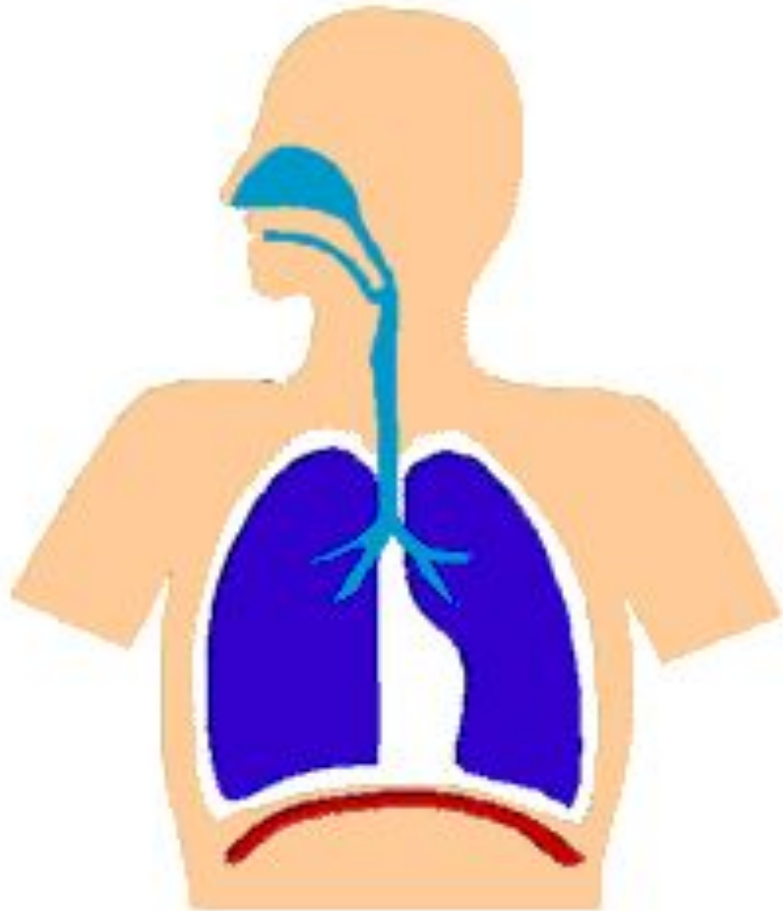


Dum spiro, spero.

Физиология дыхания



Лекция проф.
Н. П. Ерофеева

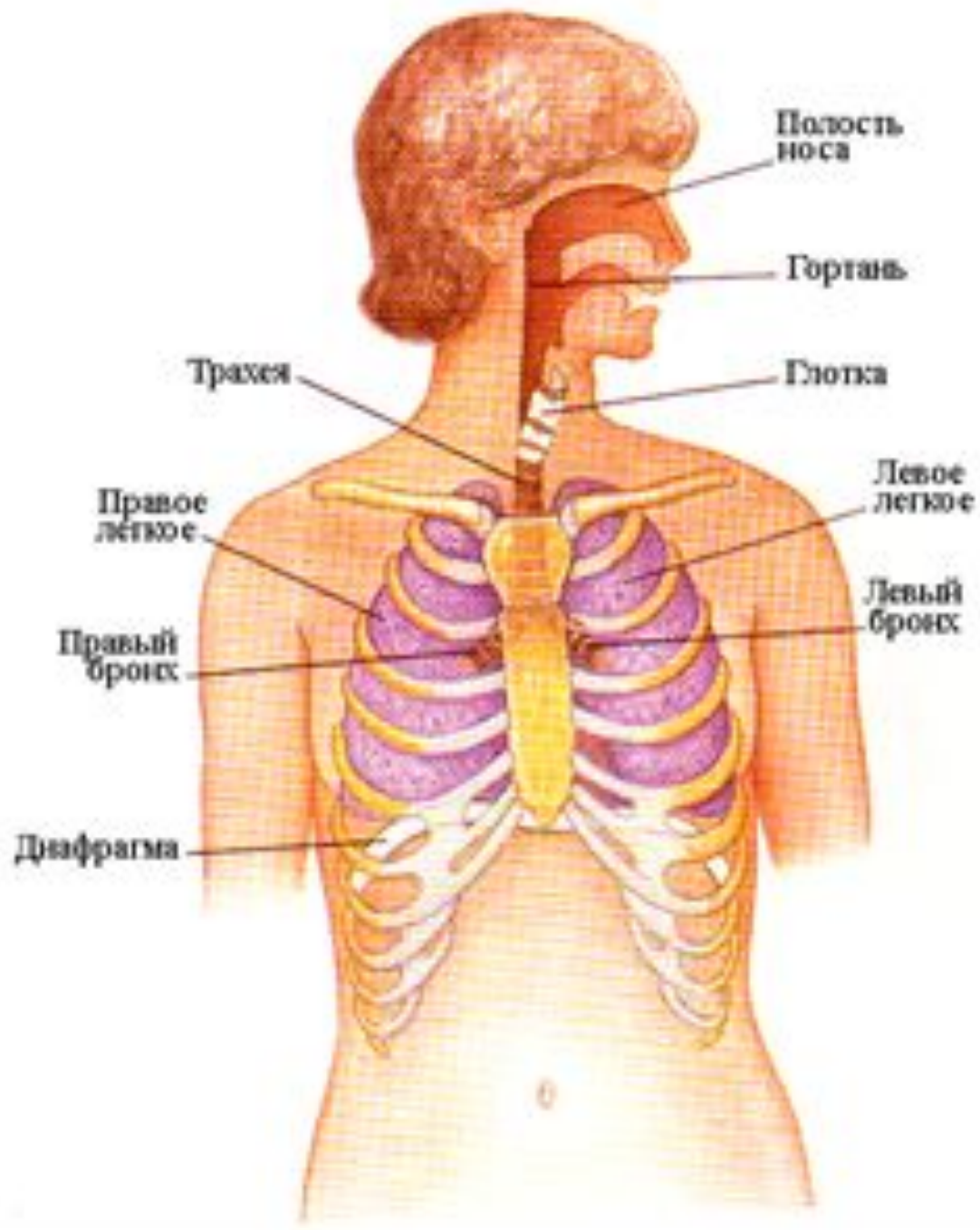
Механика дыхания (Вентиляция лёгких)

Транспорт газов



Лекция проф. Н. П.
Ерофеева

Система дыхания



Этапы дыхания

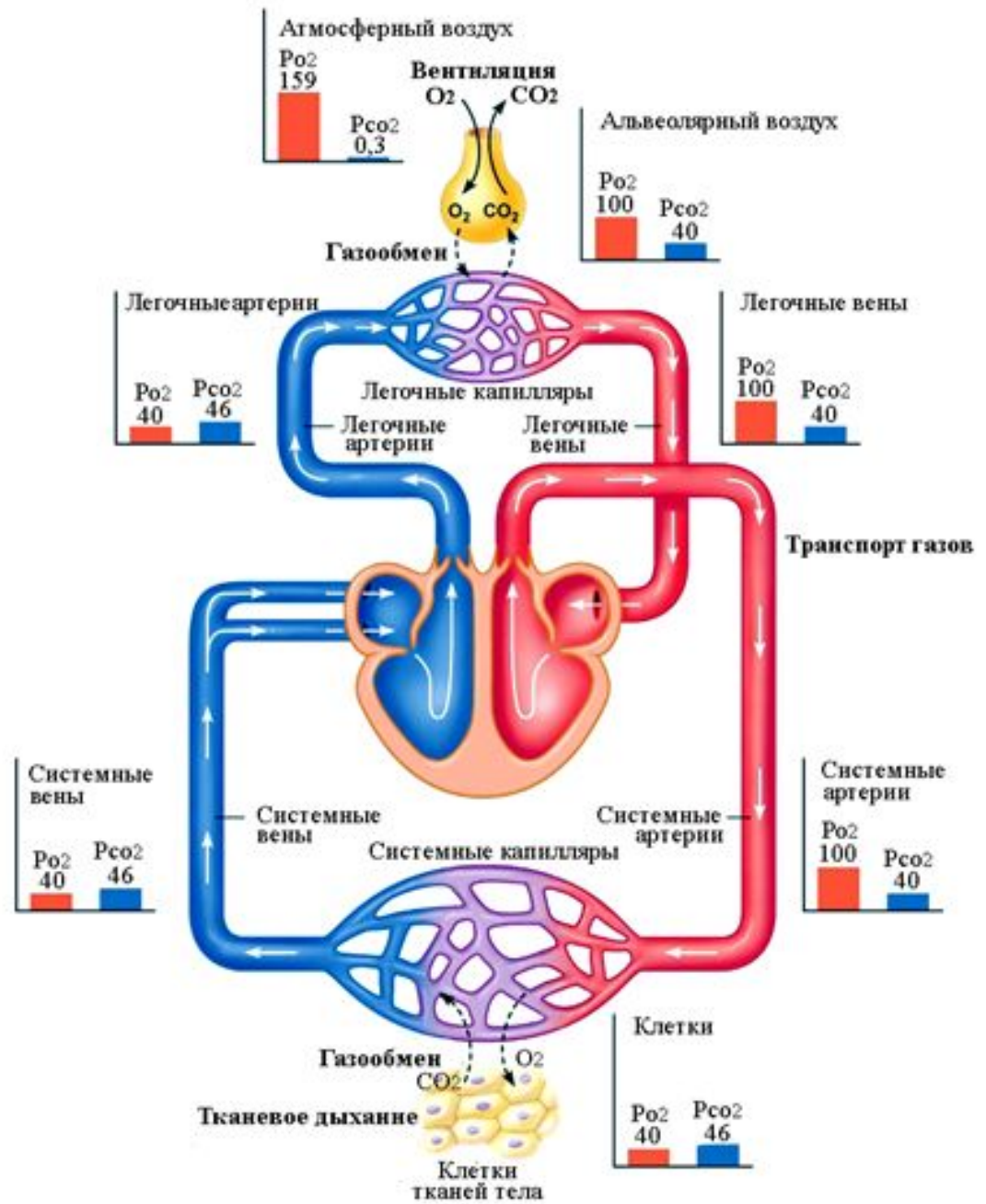
- Вентиляция легких
- Обмен газов через мембрану – альвеола/капилляр (диффузия по закону Фика)
- Транспорт газов кровью – гемоглобин (O_2), гемоглобин+плазма (O_2 и CO_2)
- Тканевое дыхание – диффузия O_2 в ткани/ CO_2 в кровь

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

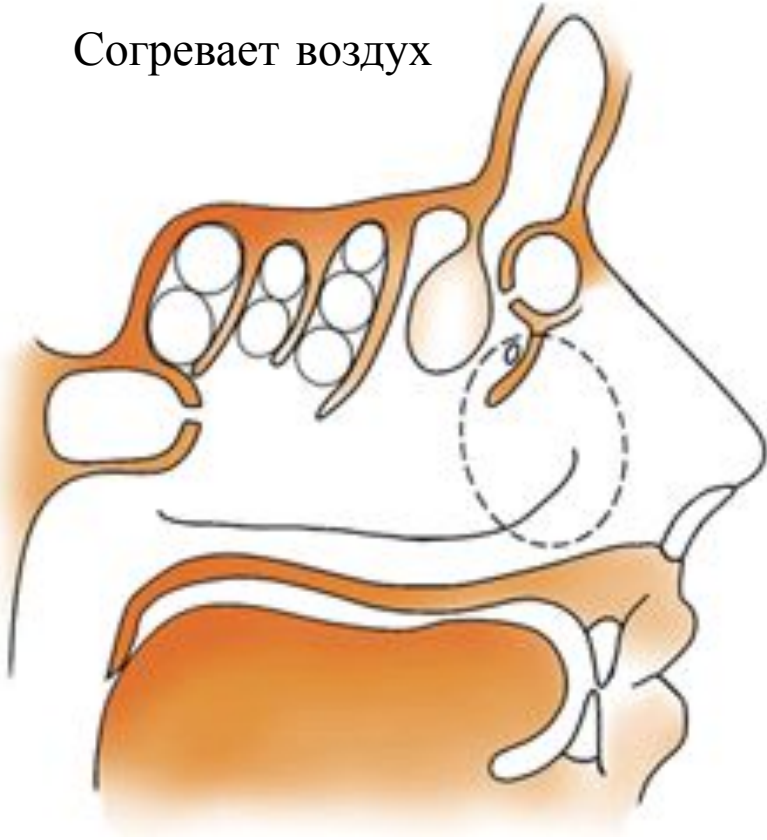
Эпителий трахеи и крупных бронхов представлен 4 типами клеток:

- Призматические-реснитчатые – на апикальной поверхности ≈ 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

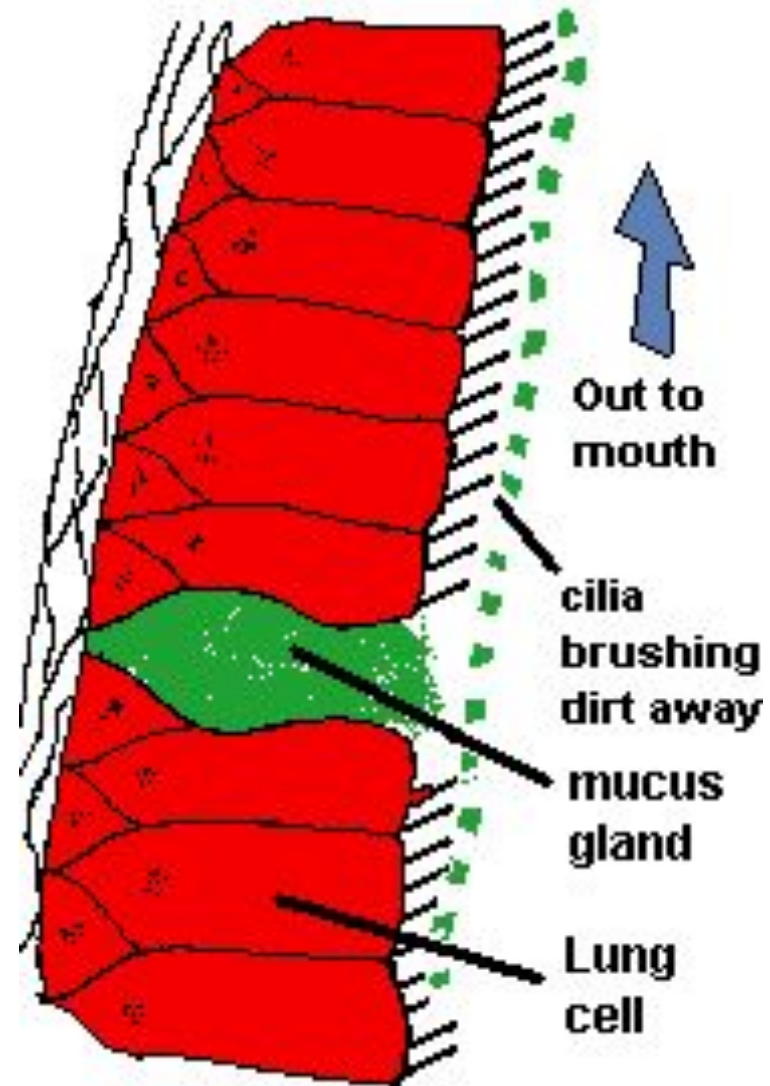
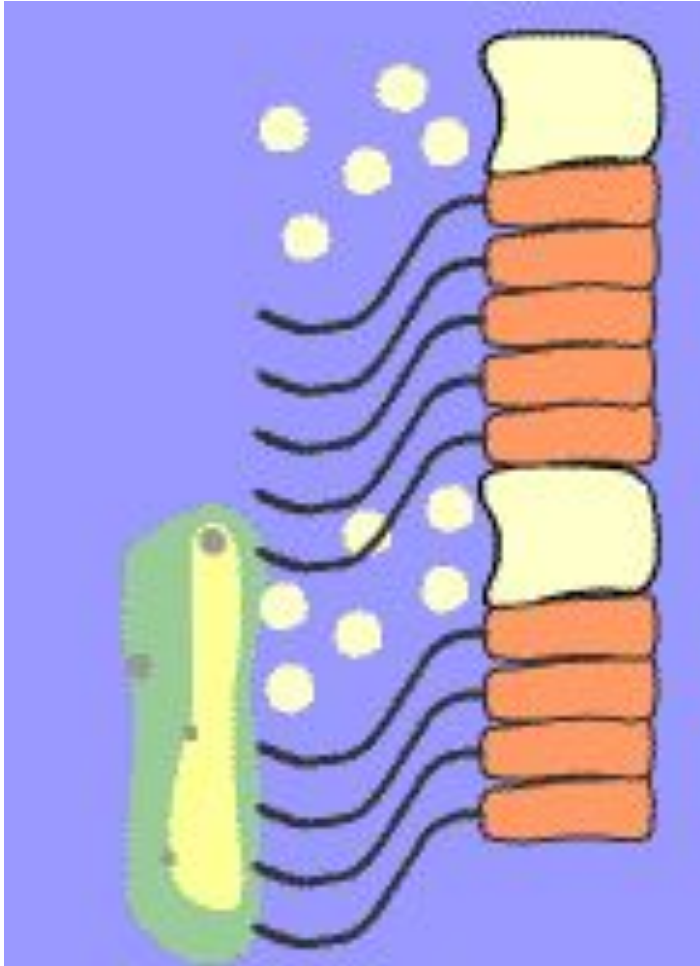


Очищает воздух

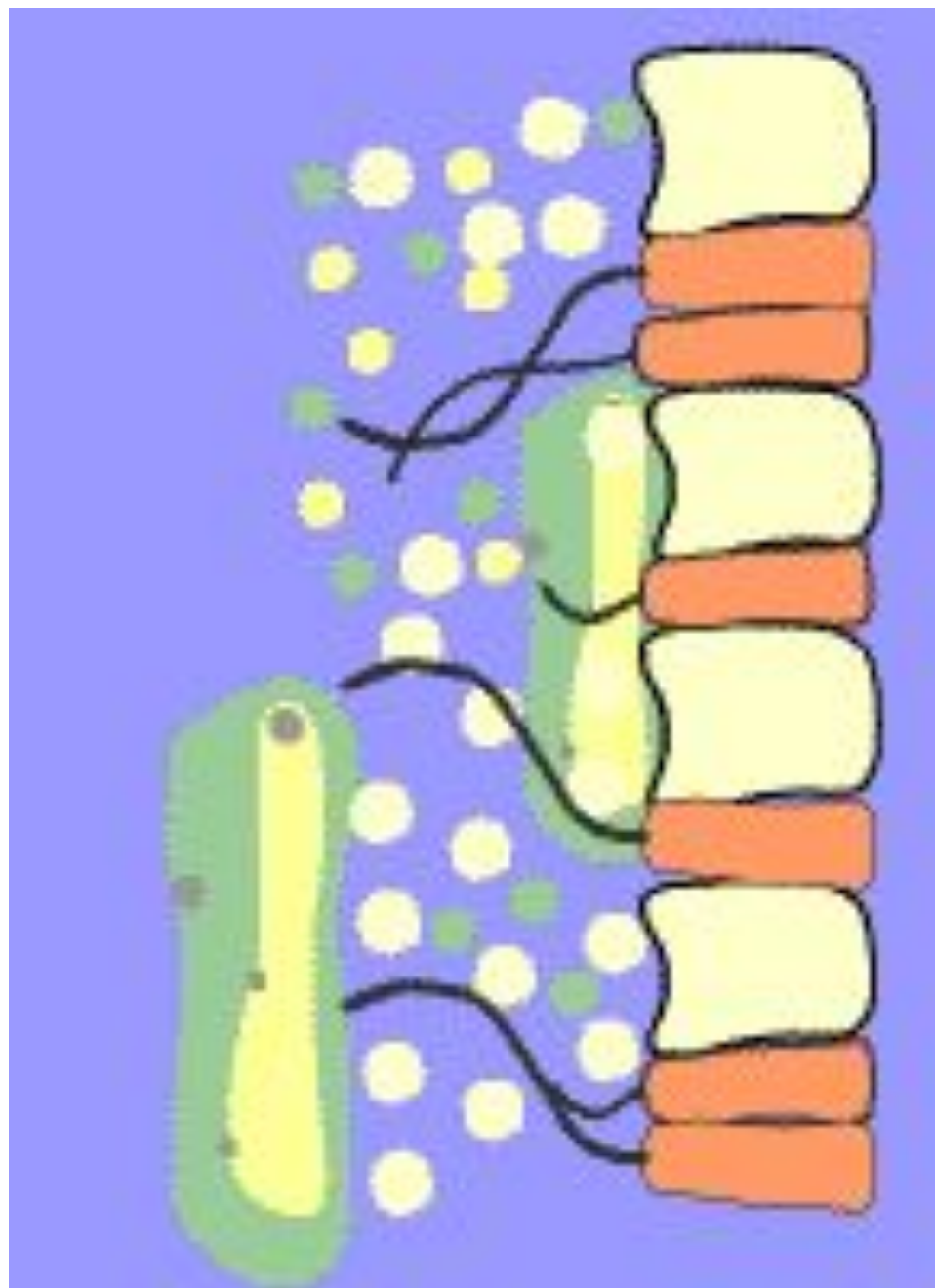


Увлажняет воздух

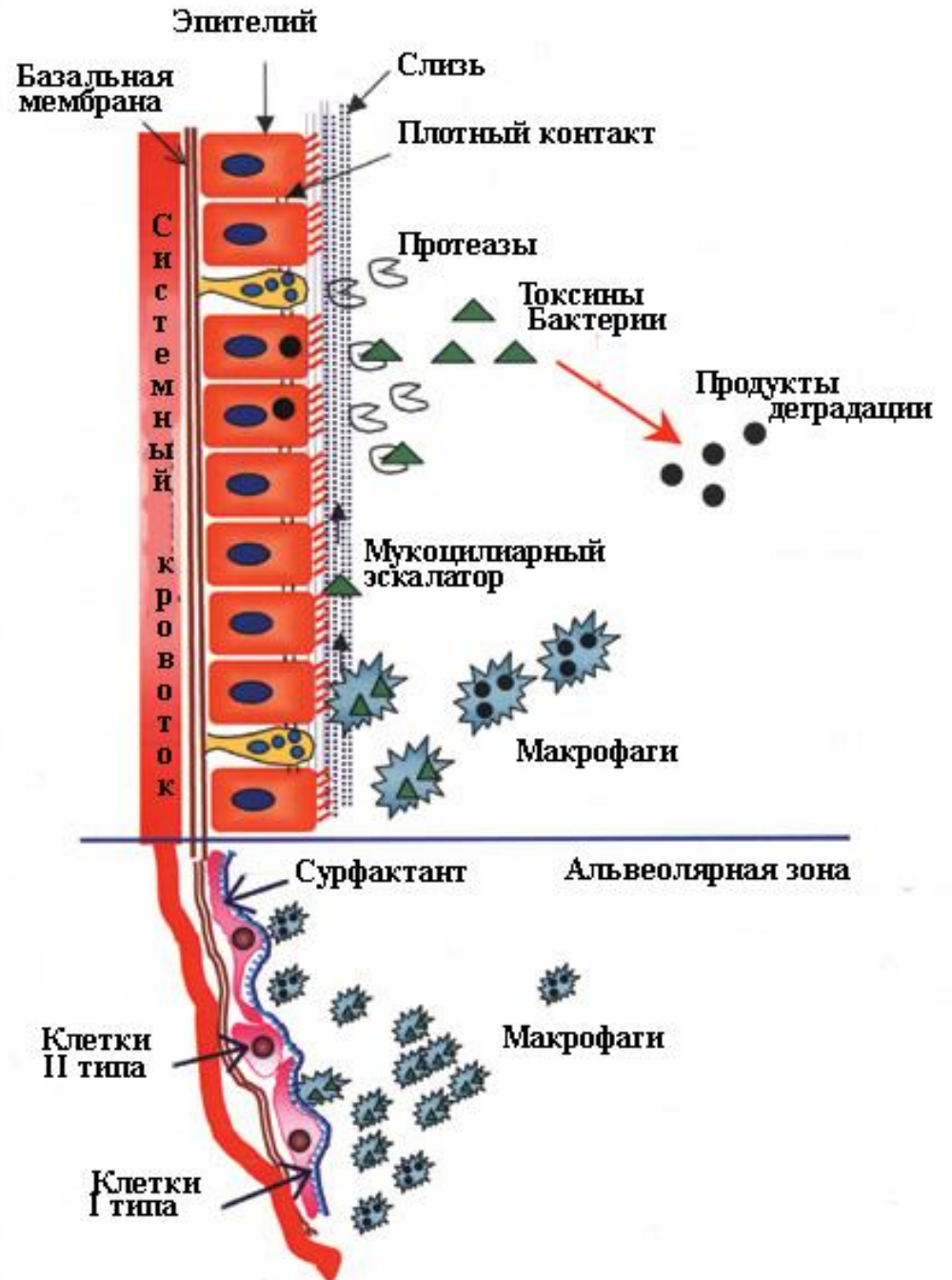
Мукоцилиарный лифт



У курильщика лифт **не**
поднимает слизь



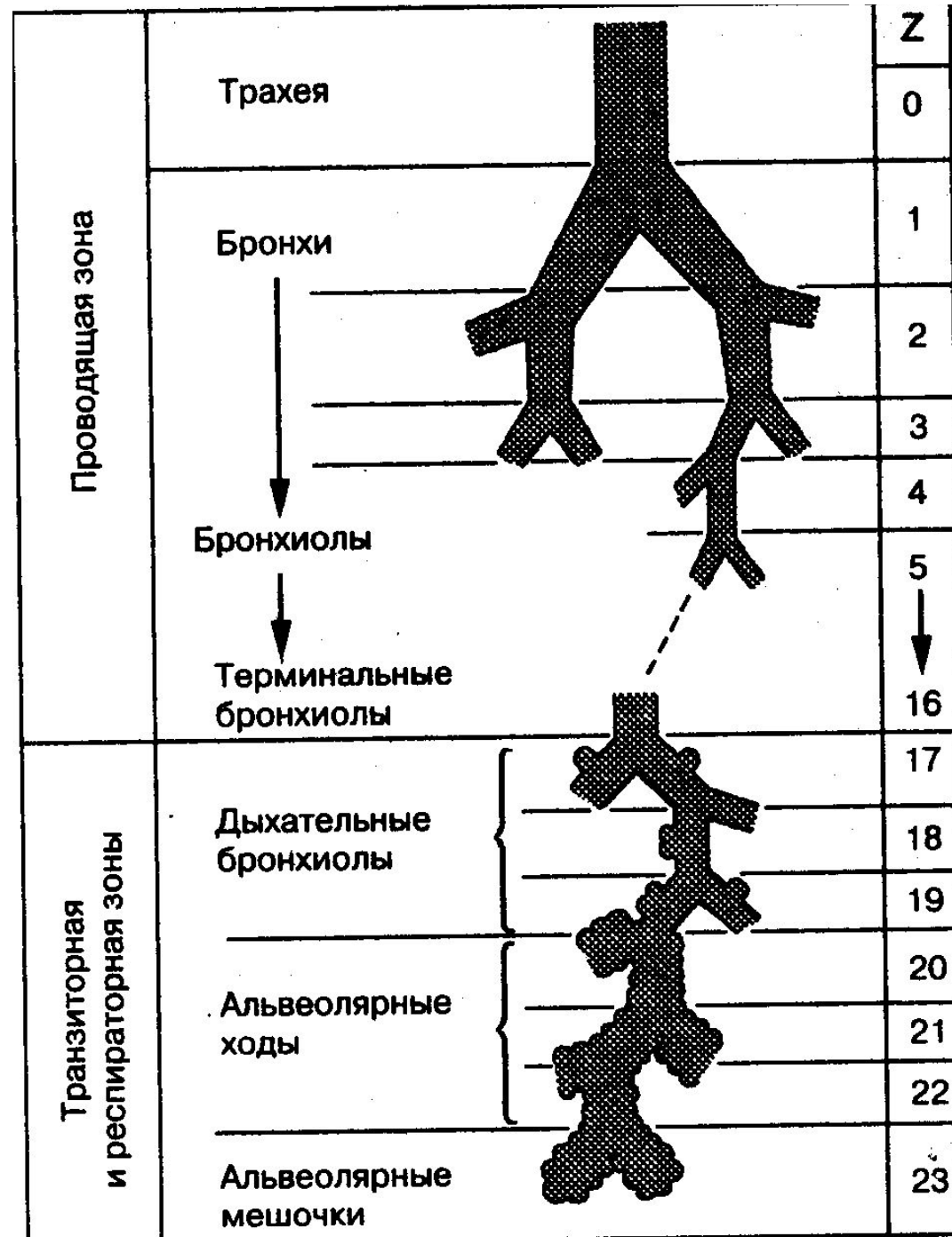
Клининг и обезвреживание



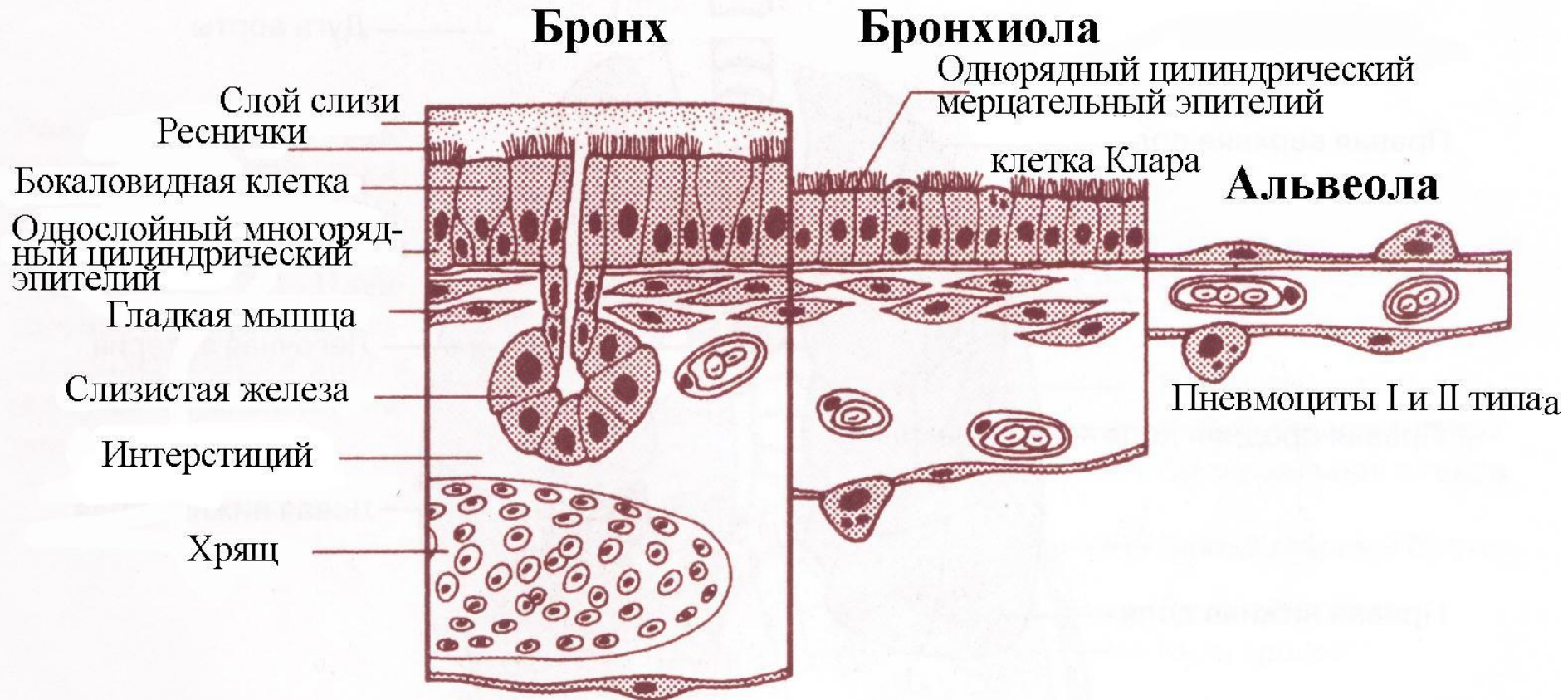
Дыхательные пути – это воздухоносные полости и трубки.

- 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



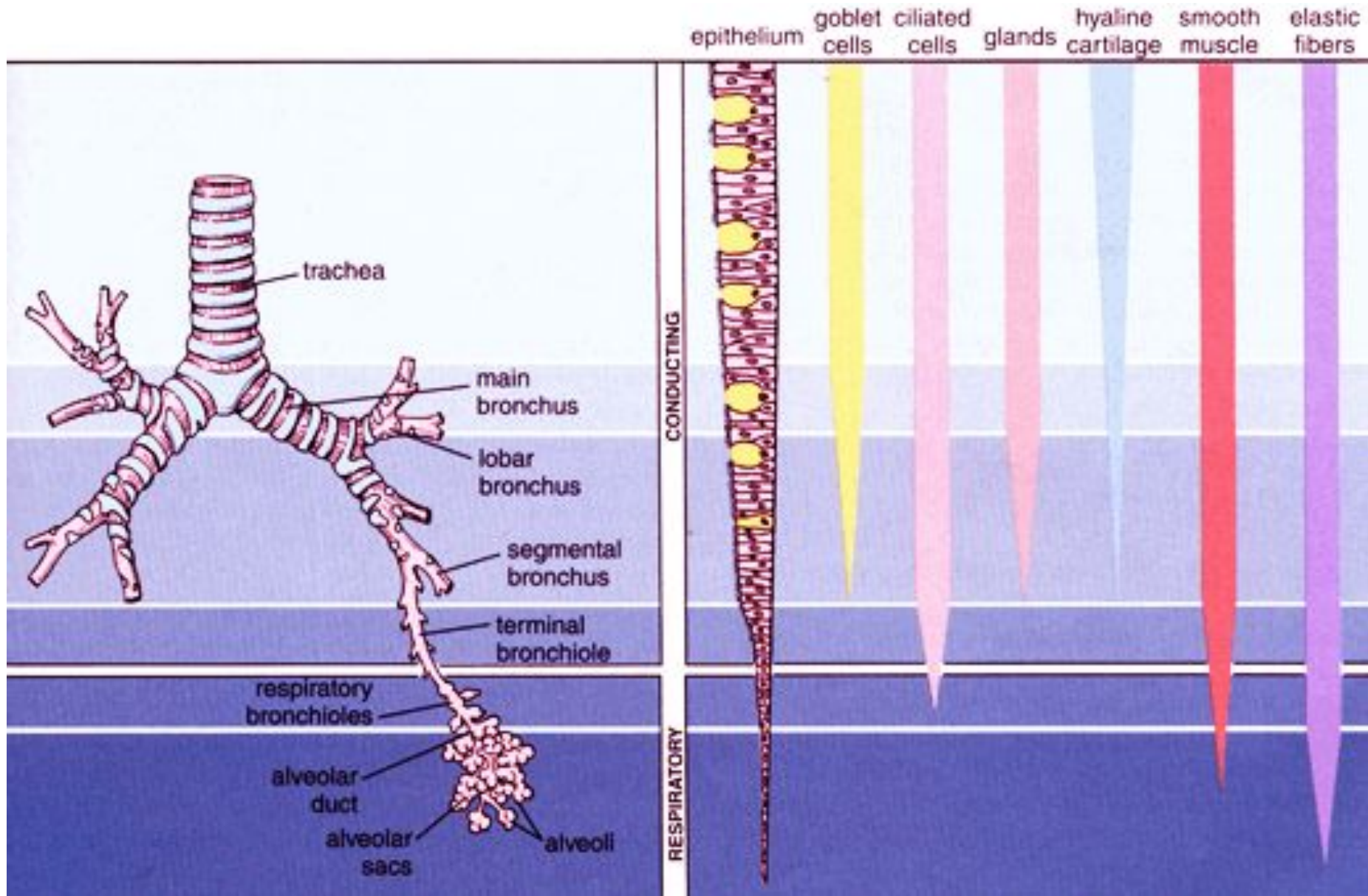
На всём протяжении дыхательная трубка покрыта мерцательным эпителием

Эпителий трахеи и крупных бронхов представлен 4 типами клеток:

- Призматические-реснитчатые – на апикальной поверхности ≈ 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



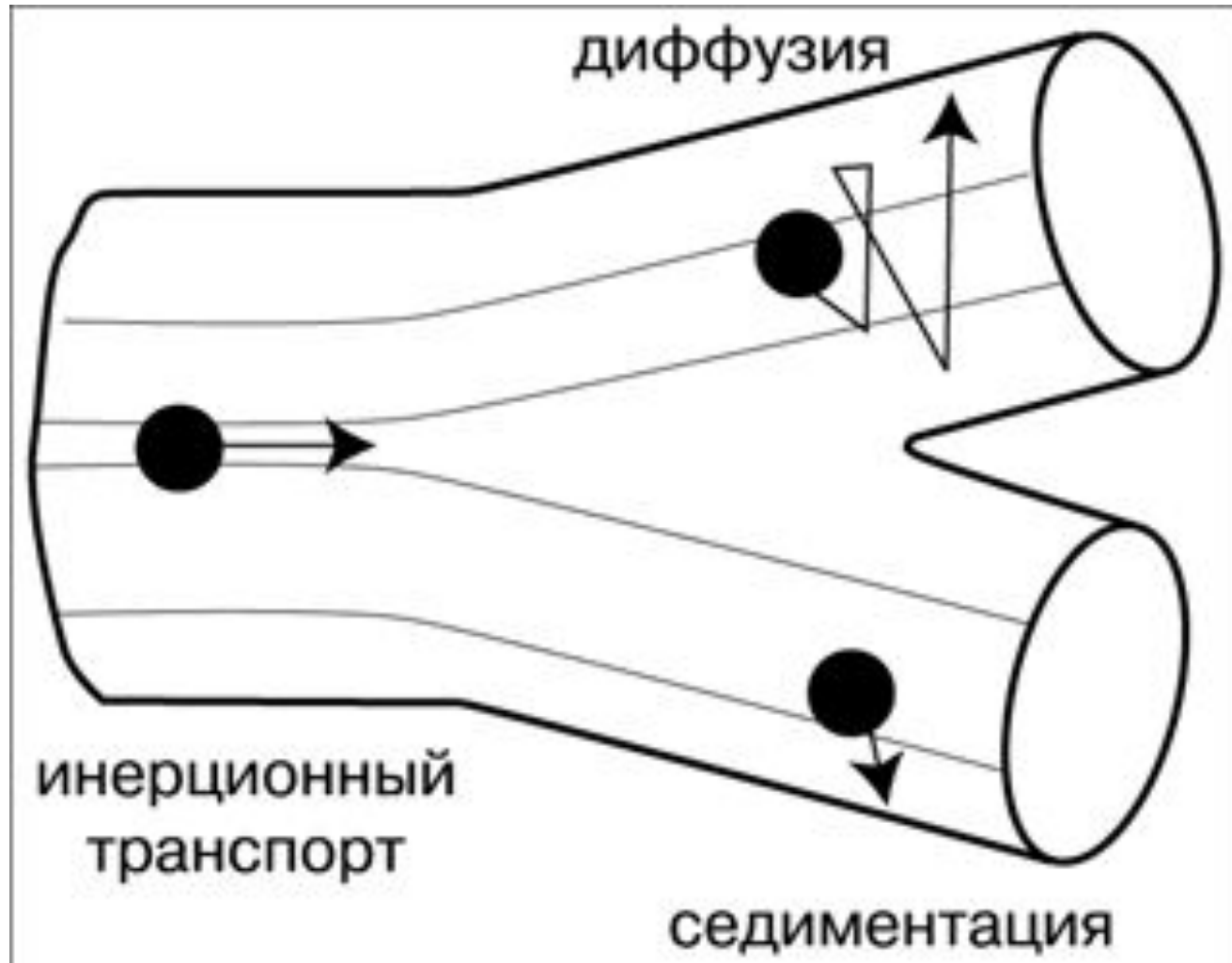
Средние бронхи (**Ø 2-5 мм**) имеют в слизистой нейроэпителиальные тельца - клетки с ворсинками по **4-25** в группе:

- 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

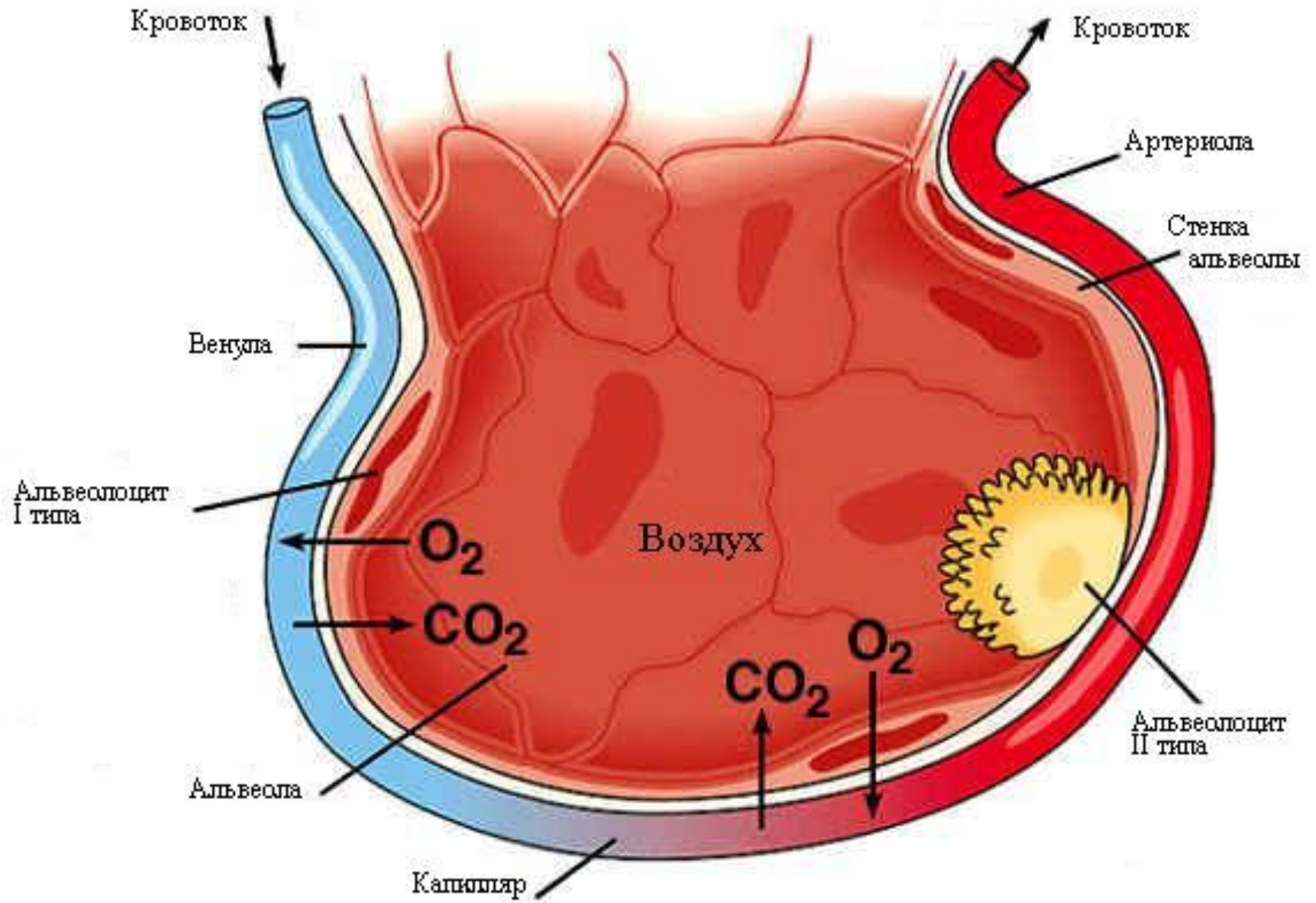
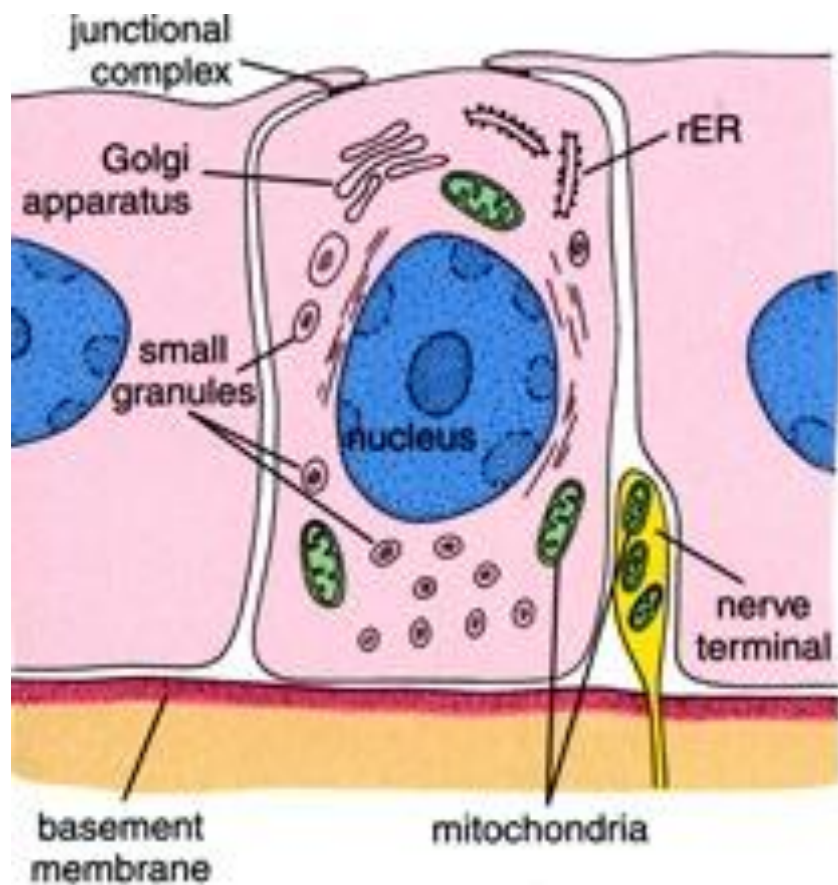
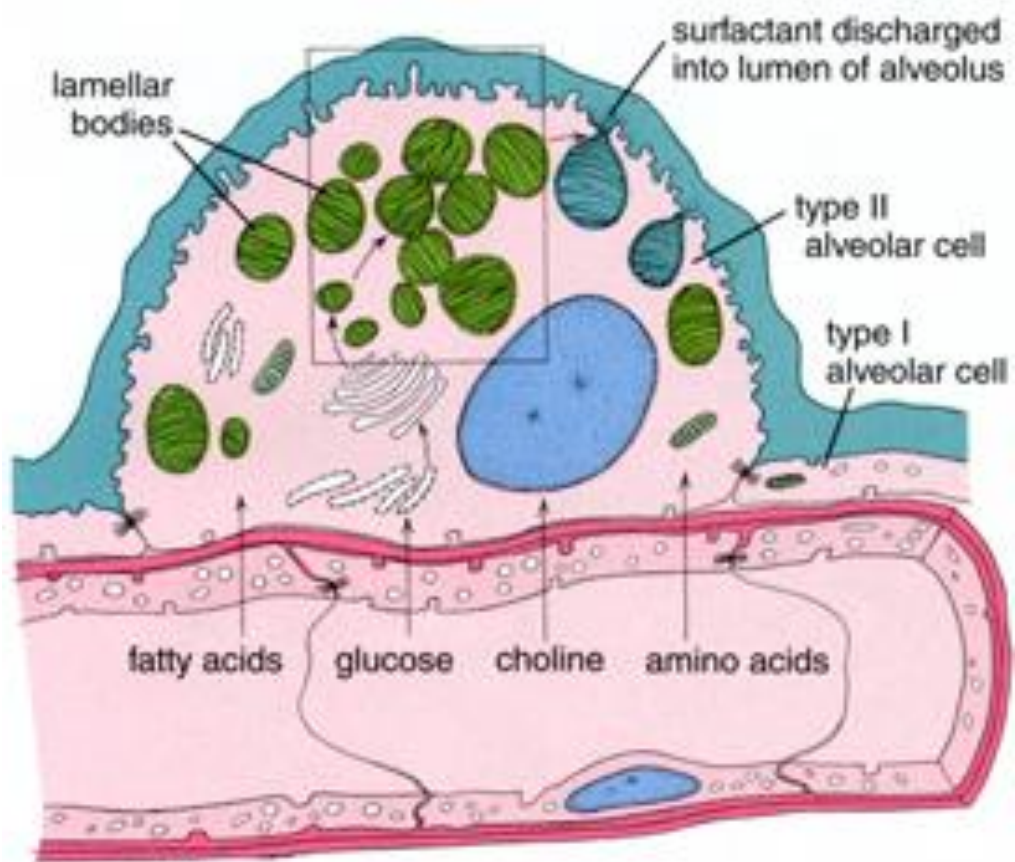


Схема клеток альвеол

I ТИП



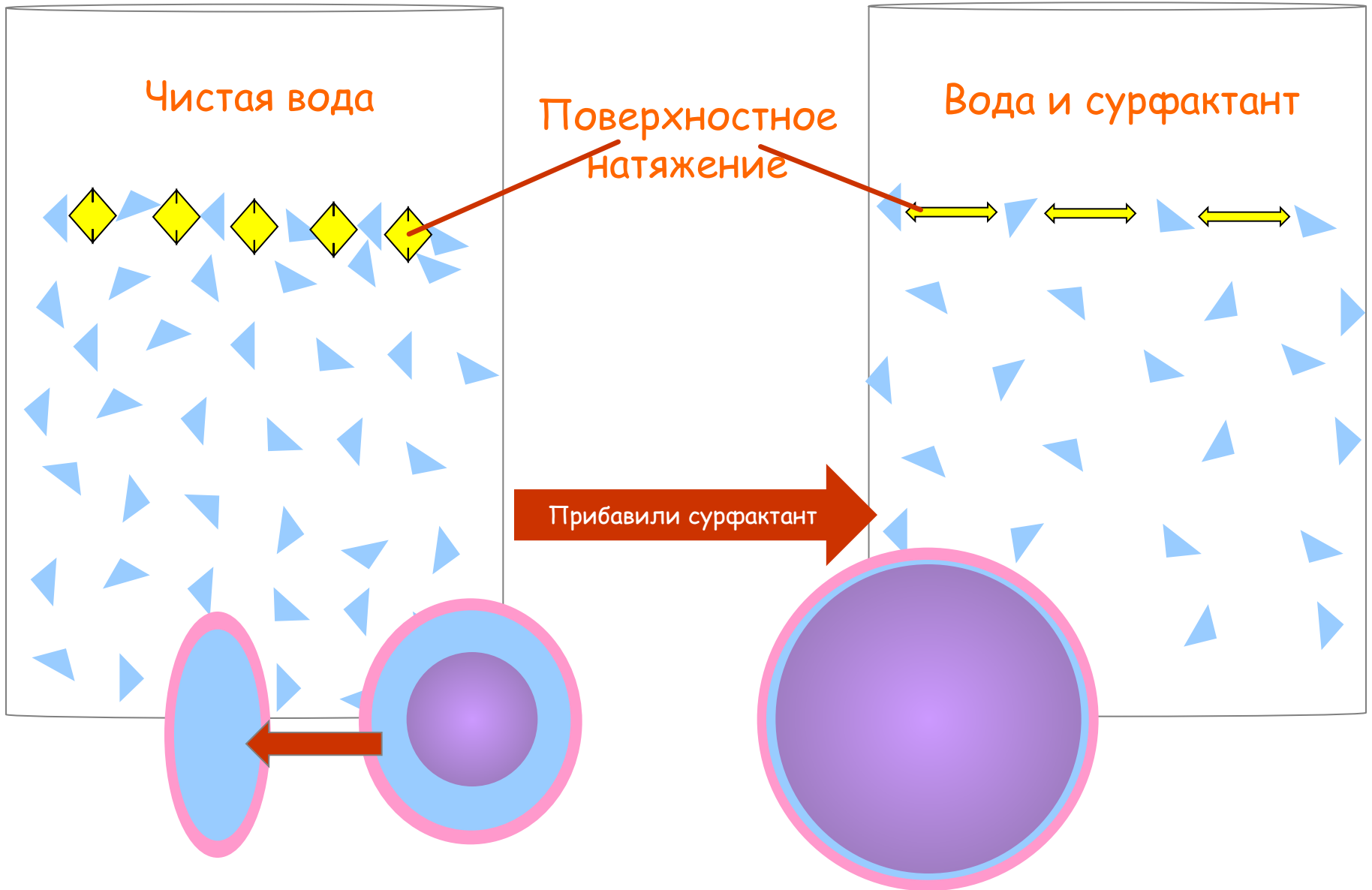
II ТИП



Сурфактант – эндоальвеолярная пленка состоит из
2 фаз:

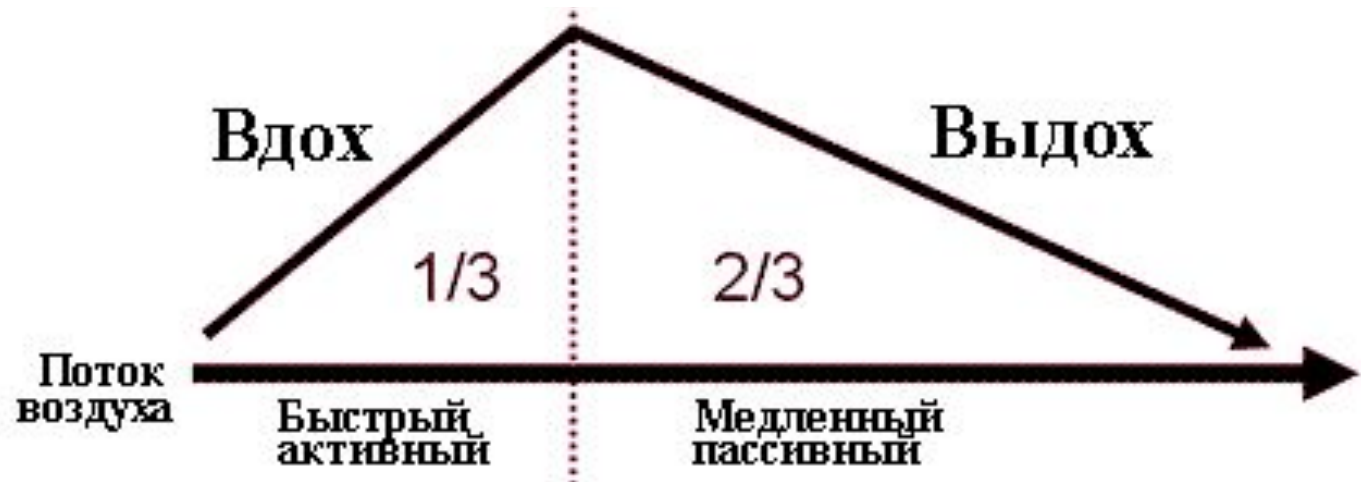
- Нижняя (гипофаза, жидкая) содержит гликопротеиды, сглаживающие неровности эпителия.
- Поверхностная (опофаза) содержит мономолекулярную фосфолипидную пленку.

Роль сурфактанта



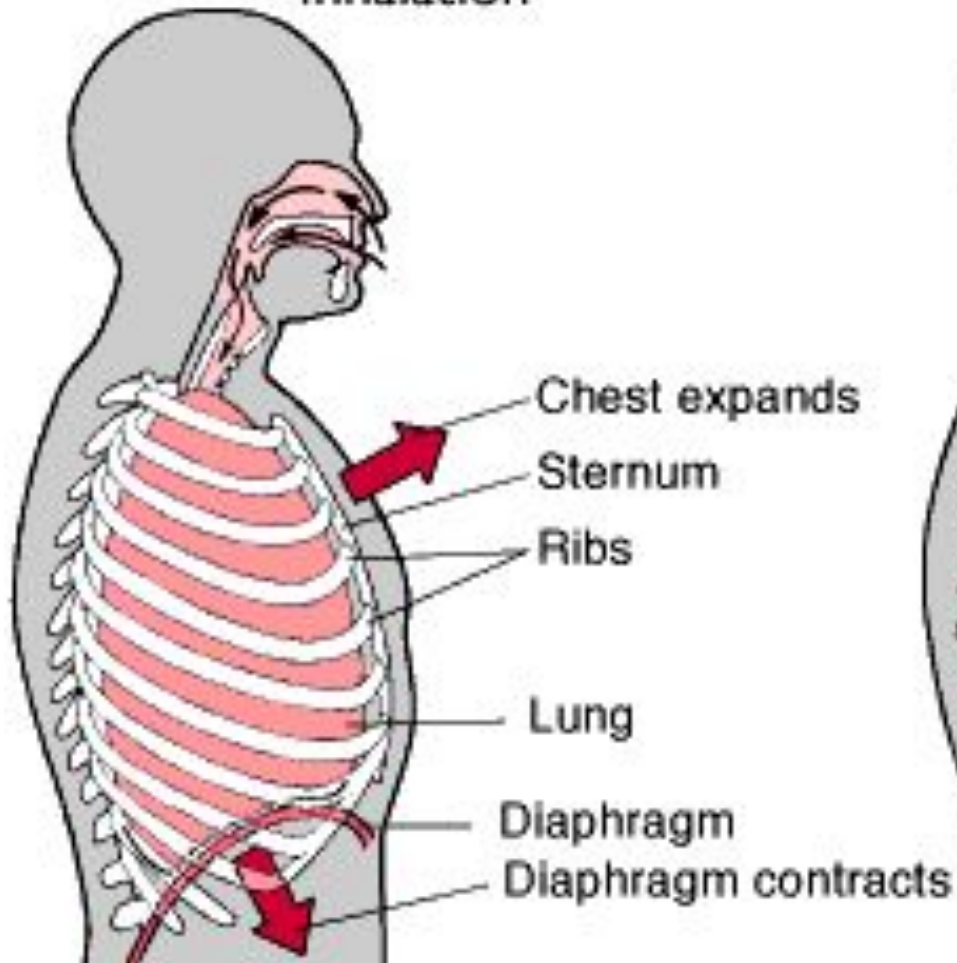
Дыхательный цикл

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

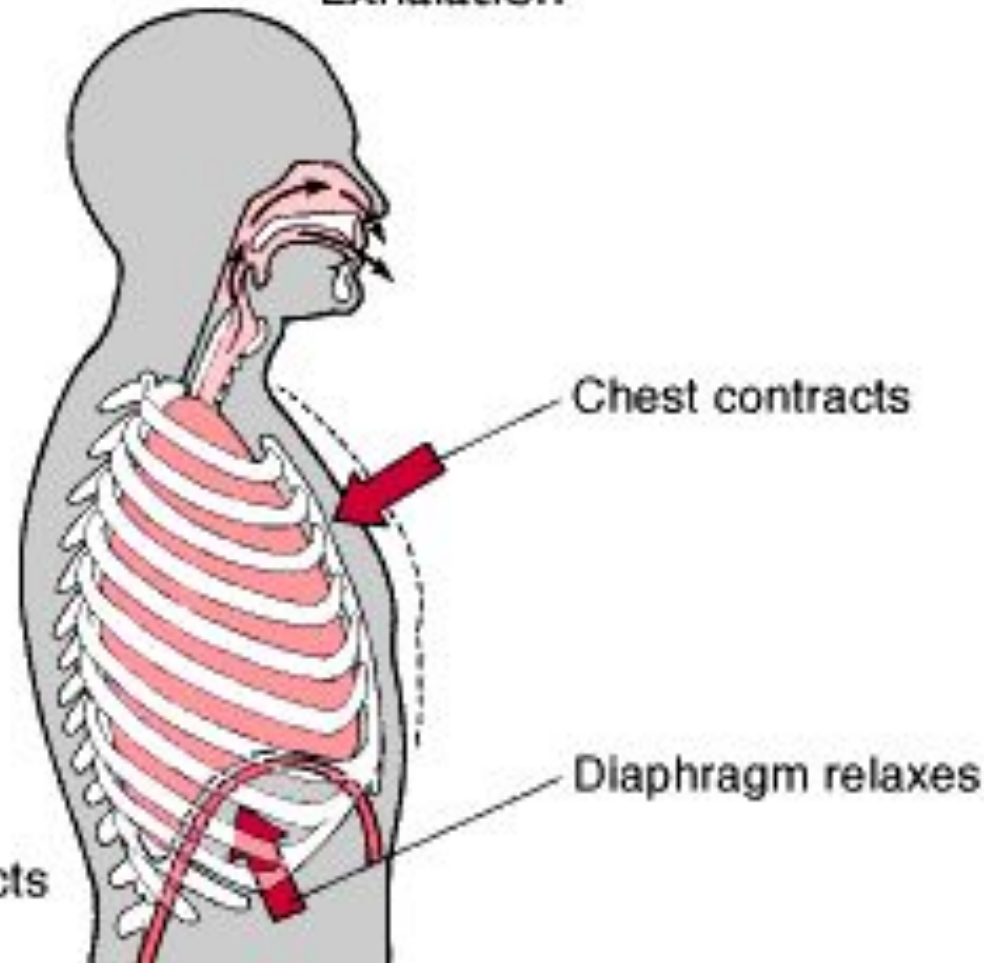


Механика дыхания – два простых движения составляют дыхательный цикл

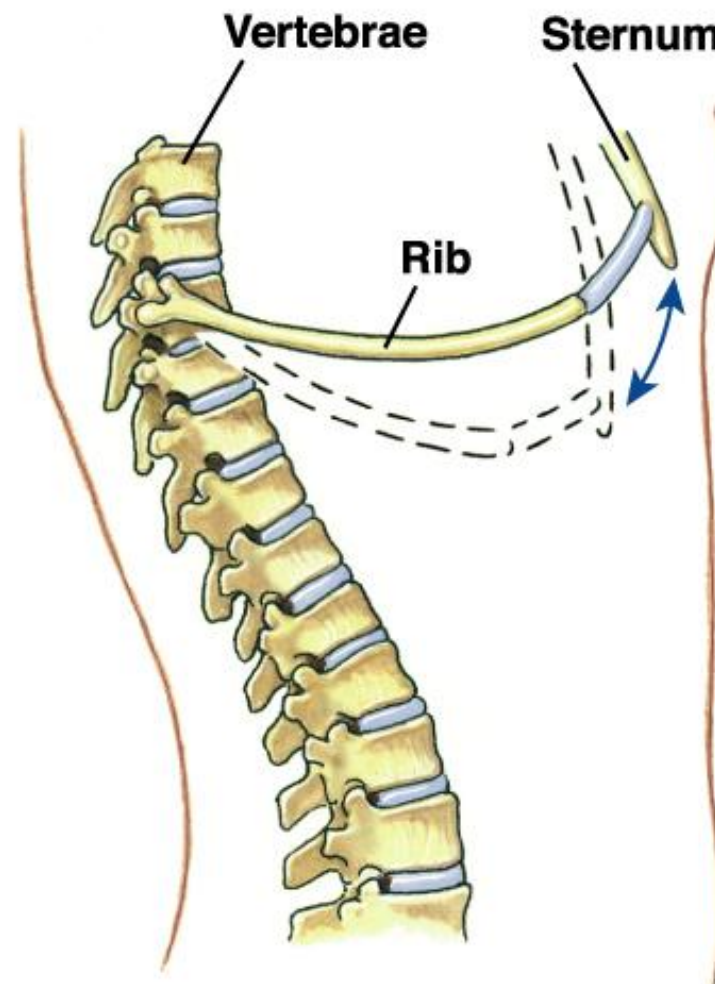
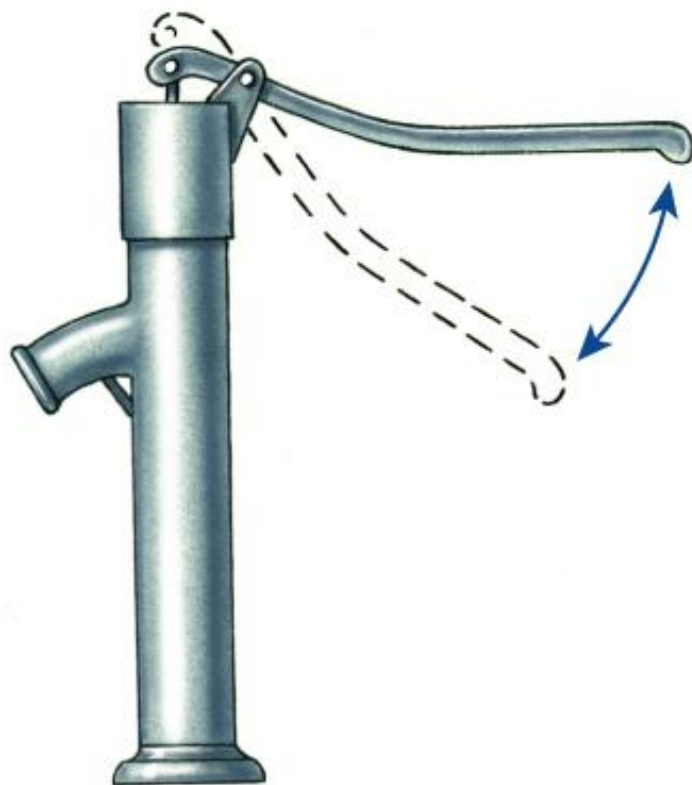
Inhalation



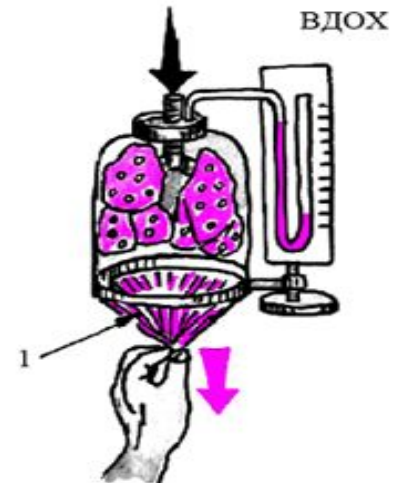
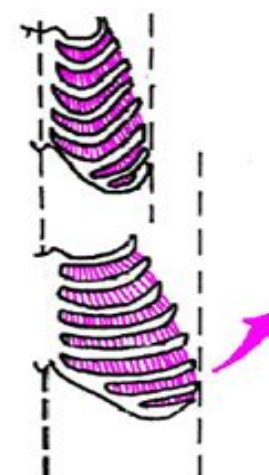
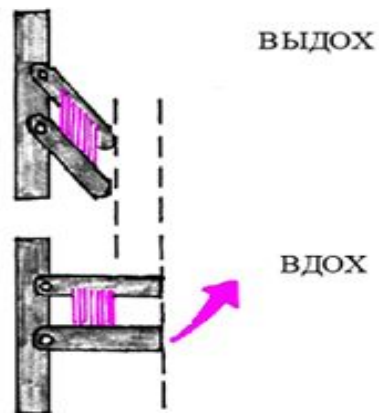
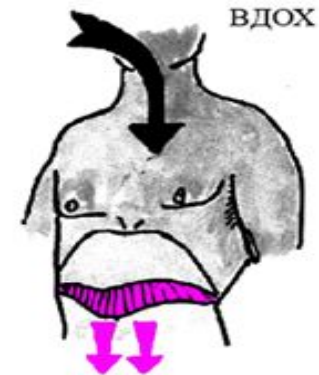
Exhalation



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:

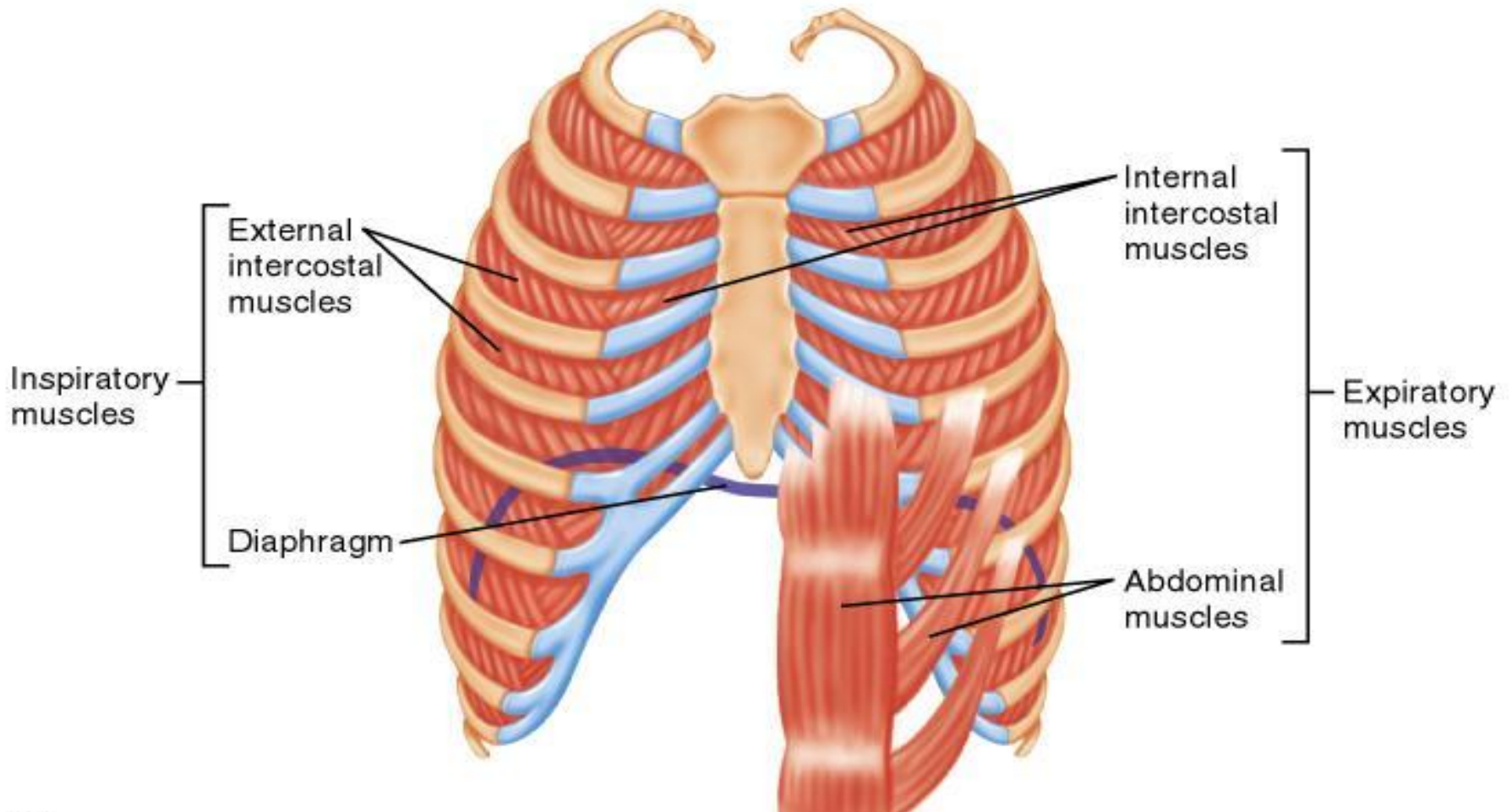
- Грудино-ключично-сосцевидные, лестничные, трапецевидные, крылья носа.

- Мышцы выдоха

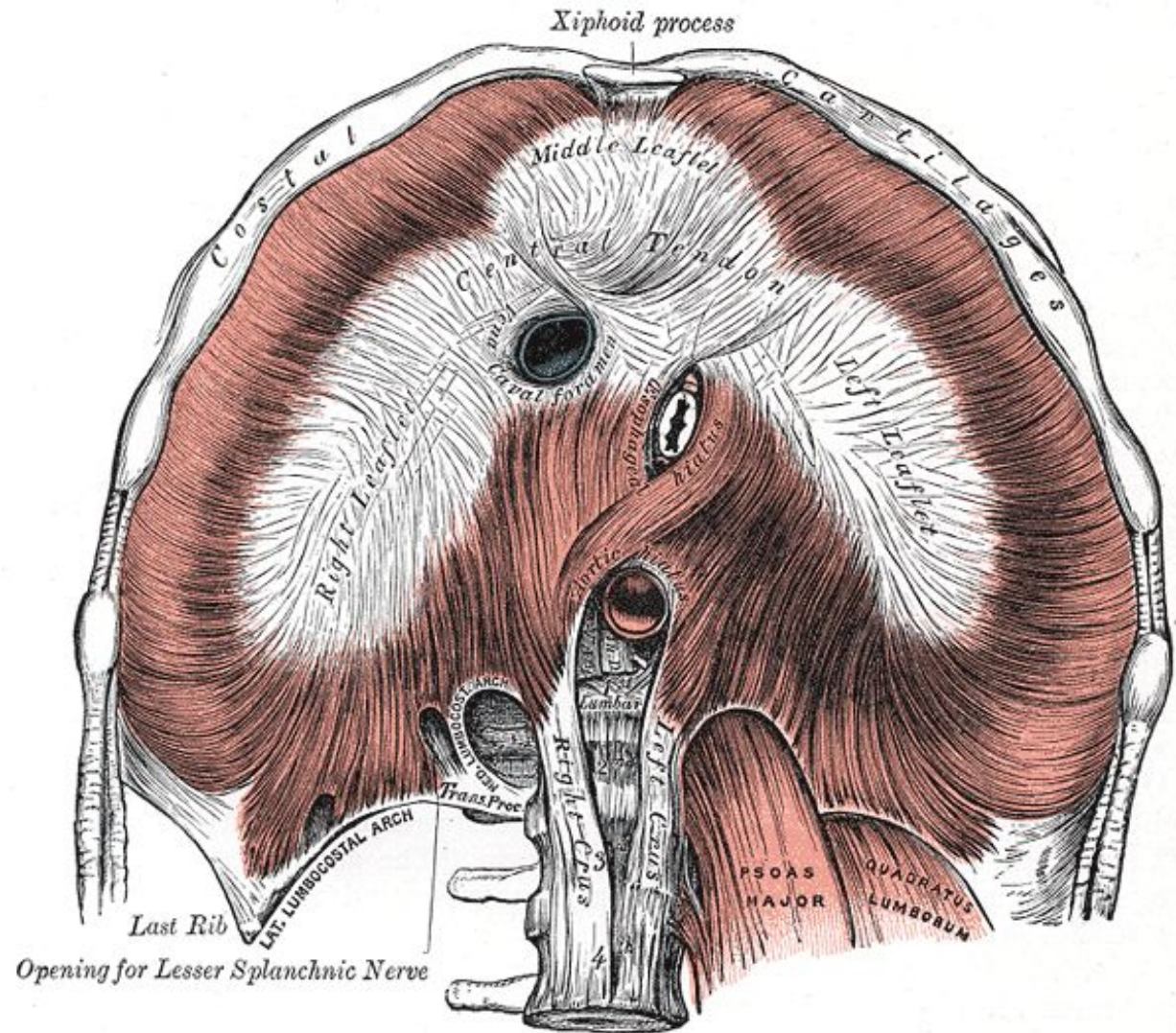
- Внутренние межрёберные.

- Брюшные.

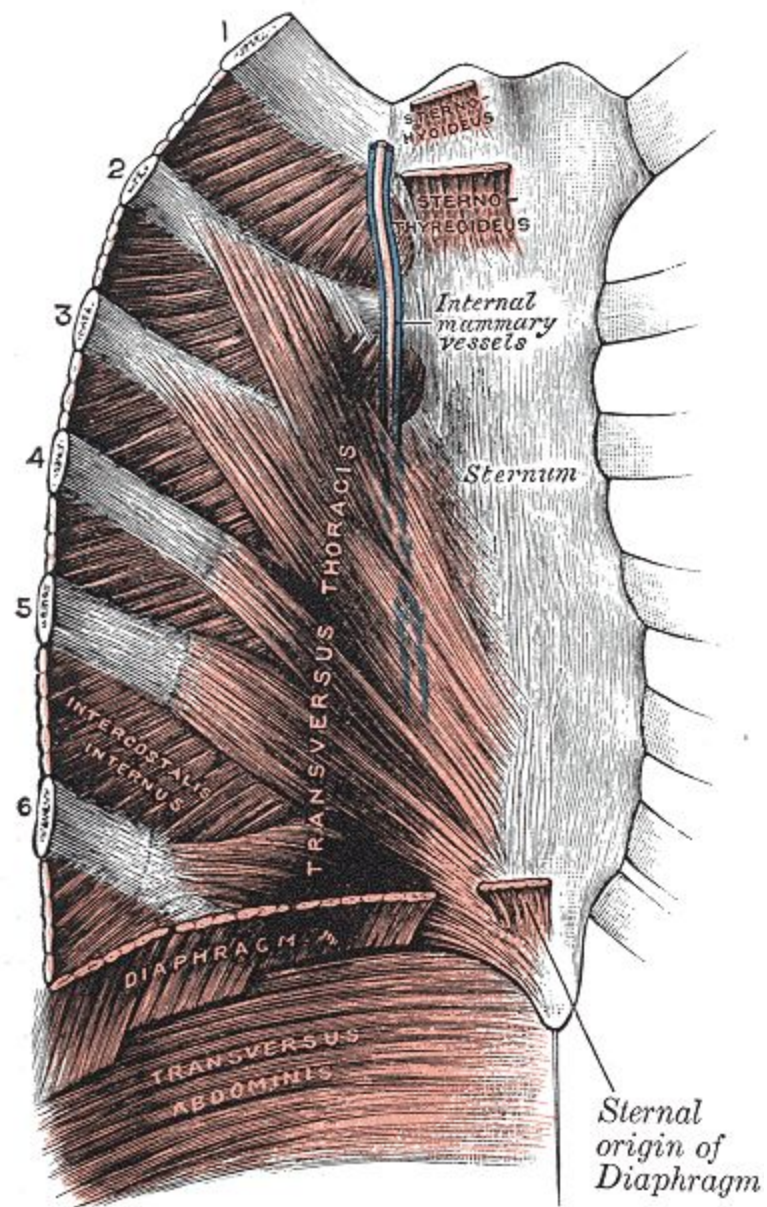
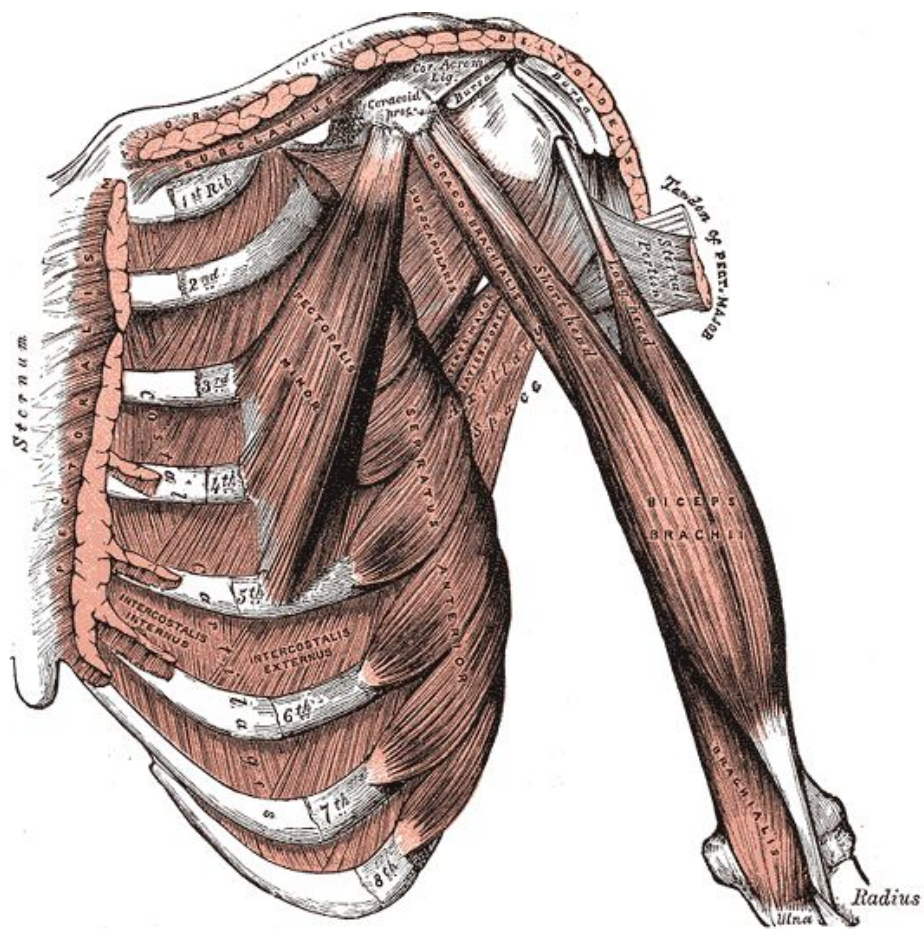
Дыхательные мышцы



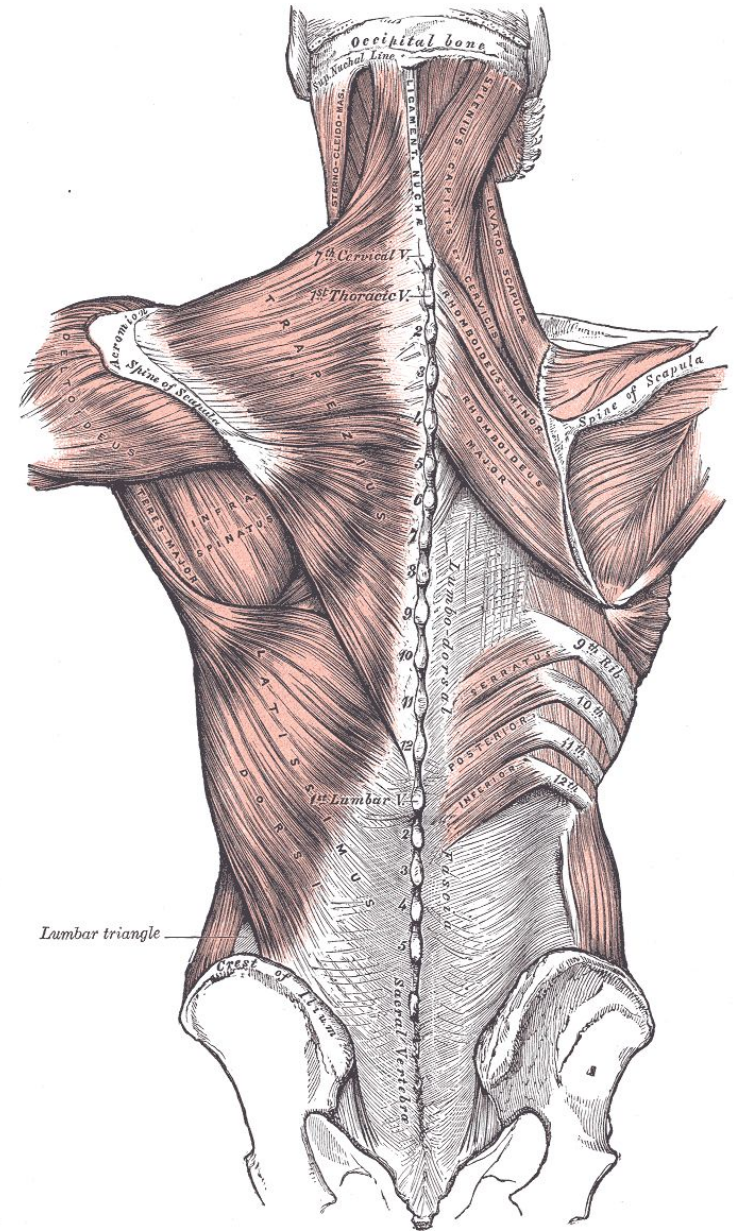
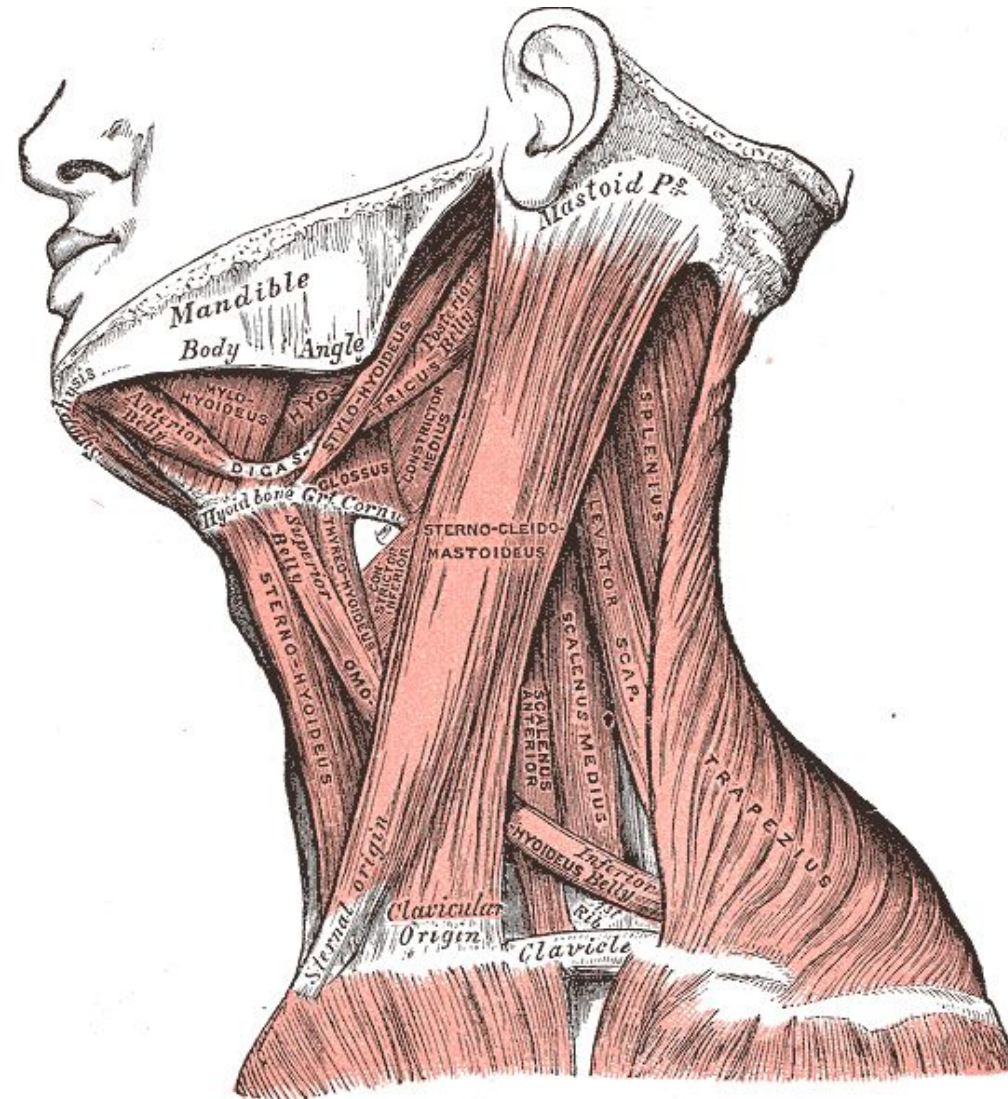
Диафрагма (нижняя поверхность)



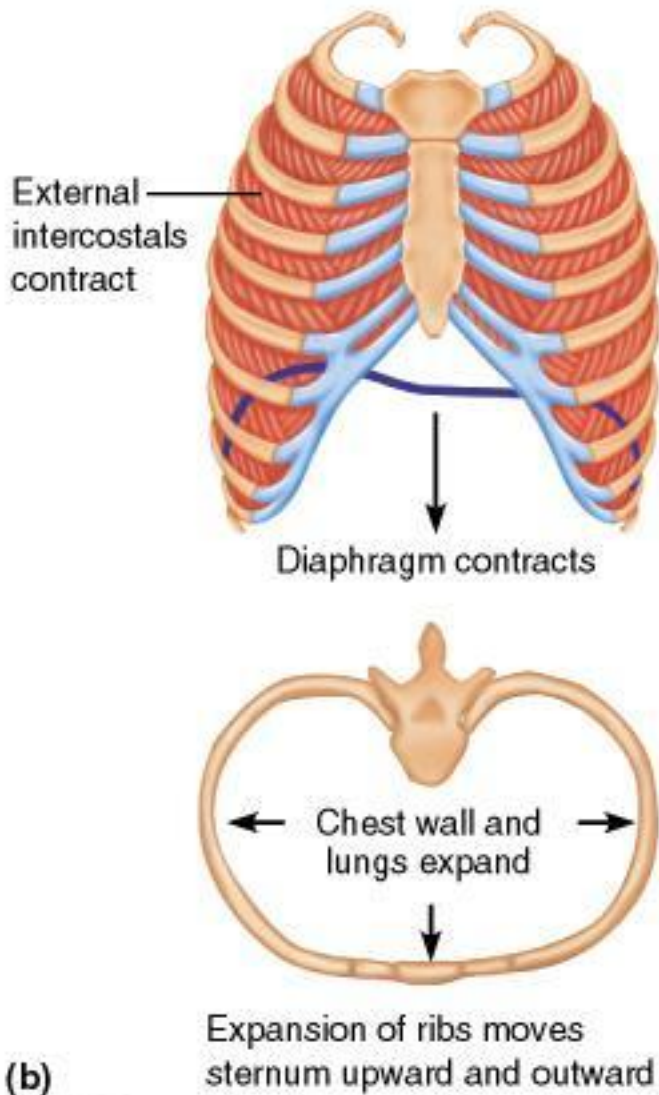
Мышцы грудной клетки



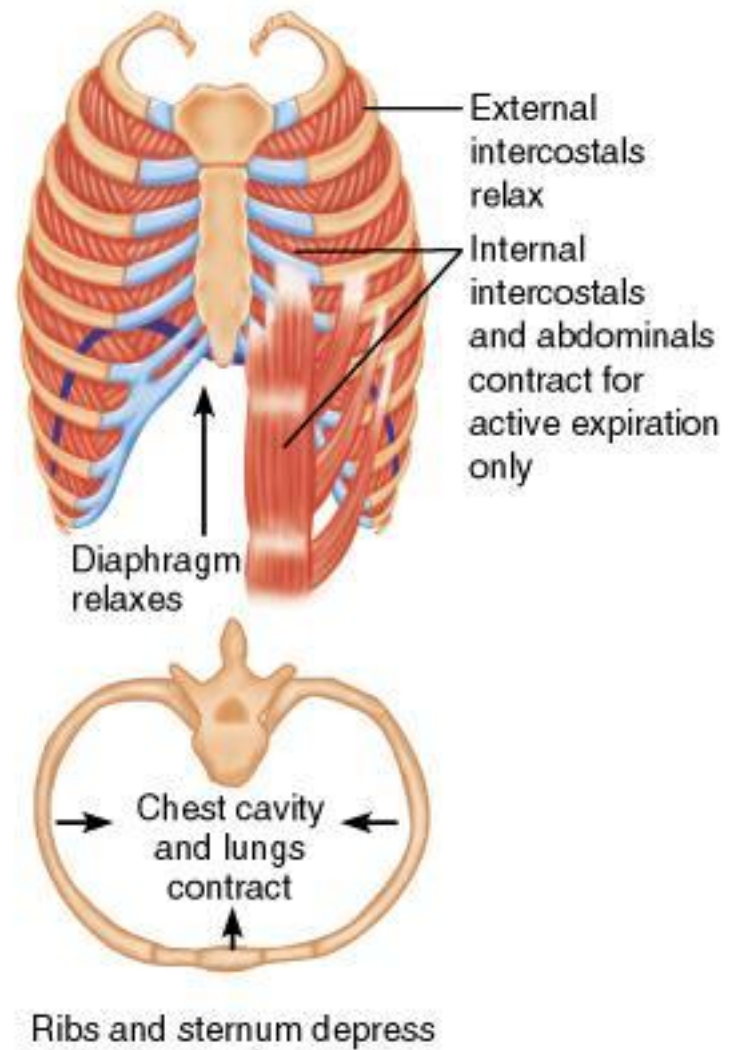
Дополнительные мышцы



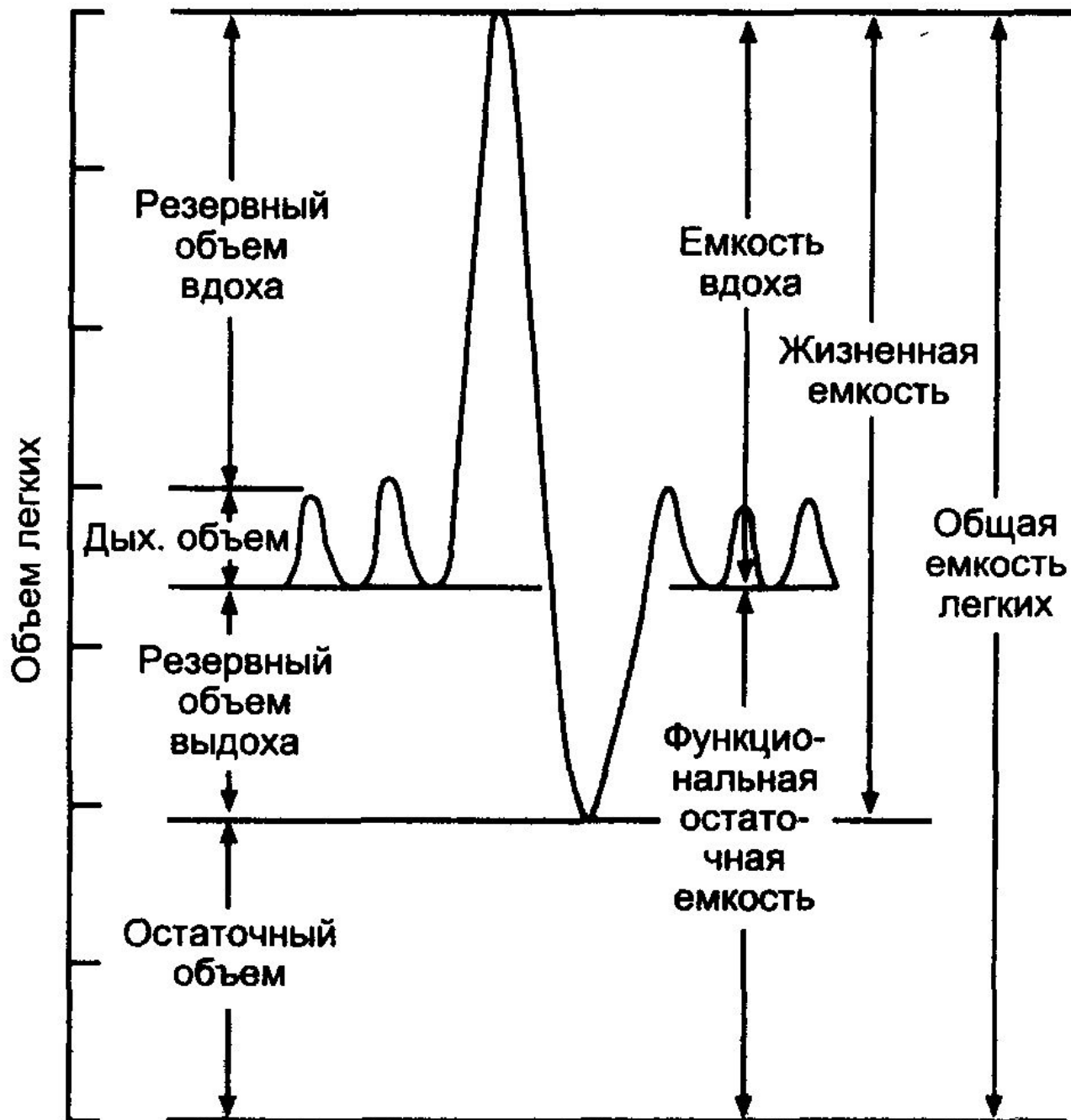
Инспирация



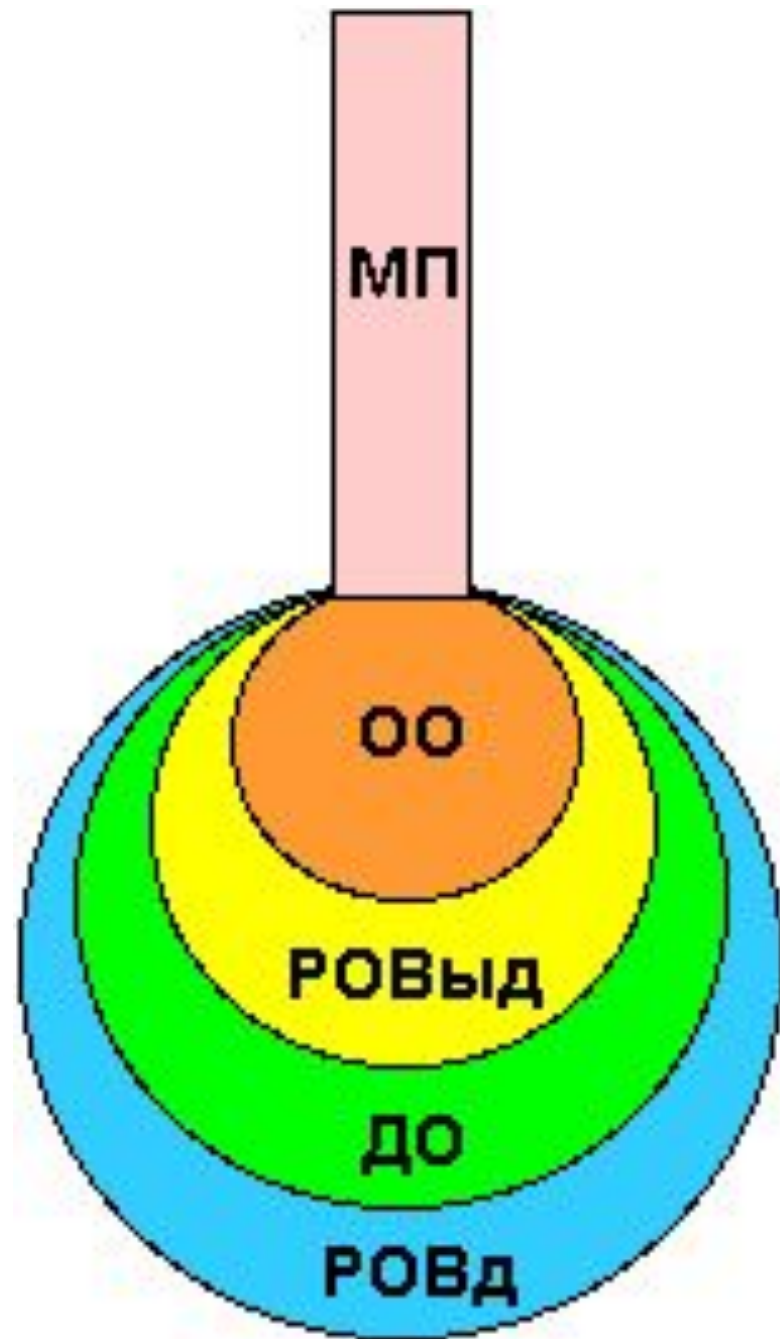
Экспирация



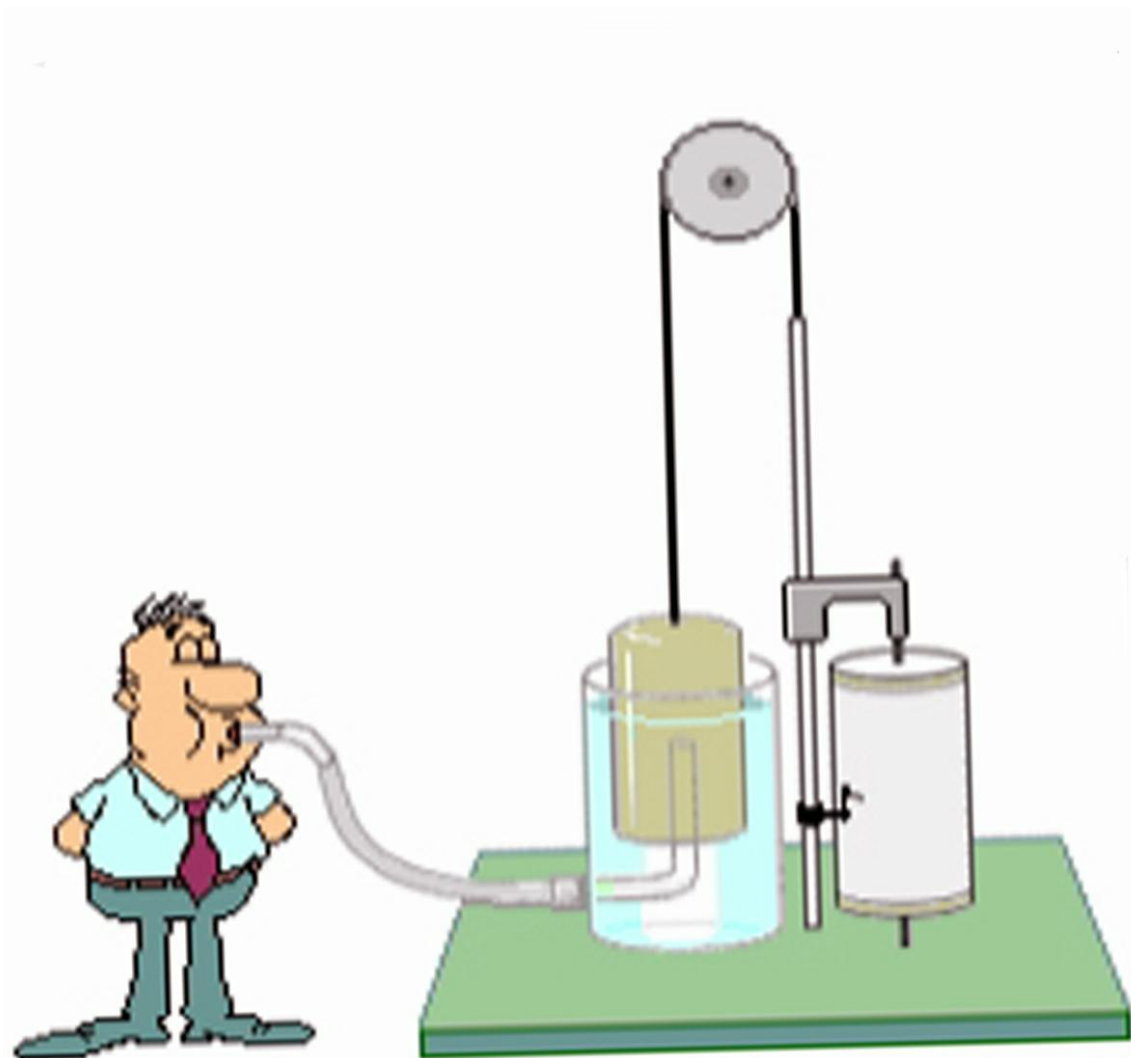
Статические и динамические объёмы и ёмкости лёгких



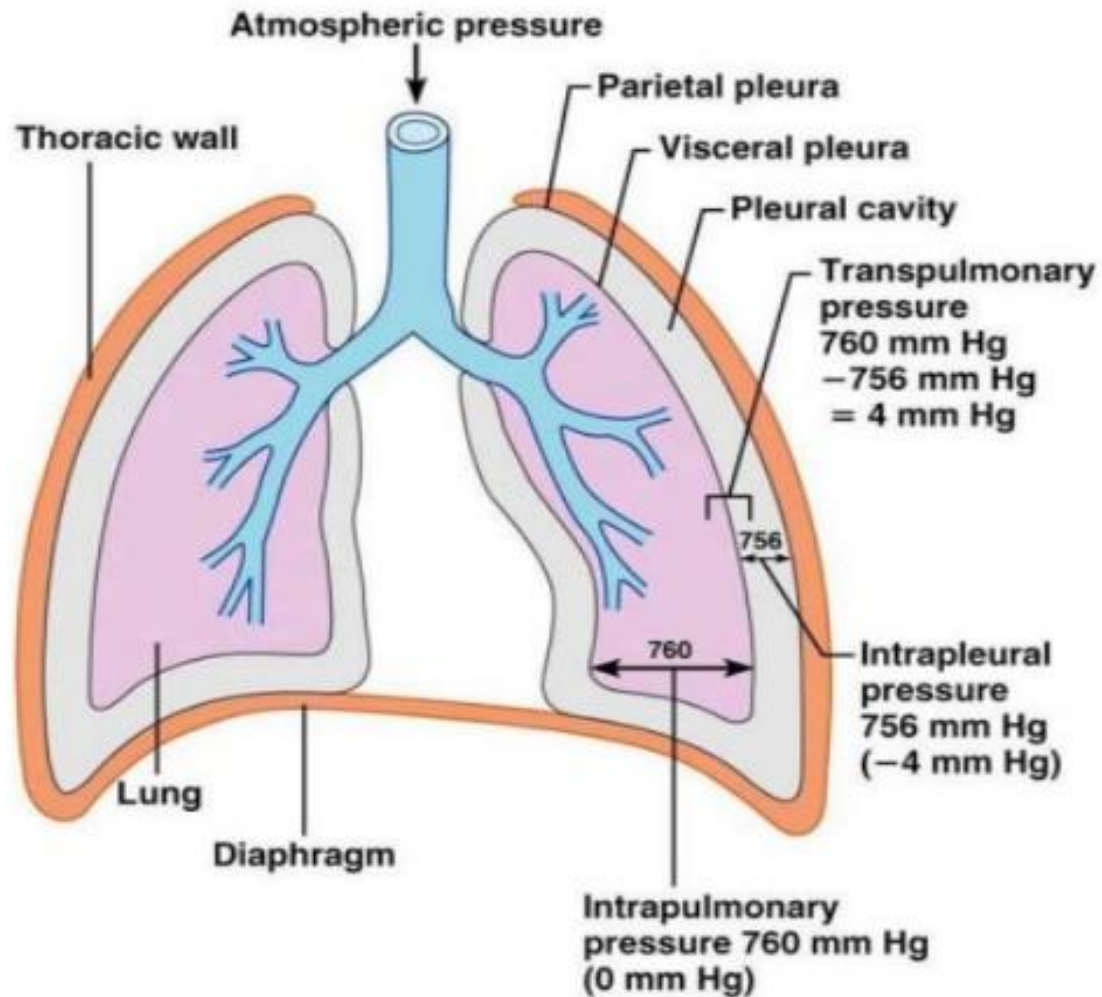
Распределение
лёгочных объёмов и
ёмкостей



Спирометрия



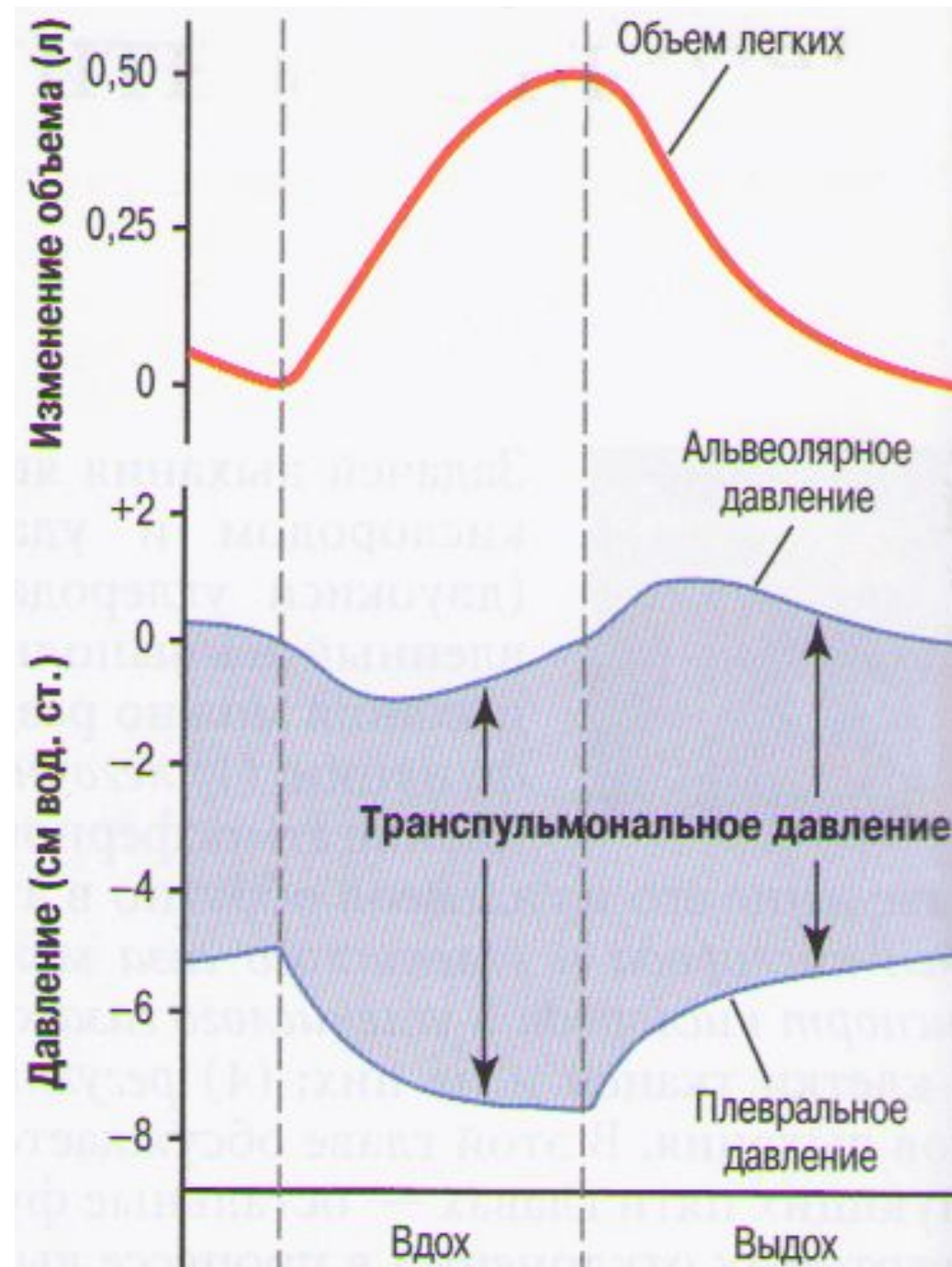
Виды давлений в системе дыхания



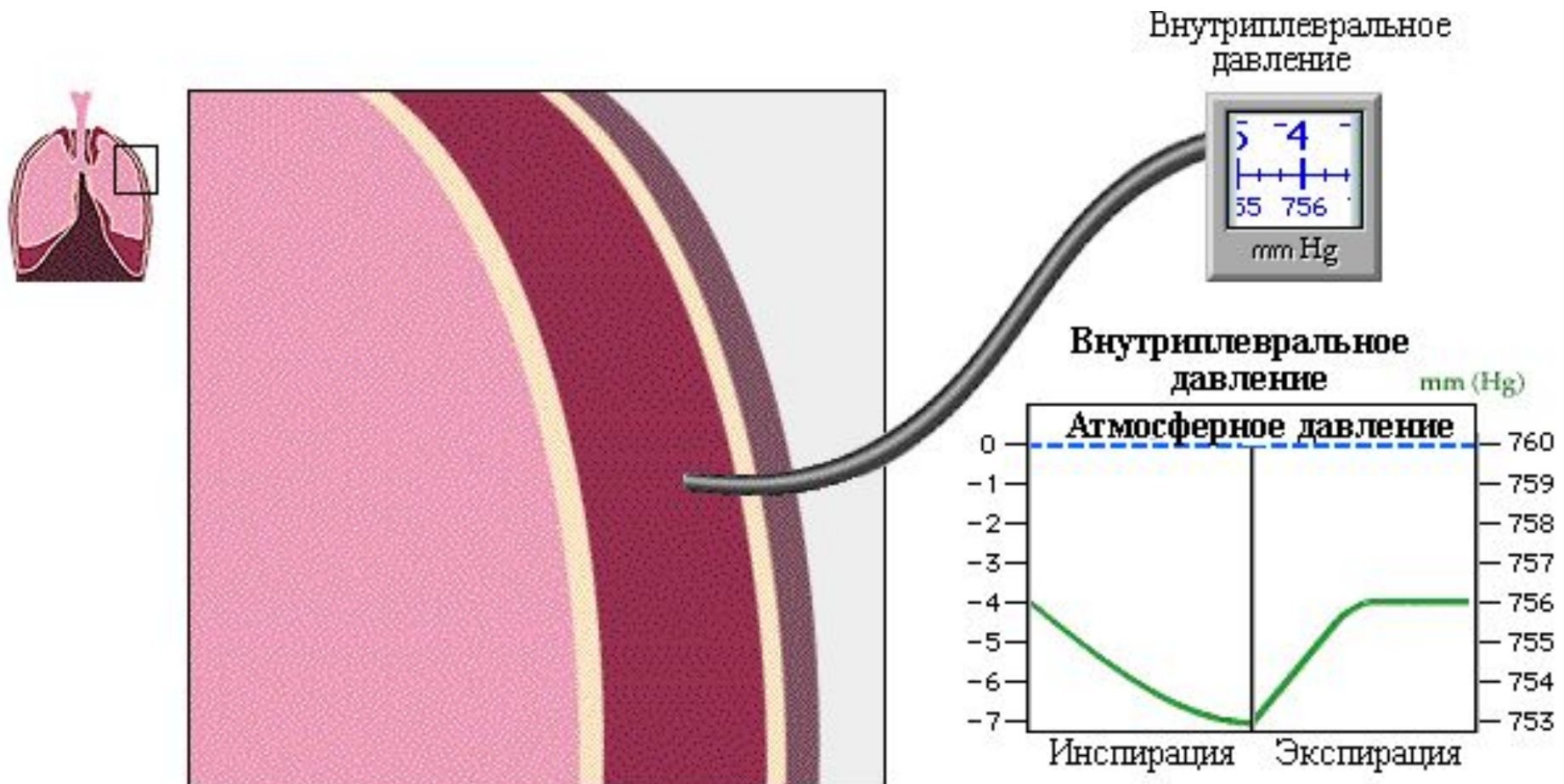
Почему воздух двигается в легкие?

- 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.

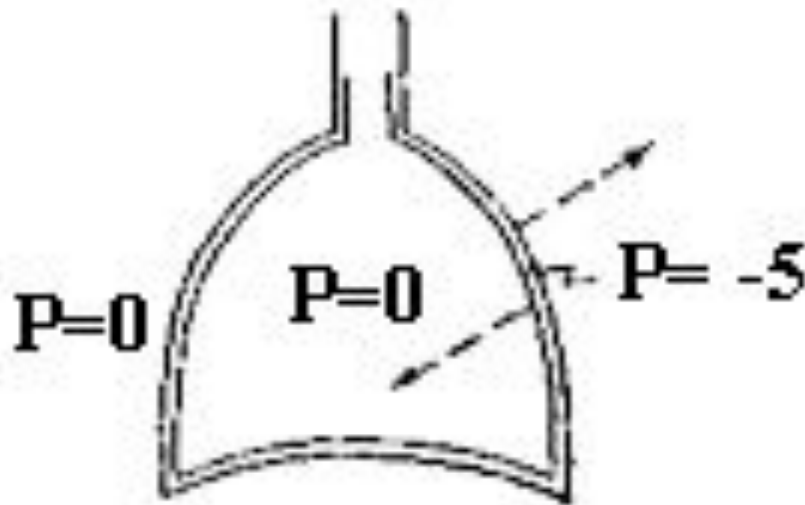
Изменения объема легких,
альвеолярного давления,
транспульмонального
давления и плеврального
давления во время вдоха и
выдоха



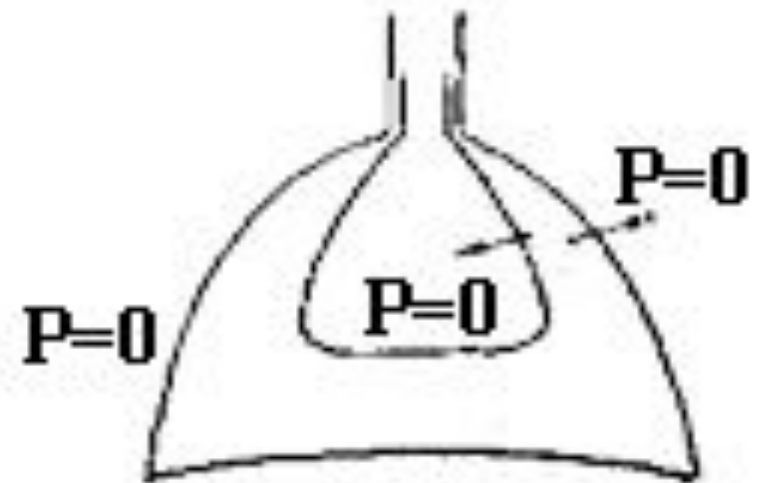
Измерение внутриплеврального давления



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.

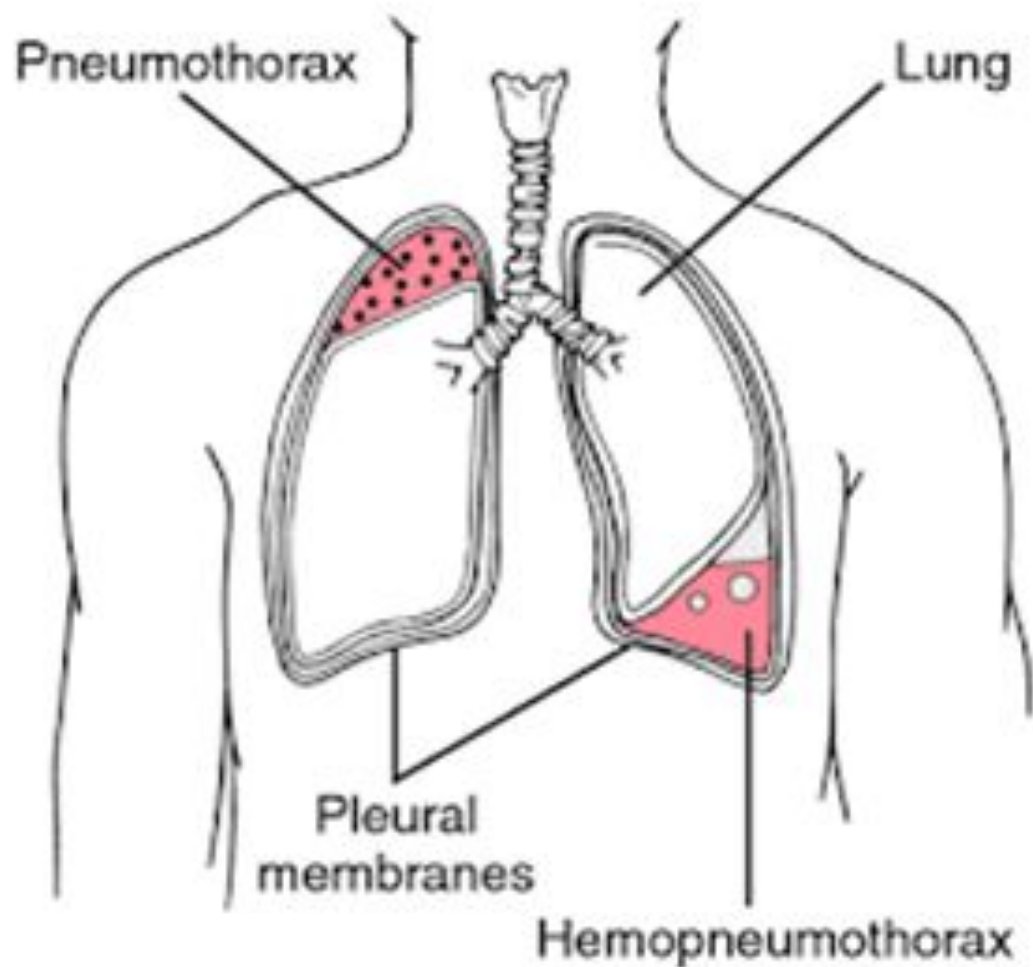


Норма

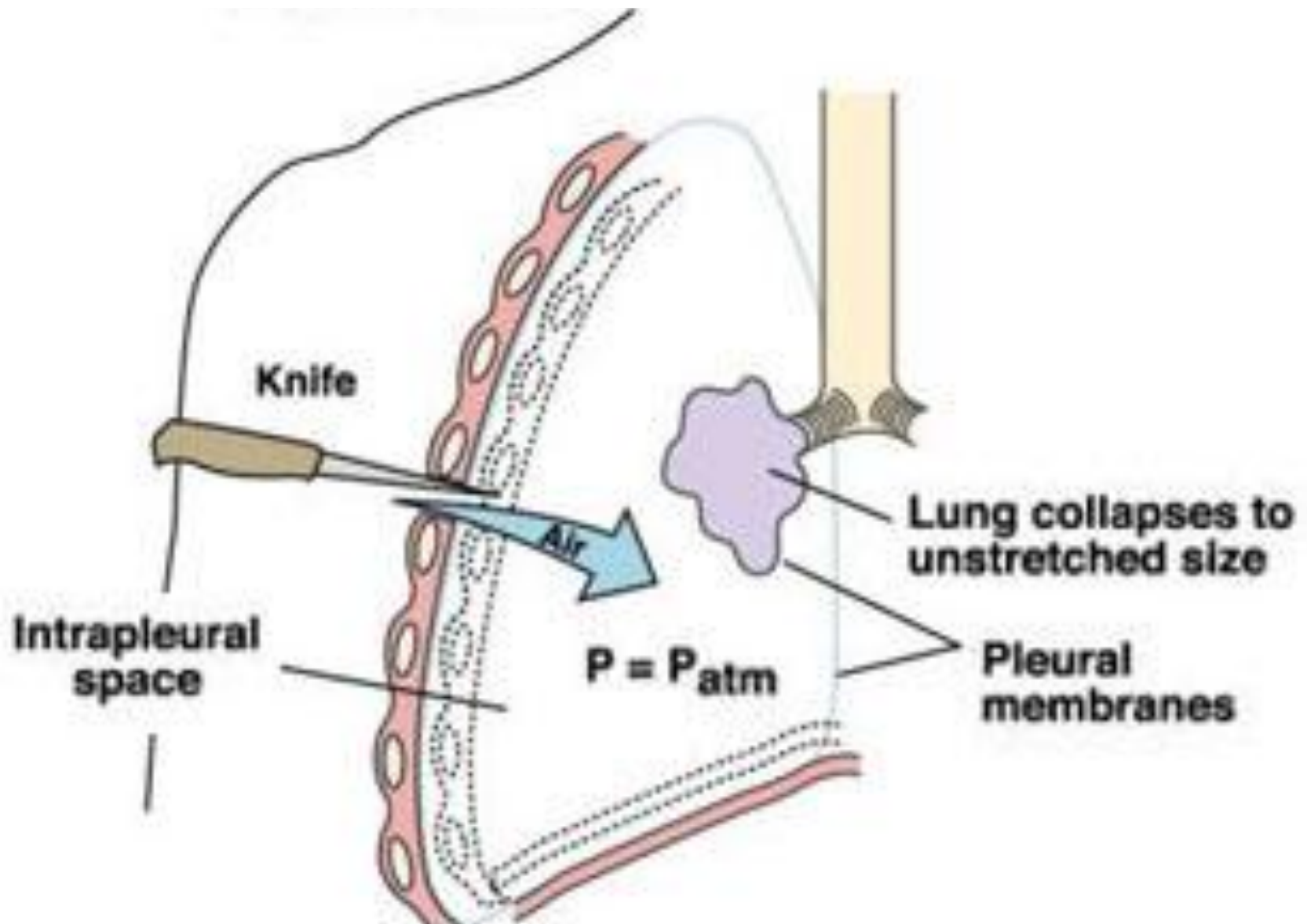


Пневмоторакс

Пневмо-и гемоторакс



Условие возникновения пневмоторакса



Какие факторы влияют на лёгочный объём во время вдоха

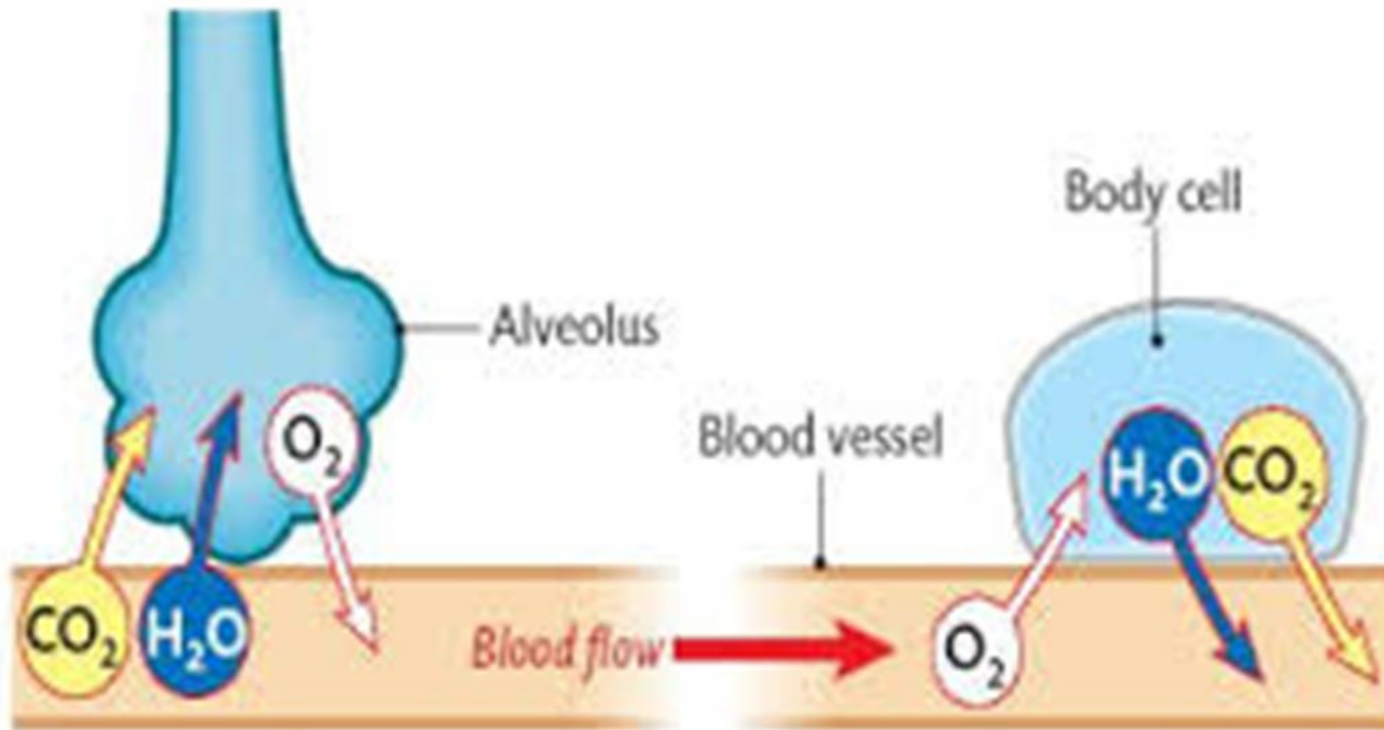
- Растяжимость (compliance) лёгочной ткани.
- Поверхностное натяжение слоя жидкости в альвеолах.
- Сопротивление дыхательных путей.

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

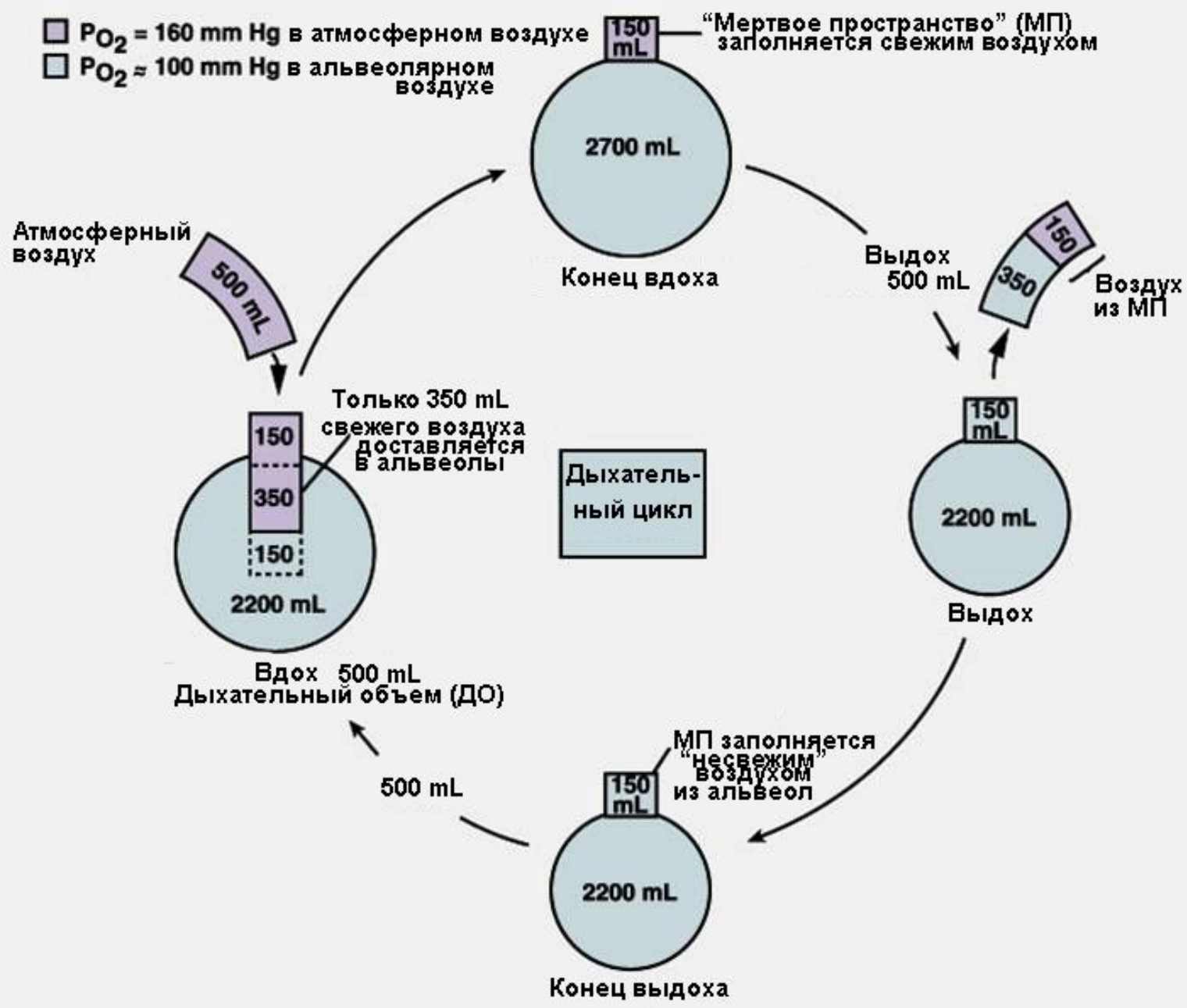
- Поддержание постоянного состава альвеолярного воздуха



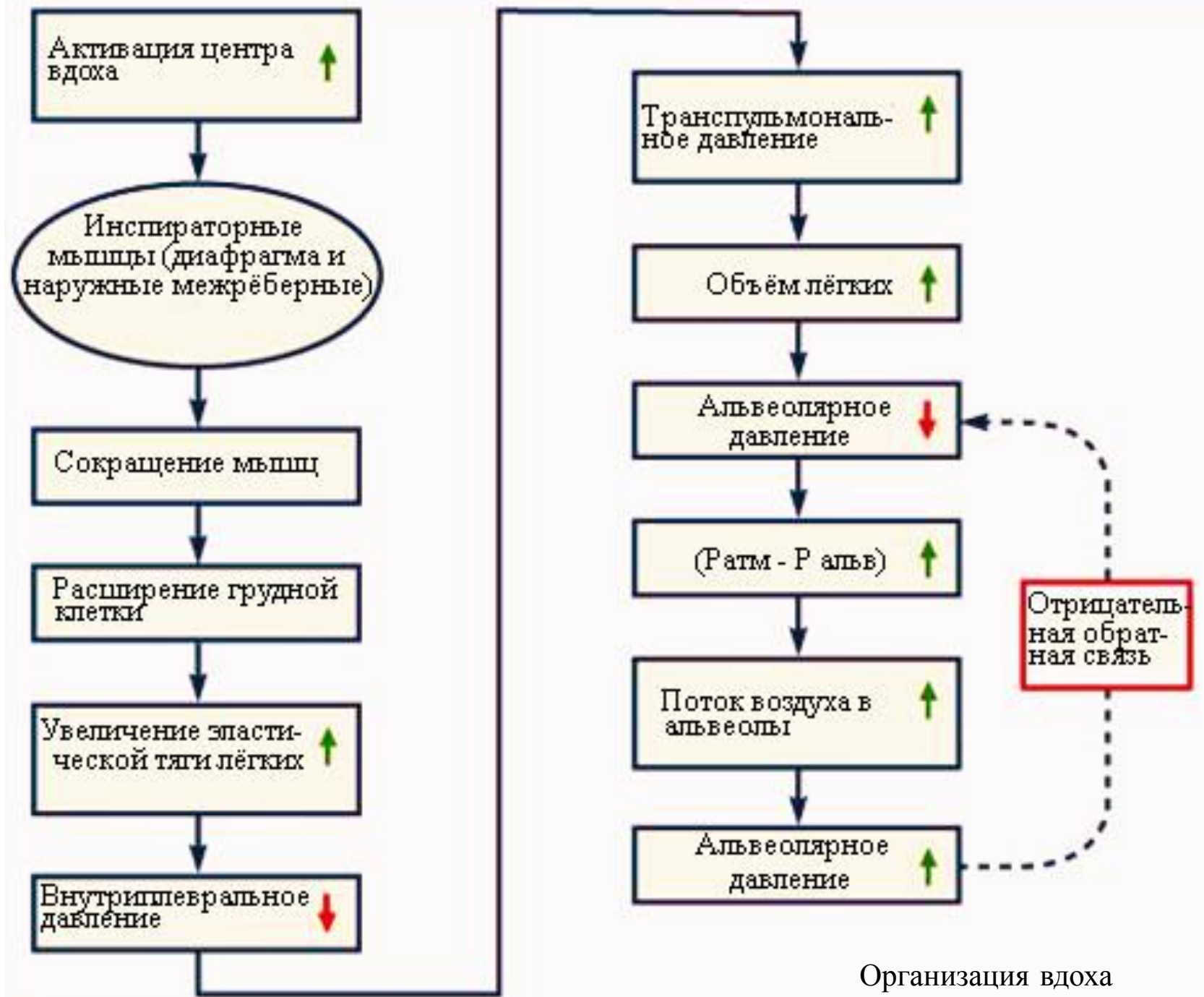
Заметьте! В лёгких обменивается незначительная часть имеющегося в альвеолах воздуха:

- «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)



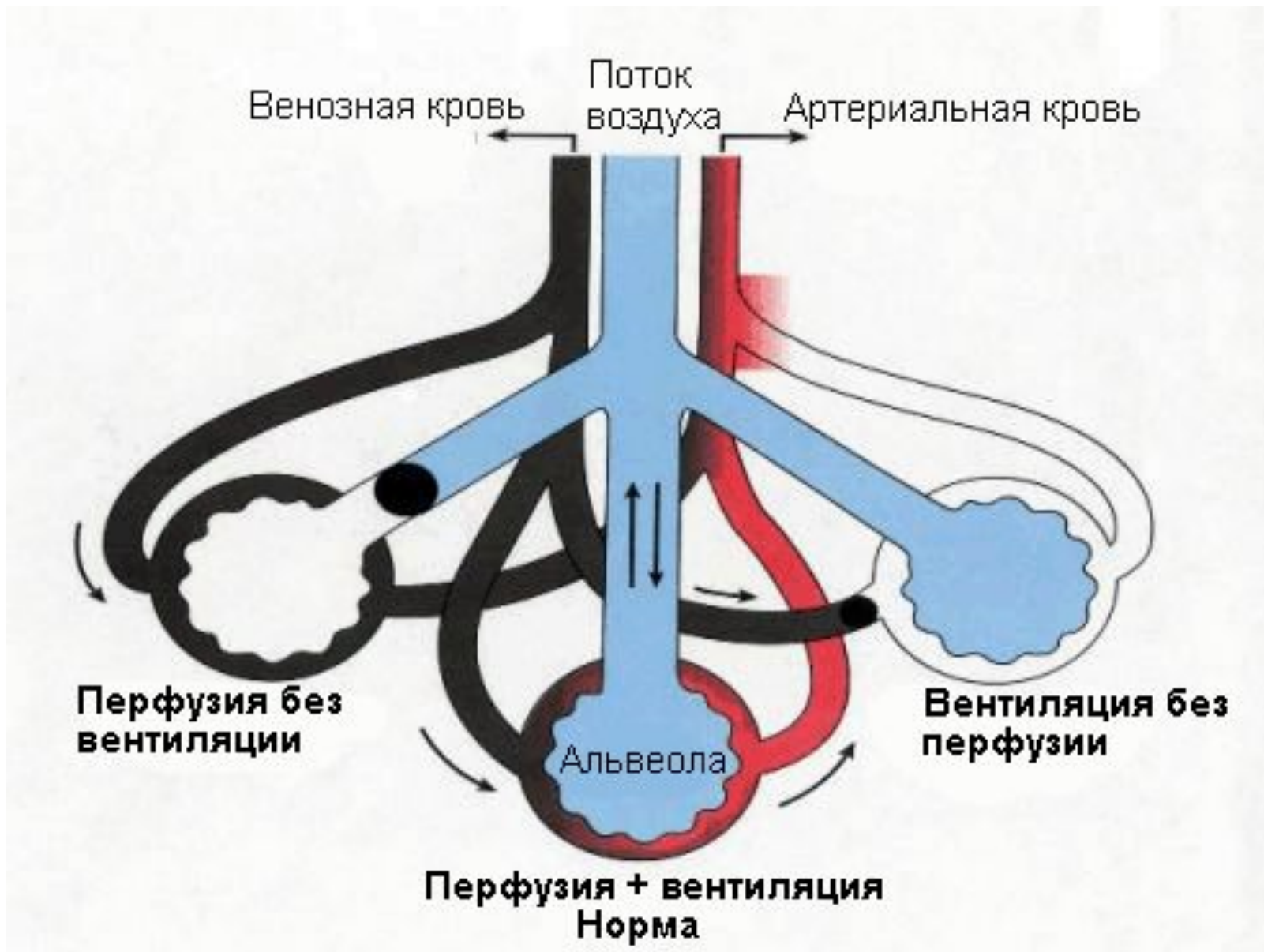
Организация вдоха

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

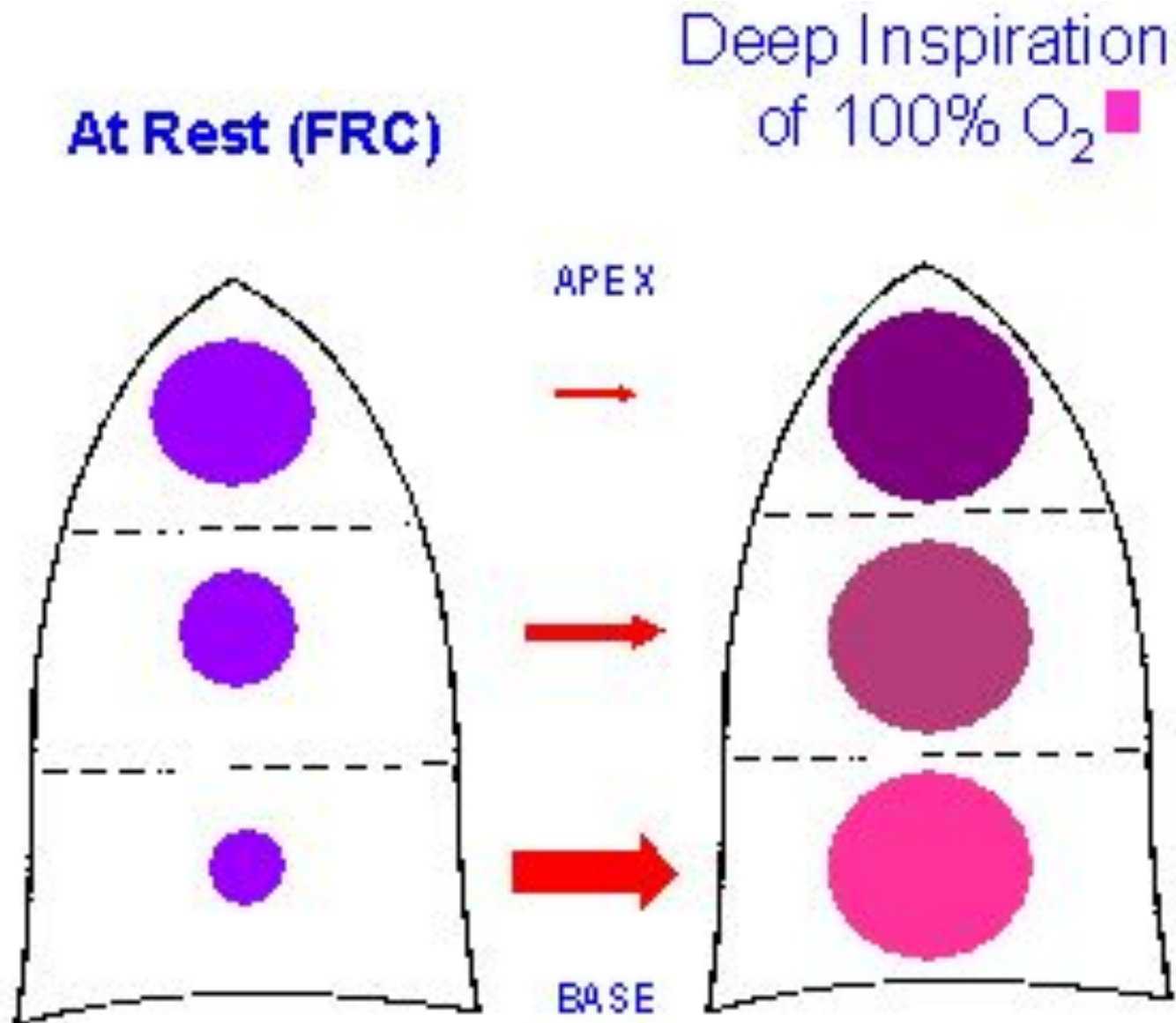
$$\text{МОД} = \text{ДО} \times \text{ЧД}$$

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

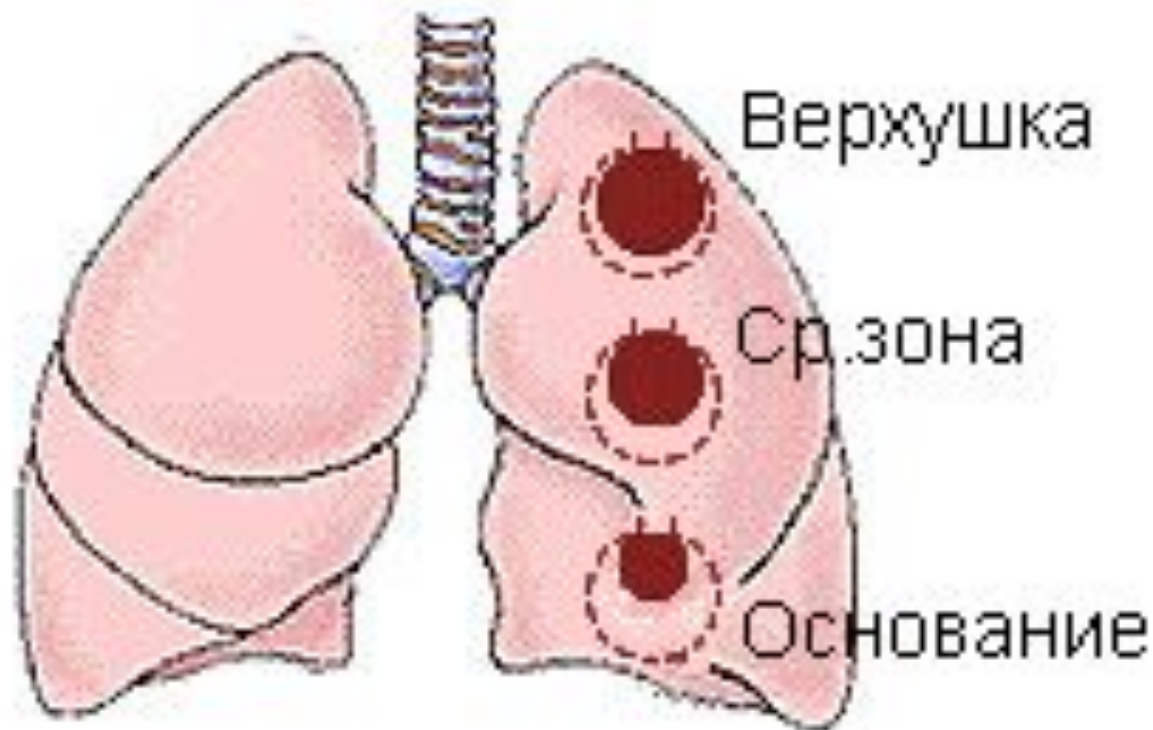
Альвеолярное (физиологическое) мертвое пространство



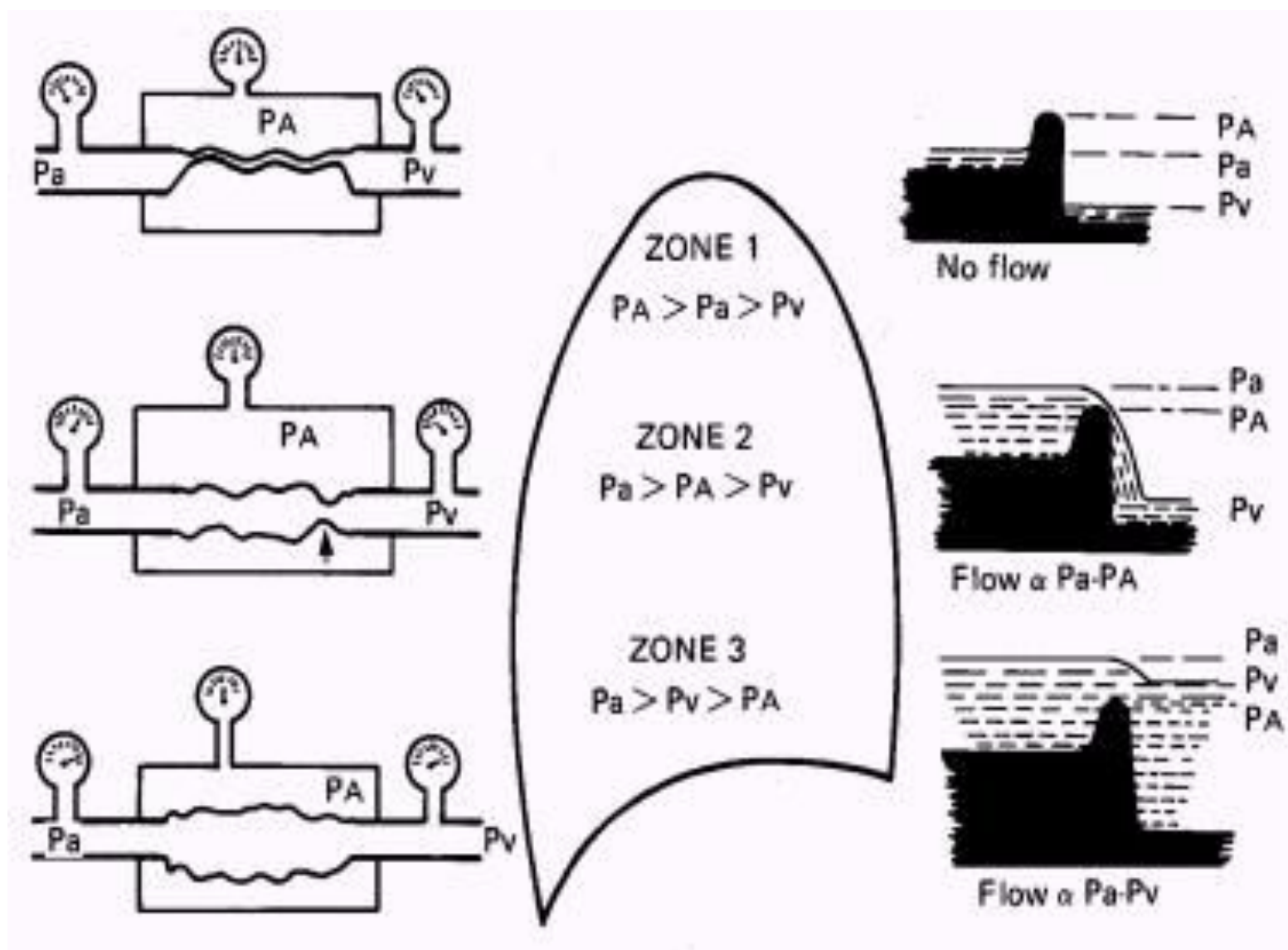
Гравитация влияет на вентиляцию в лёгких



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:

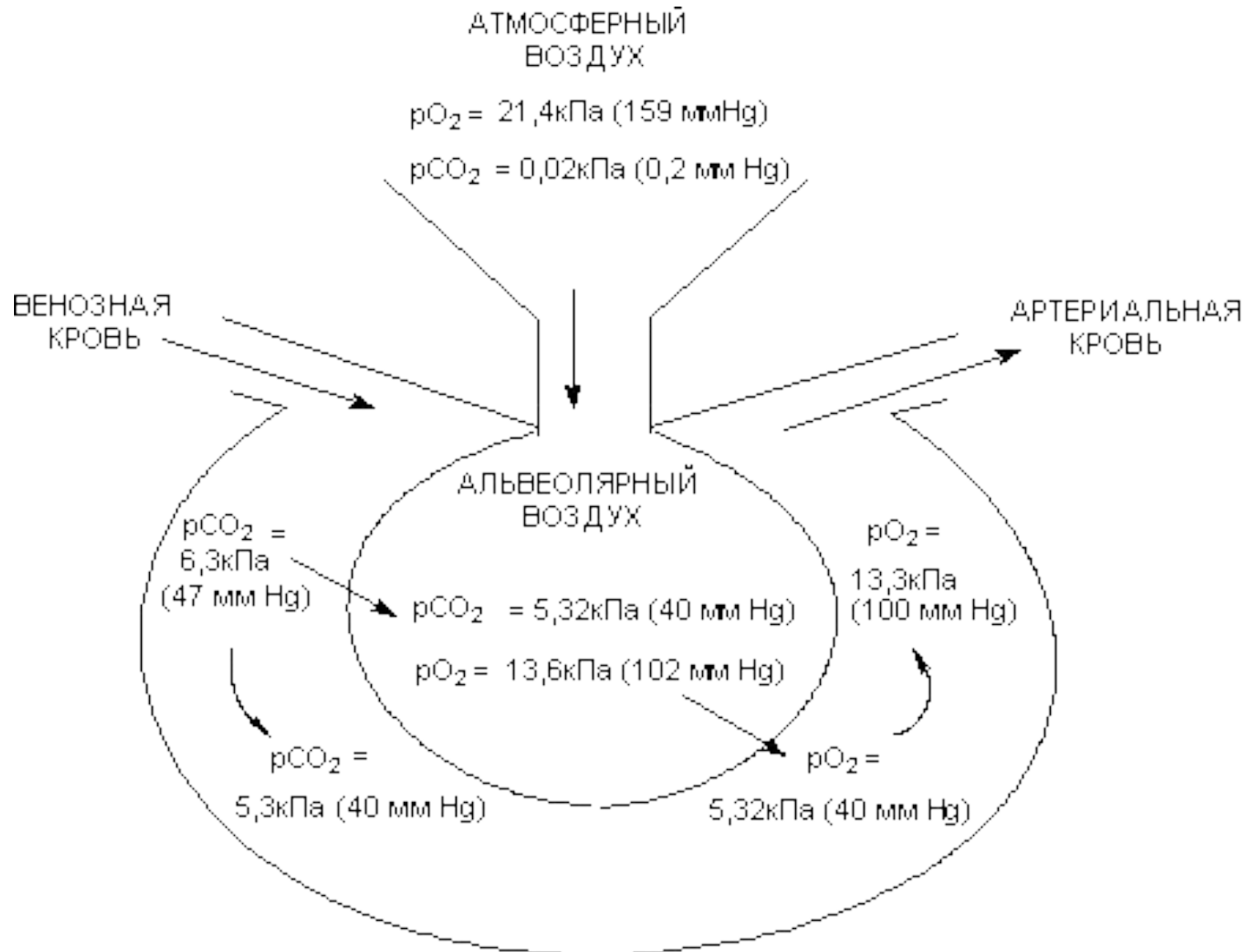
- **1 зона:** кровоток отсутствует – давление воздуха в альвеолах $>$ давления в артериях (сосуды передавлены)
- **2 зона:** кровоток прерывистый – систолическое давление «продавливает» кровь (давление в артериях $>$ давления воздуха в альвеолах), но во время диастолы давление в артериях $<$ давления 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 **O₂** из воздуха

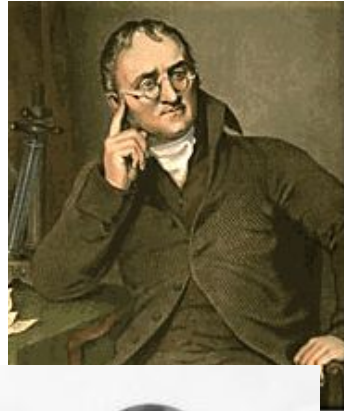
- Август Крог (1874-1949, Ноб. лауреат 1920 г.) впервые установил – газообмен в легких: исключительно физический процесс - диффузия дыхательных газов

Газообмен происходит по градиенту парциальных давлений



Физические законы управляют диффузией газов

- Закон Дальтона



- Закон Генри



ADOLF

Wm Henry

- Закон Фика



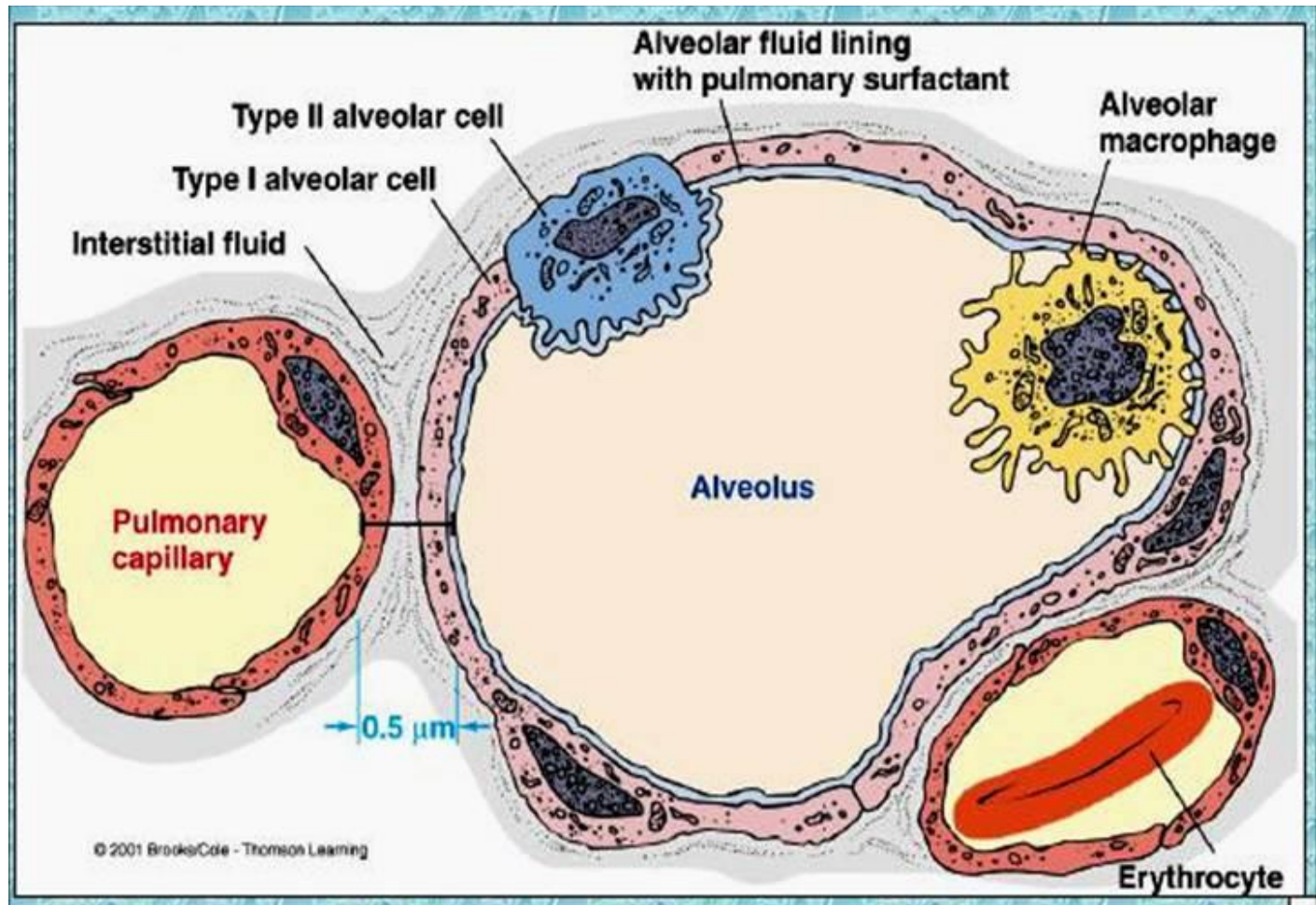
A. Fick.

Диффузия газов определяется законами физики

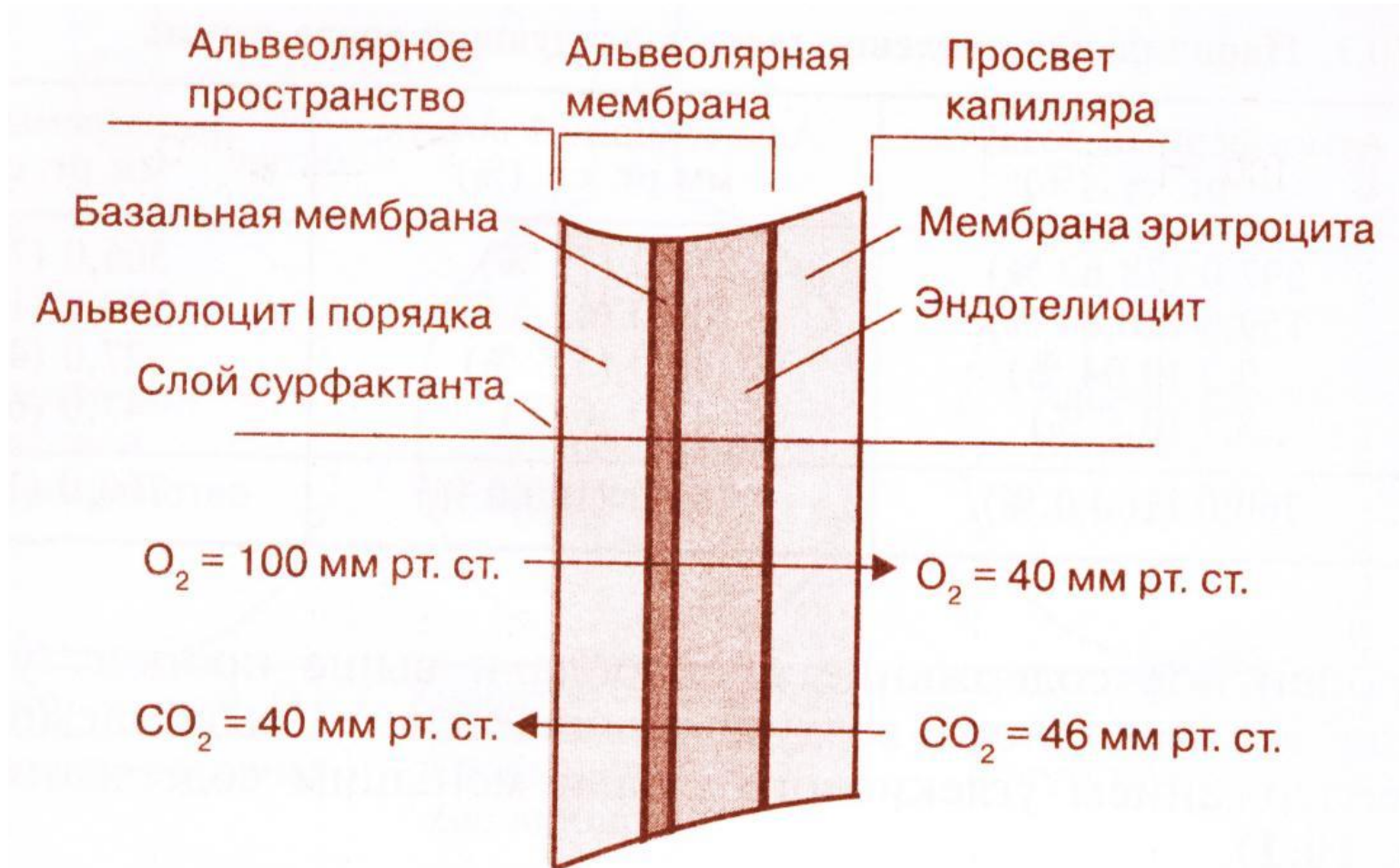
- Атмосферное давление – сумма парциальных давлений отдельных газов в смеси – закон Дальтона
- Движение газов через альвеолярно-капиллярную мембрану прямо пропорциональна разнице парциальных давлений газов по обе стороны мембраны – закон Фика
- Диффузия газов происходит по градиенту парциальных давлений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

Место газообмена в лёгких

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



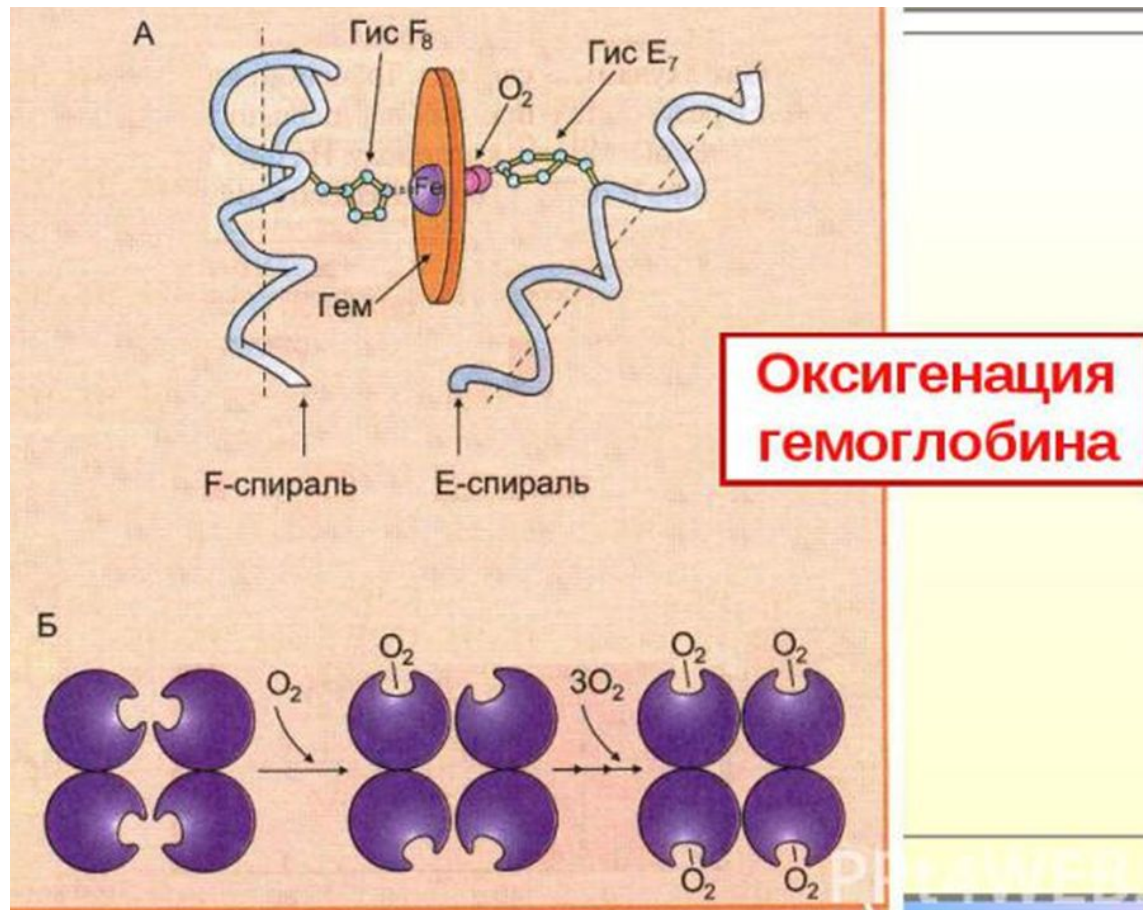
Диффузия происходит по градиенту Р



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



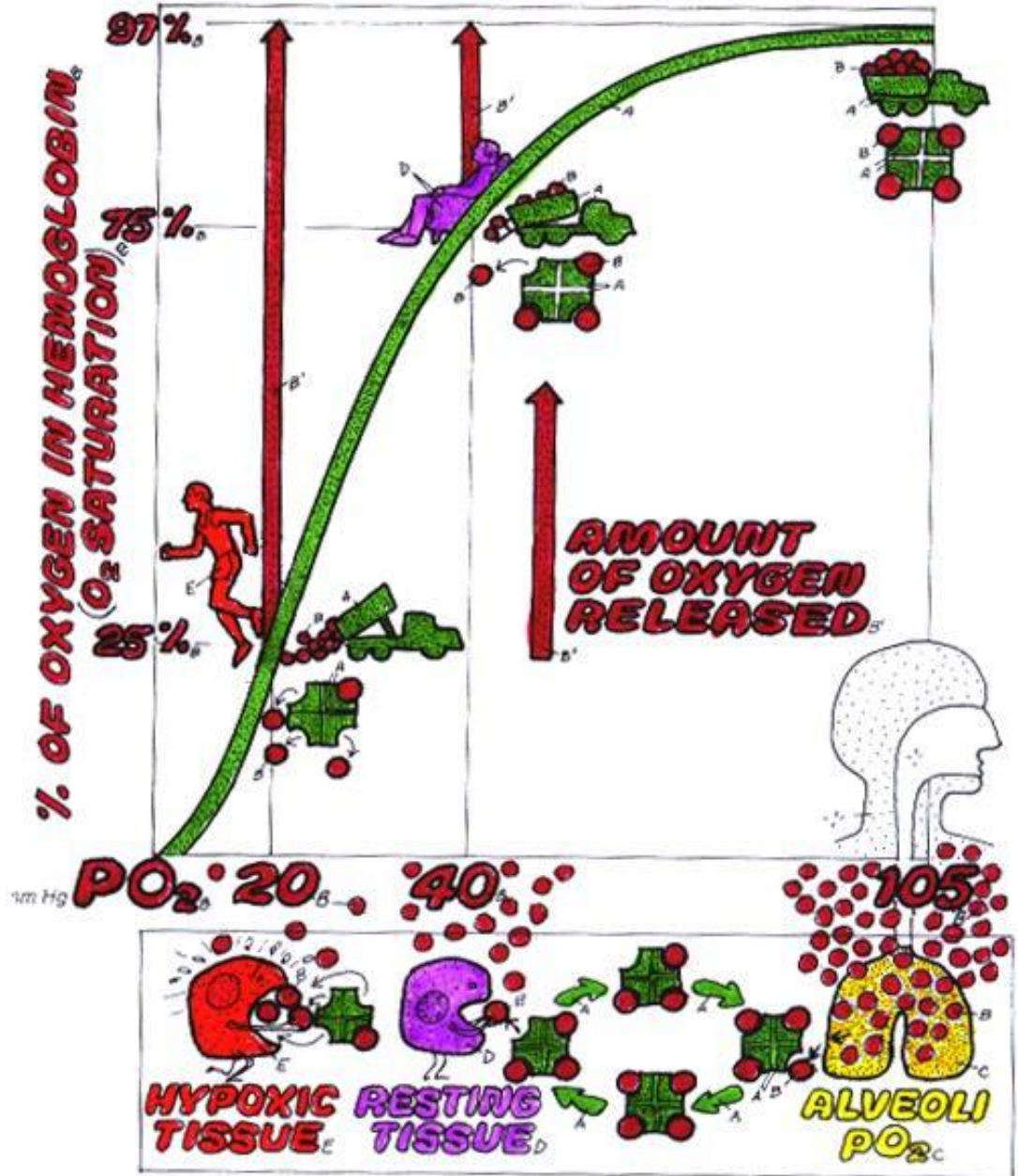
O₂ транспортируется только гемоглобином в соединениях:

- Оксигемоглобин HbO₂ (Fe²⁺)
- Карбгемоглобин HbCO₂ (Fe²⁺)
- Карбоксигемоглобин HbCO (Fe²⁺)
- Метгемоглобин MetHb(Fe³⁺)

CO₂ транспортируется гемоглобином и плазмой в соединениях:

- Плазма: физически растворенный – 7-8% и в связи с бикарбонатами (80%) в виде NaHCO_3
- Эритроциты: Карбгемоглобин- 12-13% и в виде KHCO_3

DISSOCIATION CURVE



Кривая диссоциации (десатурации) и сатурации

- По оси ординат - % насыщения Hb O₂
- По оси абсцисс – P_{o2}
- **1** часть кривой – низкое P_{o2} и HbO₂. При P_{o2} 10 мм рт.ст. количество HbO₂ составляет 10%, а при P_{o2} – 30 мм рт. ст. – 50 %
- **2** часть кривой – примерно от уровня P_{o2} 50 мм рт.ст. происходит резкое насыщение Hb O₂
- **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.

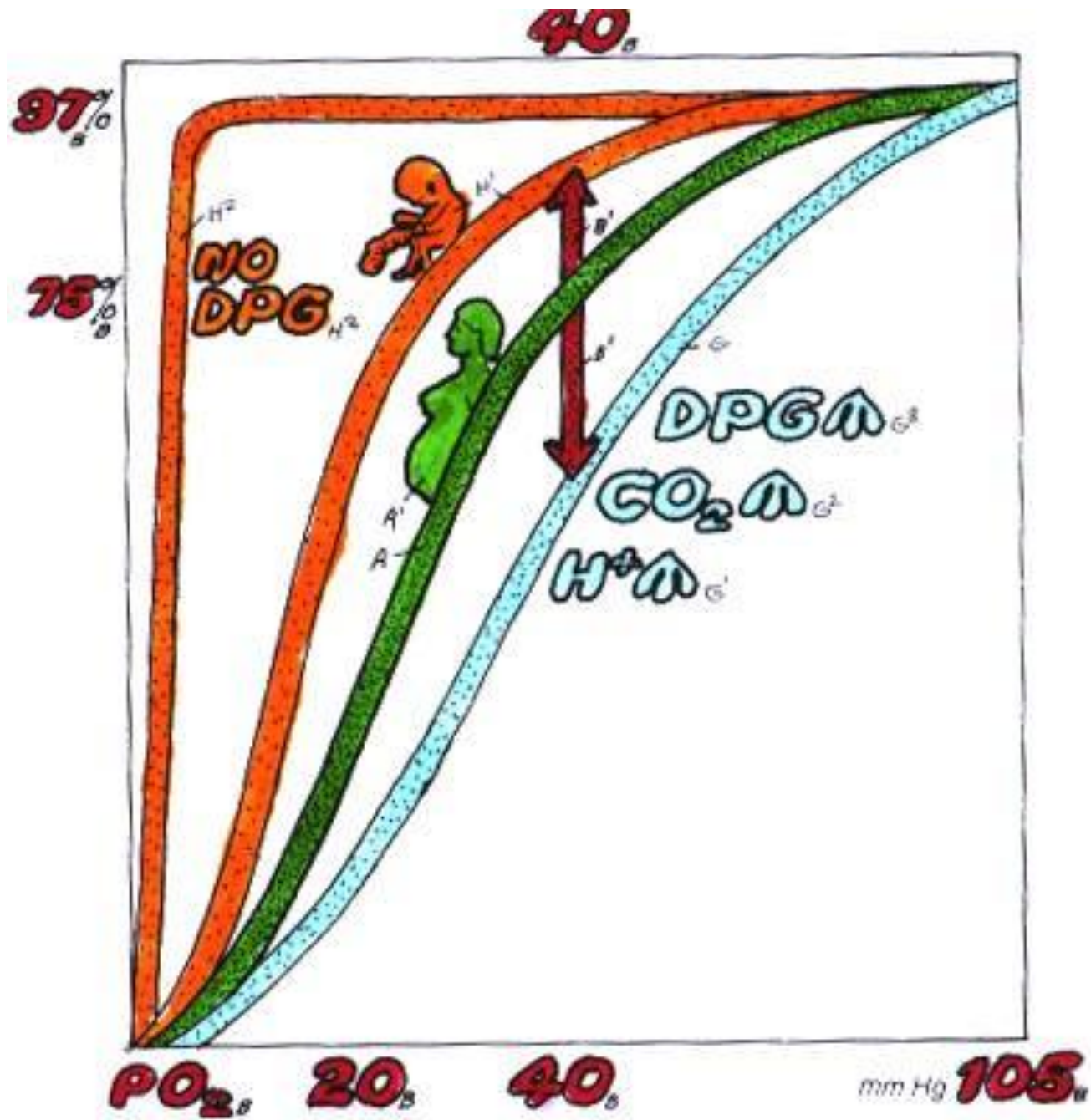
Продолжение

- 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 O₂ очень высока

Сдвиг кривой
диссоциации
вправо



Диффузия происходит по ΔP O_2 и CO_2

- По O_2 Δ высокие: 159 – 100 – 40 мм рт. ст.
- По CO_2 Δ 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!**

