ЛЕГОЧНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

- Циркуляция воздуха в легких во время дыхания - легочная вентиляция.
- Показатель легочной вентиляции – минутный объем легких (МОЛ):

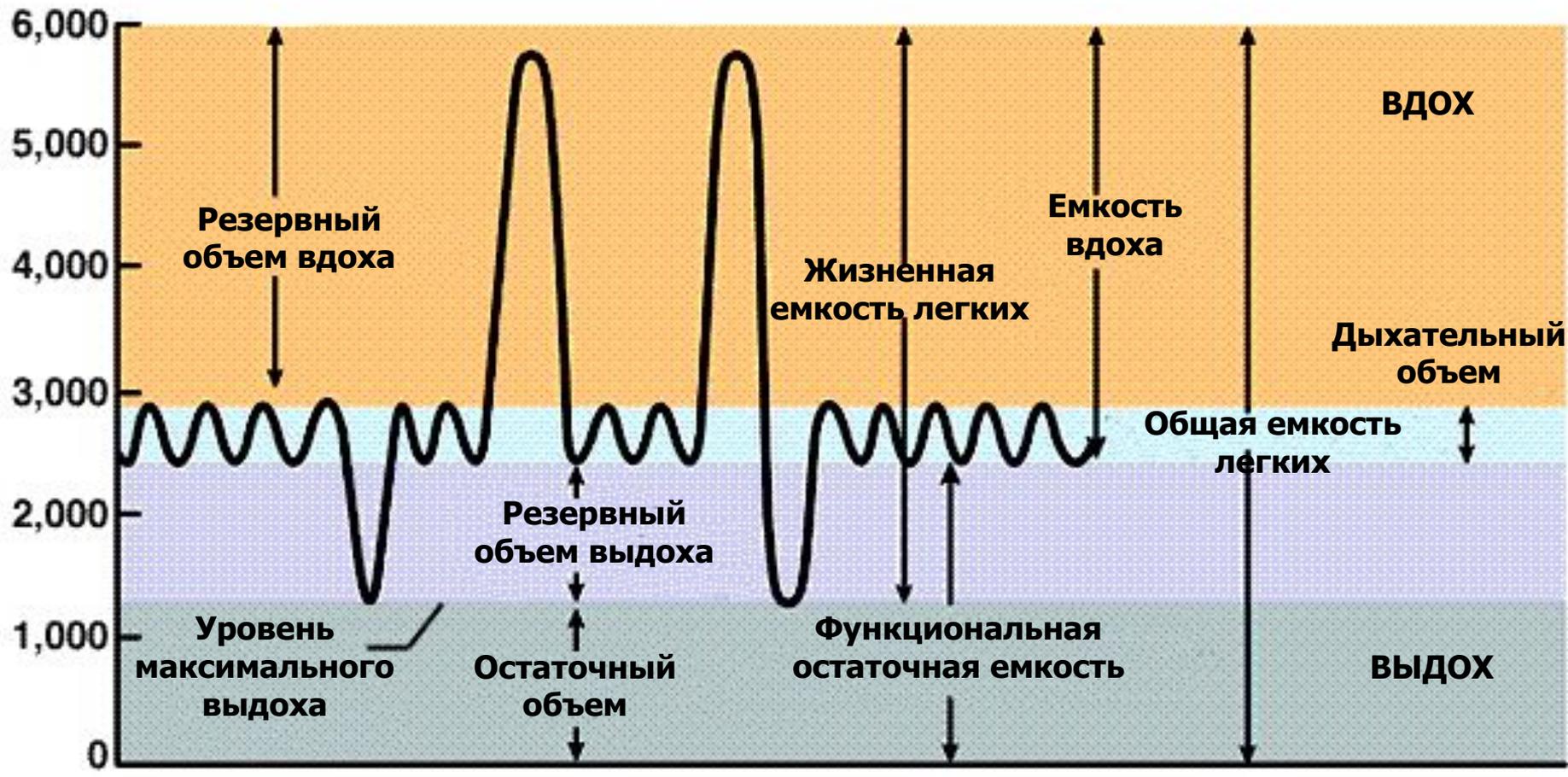
$$\text{ЧД} \cdot \text{объем воздуха при 1 вдохе} = \text{МОЛ}$$

## Дыхательные объемы:

- общая емкость легких 6 000 мл
- жизненная емкость легких 3 500 мл
- дыхательный объем 500 мл
- резервный объем вдоха 3 000 мл
- резервный объем выдоха 1 500 мл
- остаточный воздух 1 300 мл
- емкость вдоха 3 000 мл
- функциональная остаточная емкость 2 400 мл
- вредное или мертвое пространство 1 500 мл

# Дыхательные объемы и емкости

Объем легких, мл



Время

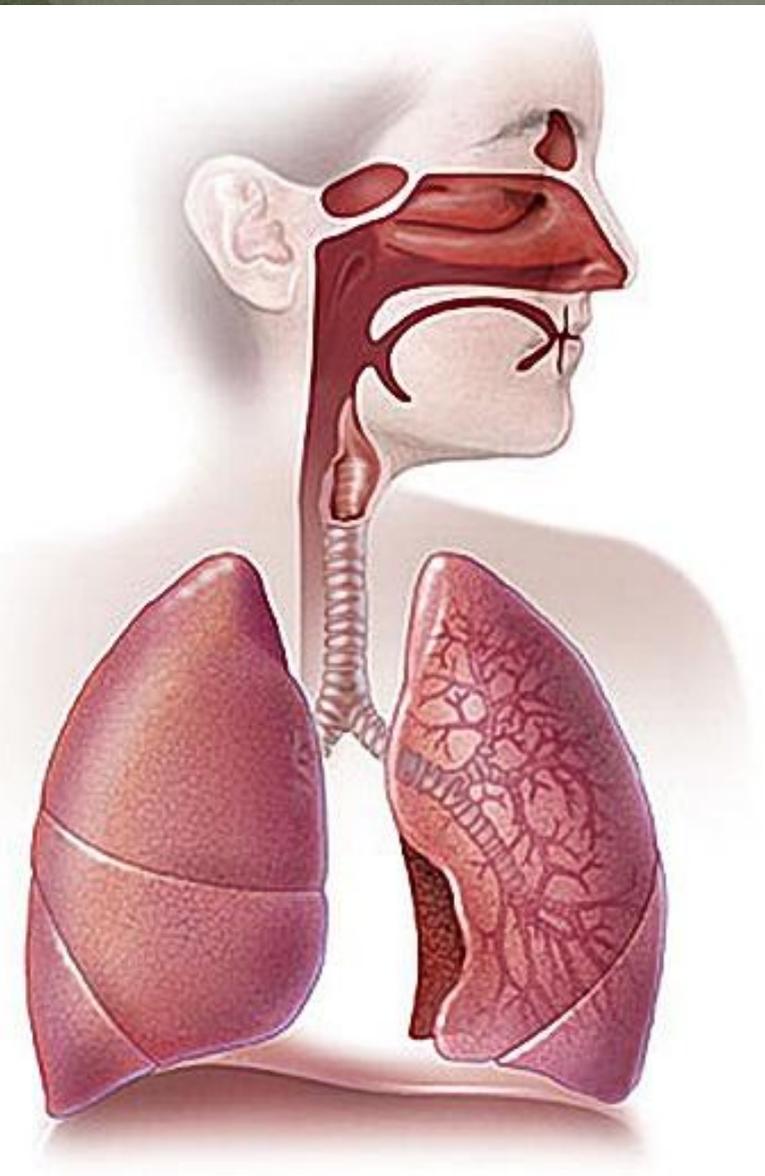
## Вредное или мертвое пространство

Газообмен происходит только в альвеолах; воздух же, находящийся в воздухоносных путях, в газообмене участия не принимает.

При обычном дыхании мы вдыхаем 500 мл, из которых 140 мл остаются в воздухоносных путях – гортани, трахее, бронхах и бронхиолах, – и во время дыхания изменениям не подвергаются, а 360 мл поступают в альвеолы;

Пространство, заполненное воздухом, не участвующим в газообмене, называется вредным или мертвым пространством.

Объем мертвого пространства (МП) – 0,14 – 0,15 л.



# Состав вдыхаемого, выдыхаемого и альвеолярного воздуха

| Воздух       | Содержание газов, в % |                |                      | Пары воды |
|--------------|-----------------------|----------------|----------------------|-----------|
|              | Кислород              | Углекислый газ | Азот и инертные газы |           |
| Вдыхаемый    | 20,94                 | 0,03           | 79,03                | 0,5       |
| Выдыхаемый   | 16,3                  | 4              | 79,7                 | 6,0       |
| Альвеолярный | 14,2                  | 5,2            | 80,6                 | 6,0       |

# Парциальное давление газов

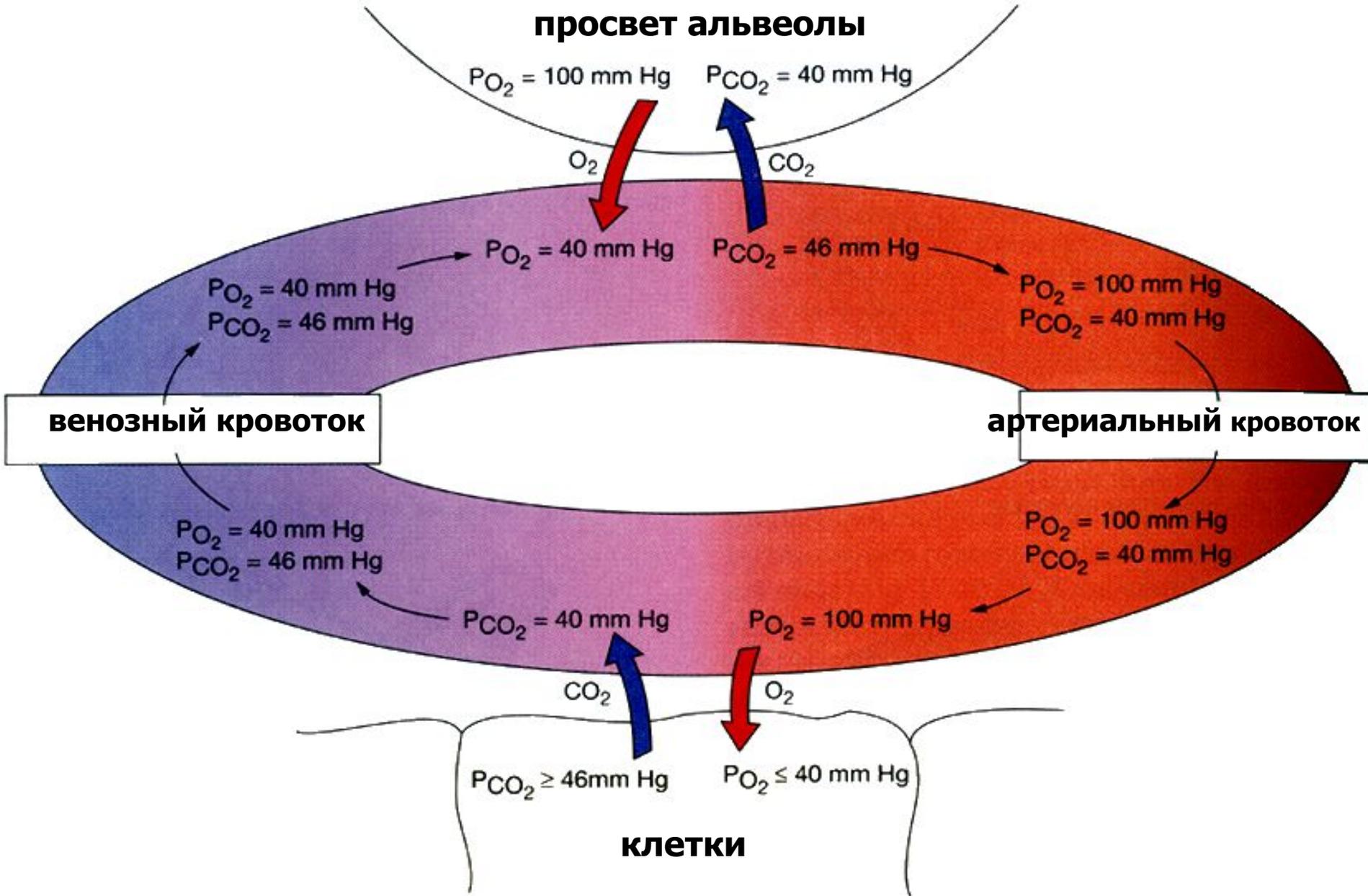
- **Парциальное давление газов** – часть общего давления, которая приходится на долю каждого газа в газовой смеси.
- Состав атмосферного воздуха: азот **79,03%**; кислород **20,94%**, углекислый газ **0,03%**.
- Общее атмосферное давление = **760** мм рт. ст.
- Парциальное давление азота равно **600,8** мм рт. ст.
- Кислорода - **159** мм рт. ст.
- Углекислого газа - приблизительно **0,2** мм рт. ст.
- Если парциальное давление газа в окружающей среде выше, чем давление (напряжение) этого же газа в жидкости, то газ растворяется в жидкости, и между жидкостью и окружающим ее газом устанавливается определенное равновесие.

# Растворимость в жидкости.

## Коэффициент растворимости

- **Коэффициентом растворимости** называется то количество газа, которое может быть растворено в 1 мл воды при давлении 760 мм рт. ст. при данной температуре.
- Коэффициент растворимости меняется в зависимости от температуры раствора. Чем выше температура жидкости, тем меньше газа в ней растворяется.
- Разные газы имеют разный коэффициент растворимости, так же как и в разных растворителях может раствориться разное количество одного и того же газа.

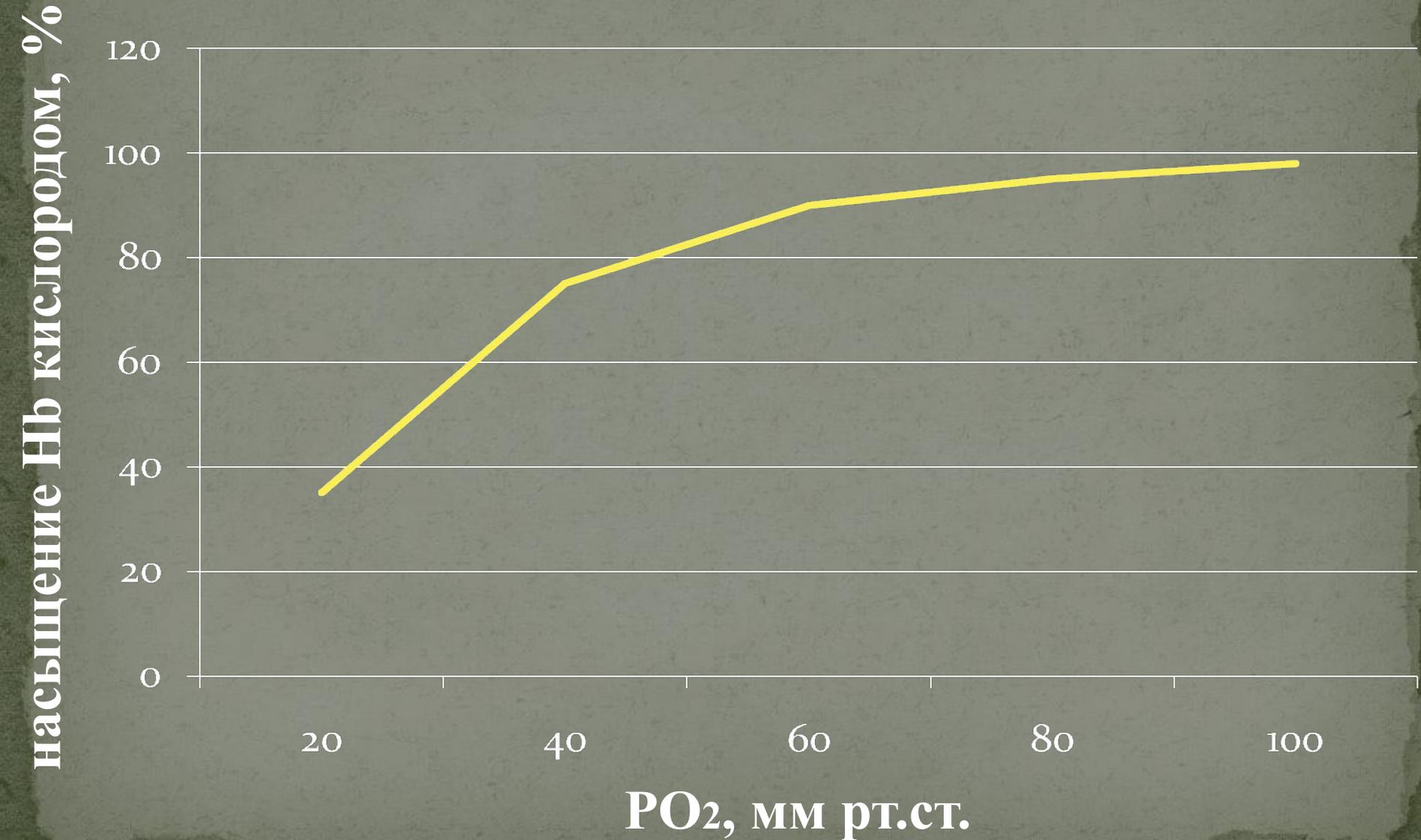
# ГАЗООБМЕН В ЛЕГКИХ И ТКАНЯХ



# РОЛЬ КРОВИ В ДЫХАНИИ

- Кислород и углекислый газ находятся в крови в физически растворенном состоянии и в химически связанном виде.
- Из **100** мл крови можно выделить **20** мл кислорода:  
В физически растворенном состоянии – **0,3** мл;  
В химически связанном виде – **19,7** мл.
- Веществом, вступающим в химическую связь с кислородом, является гемоглобин.
- Кислород из воздуха диффундирует в плазму крови, а из плазмы, поступает в эритроциты и вступает в химическую связь с гемоглобином. Гемоглобин при этом превращается в оксигемоглобин; **1** г гемоглобина может связать **1,34** мл кислорода.

# Кривая образования оксигемоглобина при рН 7,4 и 37°C



# РОЛЬ КРОВИ В ДЫХАНИИ

- При насыщении кислородом **97%** гемоглобина организма в кровь поступает около **1000** мл кислорода.
- При мышечной работе потребность в кислороде возрастает до **4000–5000** мл в минуту.
- Доставка необходимого количества кислорода обеспечивается за счет усиления кровообращения, в результате чего кровь несколько раз в течение минуты совершает свой кругооборот.
- В тканях оксигемоглобин который является нестойким соединением, отдает кислород в плазму; в силу разности напряжения растворенный кислород переходит в тканевую жидкость и оттуда в клетку, где вступает в окислительные процессы.

# Механизм вдоха

- **Расширение грудной клетки:** сокращение дыхательных мышц; опускание диафрагмы вызывает увеличение объема грудной клетки:
  - опускание на **1** см – увеличение на **250-300** мл;
  - опускание на **3** см – увеличение на **1000** мл.
- **Расширение легких:** атмосферное давление воздуха.
- **Поступление воздуха в легкие при их расширении:** падение давления в альвеолах (на **2** мм рт.ст.); увеличение ЭТЛ; дополнительное расширение бронхов.

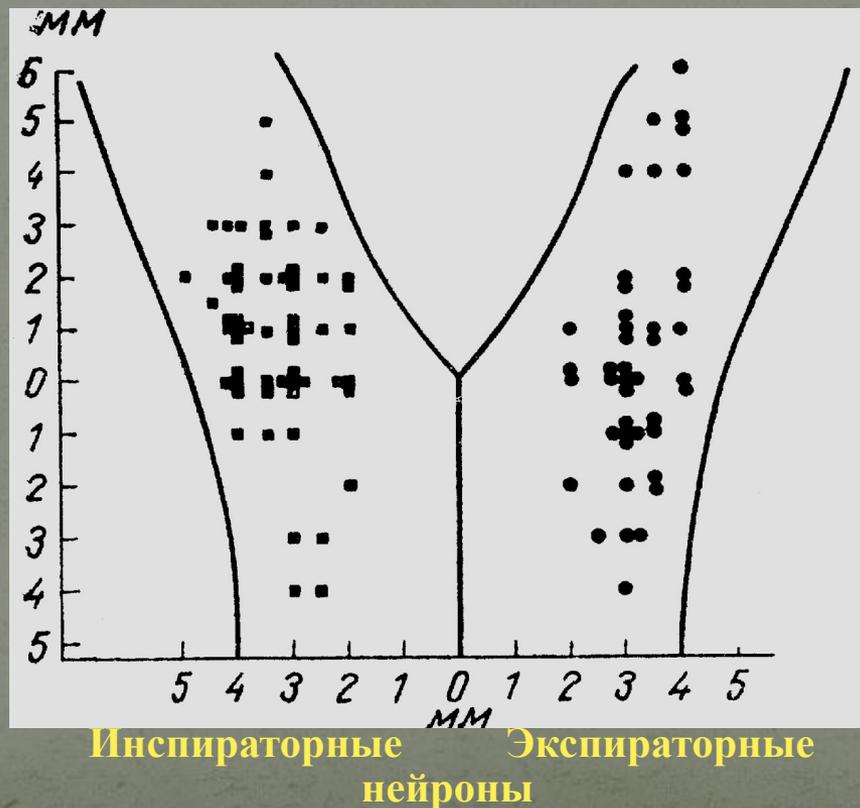
# МЕХАНИЗМ ВЫДОХА

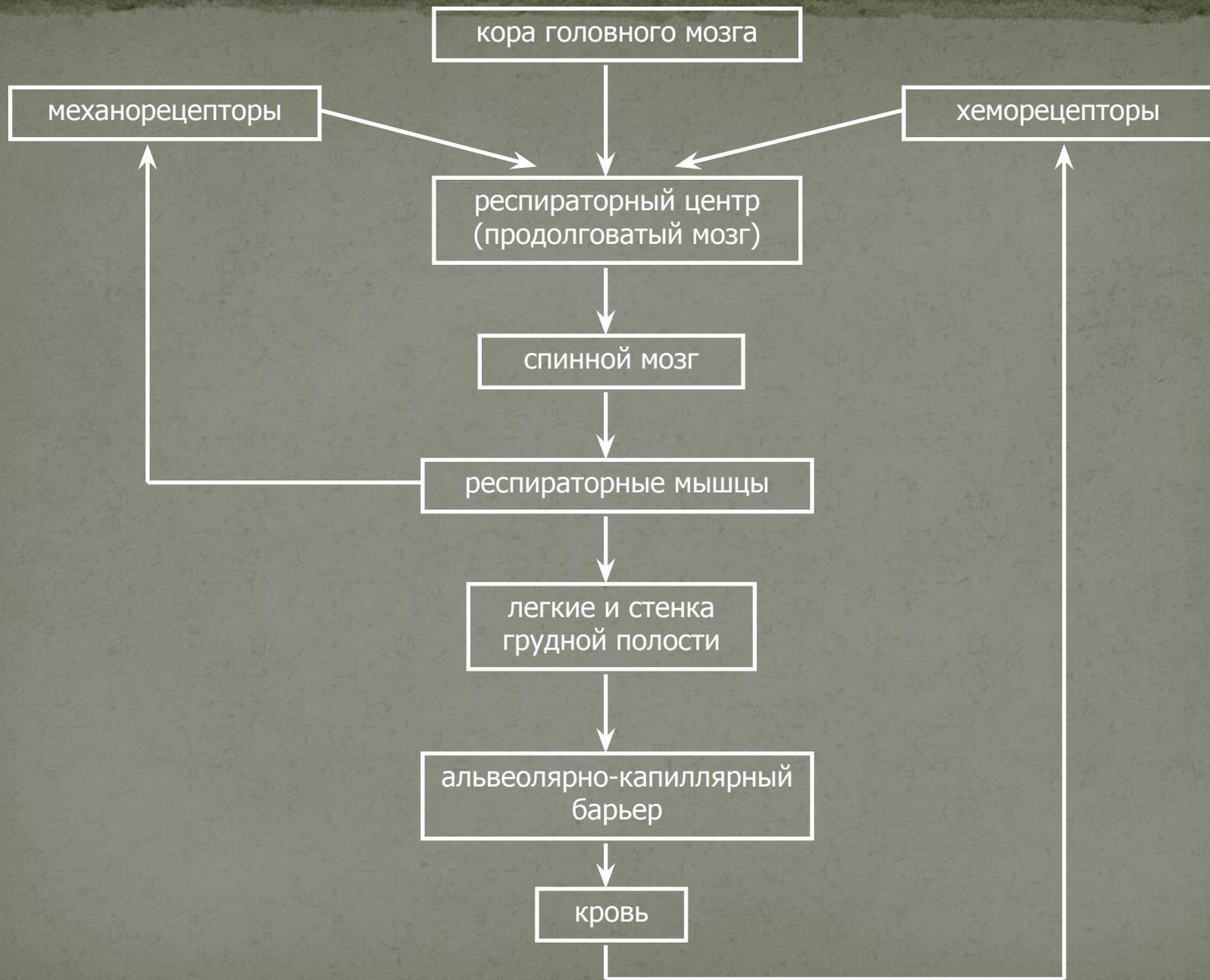
- **Сужение грудной клетки:** эластическая тяга легких и стенки живота; опускание ребер.
- **Сужение легких:** сужение грудной клетки.
- **Изгнание воздуха из легких при их сужении:** возрастание давления в альвеолах (на **2** мм рт.ст.).

# Дыхательный центр

Дыхательный центр расположен в продолговатом мозге как парное симметричное образование в виде совокупности нейронов, обладающих сложными сетевыми взаимодействиями. Основным свойством дыхательного центра является автоматизм. Дыхательный центр координирует ритмическую активность мышц, обеспечивающих вдох и выдох.

**Схема расположения дыхательных нейронов в продолговатом мозге**

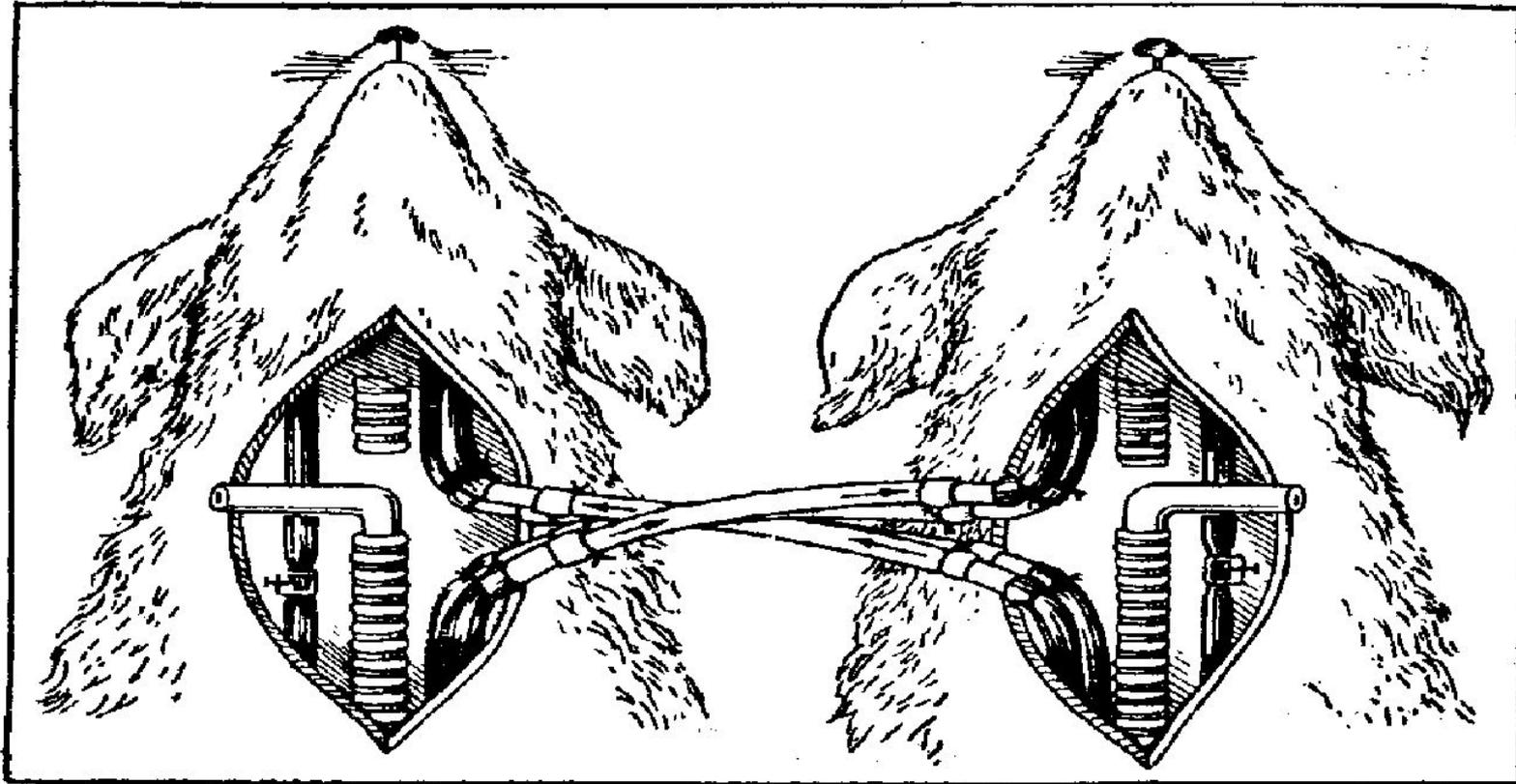




**Рефлекторная регуляция дыхания**

# Гуморальная регуляция дыхания

Опыт Фредерика с перекрестным кровообращением.



Причиной изменения деятельности дыхательного центра являются колебания концентрации углекислоты в крови.

**Углекислота является специфическим возбудителем дыхания**

# Защитные рефлексы

- Защитные рефлексы со слизистых оболочек дыхательных путей;

□ **Кашель** – рефлекс со слизистой гортани или бронхов;

□ **Чихание** – рефлекс со слизистой носа.



# ДЫХАНИЕ

## ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ:

### при мышечной работе

- При мышечной деятельности дыхание учащается, увеличивается сила дыхательных движений, изменяется глубина дыхания.
- Резко увеличивается вентиляция легких. В покое вентиляция равна **6 – 8** л в минуту, а при работе она доходит до **120** л.
- Увеличивается поглощение кислорода и выделение углекислого газа. Человек в обычных нормальных условиях за одну минуту потребляет до 350 мл кислорода, а при мышечной работе – **4000 – 5000** мл.
- Изменение дыхания тесно связано с изменениями кровообращения. При работе пульс учащается, минутный объем сердца увеличивается.
- Чем интенсивнее работа, тем больше вентиляция легких и минутный объем сердца.
- В связи с повышением потребности в кислороде возрастает количество гемоглобина в крови за счет увеличения числа эритроцитов и в экстренных случаях за счет выбрасывания крови из селезенки в общий кровоток.

# ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ:

## при повышенном атмосферном давлении

- Наблюдается при работах в кессонах и под водой. При погружении в воду давление на организм через каждые **10** м увеличивается на **1** атм. Так, на глубине **20** м давление равно **3** атм, на глубине **30** м – **4** атм.
- Вода сдавливает грудную клетку и воздух водолазу необходимо подавать под давлением, равным давлению на данной глубине.
- В подаваемом воздухе необходимо уменьшать содержание кислорода, т.к. его переизбыток может привести к кислородному отравлению и судорогам.  $PO_2$  должно соответствовать его обычной величине в – **100** мм рт.ст.

# ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ:

## при повышенном атмосферном давлении

- Увеличение парциального давления азота во вдыхаемой смеси токсично для ЦНС и на ранних стадиях вызывает эйфорию.
- При погружении в воду глубже 60 м в крови растворяется большое количество азота, что вызывает состояние наркоза – глубинное опьянение (эйфория, беспокойство, потеря сознания).
- Для предупреждения негативных последствий при погружениях глубже 50 м применяют смесь гелия с кислородом. Гелий мало растворим в крови, обладает меньшей плотностью, чем  $N_2$ , что уменьшает сопротивление дыханию.

# ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ:

## при повышенном атмосферном давлении

- Погружение (ныряние) в воду на небольшую глубину в несколько метров может стать опасным при избыточной предварительной гипервентиляции, в результате которой возникает респираторный алкалоз (головокружение, судороги).
- Также после гипервентиляции в крови резко снижается содержание  $\text{CO}_2$  – главного стимулятора дыхательного центра. Возникающая под водой гипоксия не является достаточной для возбуждения дыхания и ныряльщик не чувствует потребности подняться на поверхность и вдохнуть воздух, что приводит к потере сознания под водой.
- Гипервентиляция перед погружением не увеличивает насыщение гемоглобина кислородом, но повышает содержание кислорода в легких, что позволит несколько продлить пребывание под водой на небольшой глубине.

# ДЫХАНИЕ

## ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ:

### при повышенном атмосферном давлении

- Дыхание под водой при помощи длинной трубки опасно по двум причинам:
- Увеличение длины воздухоносного пути и снижение поступления кислорода в легкие.
- Сдавление всего тела под водой ведет к переполнению кровью сосудов грудной полости и опасному перерастяжению тонкостенных широких сосудов легких, вплоть до их разрыва.

# ПРИ РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ:

## при пониженном атмосферном давлении

| № п/п | Высота, км | Изменения дыхания                      | $P_{O_2}$ в альвеолах, мм рт.ст. | Насыщение $Hb$ кислородом, % | Симптомы                                     |
|-------|------------|--|----------------------------------|------------------------------|--|
| 1     | 2          | отсутствуют                            | 98                               | 96-98                        | работоспособность и самочувствие не изменены |
| 2     | 3-4        | незначительно возрастает объем дыхания | 60                               | 90                           | умеренная тахикардия                         |
| 3     | 4-5        | усиление и учащение дыхания            | 50-40                            | 75-65                        | развитие высотной болезни                    |
| 4     | 7          | нарушения дыхания                      | 35                               | 60                           | потеря сознания, кома, смерть                |

# Влияние курения на систему дыхания

Ослабевают защитные свойства сурфактанта – уменьшается активность альвеолярных макрофагов, снижаются защитные функции легких, чаще встречаются заболевания легких, особенно – рак легких.

В альвеолах скапливаются ядовитые продукты горения наполнителей сигарет.

Усиливается образование мокроты – утренний кашель курильщиков.

Снижается обратный ток пыли и микробов, т.к. ядовитые продукты горения сигарет уничтожают мерцательный эпителий воздухоносных путей.

# Продукты сгорания содержимого табачных изделий



# Влияние курения на систему дыхания



↑  
Легкие здорового человека

↑  
Легкие курящего человека

# Накопление ядовитых продуктов горения наполнителей сигарет в альвеолах



# Домашнее задание:

## Темы: Дыхание

- Учебник «Лекции по дисциплинам «Экологическая физиология» и «Биология человека». О. М. Родионова, В.В. Глебов – часть 1. – стр. 119-152.
- Сайт кафедры Экологии человека. Дисциплины. Экологическая физиология. Курс лекций.  
[http://web-local.rudn.ru/web-local/disc/?id=250&rasd\\_id=44655&v=1640#niz](http://web-local.rudn.ru/web-local/disc/?id=250&rasd_id=44655&v=1640#niz)
- Учебники по нормальной физиологии.

**СПАСИБО  
ЗА ВНИМАНИЕ !**

