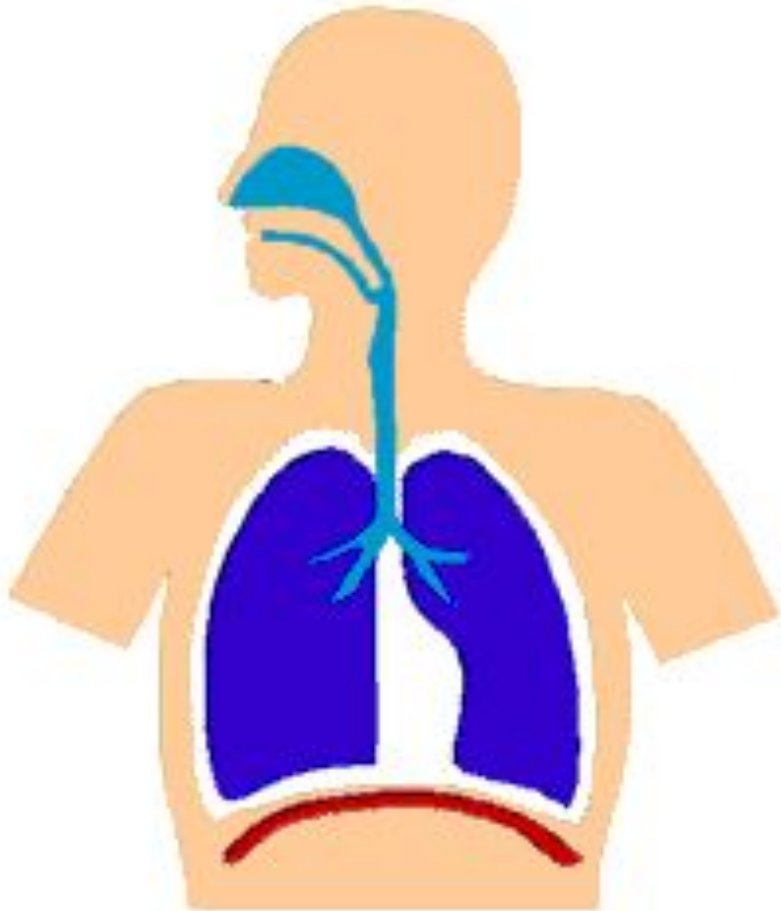


Dum spiro, spero.

# Физиология дыхания



Лекция проф.  
Н. П. Ерофеева

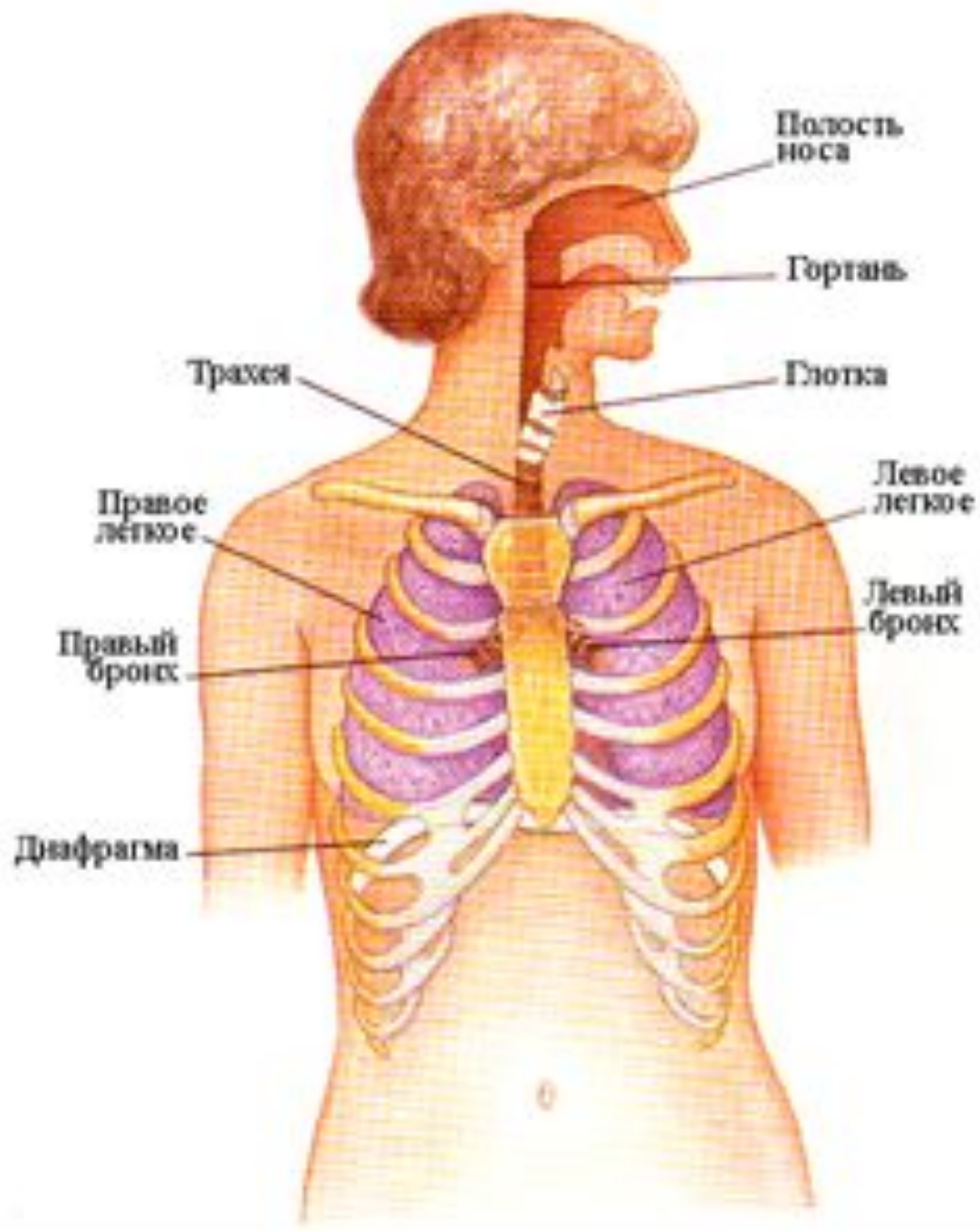
# Механика дыхания (Вентиляция лёгких)

Транспорт газов



Лекция проф. Н. П.  
Ерофеева

# Система дыхания



## Этапы дыхания

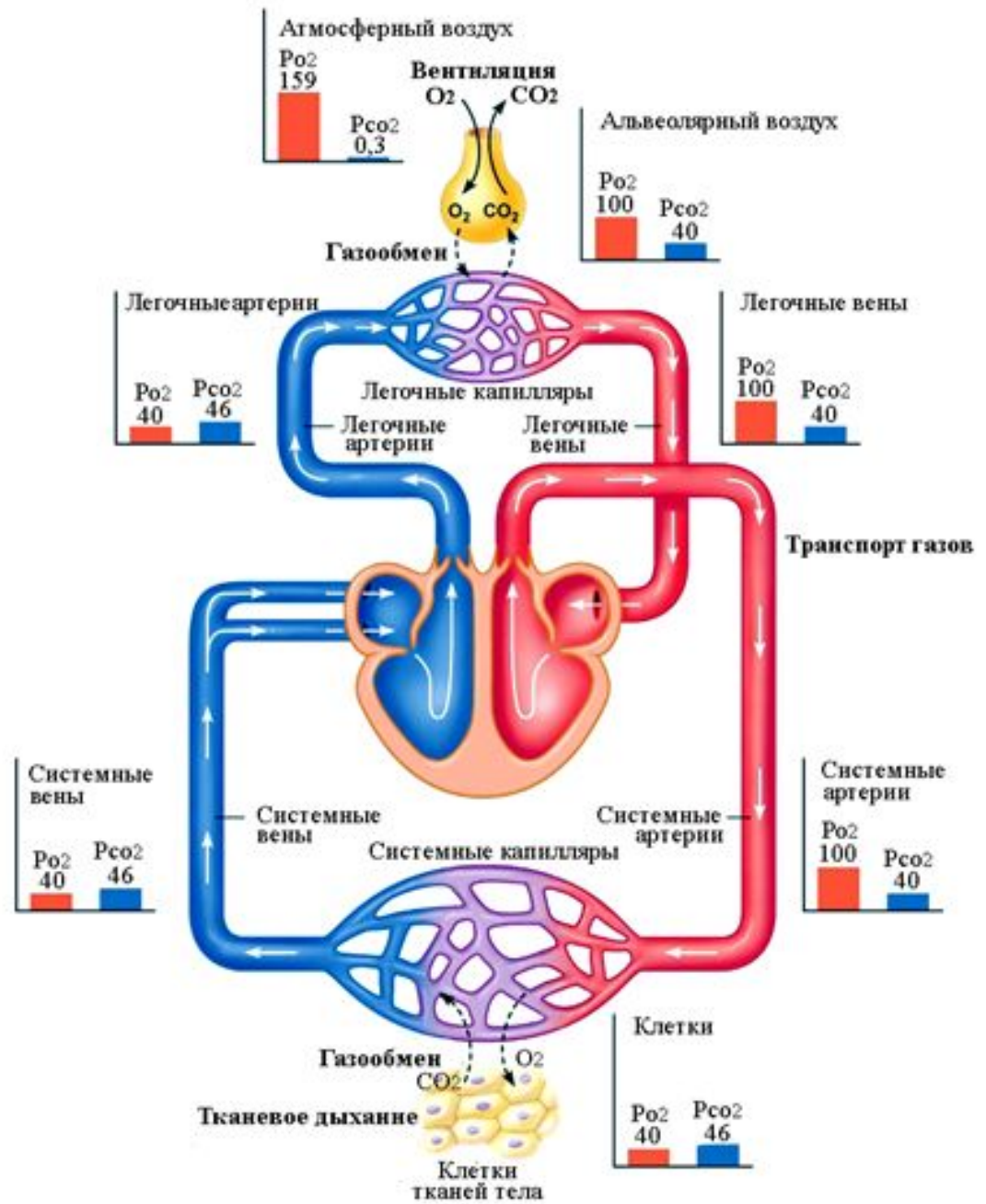
- Вентиляция легких
- Обмен газов через мембрану – альвеола/капилляр (диффузия по закону Фика)
- Транспорт газов кровью – гемоглобин ( $O_2$ ), гемоглобин+плазма ( $O_2$  и  $CO_2$ )
- Тканевое дыхание – диффузия  $O_2$  в ткани/ $CO_2$  в кровь

Главная функция дыхания: обмен дыхательными газами  $O_2$  и  $CO_2$  между атмосферным воздухом и кровью легочных капилляров

# Этапы ДЫХАНИЯ

Вентиляция и  
транспорт газов —  
конвекция

Газообмен —  
диффузия



# Особенности лёгочного кровообращения

В легких существуют две системы кровообращения:

- Бронхиальный кровоток (системное кровообращение).
- Лёгочный кровоток (малый круг кровообращения). Между ними существуют анастомозы как при нормальных, так и при патологических условиях.
- Объёмы кровотока в двух кругах в норме всегда равны (сообщающиеся сосуды).
- Низкое сосудистое давление и сопротивление.
- Отсутствуют тонкие механизмы ауторегуляции кровяного давления.

# Дыхательная система:

- **Дыхательные воздухоносные пути, по функции – это кондуктивная зона**
- **Легкие, по функции – это респираторная зона**

# Функции кондуктивной зоны

- Проведение воздуха (атмосфера - альвеолы)
- Рецепция запахов
- Голосообразование
- Увлажнение воздуха
- Согревание воздуха
- Очистка воздуха
- Антитоксическая и антибактериальная



# На всём протяжении дыхательная трубка покрыта мерцательным эпителием

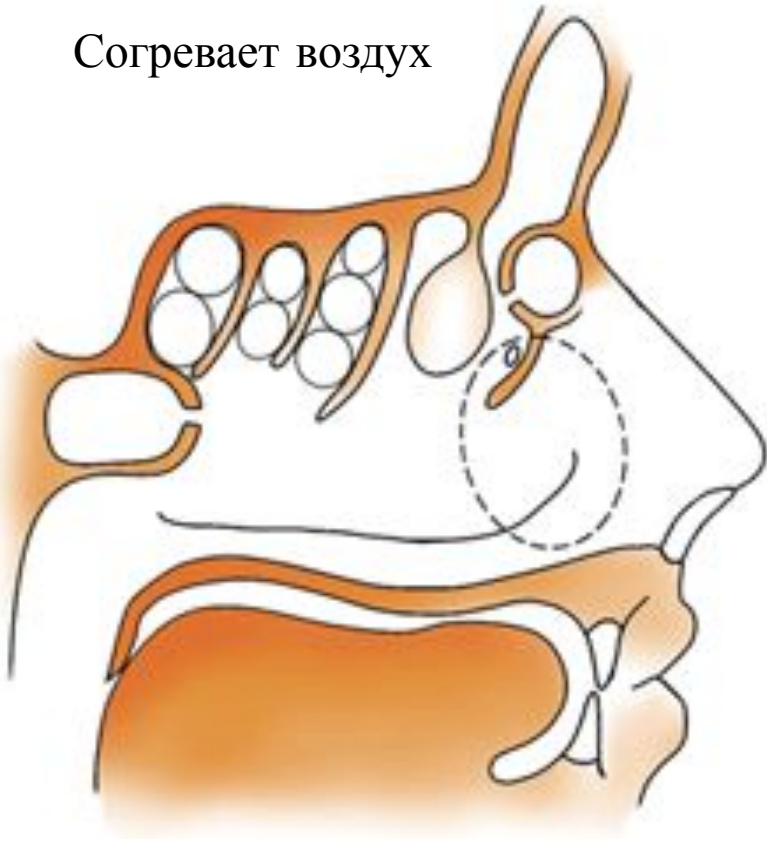
Эпителий трахеи и крупных бронхов представлен 4 типами клеток:

- Призматические-реснитчатые – на апикальной поверхности  $\approx 300$  ресничек, 14 мерцаний/с, скорость подъема 2 см/мин противоположно вдыхаемому воздуху.
- Бокаловидные вырабатывают слизь – муцин (механическая чистка, увлажнение).
- Вставочные (камбиальная функция).
- Эндокринные клетки: ЕС-серотонин, ЕСL-гистамин, Р-бомбезин, D-ВИП.

**Большое количество одиночных и фолликулярных лимфоцитов в слизистой**

# Кондуктивная зона – уникальный кондиционер

Согревает воздух

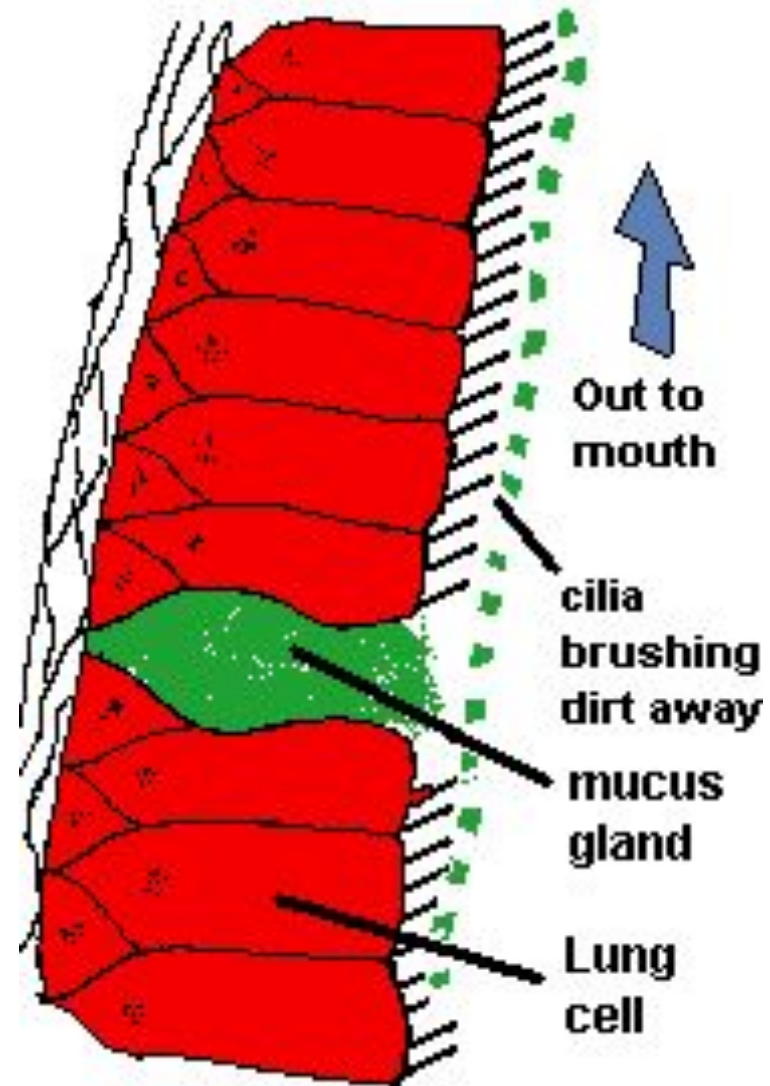
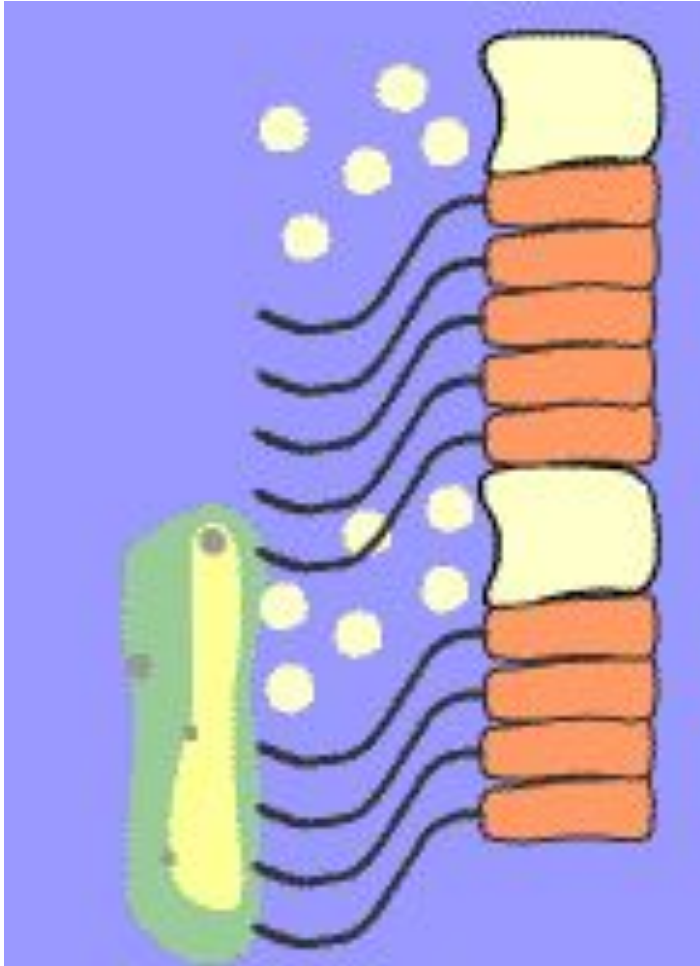


Очищает воздух

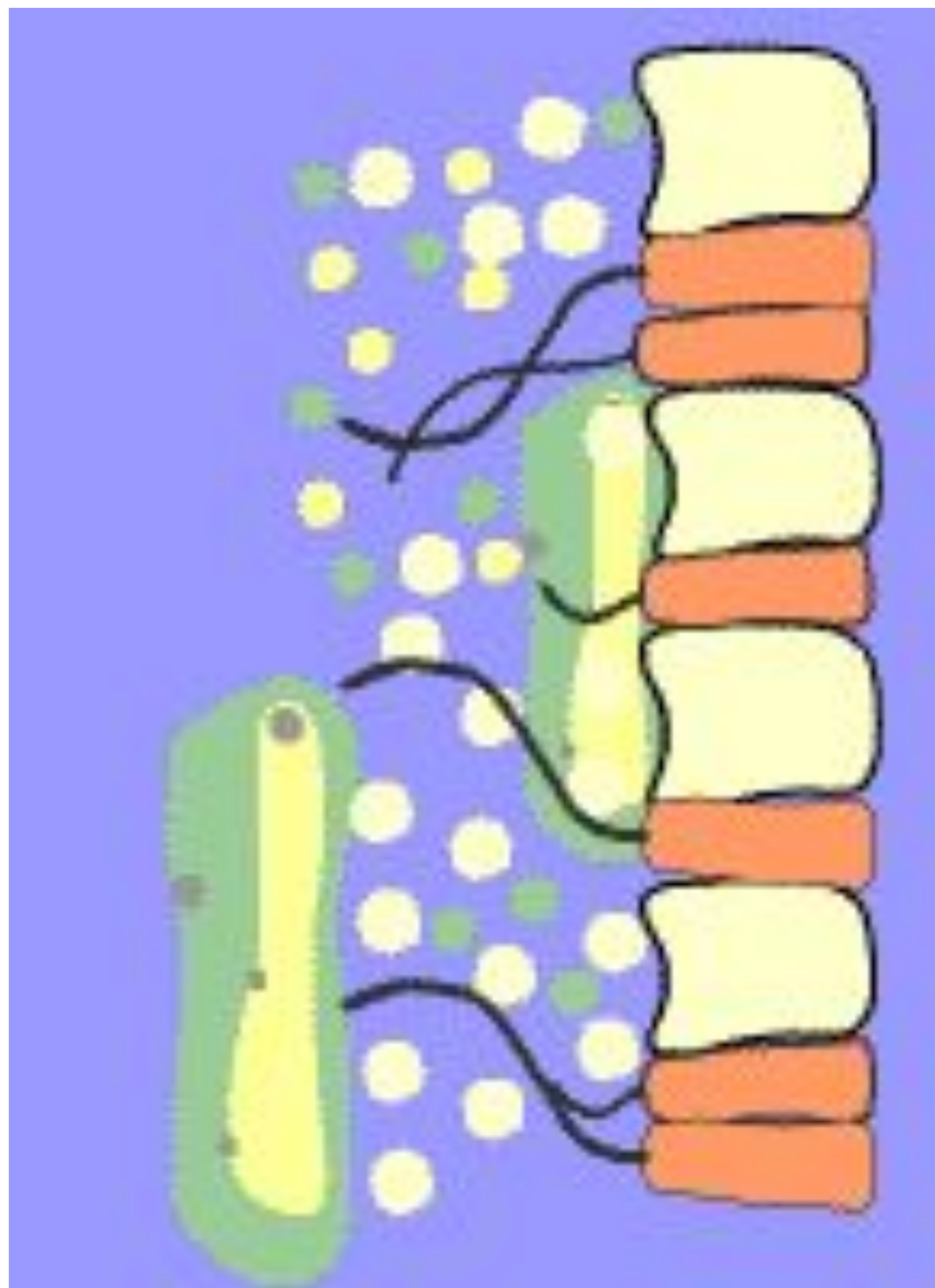


Увлажняет воздух

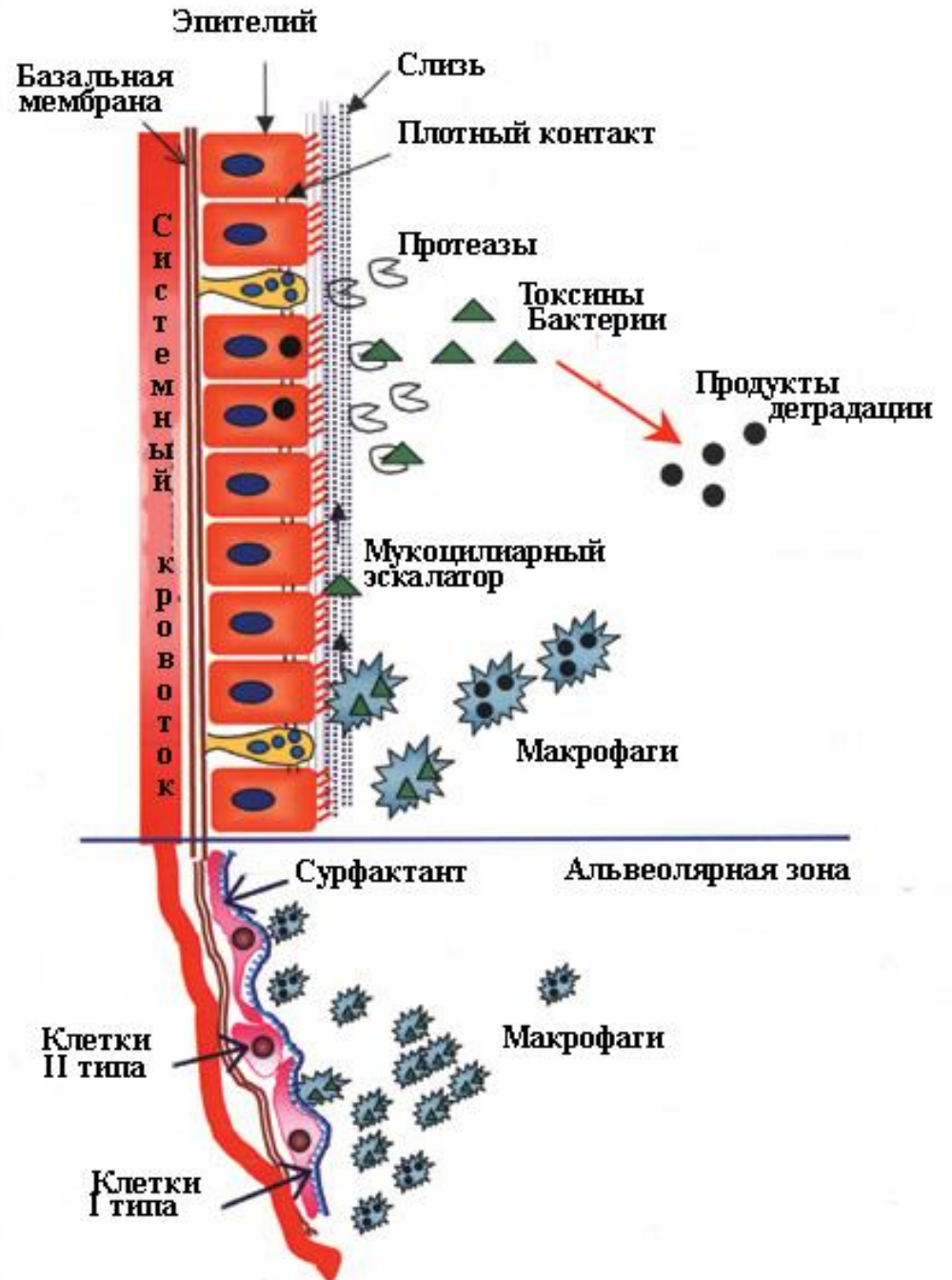
# Мукоцилиарный лифт



У курильщика лифт **не**  
поднимает слизь



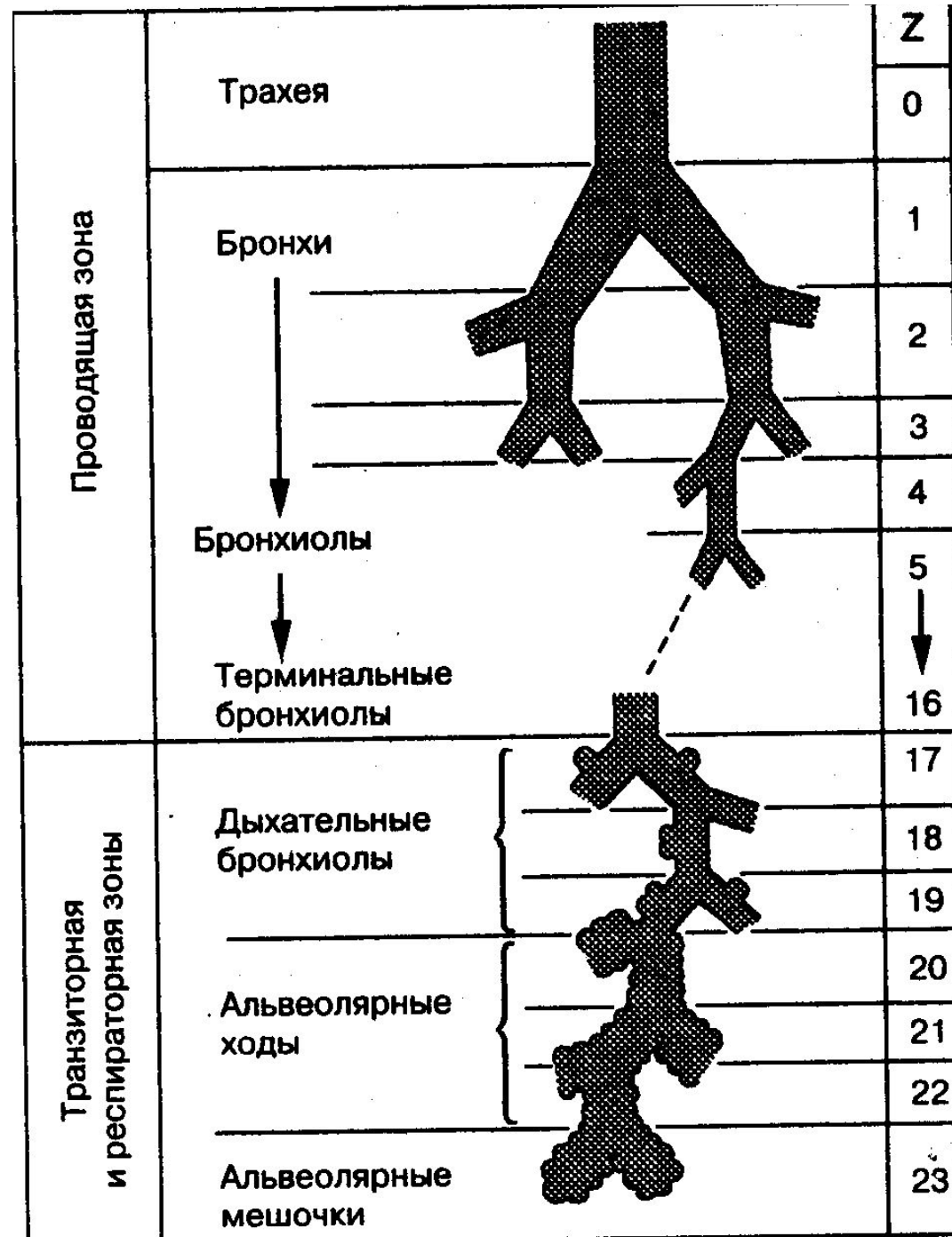
# Клининг и обезвреживание



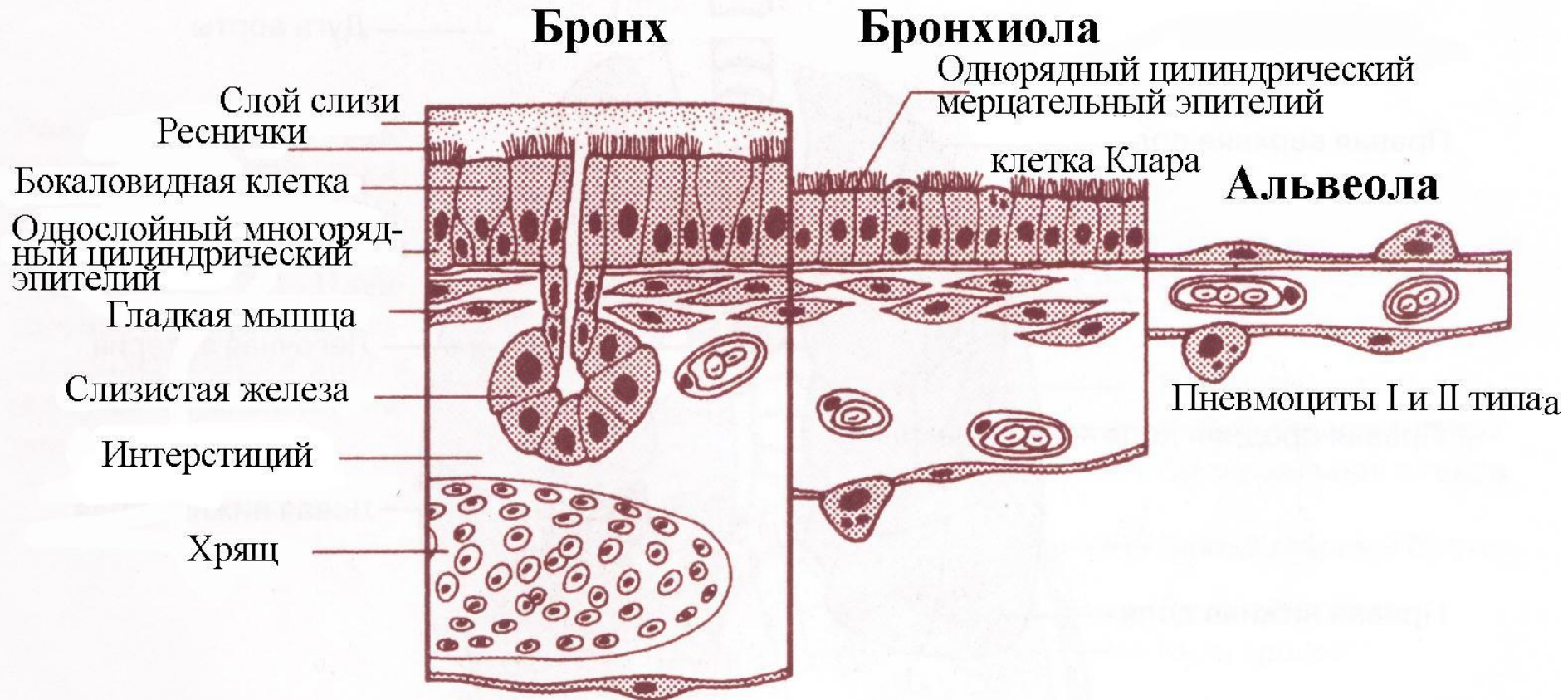
Дыхательные пути – это воздухоносные полости и трубки.

- Носовые ходы + придаточные пазухи
- Глотка
- Гортань
- Трахея
- Бронхи
- Бронхиолы
- Легочные альвеолы

Дихотомическое  
деление дыхательной  
трубки.  
**1-16** –проводящие.  
**17-23** –  
респираторные.



# Дизайн стенки дыхательной трубки





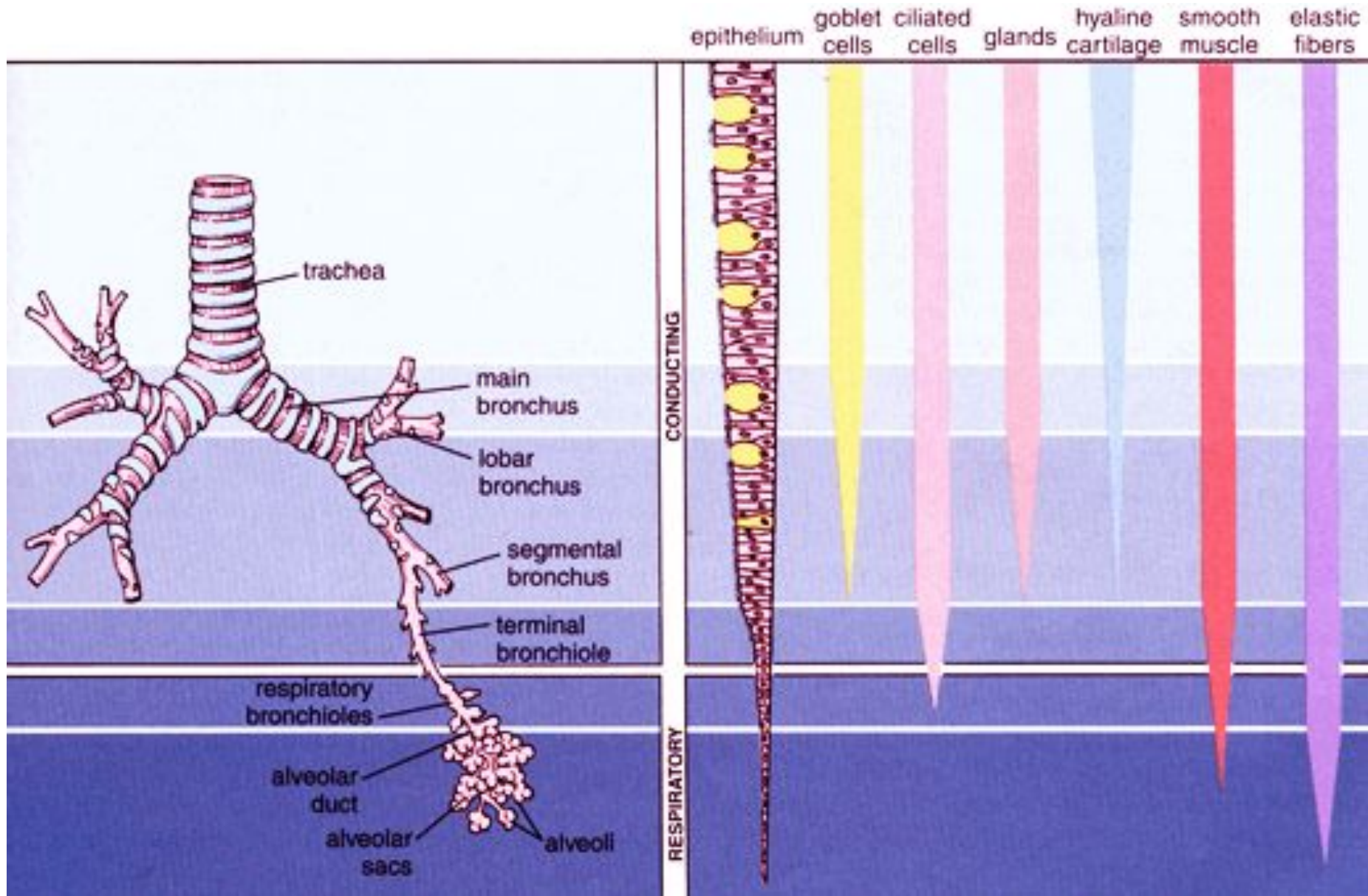
# На всём протяжении дыхательная трубка покрыта мерцательным эпителием

Эпителий трахеи и крупных бронхов представлен 4 типами клеток:

- Призматические-реснитчатые – на апикальной поверхности  $\approx 300$  ресничек, 14 мерцаний/с, скорость подъема 2 см/мин противоположно вдыхаемому воздуху.
- Бокаловидные вырабатывают слизь – муцин (механическая чистка, увлажнение).
- Вставочные (камбиальная функция).
- Эндокринные клетки: ЕС-серотонин, ЕСL-гистамин, Р-бомбезин, D-ВИП.

**Большое количество одиночных и фолликулярных лимфоцитов в слизистой**

# Состав стенок дыхательной трубки



Средние бронхи (**Ø 2-5 мм**) имеют в слизистой нейроэпителиальные тельца - клетки с ворсинками по **4-25** в группе:

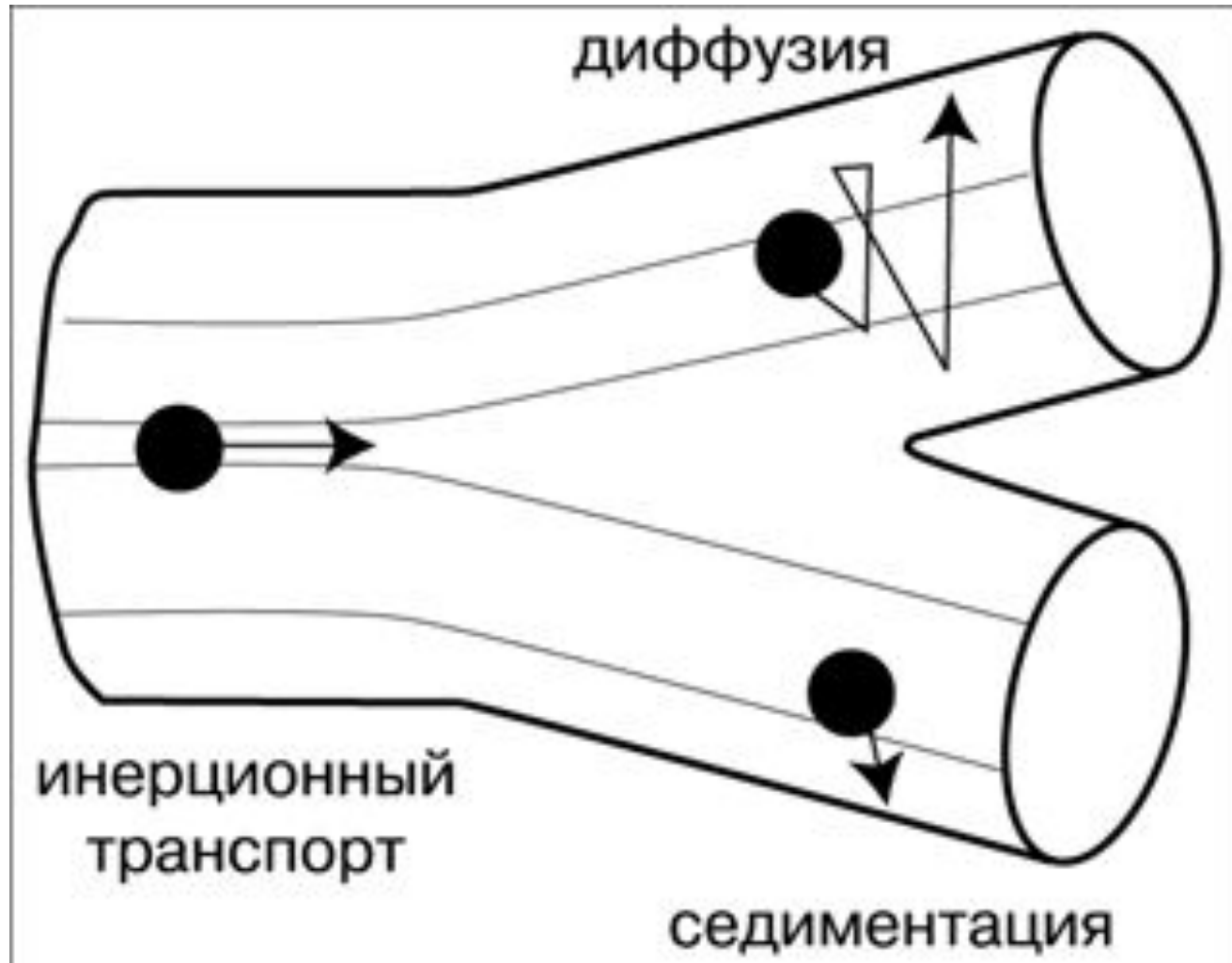
Это внутрилёгочные рецепторы - сенсоры, состава вдыхаемого воздуха:

- Эти клетки вырабатывают биогенные амины, пептидные гормоны для регуляции просвета бронхов и кровеносных сосудов
- Эти клетки участвуют в приспособлении кровотока в лёгких к характеру вентиляции

Мелкие бронхи (выраженный мышечный слой, хрящей нет) имеют все типы клеток и добавляются:

- Секретирующие клетки Клара (M. Clar, 1937г.) располагаются у начала респираторной зоны и обеспечивают цилиарно-макрофагальный клиренс (лифт) ацинусов.
- Клетки Клара выделяют жидкий вязкий (не слизистый) секрет. Секрет метаболизирует ксенобиотики и канцерогены, ферменты предупреждают слипание бронхиол.

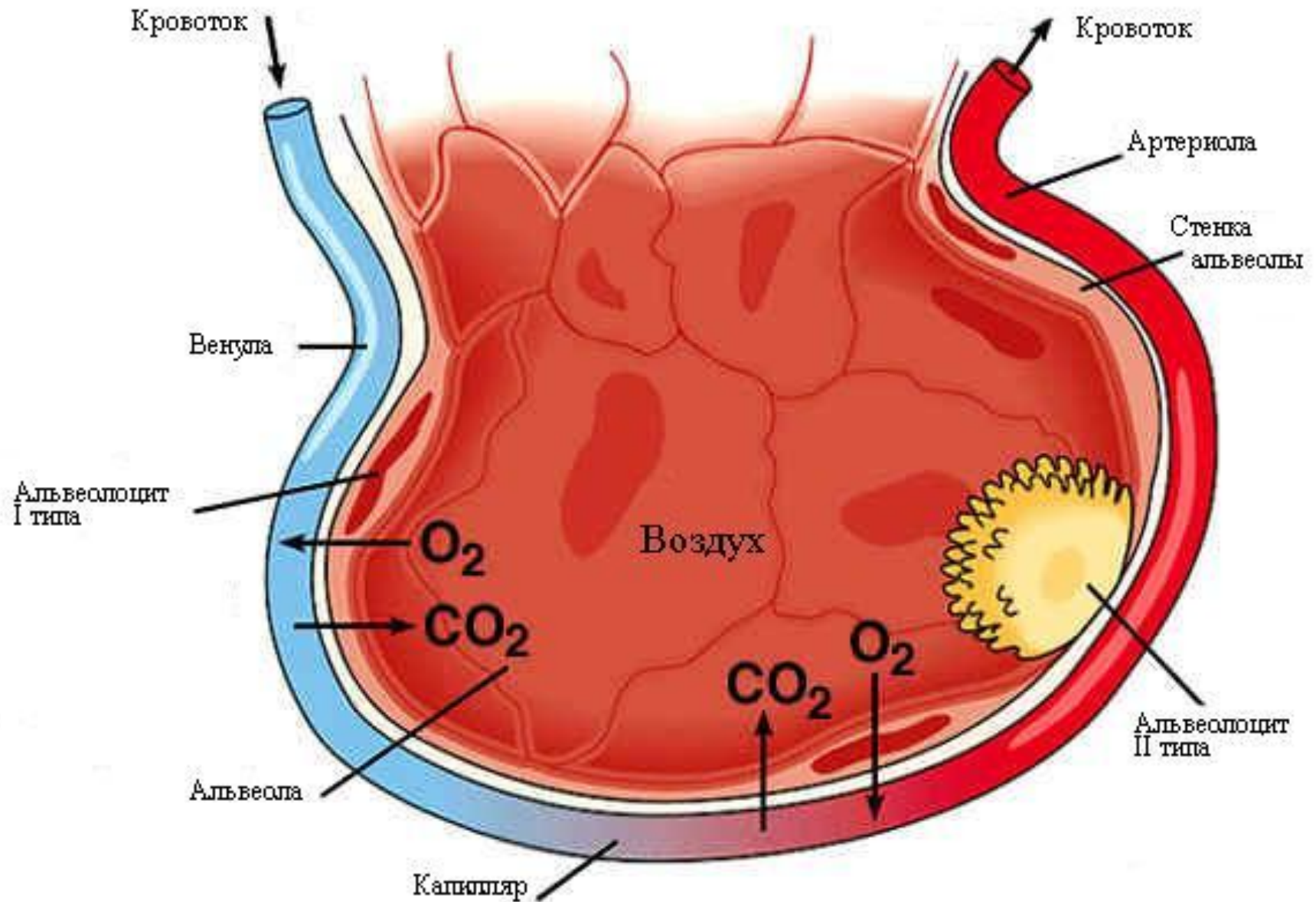
Потоки воздуха в кондуктивной  
(турбулентный) и респираторной  
(ламинарный) зонах



Респираторный отдел состоит из ацинусов. **12-18** ацинусов – долька. Альвеол около **300** млн., **Ø** около **0,3** мм, по форме многогранники.

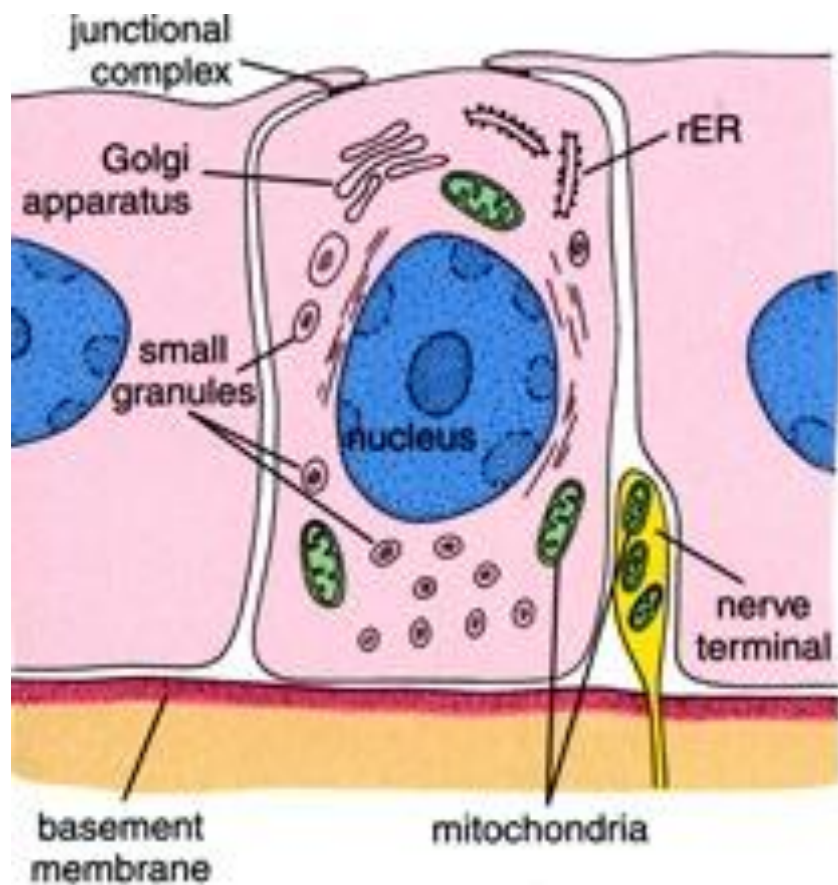
- Альвеоциты **1** типа (респираторные) плоские клетки, очень плотно прилежат друг к другу, занимают **95 %** поверхности альвеол.
- Альвеоциты **2** типа (секреторные) обладают высокой метаболической активностью, выделяют сурфактант.

# Альвеола

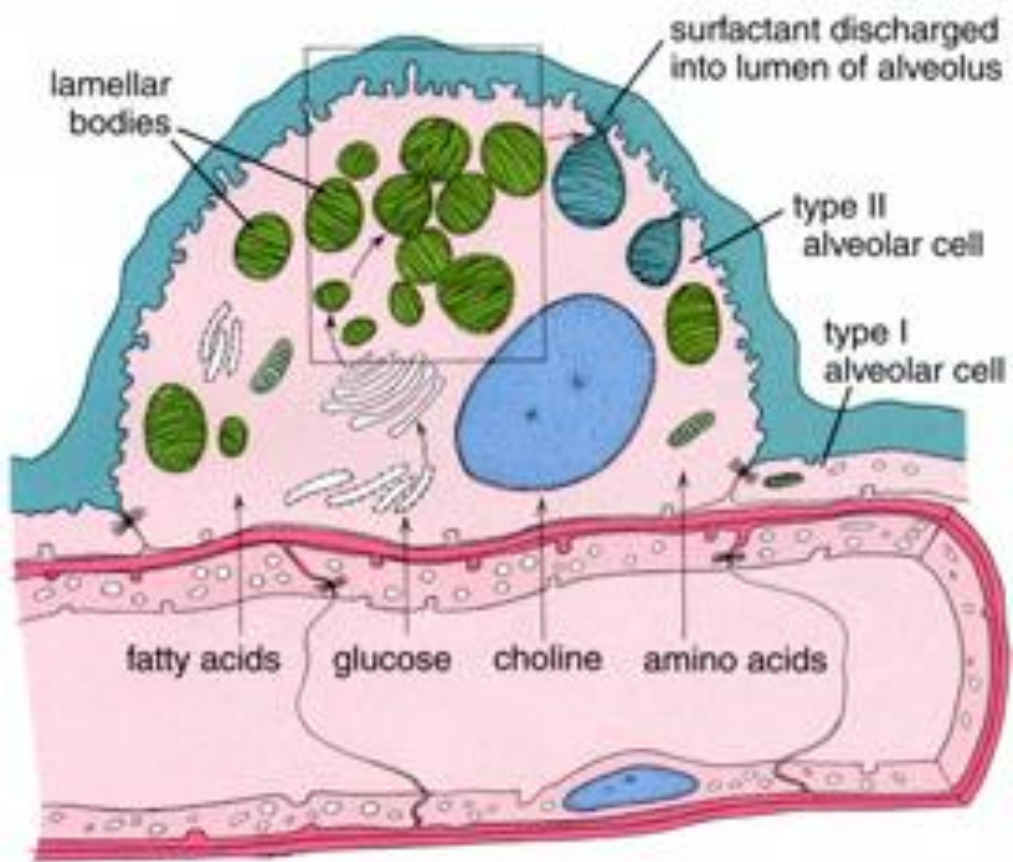


# Схема клеток альвеол

I ТИП



II ТИП

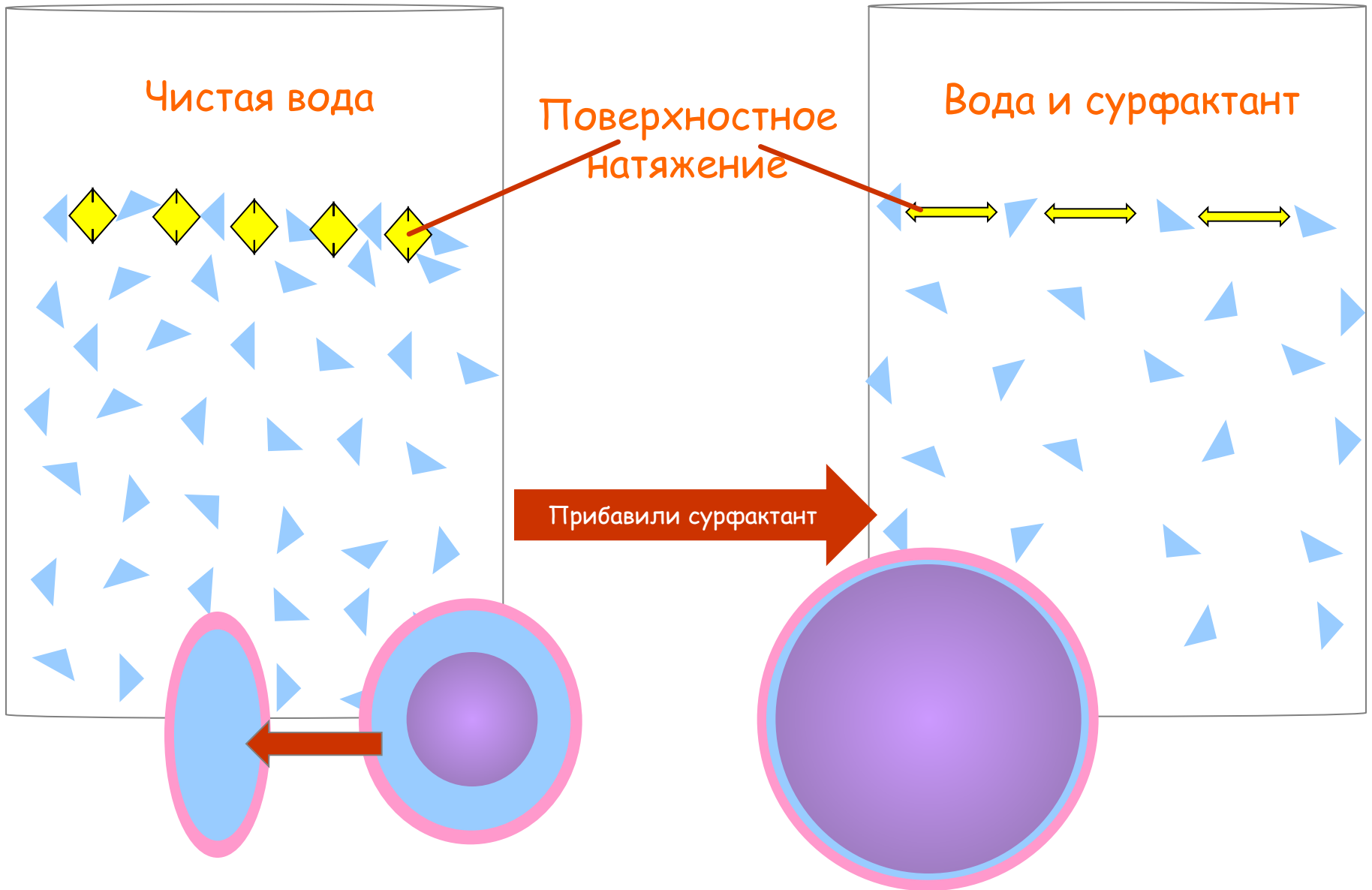




Сурфактант – эндоальвеолярная пленка состоит из  
**2** фаз:

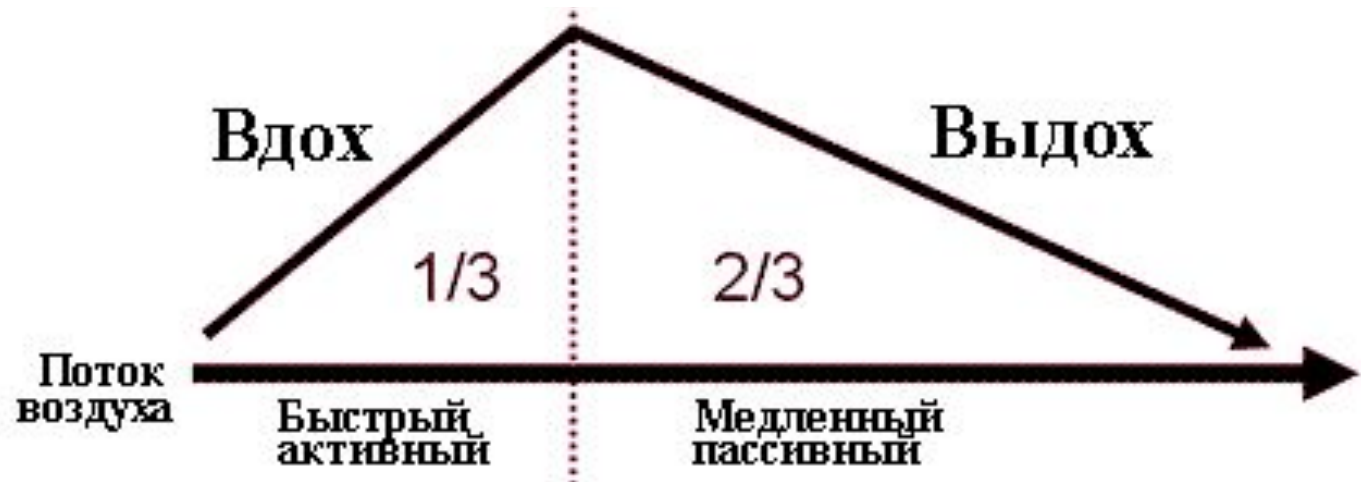
- Нижняя (гипофаза, жидкая) содержит гликопротеиды, сглаживающие неровности эпителия.
- Поверхностная (опофаза) содержит мономолекулярную фосфолипидную пленку.

# Роль сурфактанта



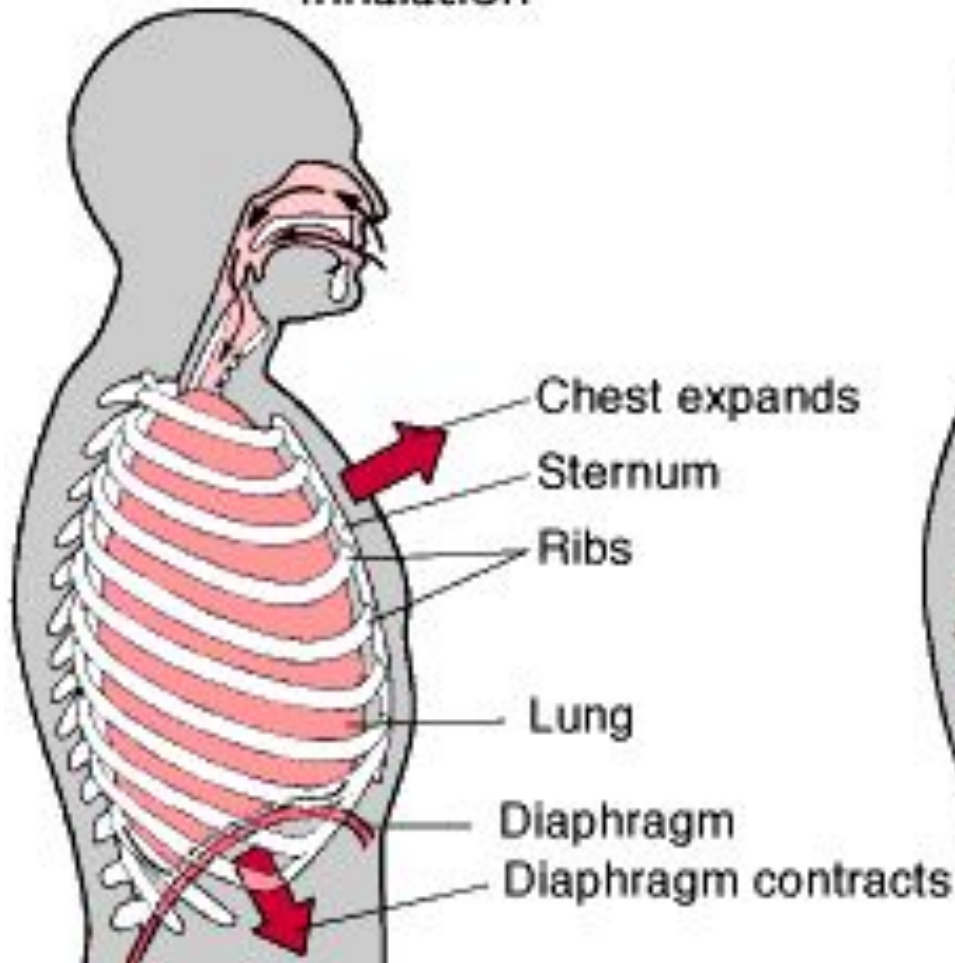
## Дыхательный цикл

- Вдох – выдох – вставочный вдох (вздых возникает примерно через 10 циклов).
- Дыхательный цикл = Частота дыхания (ЧД): 12 – 18/мин

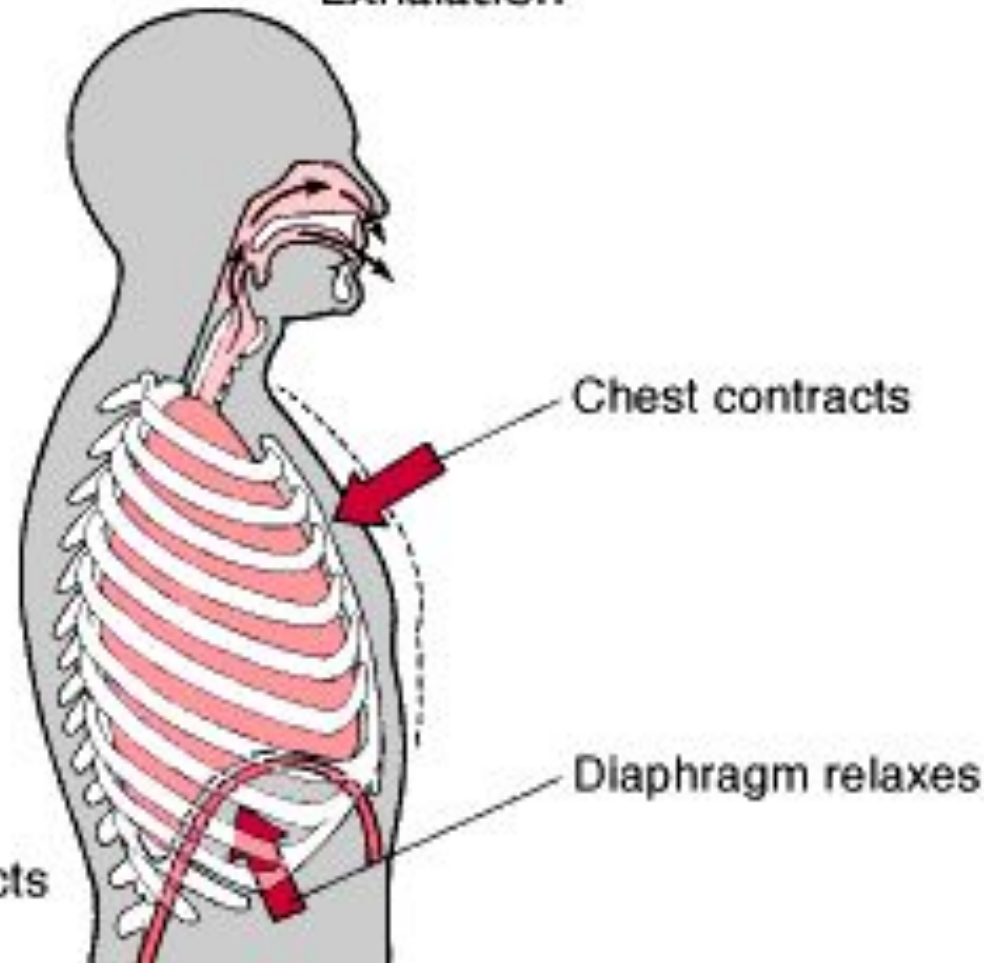


# Механика дыхания – два простых движения составляют дыхательный цикл

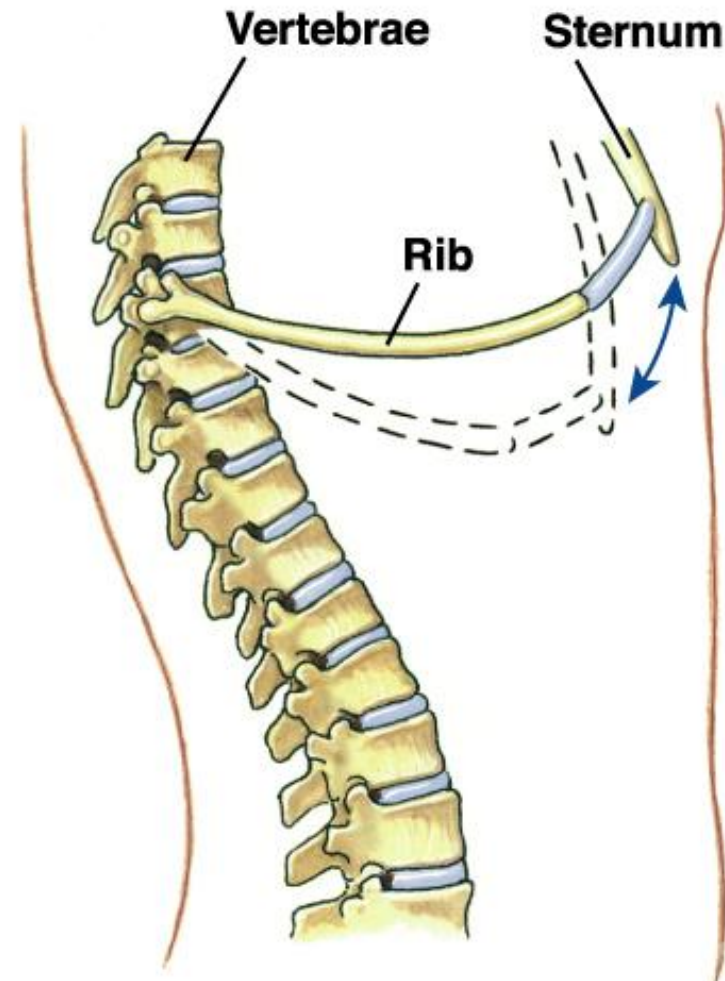
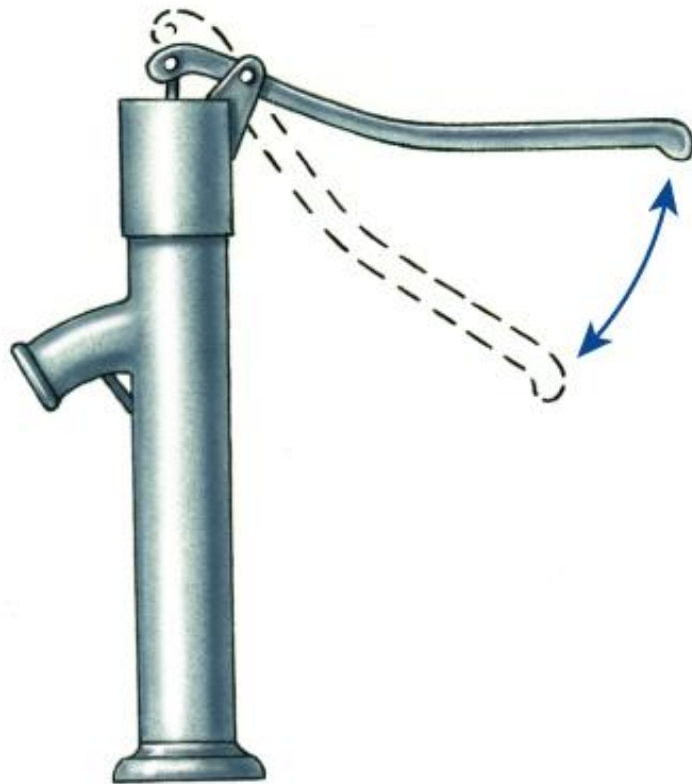
Inhalation



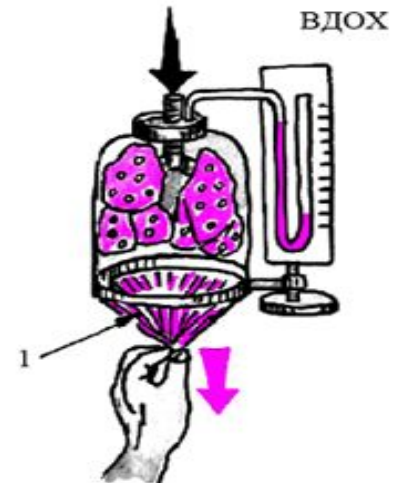
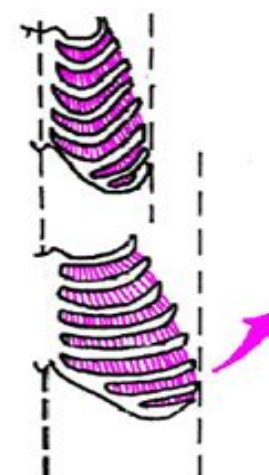
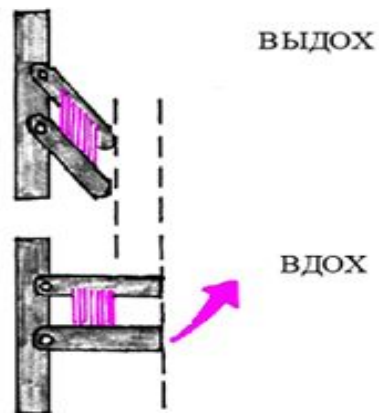
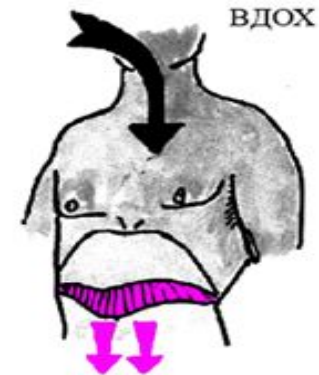
Exhalation



Движения рёбер и грудной клетки во время вдоха и выдоха похожи на движения рукоятки ручного насоса



# Модель Дондерса



# Вентиляция легких происходит за счет дыхательных мышц

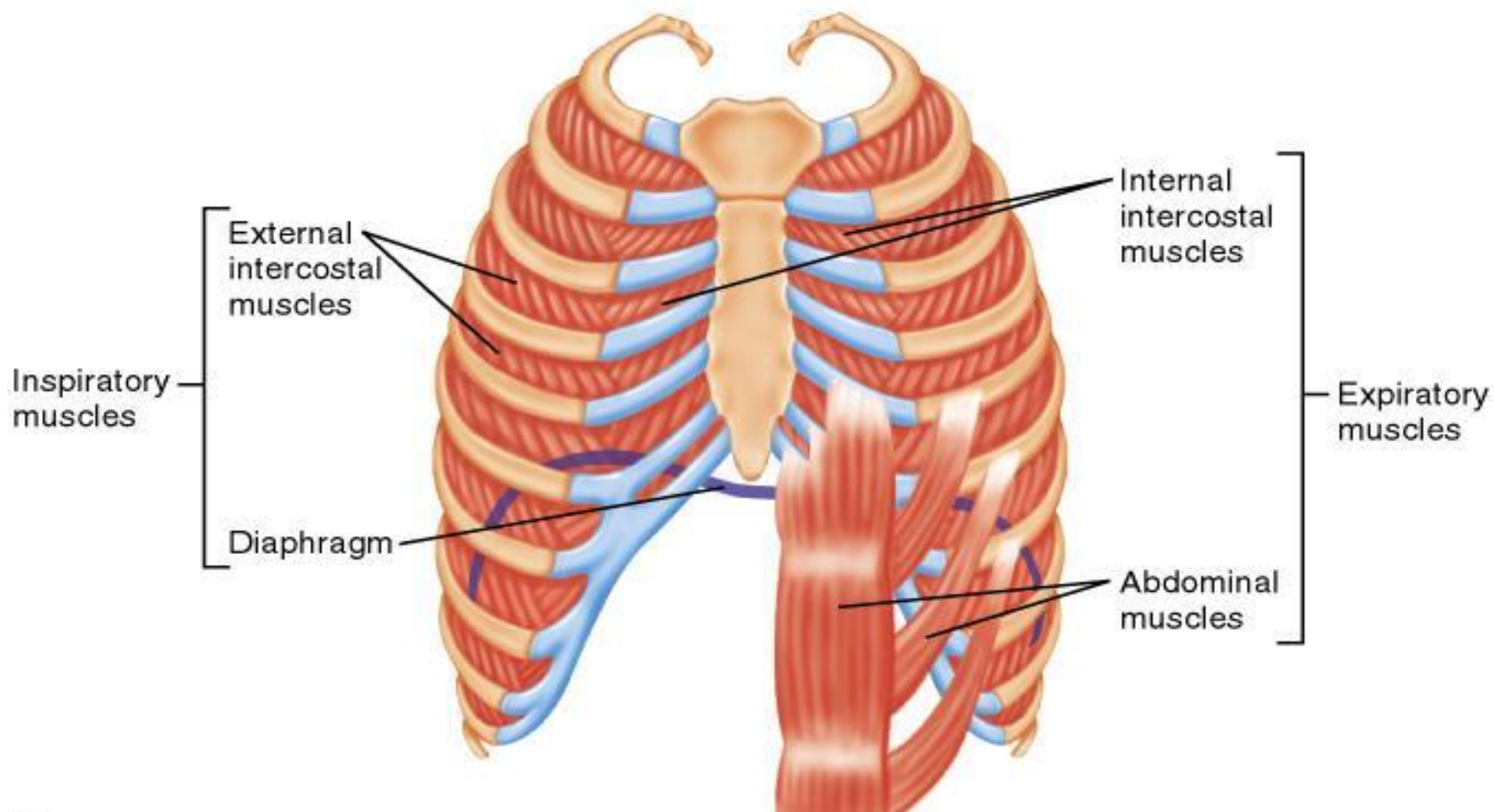
- Мышцы вдоха

- Диафрагма – главная мышца вдоха.
- Наружные межрёберные.
- Дополнительные мышцы:
  - Грудино-ключично-сосцевидные, лестничные, трапецевидные, крылья носа.

- Мышцы выдоха

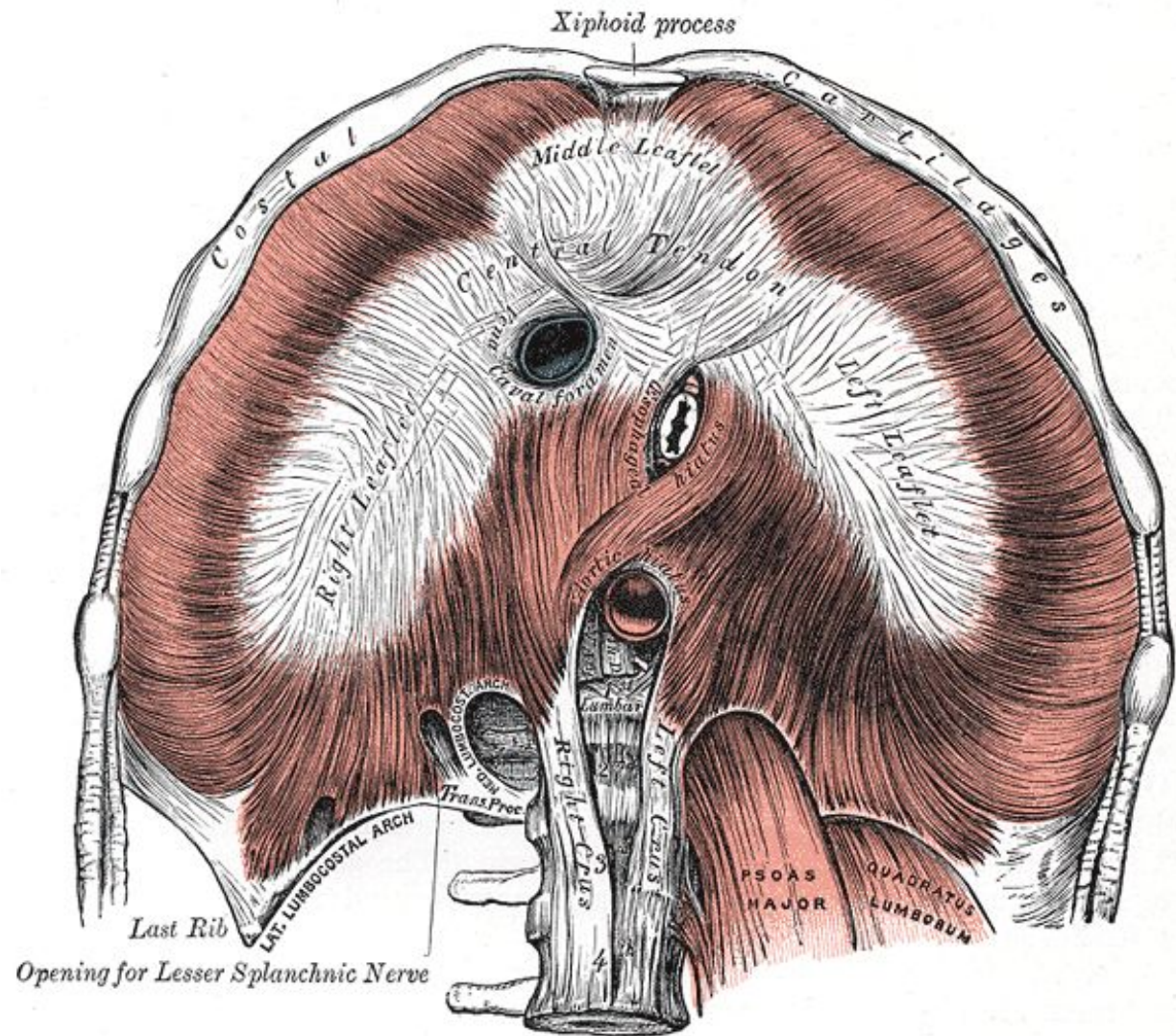
- Внутренние межрёберные.
- Брюшные.

# Дыхательные мышцы

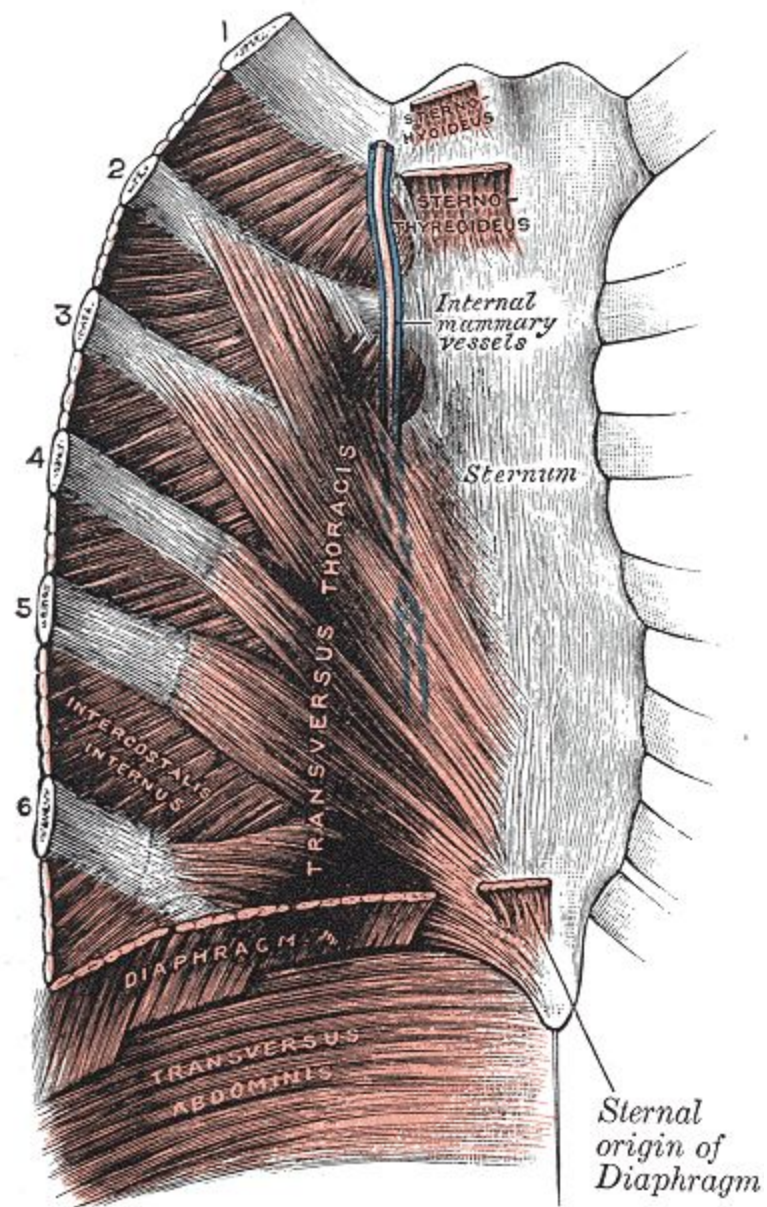
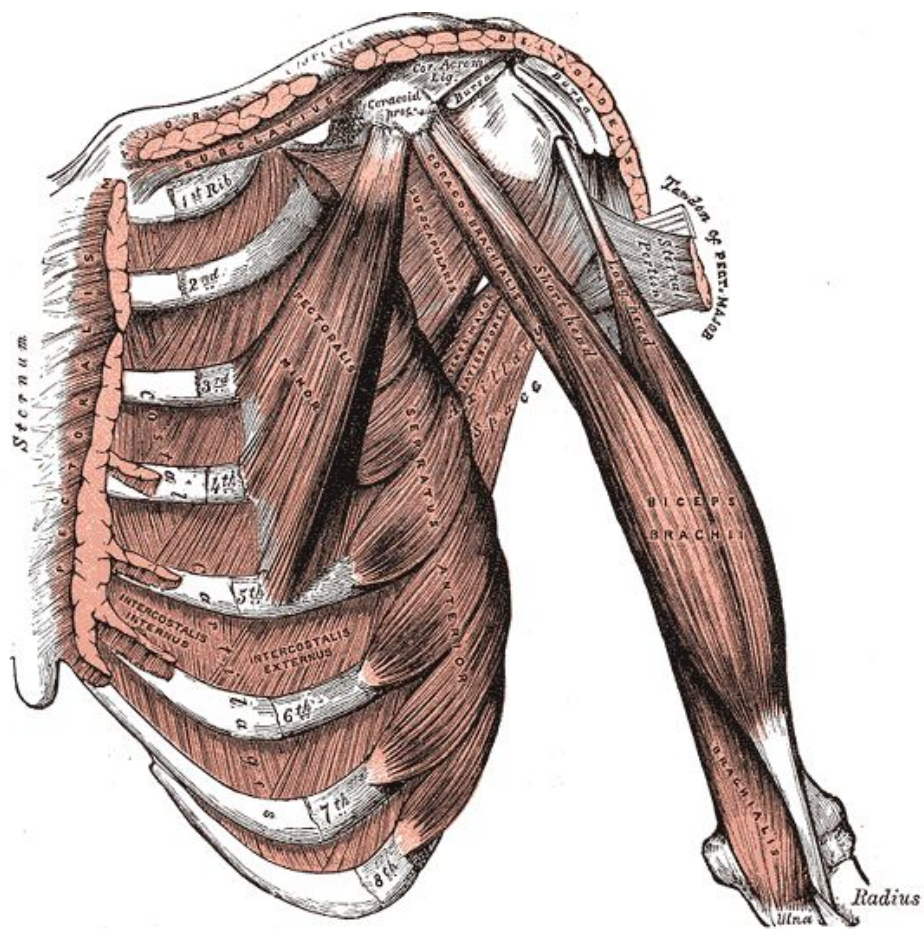




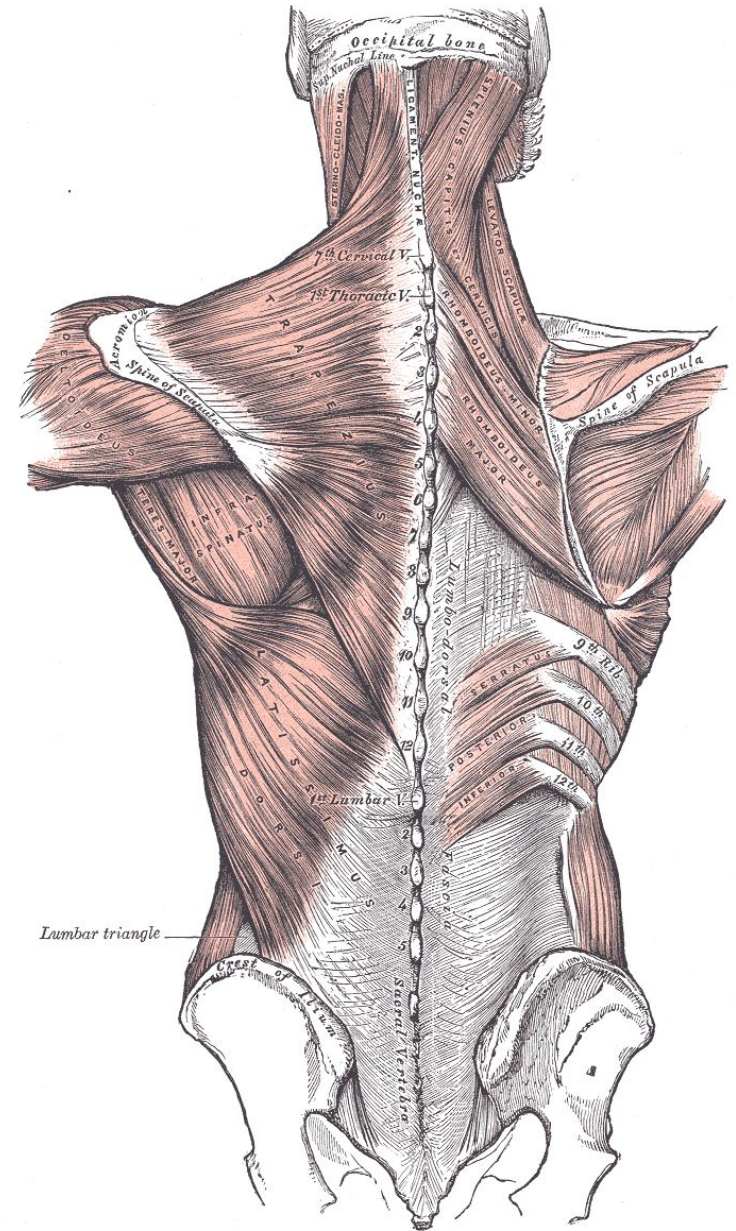
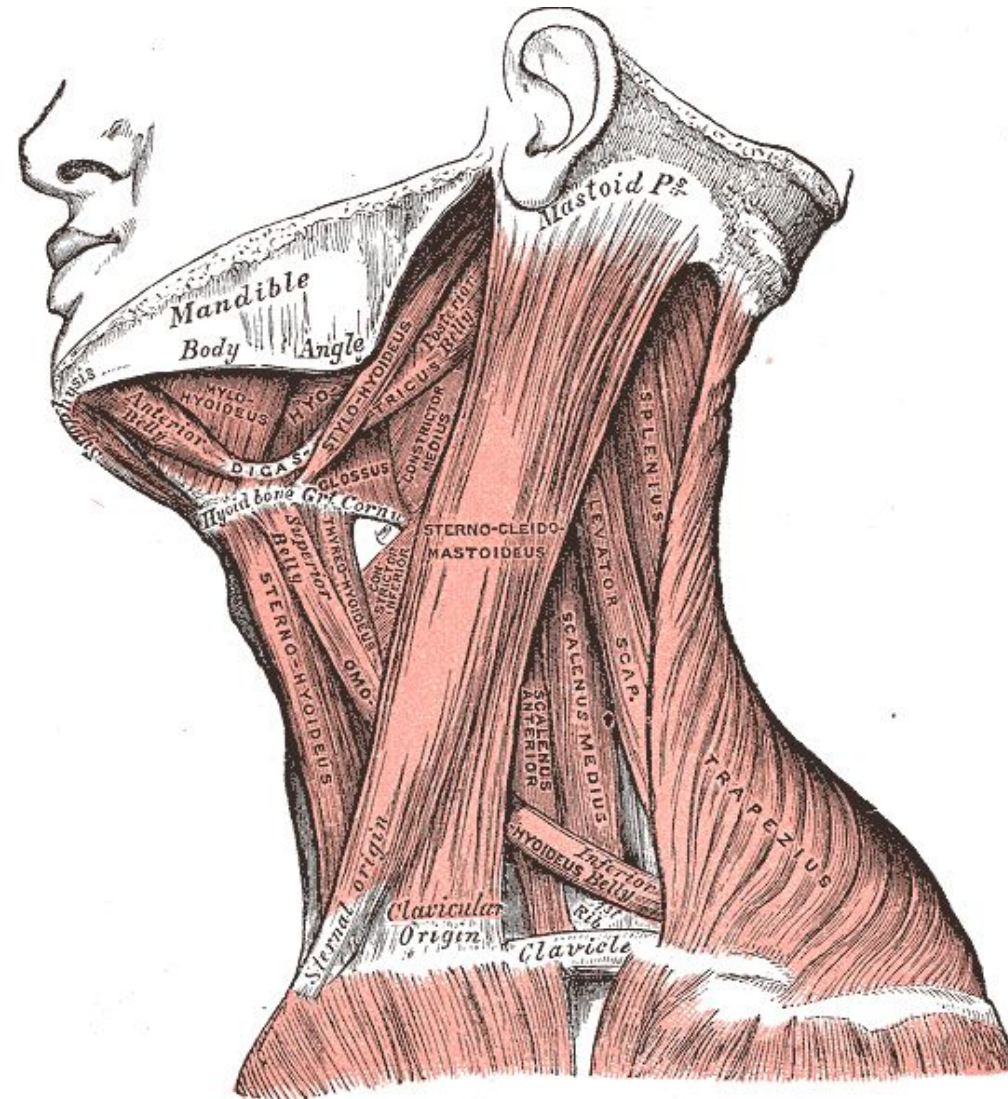
# Диафрагма (нижняя поверхность)



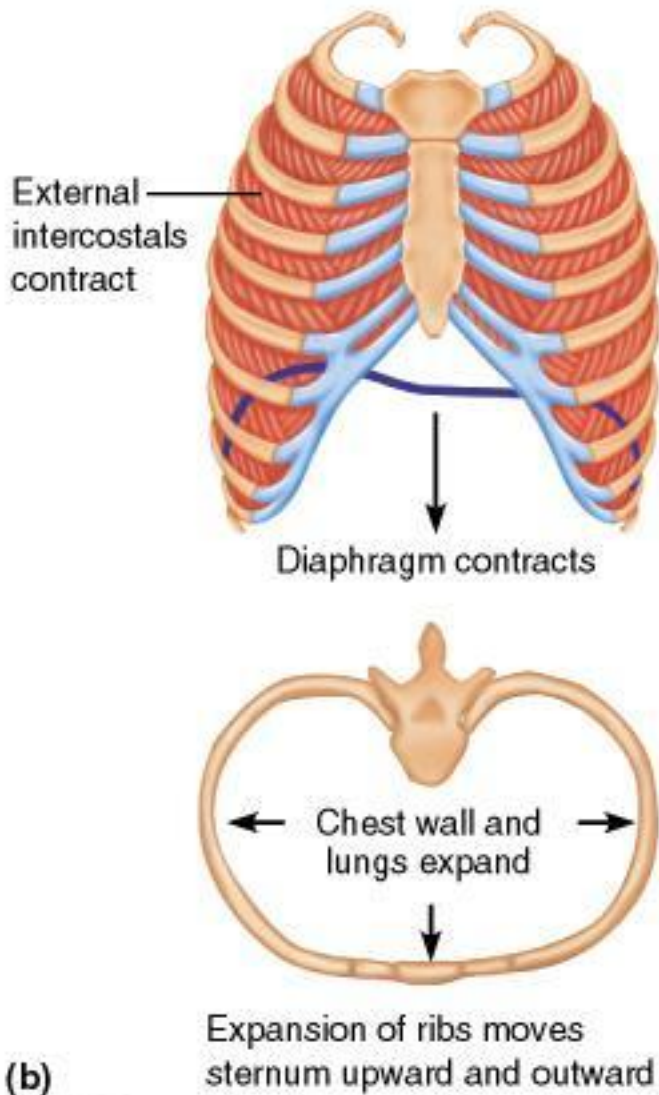
# Мышцы грудной клетки



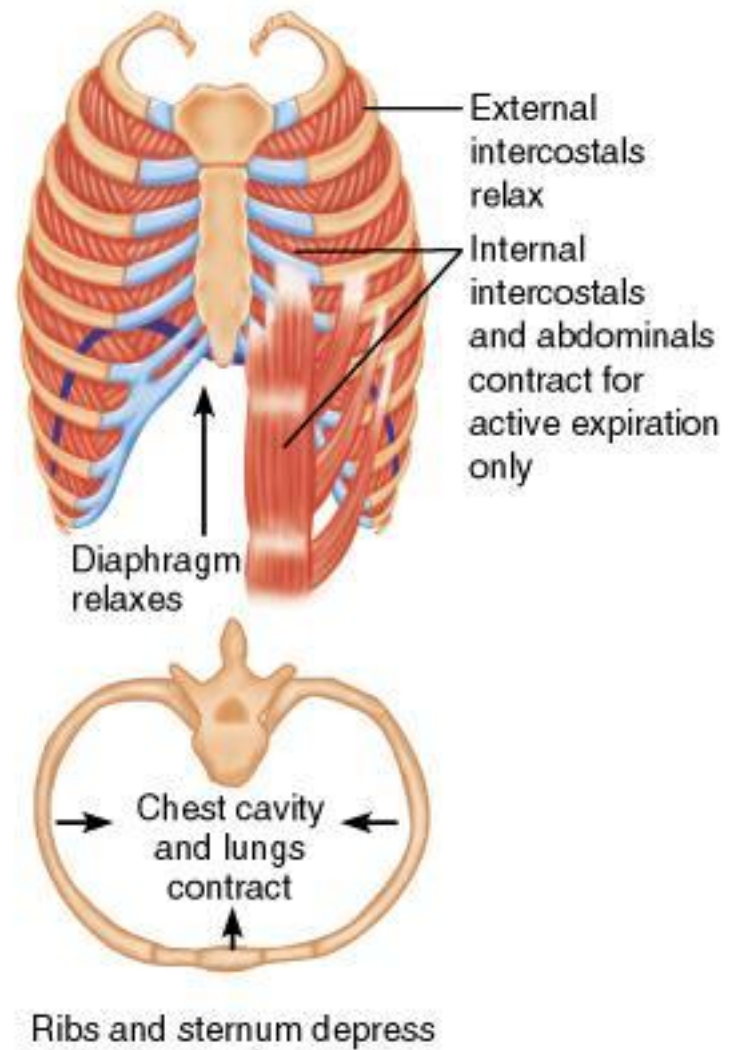
# Дополнительные мышцы



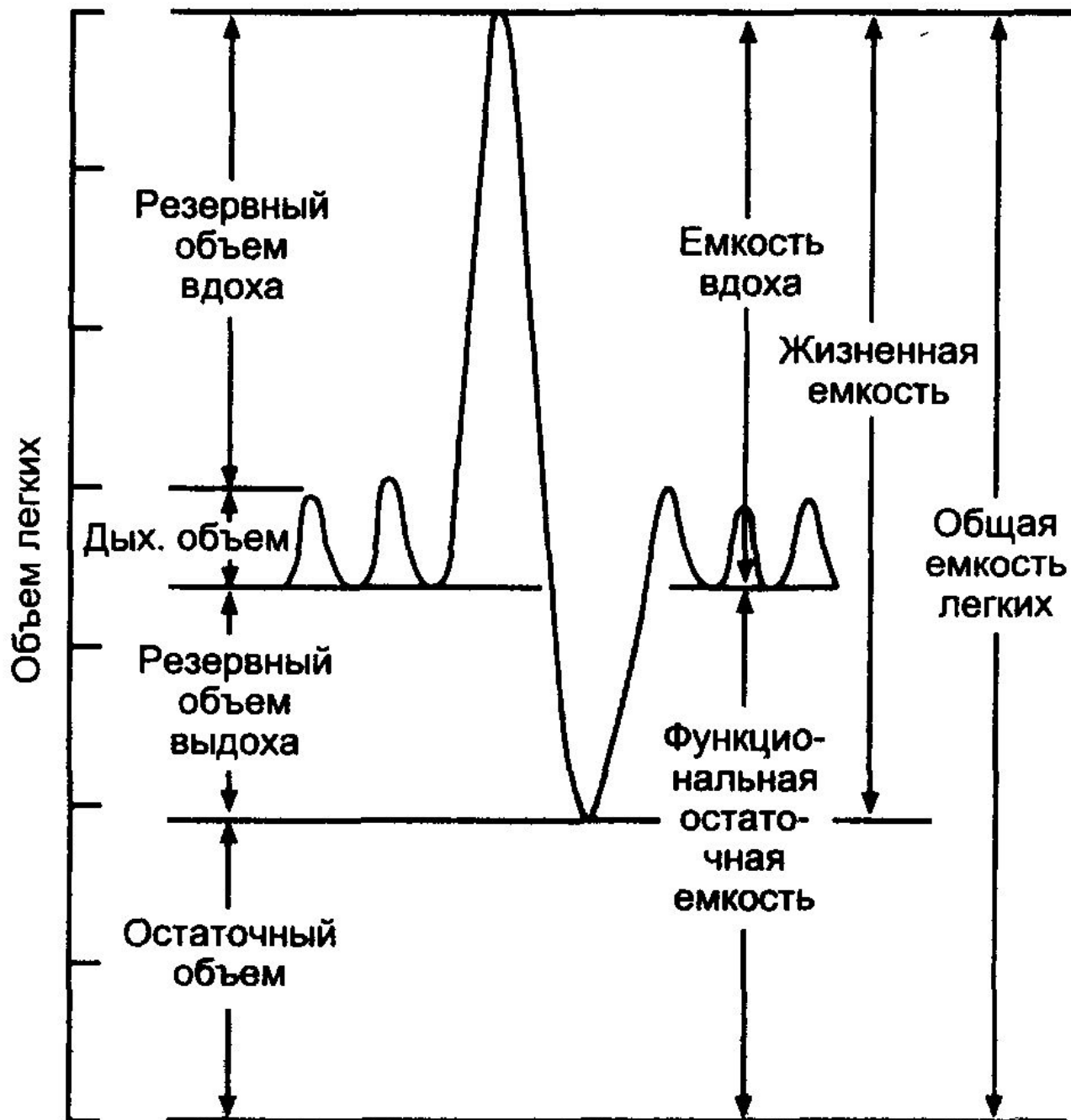
# Инспирация



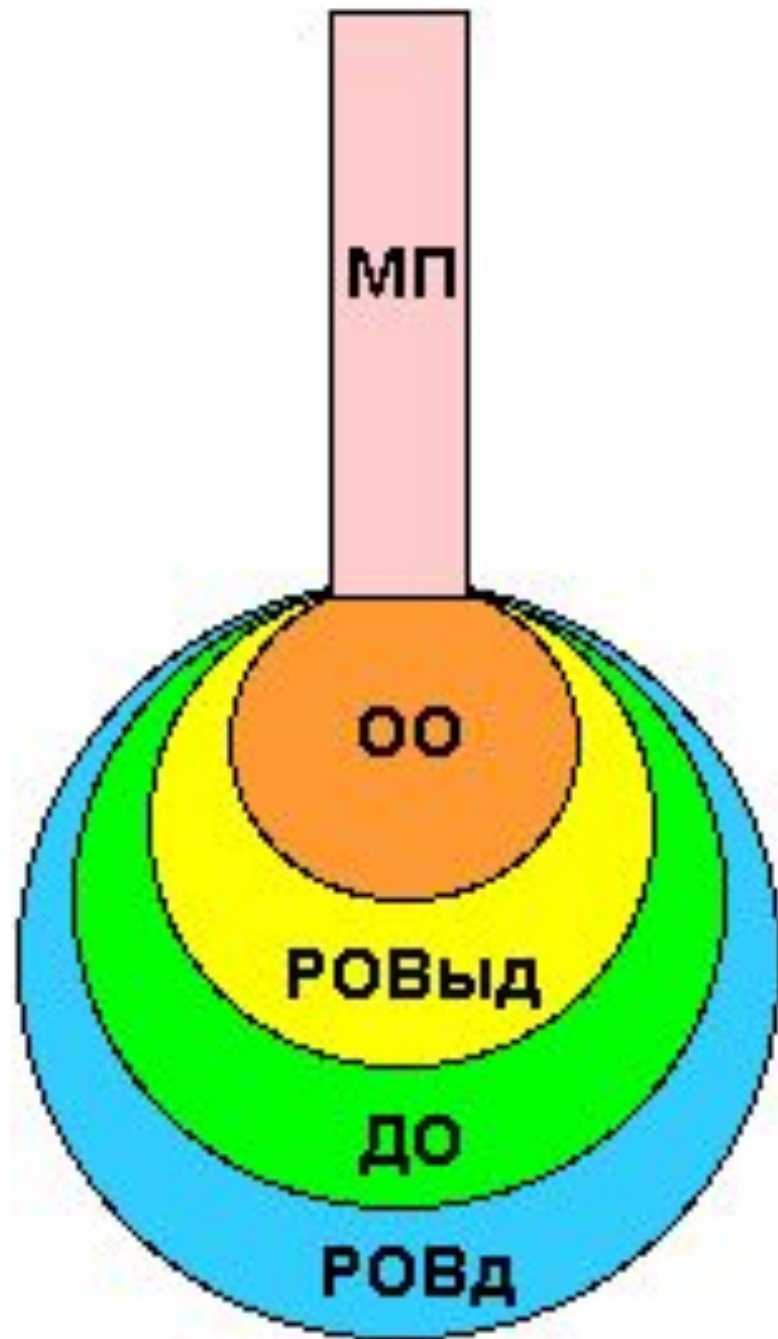
# Экспирация



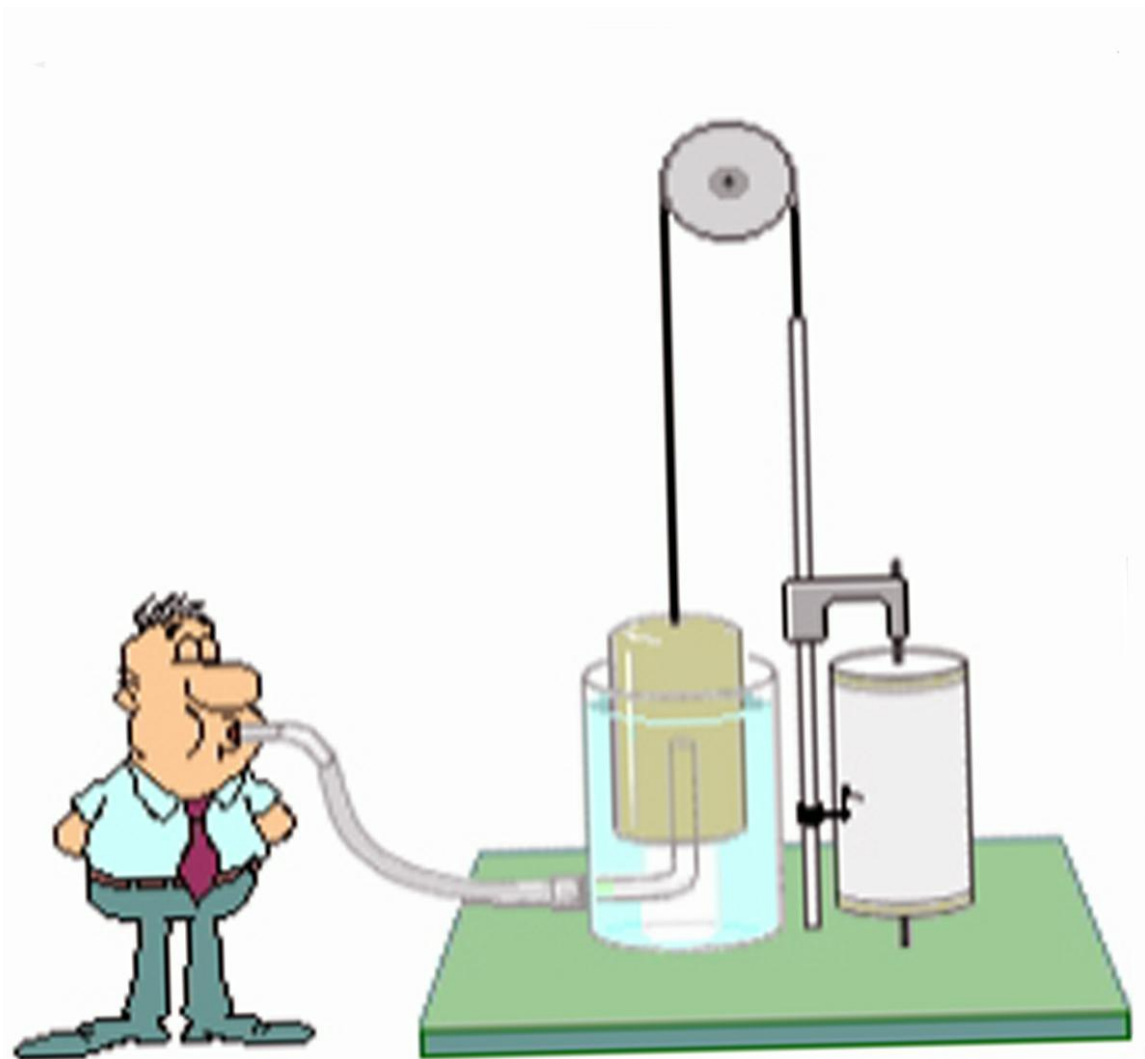
Статические и динамические объёмы и ёмкости лёгких



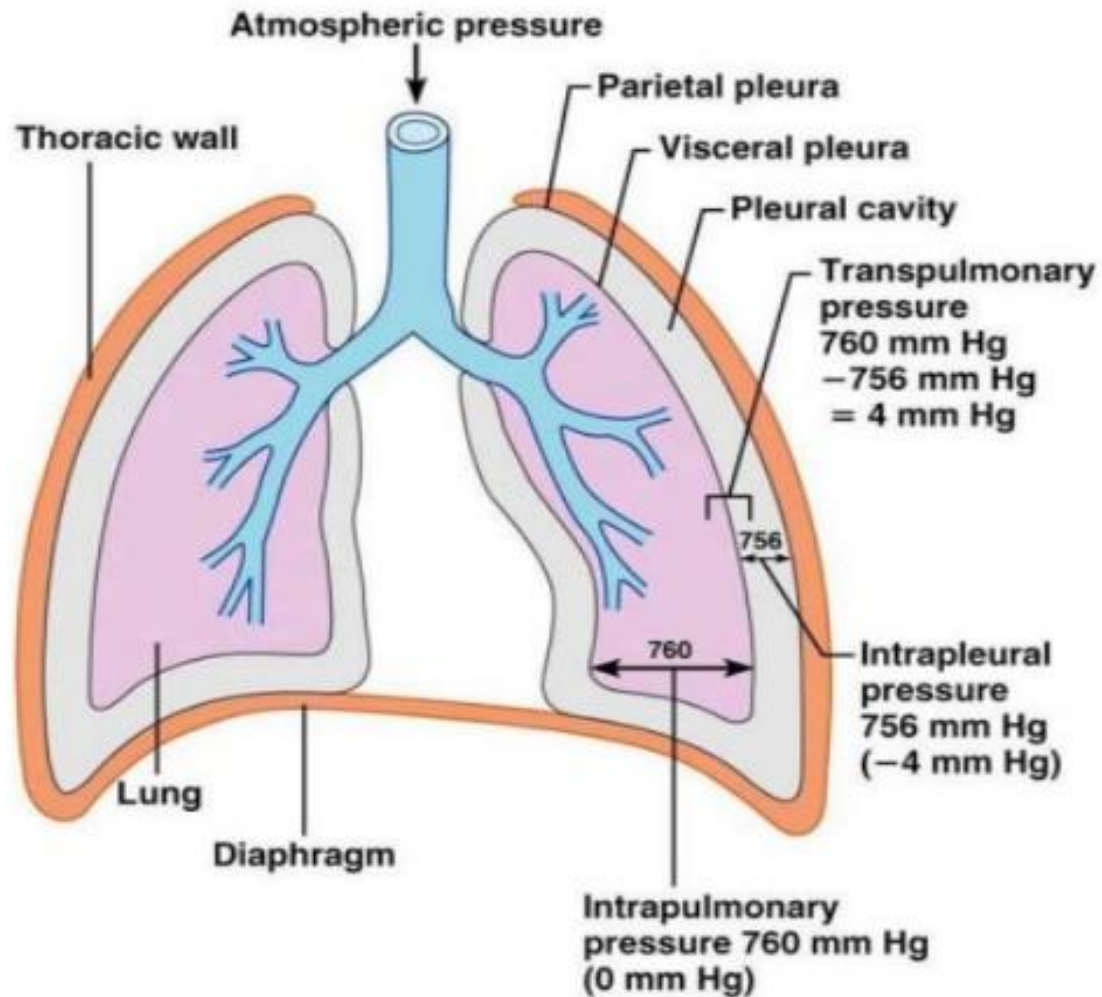
Распределение  
лёгочных объёмов и  
ёмкостей



# Спирометрия



# Виды давлений в системе дыхания

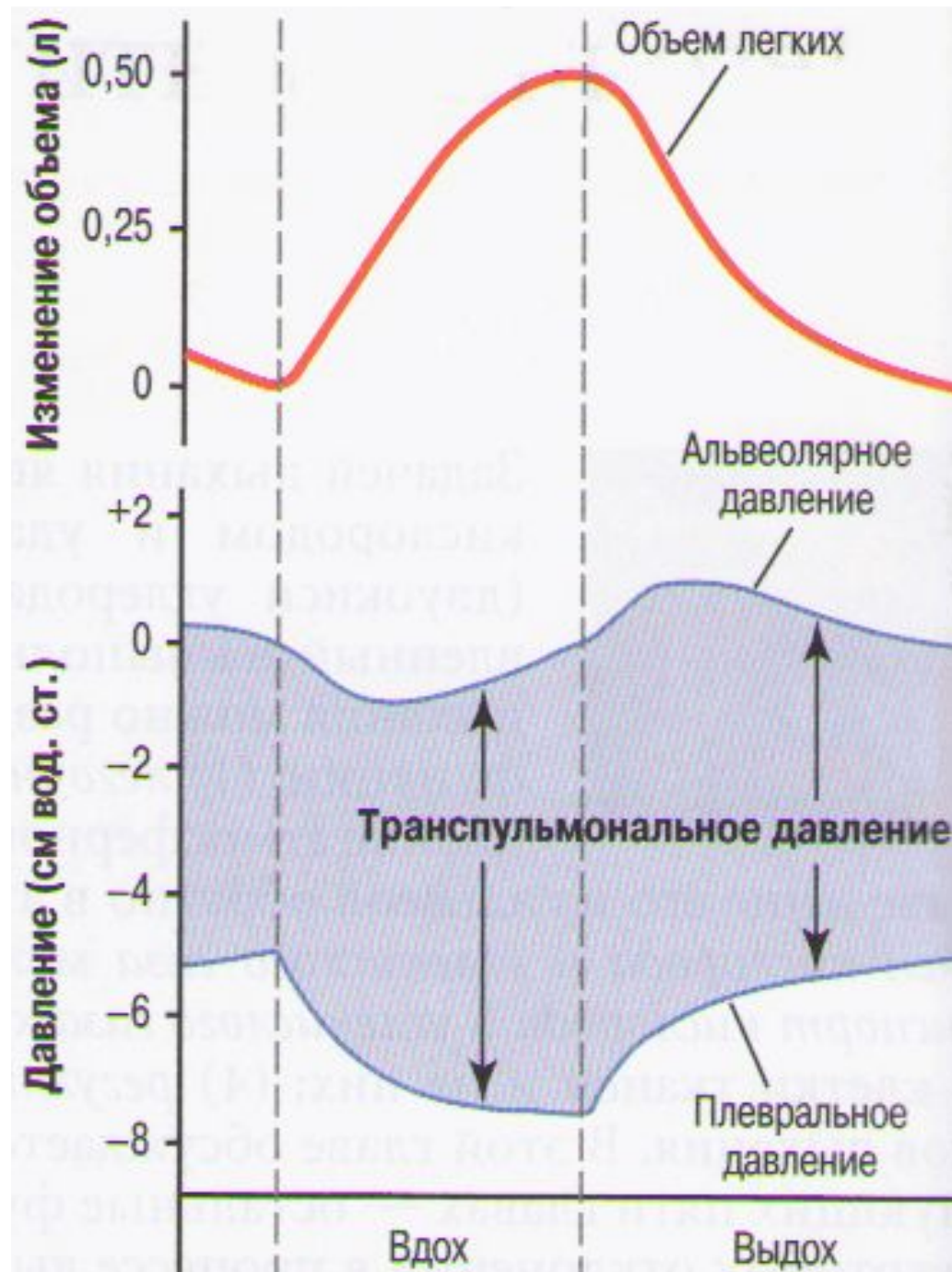




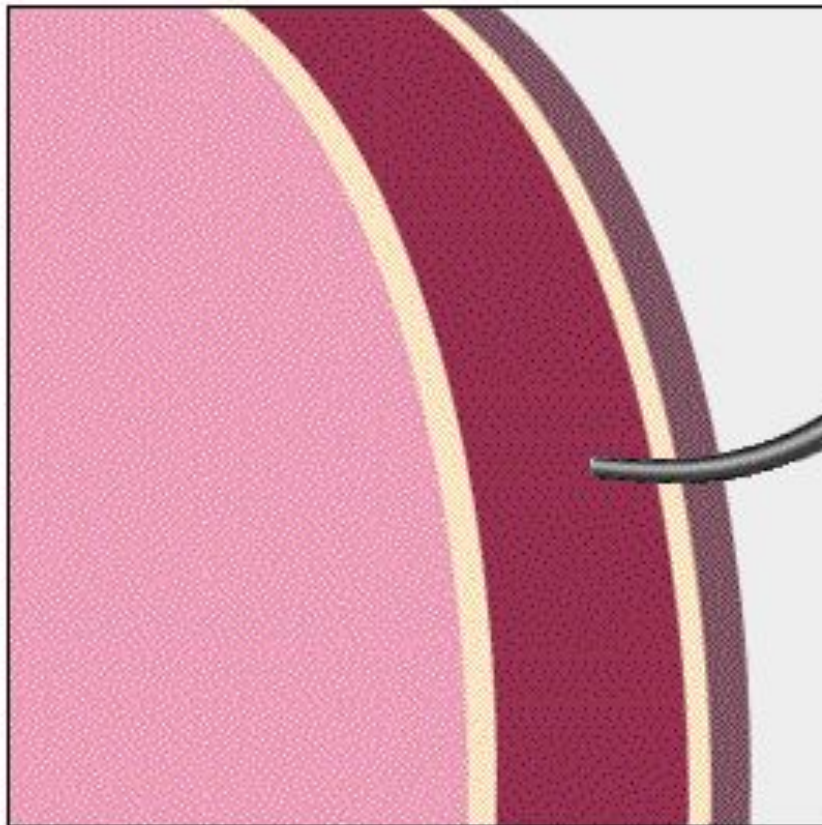
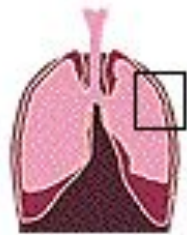
# Почему воздух двигается в легкие?

- Изменяется плевральное давление
- В начале вдоха давление между плевральными листками около – 5 см вод. ст.
- При нормальном вдохе 500 мл атмосферного воздуха – 7,5 см вод. ст.

Изменения объема легких,  
альвеолярного давления,  
транспульмонального  
давления и плеврального  
давления во время вдоха и  
выдоха



# Измерение внутриплеврального давления



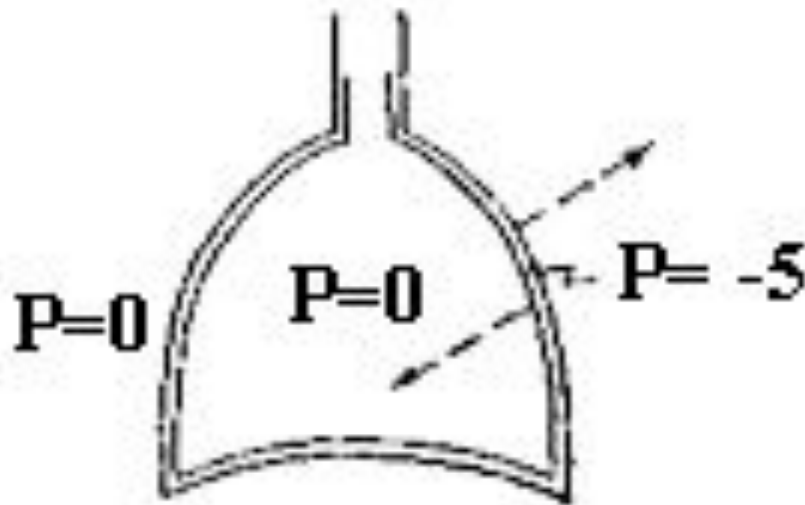
Внутриплевральное  
давление



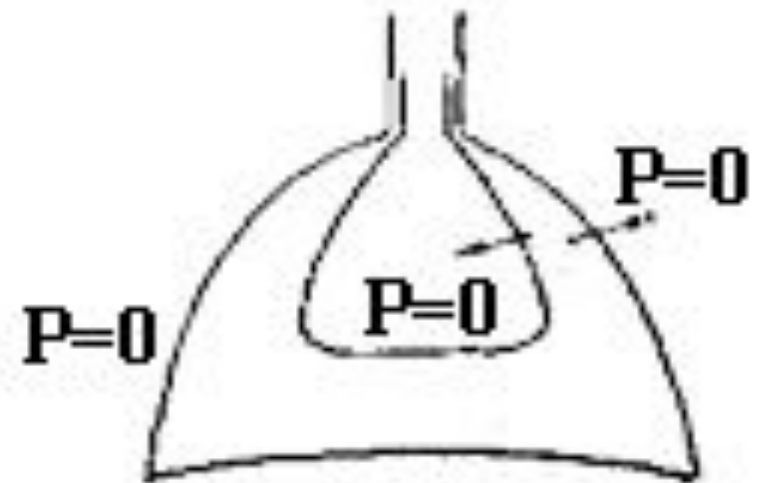
Внутриплевральное  
давление



упругостью обладают не только легкие, но и грудная клетка. В норме давление в плевральной щели ниже атмосферного. Если в плевральную полость попадает воздух, то давление в ней становится равным атмосферному, легкие спадаются, а грудная клетка расправляется. Это значит - в норме грудная клетка стянута, а легкие растянуты и действующие в них упругие силы (эластические тяги) уравновешивают друг друга в состоянии ФОЕ.

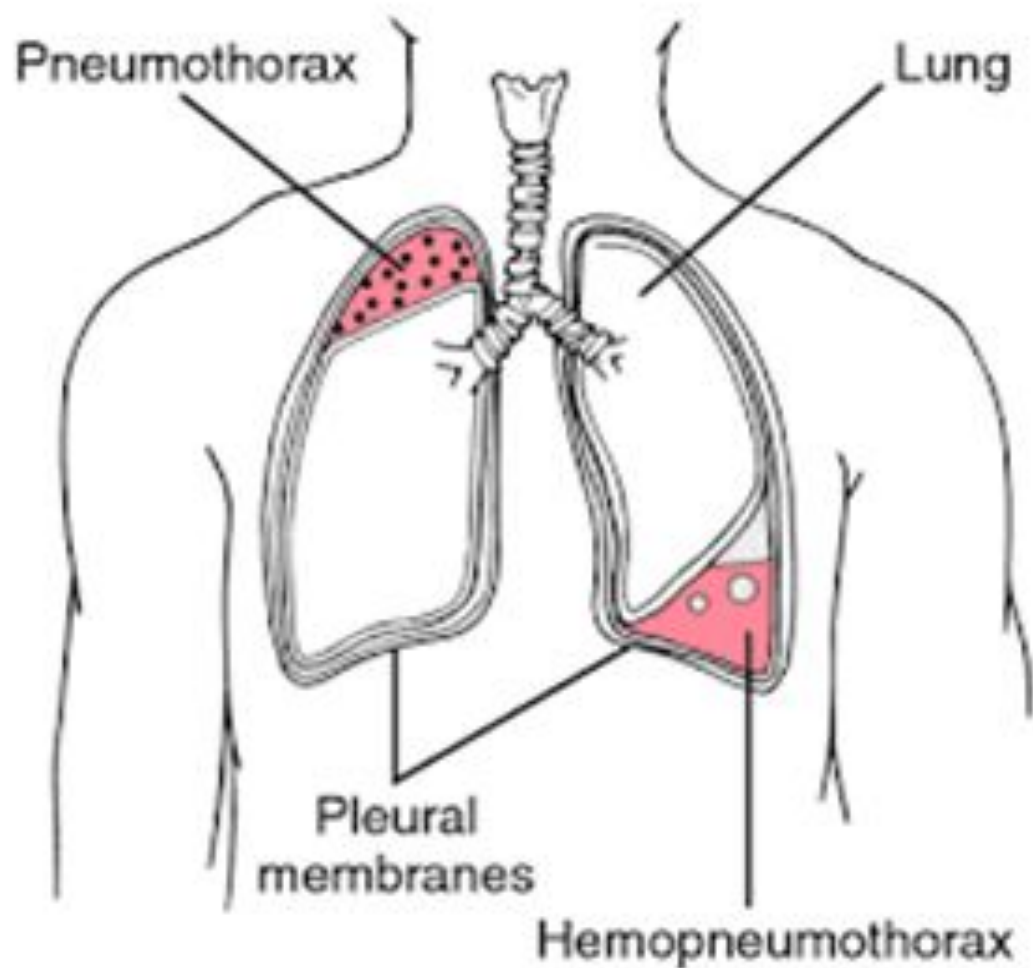


**Норма**

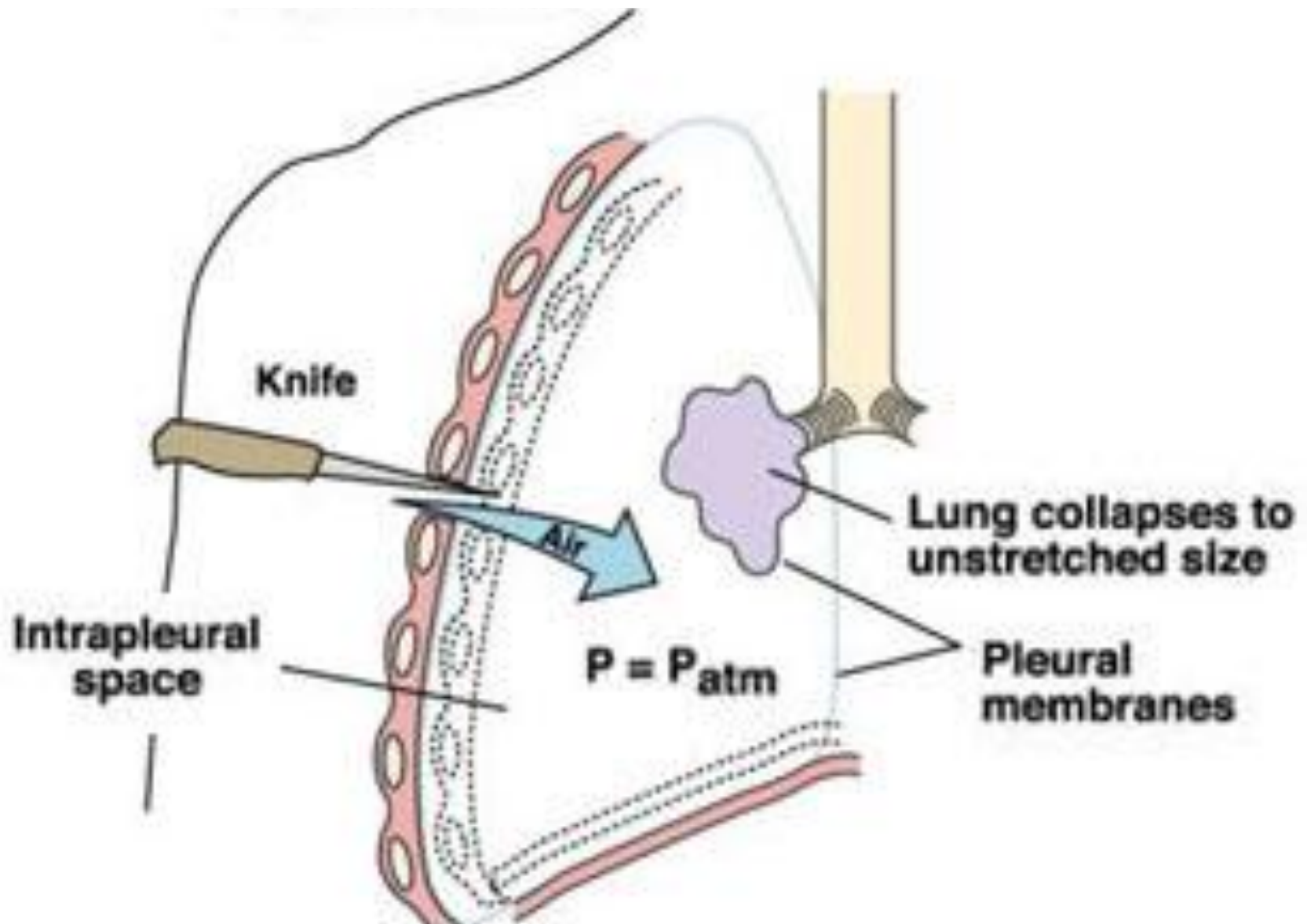


**Пневмоторакс**

# Пневмо-и гемоторакс



# Условие возникновения пневмоторакса



## Какие факторы влияют на лёгочный объём во время вдоха

- Растяжимость (compliance) лёгочной ткани.
- Поверхностное натяжение слоя жидкости в альвеолах.
- Сопротивление дыхательных путей.

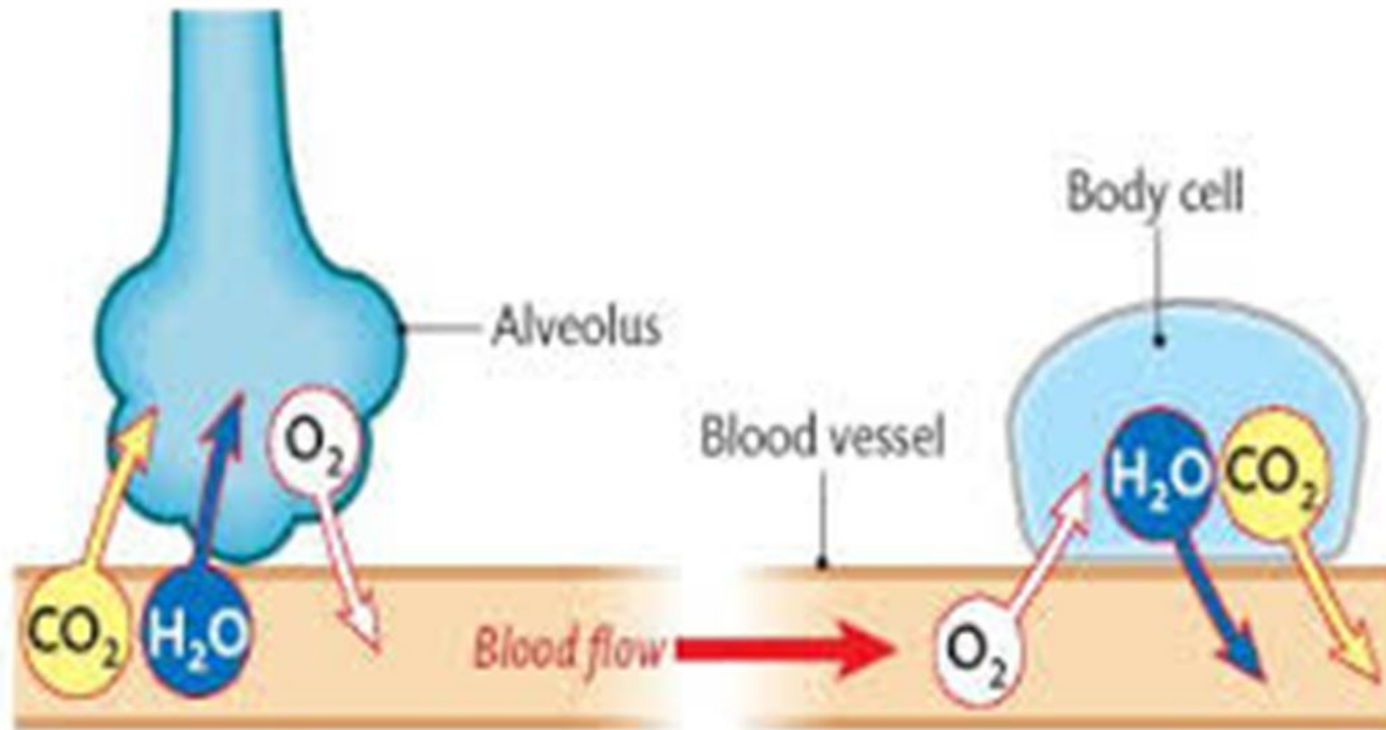
## Растяжимость – мера эластических свойств лёгочной ткани

- Растяжимость характеризует количественно степень увеличения объёма лёгких у человека в зависимости от степени уменьшения при вдохе внутриплеврального давления.
- Грудная клетка также обладает эластическими свойствами



# Функциональная задача вентиляции

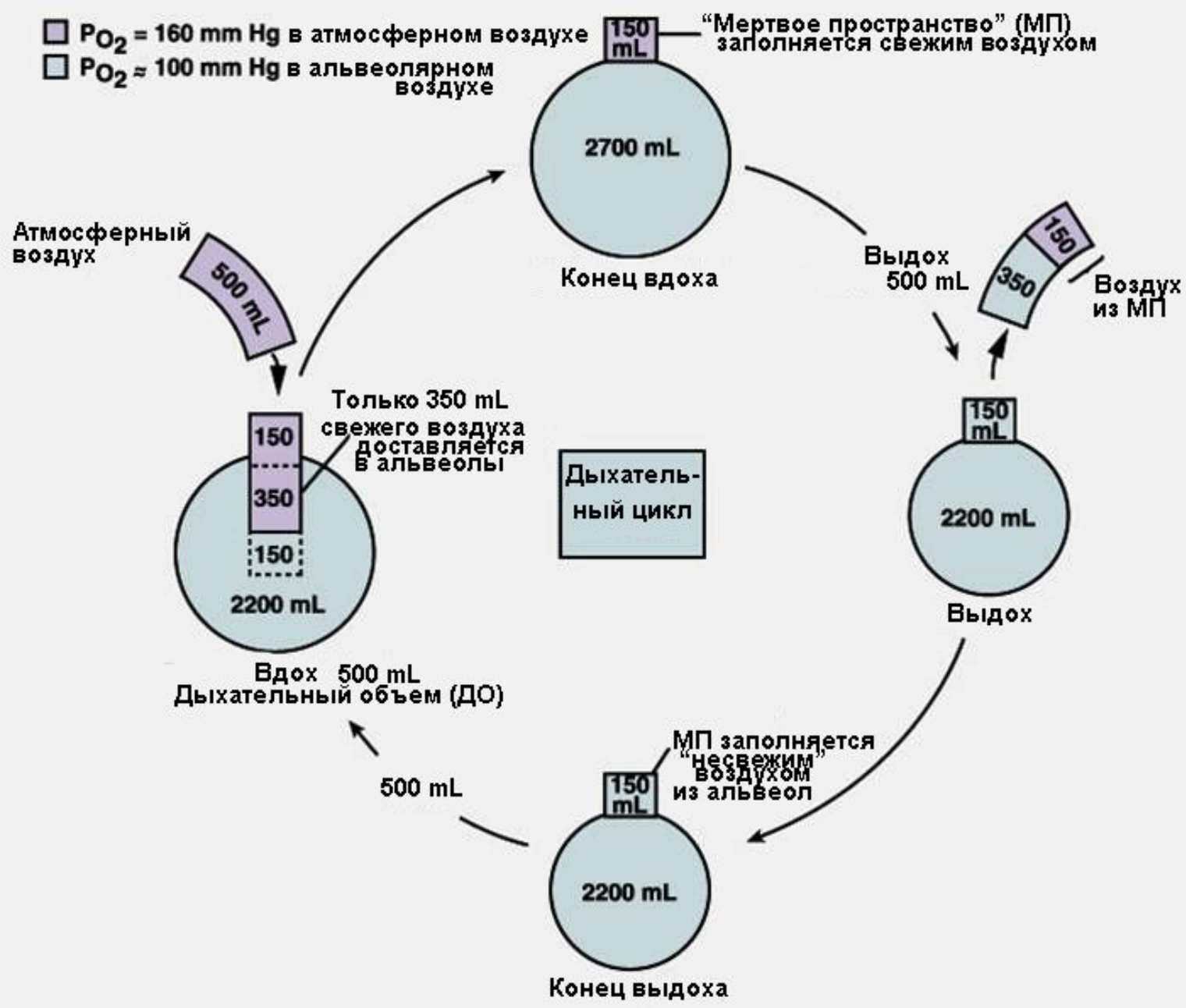
- Поддержание постоянного состава альвеолярного воздуха



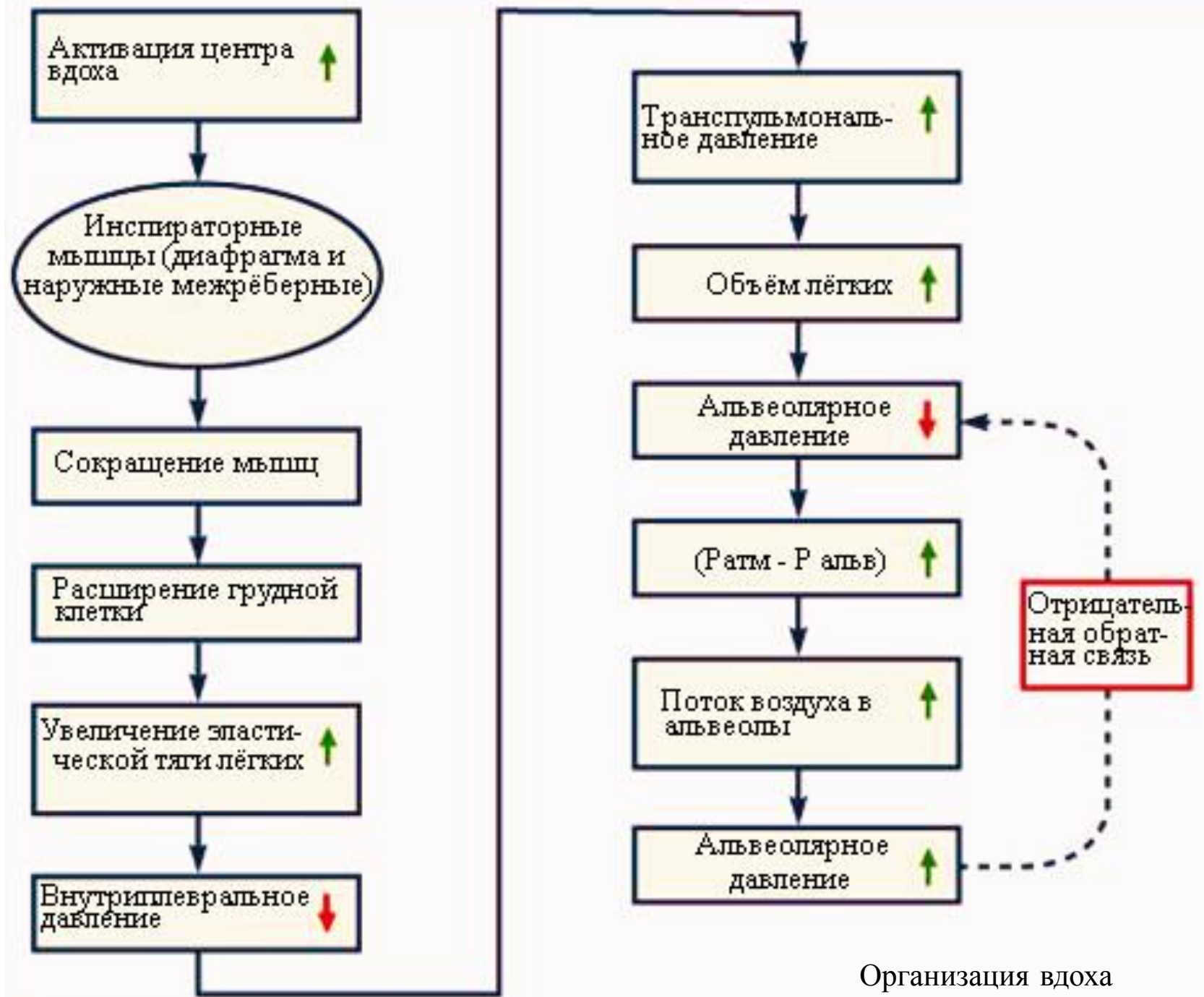
**Заметьте!** В лёгких обменивается незначительная часть имеющегося в альвеолах воздуха:

- «Свежий» приходящий воздух (350 мл = ДО -АМП) составляет только 1/7 от «старого», содержащегося в альвеолах (ФОЕ = 2700 мл)

$PO_2 = 160 \text{ mm Hg}$  в атмосферном воздухе  
  $PO_2 \approx 100 \text{ mm Hg}$  в альвеолярном воздухе



Альвеолярный воздух формируется из двух порций ДО: **350** мл (свежий воздух из атмосферы) + **150** мл (воздух мертвого пространства)



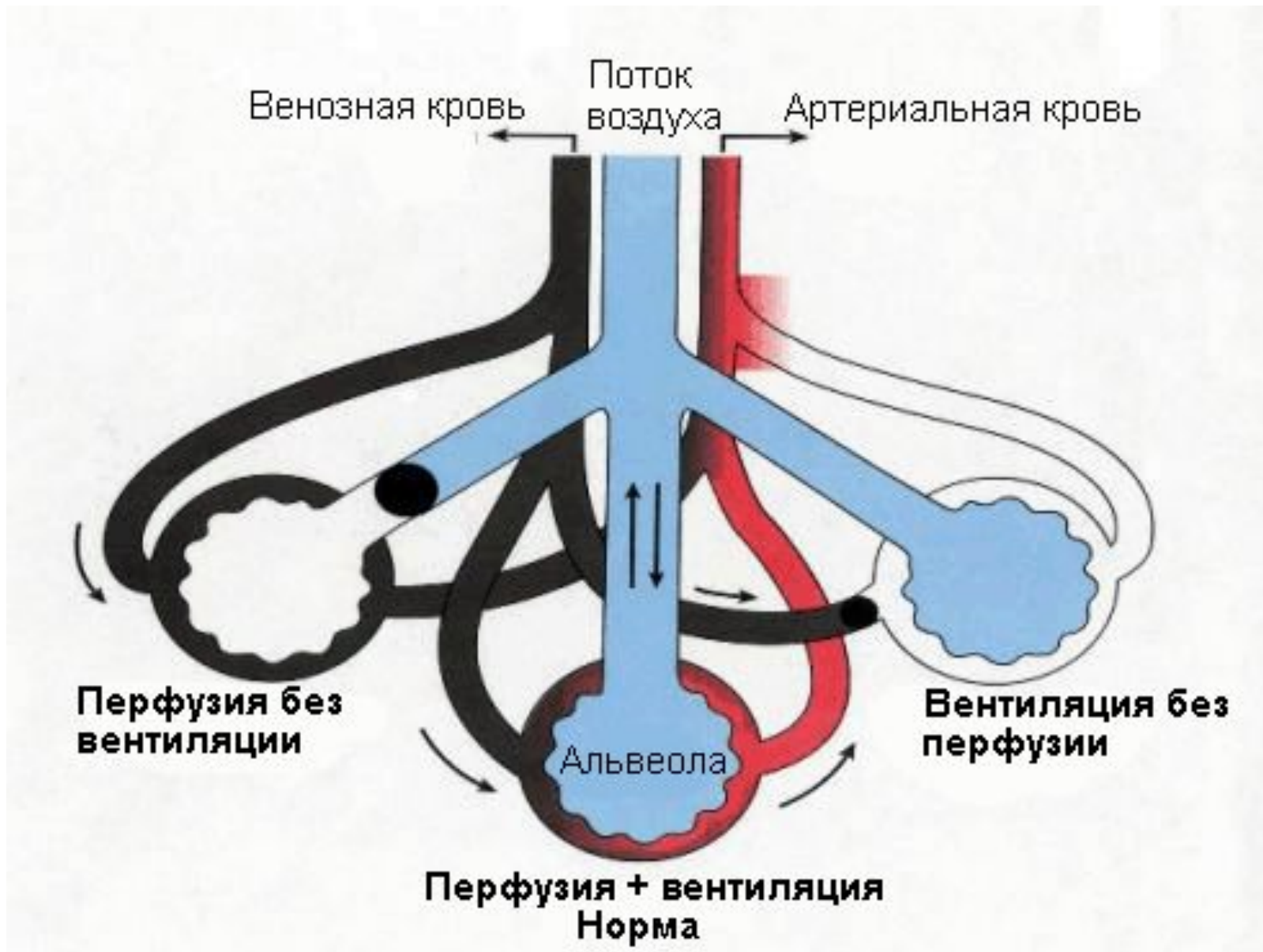
Организация вдоха

# Определение минутной вентиляции лёгких (МОД) и альвеол (АВ)

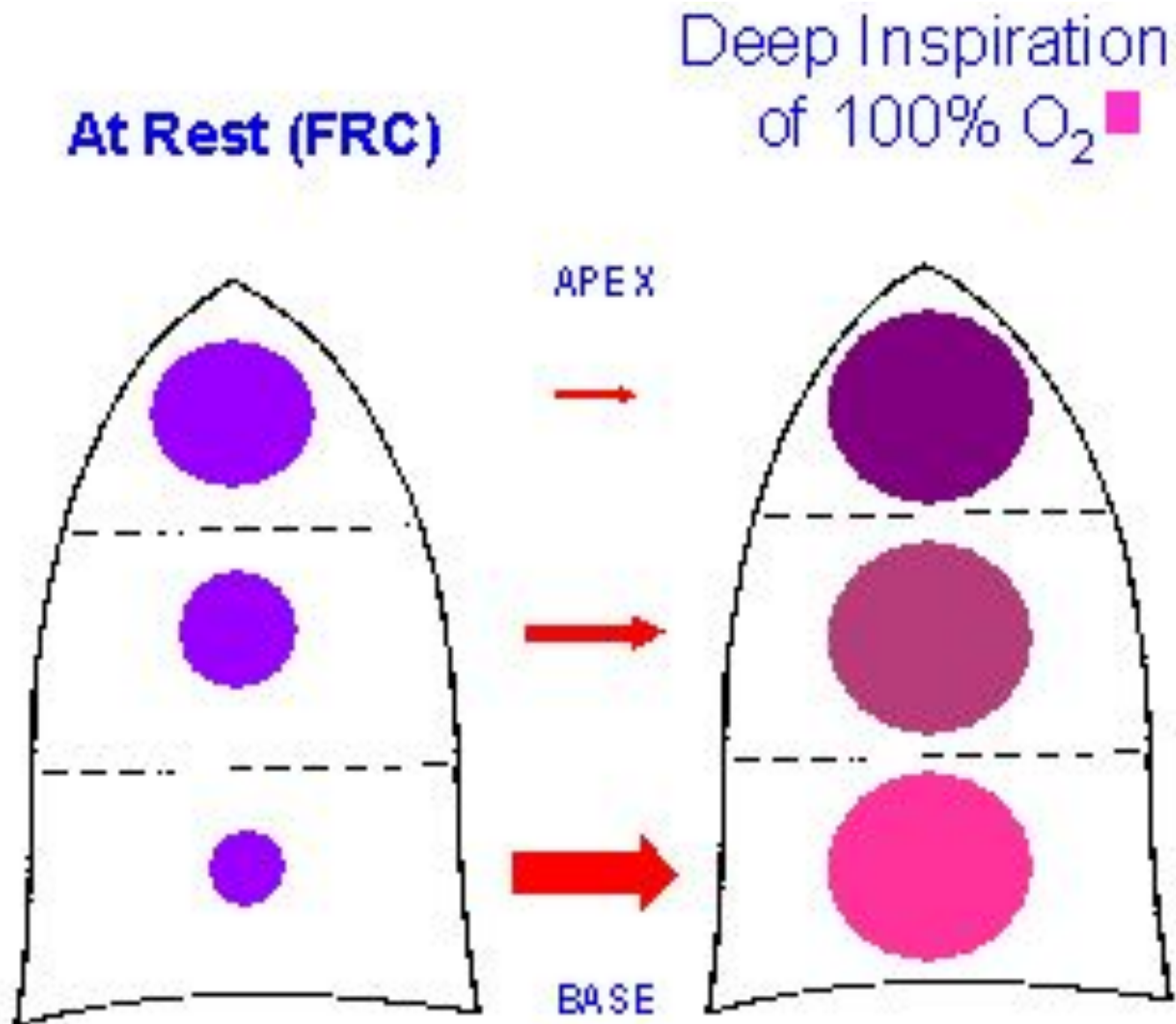
$$\text{МОД} = \text{ДО} \times \text{ЧД}$$

$$\text{АВ} = (\text{ДО} - \text{АМШ}) \times \text{ЧД}$$

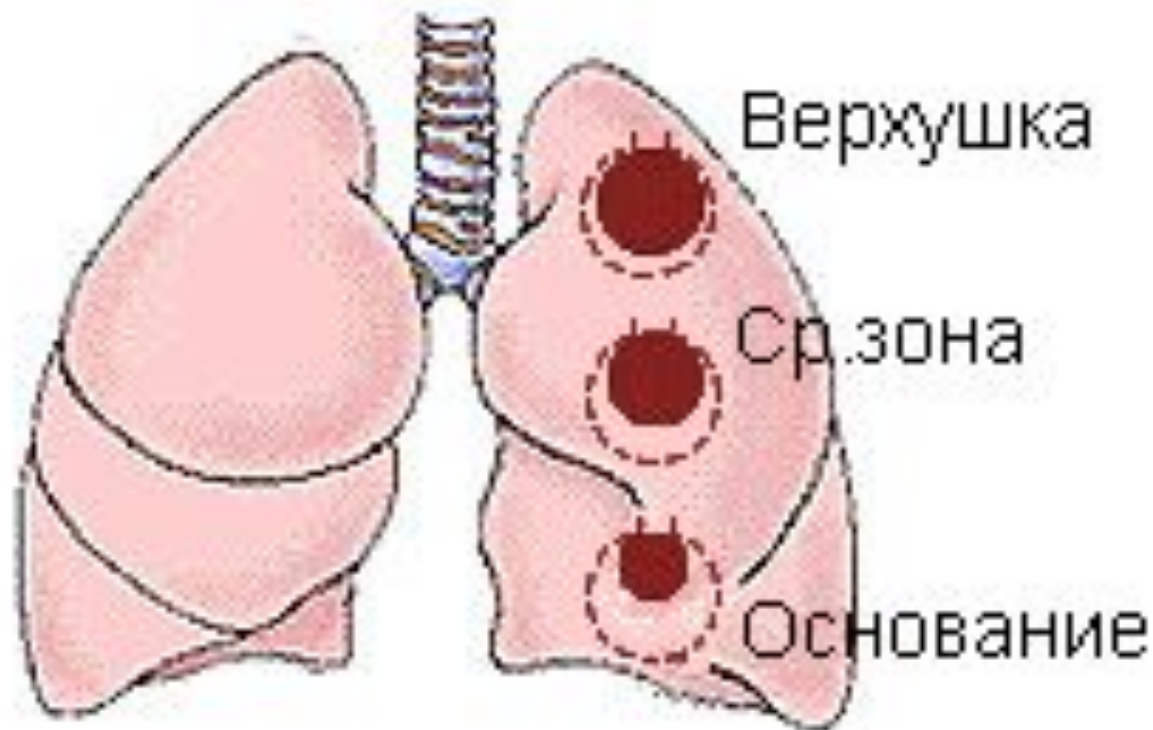
# Альвеолярное (физиологическое) мертвое пространство



# Гравитация влияет на вентиляцию в лёгких

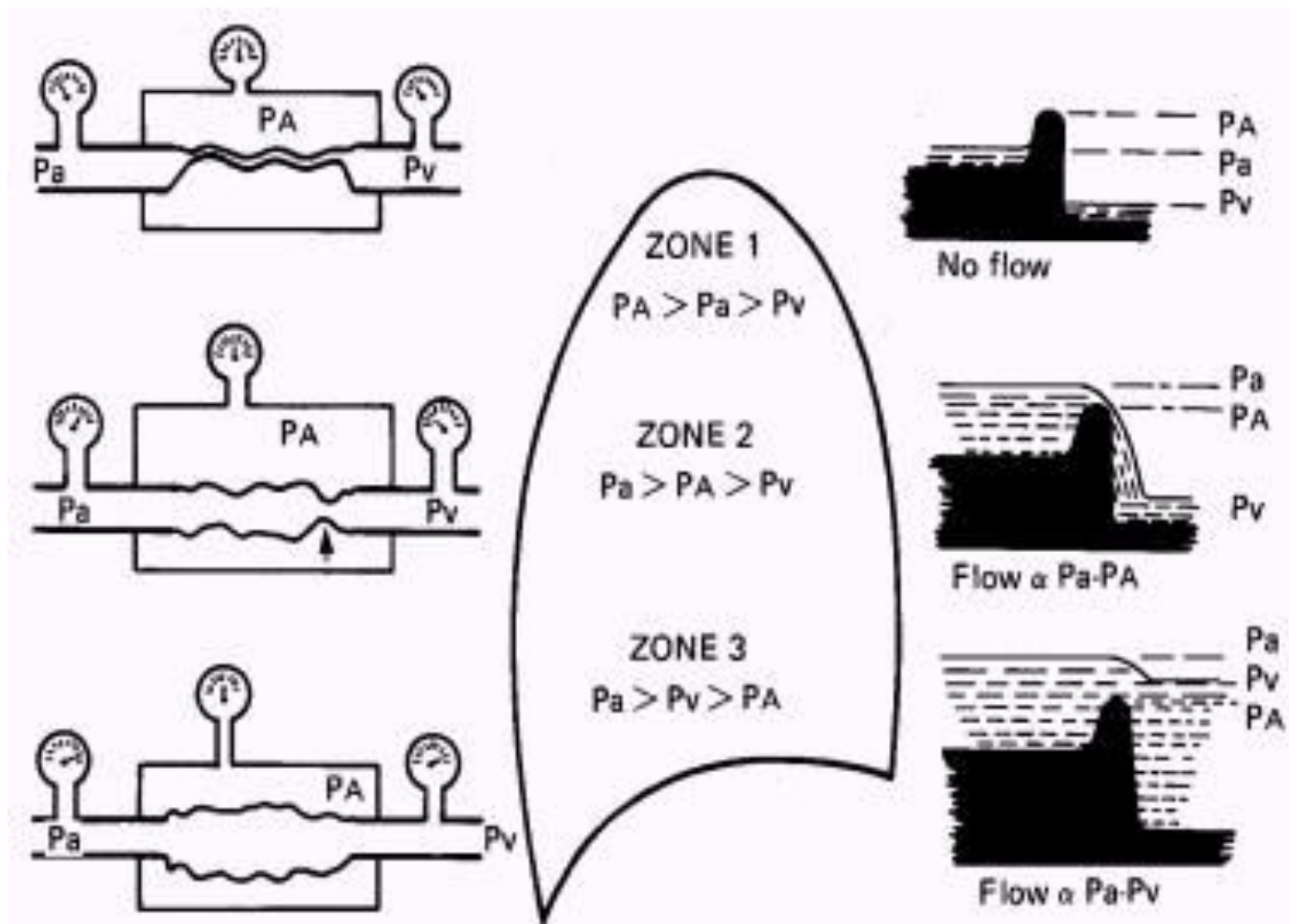


В положении стоя в покое альвеолы верхушек расширены больше, чем в основании легких, т.к. в верхушках  $\leftarrow$  плевральное давление, поэтому экскурсии при глубоком вдохе здесь меньше





# Гравитация влияет на перфузию в лёгких



## Почему кровотоки в разных зонах зависят от гравитации:

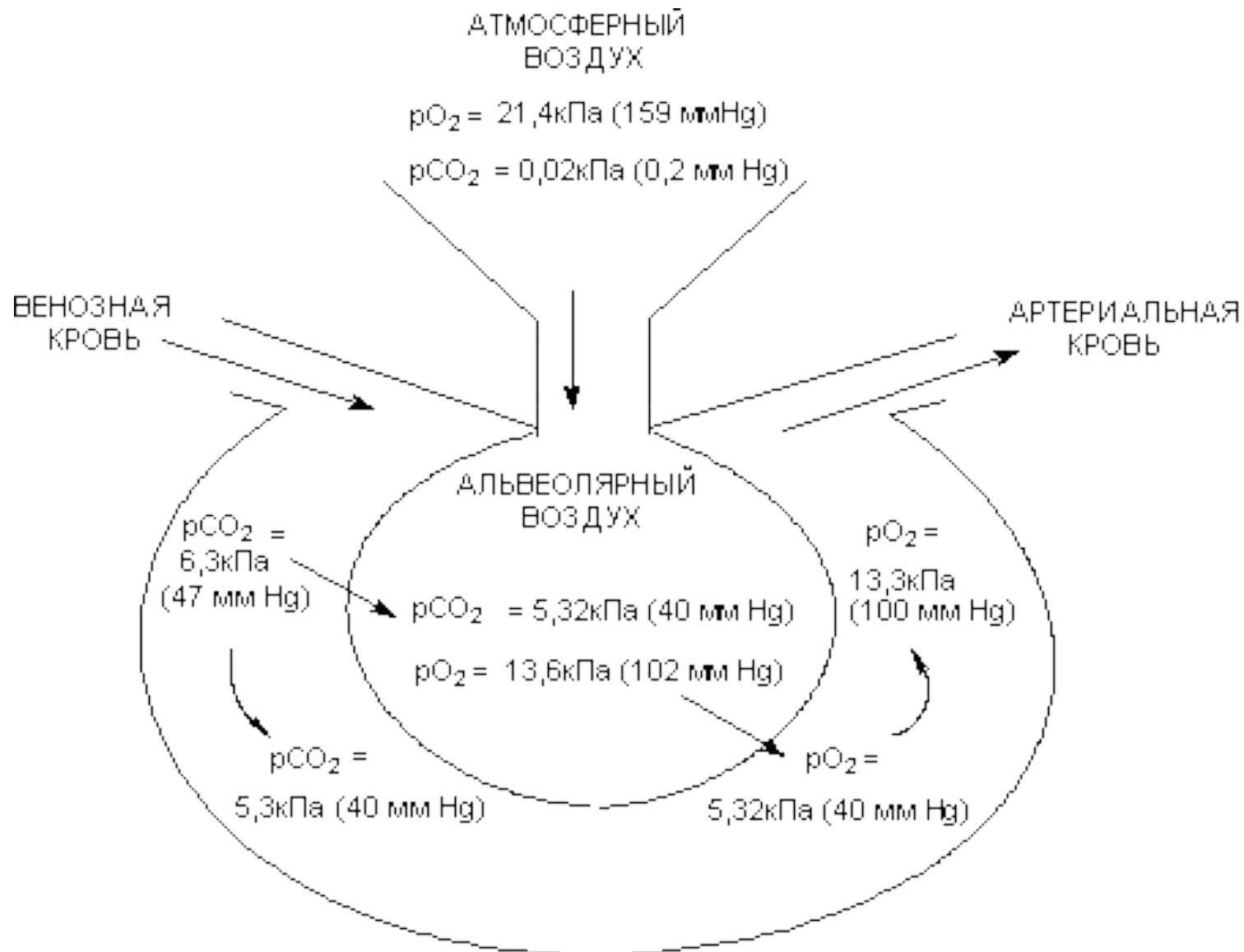
- **1 зона:** кровоток отсутствует – давление воздуха в альвеолах  $>$  давления в артериях (сосуды передавлены)
- **2 зона:** кровоток прерывистый – систолическое давление «продавливает» кровь (давление в артериях  $>$  давления воздуха в альвеолах), но во время диастолы давление в артериях  $<$  давления воздуха в альвеолах – кровоток отсутствует
- **3 зона:** кровоток постоянный – давление в артериях и легочных капиллярах  $>$  давления воздуха в альвеолах

# Транспорт газов в системе дыхания

История такова: считали , что лёгкие секретируют **O<sub>2</sub>** из воздуха

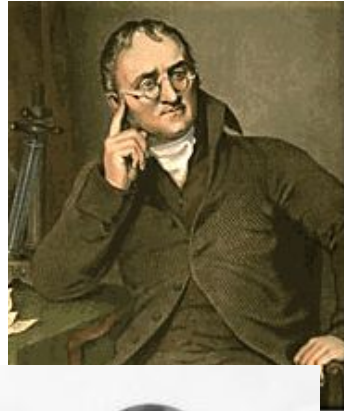
- Август Крог (1874-1949, Ноб. лауреат 1920 г.) впервые установил – газообмен в легких: исключительно физический процесс - диффузия дыхательных газов

# Газообмен происходит по градиенту парциальных давлений



# Физические законы управляют диффузией газов

- Закон Дальтона



- Закон Генри



ADOLF

*Wm Henry*

- Закон Фика



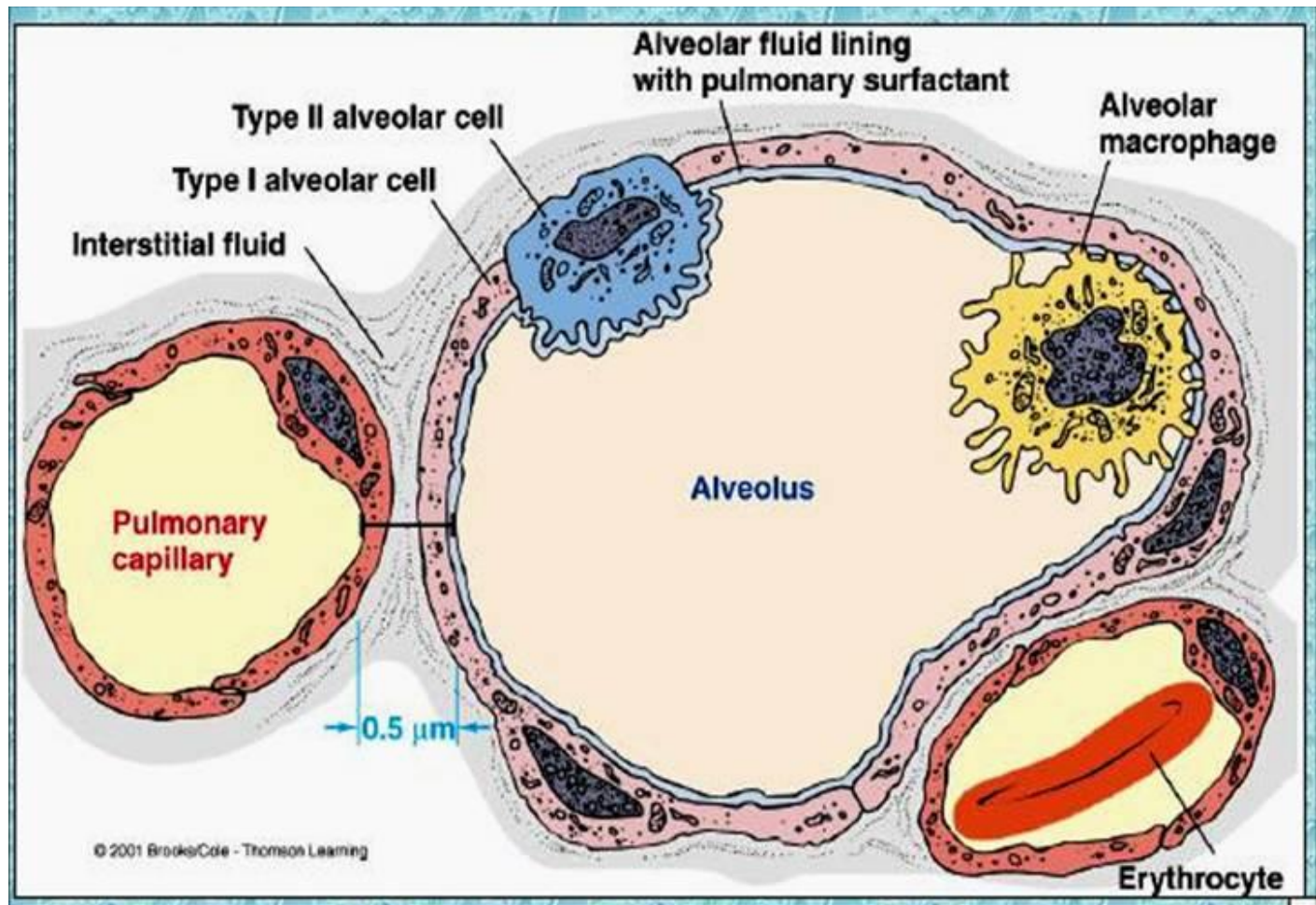
*A. Fick.*

## Диффузия газов определяется законами физики

- Атмосферное давление – сумма парциальных давлений отдельных газов в смеси – закон Дальтона
- Движение газов через альвеолярно-капиллярную мембрану прямо пропорциональна разнице парциальных давлений газов по обе стороны мембраны – закон Фика
- Диффузия газов происходит по градиенту парциальных давлений газов в альвеолярном воздухе и жидкости (крови) – закон Генри

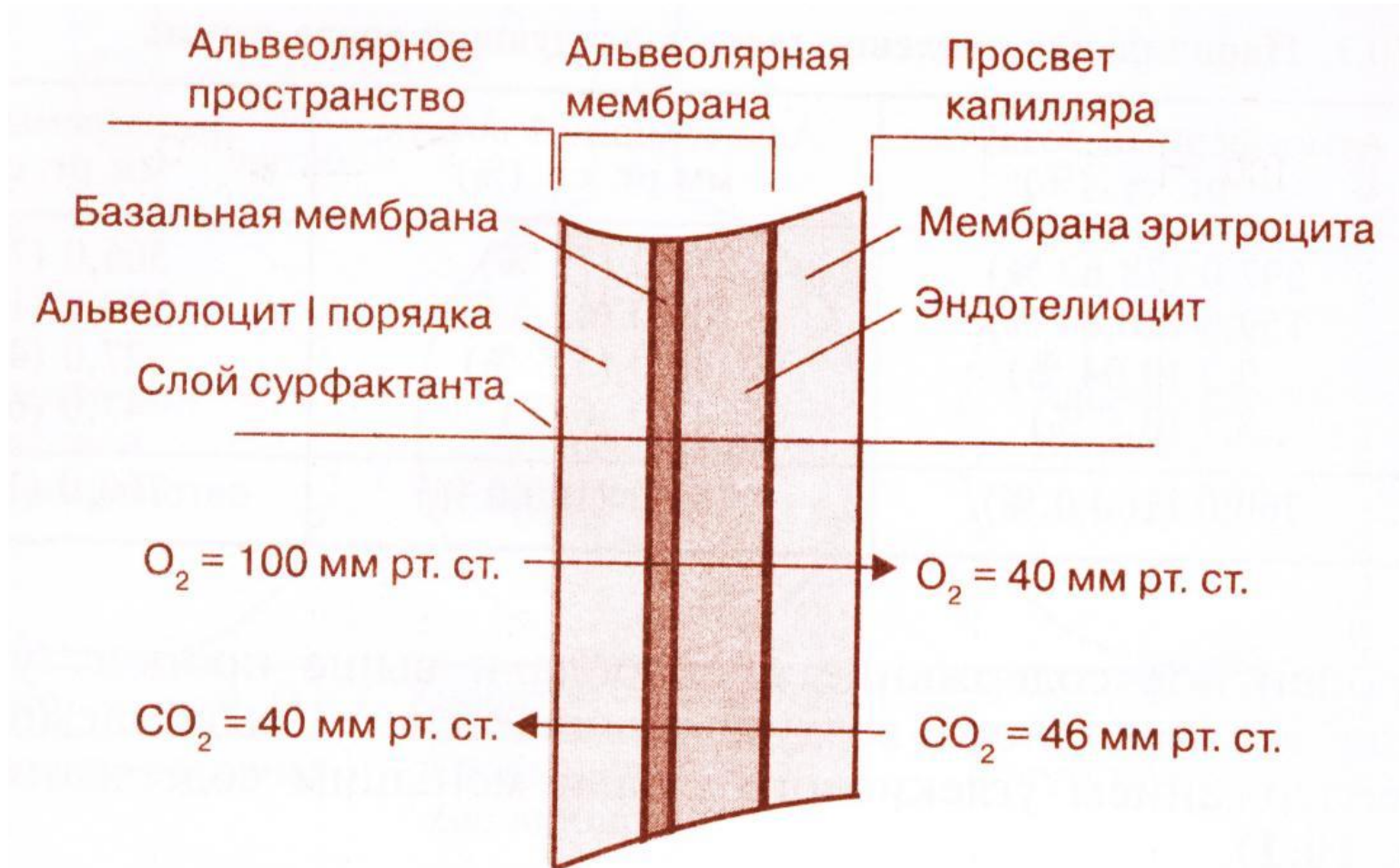
# Место газообмена в лёгких

- Респираторная мембрана: эпителий альвеолы + базальная мембрана + эндотелий капилляра





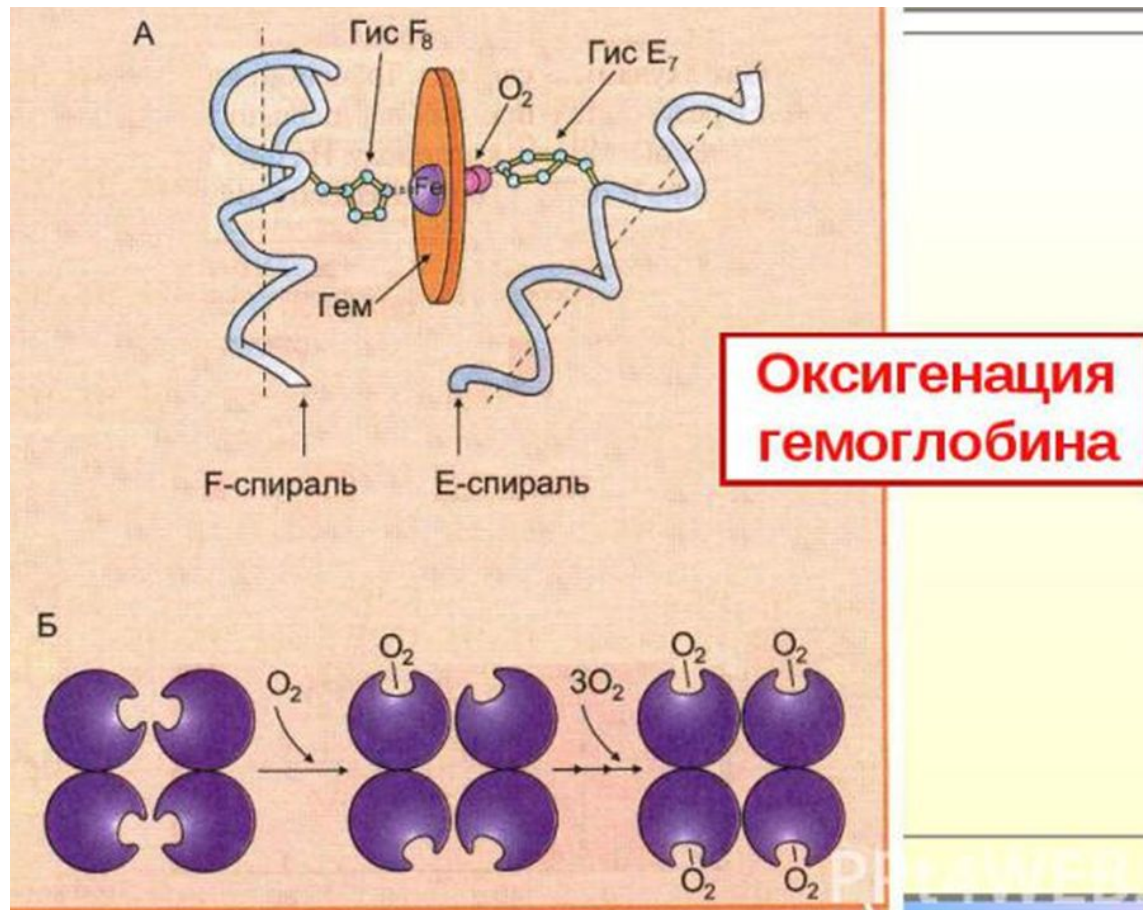
# Диффузия происходит по градиенту Р



## Транспорт кислорода

- Только в химической связи с гемоглобином.
- Особенностью химической связи(реакции)  $O_2$  с Нв является то, что количество связанного  $O_2$  ограничено количеством молекул гемоглобина в эритроцитах крови.
- 1 г гемоглобина может связать 1,34 мл  $O_2$ , поэтому в норме при концентрации Нв 150 г/л каждые 100 мл крови переносят 20 мл  $O_2$  – КЁК кислородная ёмкость крови  $1,34 \times 150$ .

В гемоглобине человека четыре участка связывания кислорода (по одному гему на каждую субъединицу), то есть одновременно может связываться четыре молекулы



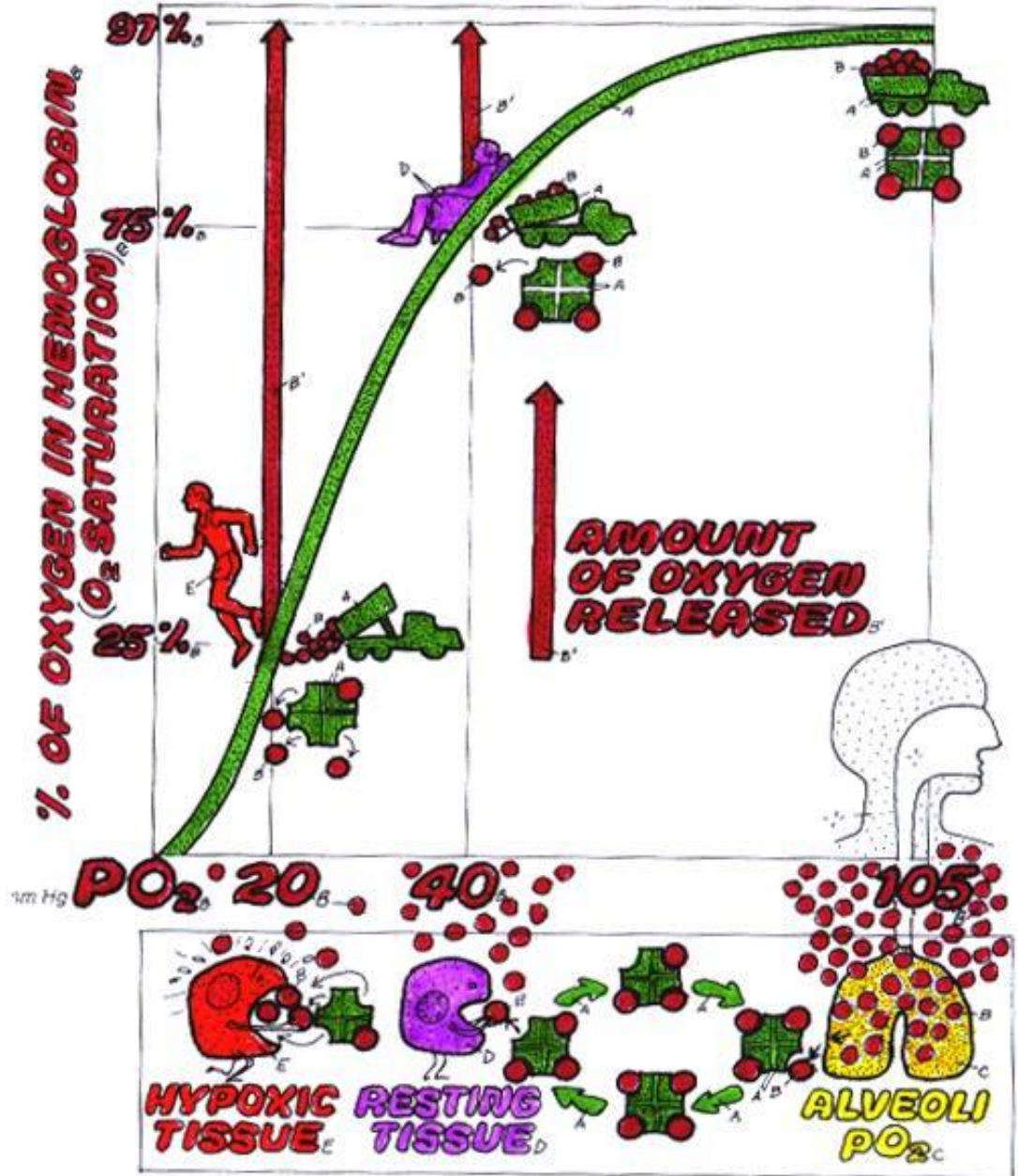
**O<sub>2</sub>** транспортируется только гемоглобином в соединениях:

- Оксигемоглобин HbO<sub>2</sub> (Fe<sup>2+</sup>)
- Карбгемоглобин HbCO<sub>2</sub> (Fe<sup>2+</sup>)
- Карбоксигемоглобин HbCO (Fe<sup>2+</sup>)
- Метгемоглобин MetHb(Fe<sup>3+</sup>)

**CO<sub>2</sub>** транспортируется гемоглобином и плазмой в соединениях:

- Плазма: физически растворенный – 7-8% и в связи с бикарбонатами (80%) в виде  $\text{NaHCO}_3$
- Эритроциты: Карбгемоглобин- 12-13% и в виде  $\text{KHCO}_3$

# DISSOCIATION CURVE



## Кривая диссоциации (десатурации) и сатурации

- По оси ординат - % насыщения Hb O<sub>2</sub>
- По оси абсцисс – P<sub>o2</sub>
- **1** часть кривой – низкое P<sub>o2</sub> и HbO<sub>2</sub>. При P<sub>o2</sub> 10 мм рт.ст. количество HbO<sub>2</sub> составляет 10%, а при P<sub>o2</sub> – 30 мм рт. ст. – 50 %
- **2** часть кривой – примерно от уровня P<sub>o2</sub> 50 мм рт.ст. происходит резкое насыщение Hb O<sub>2</sub>
- **3** часть кривой пологая, практически || оси абсцисс

## Продолжение

- Т.о на кривой каждому значению  $P_{O_2}$  соответствует определенный % насыщения гемоглобина  $O_2$ . С увеличением  $P_{O_2}$  увеличивается сродство  $Hb$  к  $O_2$  –  $HbO_2$  – в лёгких и наоборот в тканях - низкий  $P_{O_2}$  и  $HbO_2$  диссоциирует на  $O_2$  и  $Hb$ .
- Кривая имеет S –образную форму (3 части).
- Физиологический смысл этого: плоская II оси абсцисс - %  $HbO_2$  не изменяется, т.к. имеет место высокий  $P_{O_2}$  – это альвеолярный участок кривой.
- Обратите внимание! Начиная с уровня  $P_{O_2}$  60 мм рт.ст. кривая идет резко вверх – «защита» от недостаточной оксигенации.



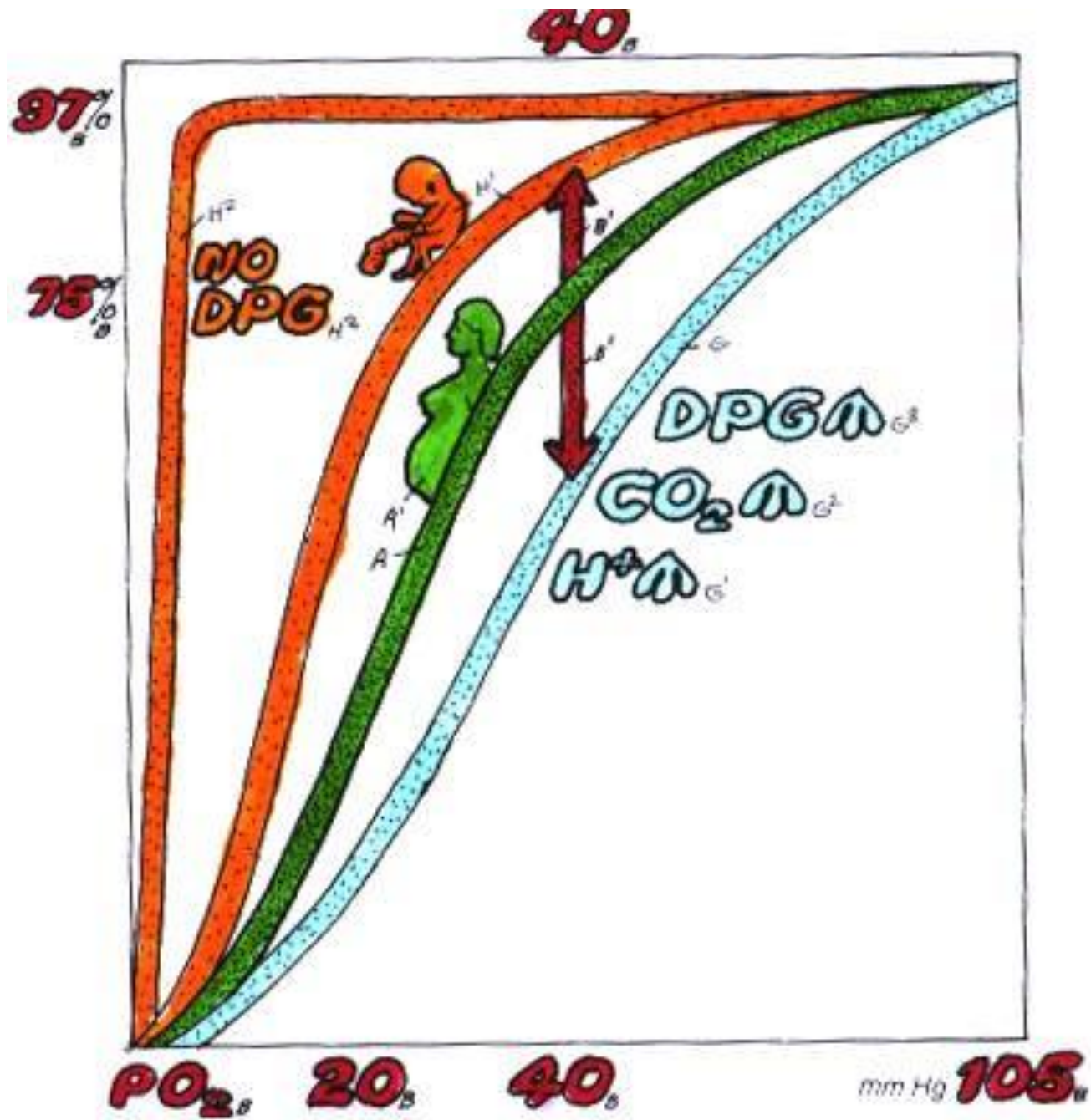
## Продолжение

- Крутая часть кривой относится к тканевому капиллярному руслу –  $P_{O_2}$  резко снижается и Hb отдает  $O_2$  клеткам.
- Нижний левый участок – I соответствует тканям : свободный Hb и  $O_2$  – тканевое дыхание.

Кривая диссоциации оксигемоглобина сдвигается  
вправо в случае:

- Повышения концентрации ионов водорода (снижение pH)
- Повышения двуокиси углерода
- Повышения температуры
- Повышения 2, 3 – дифосфоглицерата (ДФГ) – в присутствии ДФГ аффинность гемоглобина к O<sub>2</sub> очень высока

Сдвиг кривой  
диссоциации  
вправо



# Диффузия происходит по $\Delta P$ $O_2$ и $CO_2$

- По  $O_2$   $\Delta$  высокие: 159 – 100 – 40 мм рт. ст.
- По  $CO_2$   $\Delta$  низкие: 47 – 40 – 0,2 мм рт.ст., но скорость диффузии  $CO_2$  в 3 раза интенсивнее  $O_2$ .

**Совсем  
скоро  
наступит  
Новый Год!**

**Спасибо за  
внимание!**

