

Физиология дыхания



- **Мотивация:** Знание материала этой темы необходимо для формирования клинического мышления при исследовании дисфункций органов дыхания, понимания функционирования системы внешней вентиляции.
- **План:**
 - Значение дыхания для организма.
 - Метаболические и неметаболические функции легких.
 - Основные этапы внешнего дыхания. Типы дыхания.
 - Дыхательная мускулатура. Механизм вдоха и выдоха.
 - Легочные объемы и емкости.
 - Давление в плевральной полости, его происхождение, величина, значение для дыхания и кровообращения.
 - Пневмоторакс, его виды.
 - Состав вдыхаемого, выдыхаемого, альвеолярного воздуха.
 - Анатомическое и физиологическое «мертвое» пространство.
 - Газообмен в легких и факторы его определяющие.
 - Транспорт кислорода кровью. Кривая диссоциации оксигемоглобина. Кислородная емкость крови.
 - Формы транспорта углекислого газа. Роль карбоангидразы.
 - Типы вентиляции легких.



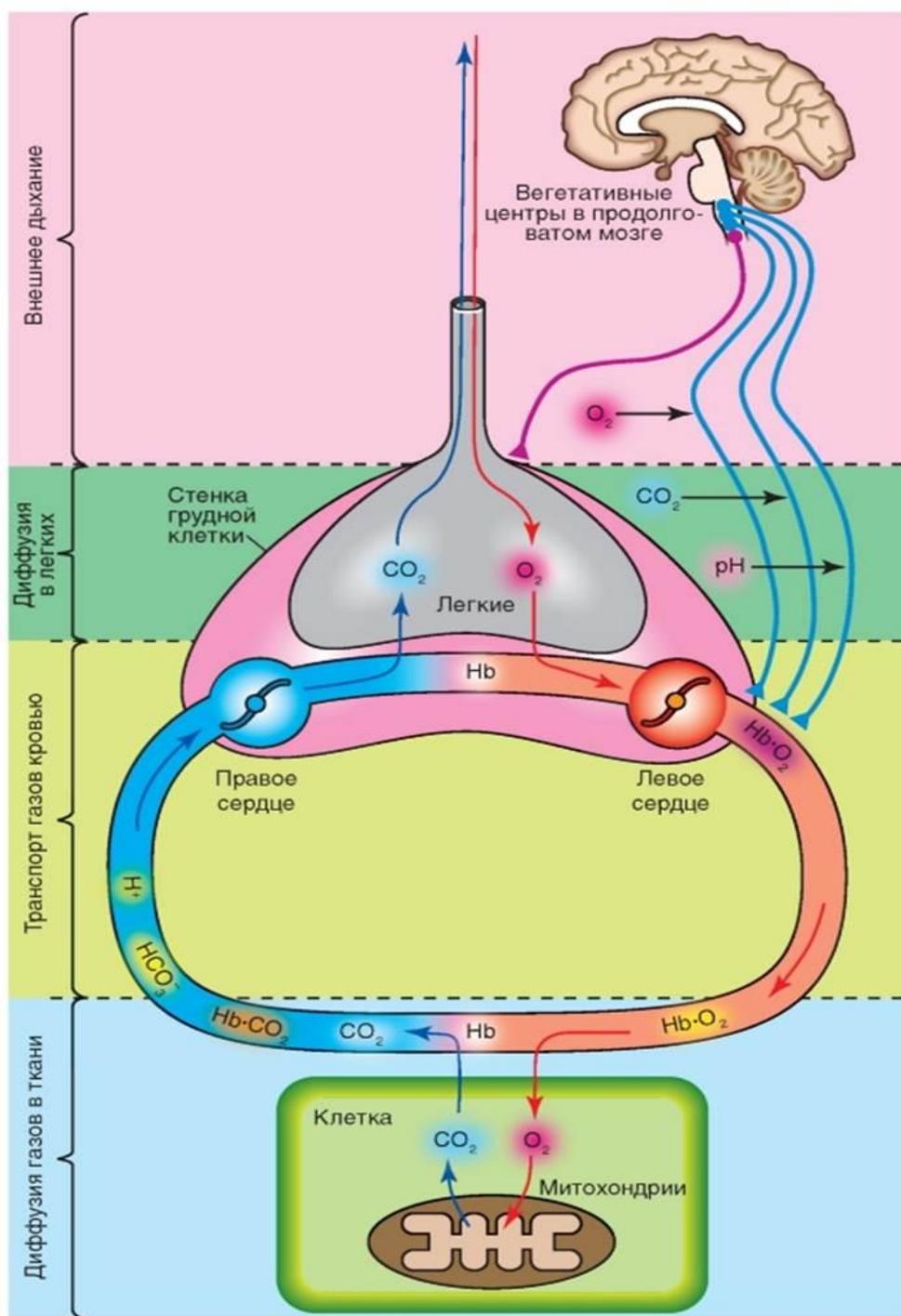
- **Дыхание - совокупность процессов, обеспечивающих поступление во внутреннюю среду организма кислорода, использование его для окислительных процессов, и удаление из организма углекислого газа**

- Строение системы дыхания. А также ритм и глубина дыхания, обеспечивают минимальные колебания газового состава альвеол, при смене акта вдоха на выдох.
- Это позволяет организму поддерживать **дыхательный гомеостаз** — состояние, характеризующееся оптимальным для жизнедеятельности относительным постоянством газового состава крови и тканей.

Этапы дыхания:

- 1 — обмен газами между окружающей средой и альвеолами легких (внешнее дыхание),**
- 2 — обмен газами между альвеолярным воздухом и кровью,**
- 3 — транспорт газов кровью,**
- 4 — обмен газами между кровью и тканями,**
- 5 — клеточное, или тканевое дыхание, (потребление кислорода клетками и выделение углекислоты).**

Каскад кислорода



Функции легких:

- 1. Метаболические (дыхательные)
- 2. Неметаболические (недыхательные)

Метаболические функции легких:

- 1. Обмен газов**
- 2. Регуляция рН крови**

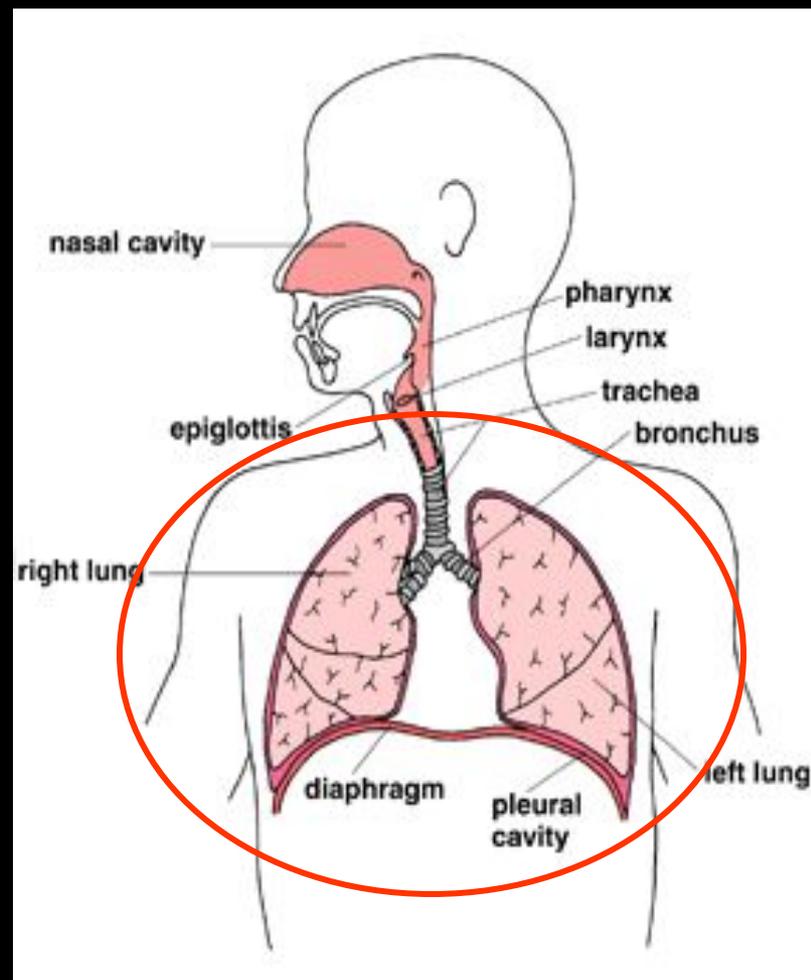
Неметаболические функции легких:

- **1. Защитные функции:**
 - **-механическая очистка воздуха и путей;**
 - **- неспецифические гуморальные и клеточные факторы иммунитета.**
- **2. Метаболизм БАВ:**
 - **- разрушение и деградация кининов, простагландинов, биогенных аминов и т.п.;**
 - **- выработка или активация БАВ - тромбопластина, гепарина, ангиотензина II и др.**

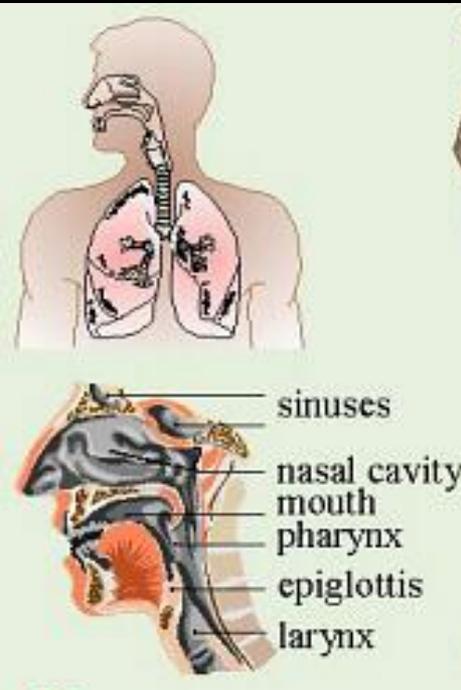
- **3. Терморегуляция**
- **4. Регуляция водного баланса (500 мл./сут.)**
- **5. Депо крови (500 мл.)**
- **6. Экскреторная (вода, алкоголь, эфир, ацетон и др. летучие вещества)**
- **7. Всасывательная (эфир, хлороформ и т. д.)**
- **8. Звукообразование и речь**

Система органов дыхания

- Система органов дыхания состоит из двух частей: верхние и нижние дыхательные пути;
- Границей между двумя отделами служит нижний край перстневидного хряща.
- Верхние дыхательные пути включают придаточные пазухи носа, полость носа, глотки, Евстахиеву трубу и другие части;
- Нижние дыхательные пути включают трахею, бронхи, бронхиальные и альвеолярные капилляры.



Анатомическая характеристика Верхние дыхательные пути

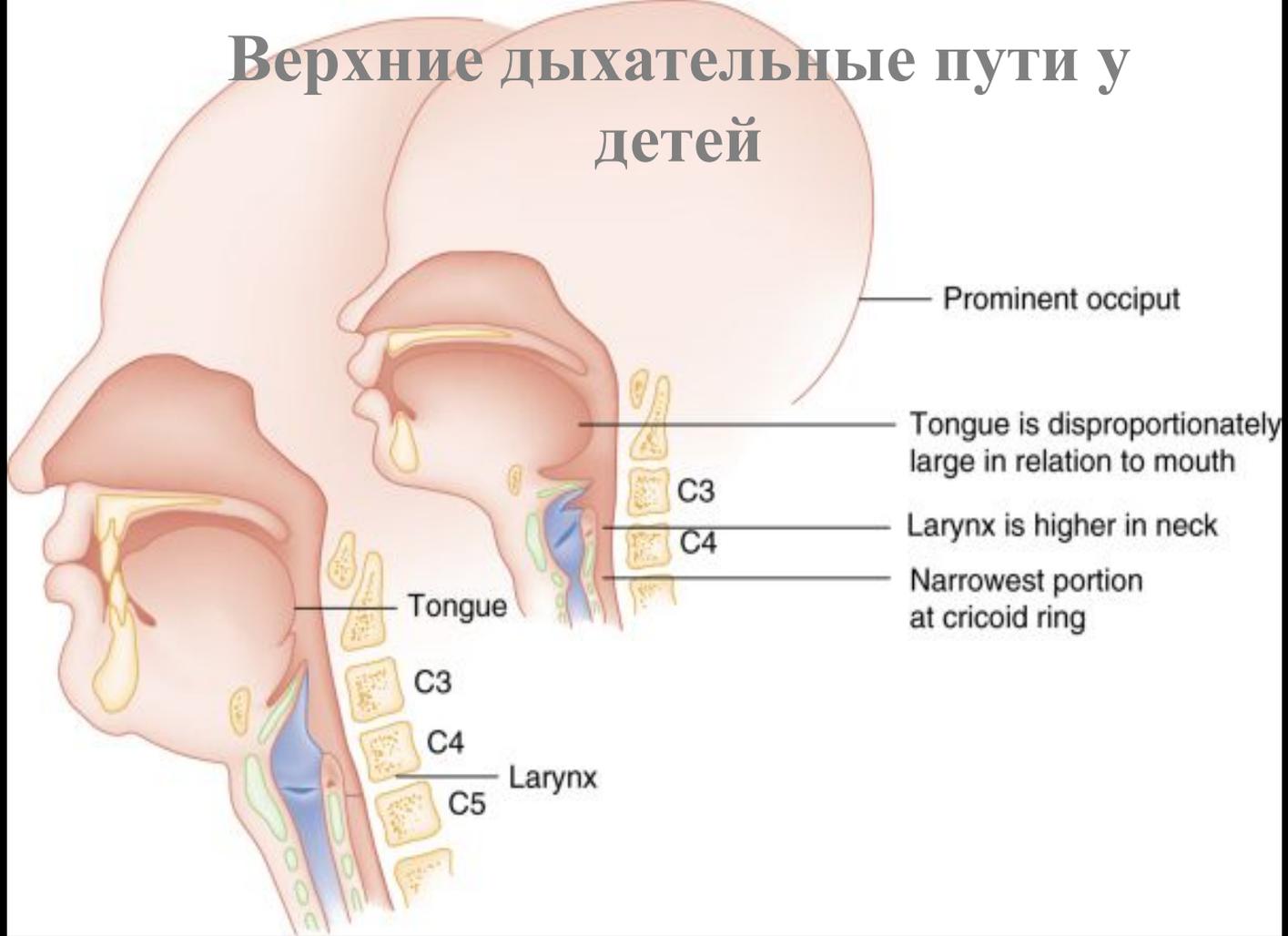


- Нос, носовые ходы (дыхательные пути), придаточные пазухи носа у младенцев сравнительно узкие + Слизистая оболочка богата сосудистой тканью } → что делает ребенка уязвимым к инфекциям и отеку;

- Инфекция, отек полости носа и заложенность носа способствует сужению или заложенности носовых дыхательных путей, что вызывает трудности при дыхании и сосании.

- Носослезный канал короткий, открытый клапан, гипоплазия клапана может быть причиной конъюнктивита с инфекцией верхних дыхательных путей .
- Развитие пазух детей продолжается и после 2-х лет, заканчивается в 12 лет; верхнечелюстные пазухи обычно присутствует при рождении; лобные пазухи начинают развиваться в раннем детстве Дети могут страдать от синуситов; решетчатая, верхнечелюстная пазухи являются наиболее уязвимыми к инфекциям.

Верхние дыхательные пути у детей



- Гортань расположена на уровне 3-4-го шейного позвонка;
- Голосовые и слизистые оболочки богаты кровеносными сосудами и лимфатической тканью, склонны к воспалениям, припухлости, из-за этого дети страдают от ларингита (вирусный круп), обструкции дыхательных путей, инспираторной одышки;

Анатомическая характеристика

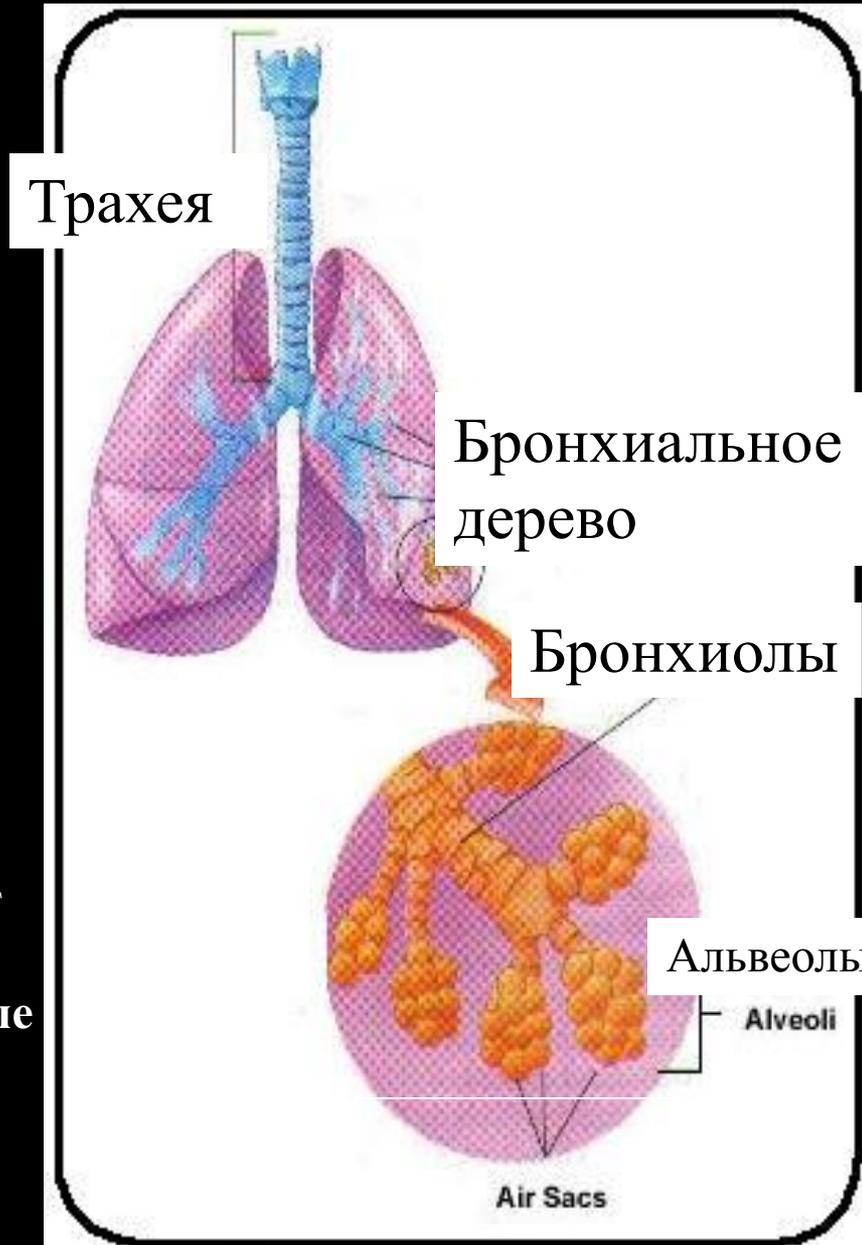
Нижние дыхательные пути

- Короткая трахея;
- Трахея и бронхиальные ходы у детей является относительно небольшим, хрящи мягкие, отсутствие эластичной ткани

Правый бронх более прямой, как прямое продолжение трахеи (причинена ателектаза правого легкого или эмфиземы);

Левый бронх отделен от трахеи;

Бронх делится на долевые бронхи, сегментарные бронхи, бронхиолы.



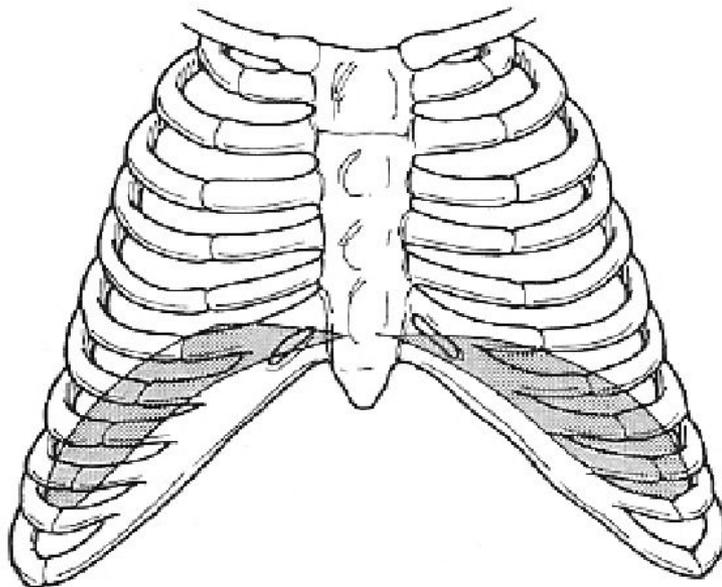
Нижние дыхательные пути уязвимы, склонны к сужению и обструкции

Бронхиолы - без хрящей, слабое развитие гладких мышц, слизистая оболочка богата кровеносными сосудами, гипоплазия слизистых желез,

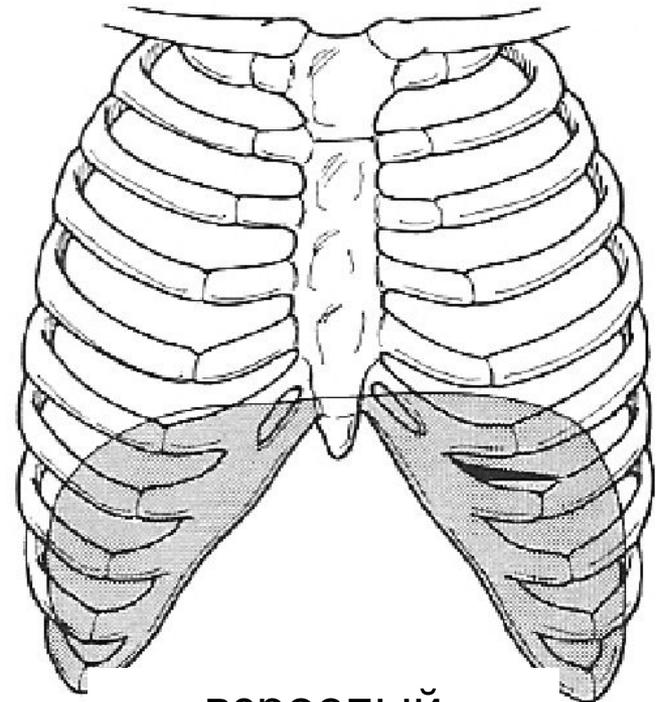
отсутствие секреции слизи, слабый мукоцилиарный транспорт ;

Анатомия и физиология

- Ребра хрящевые и расположены перпендикулярно по отношению к позвоночнику (горизонтальное положение), уменьшение движения грудной клетки.
- У младенцев стенка грудной клетки очень податливая, что уменьшается с возрастом.



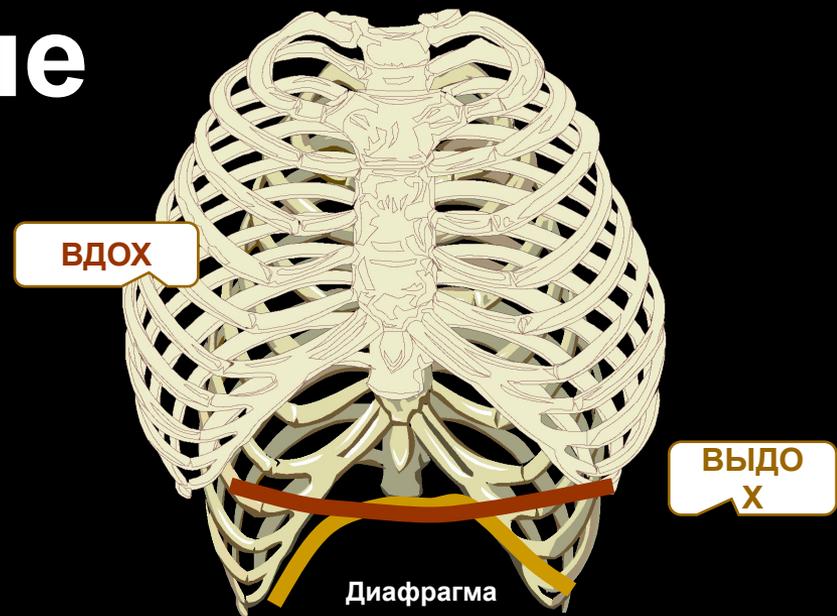
новорожденный



взрослый

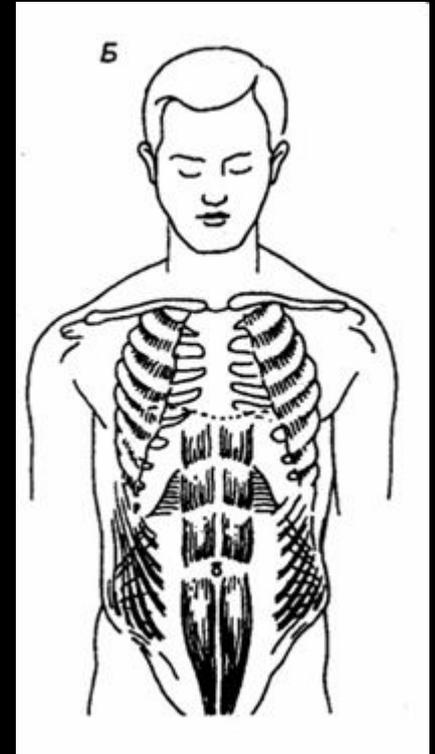
Инспираторные мышцы

1. Основной инспираторной мышцей служит **диафрагма**. (имея моносинаптическую связь с дыхательным центром, диафрагма как дыхательная мышца отличается автономностью и не участвует в других функциях)
2. Наружные межреберные мышцы.
3. К вспомогательным инспираторным мышцам относят ряд мышц шеи, груди и спины, сокращение которых вызывает перемещение ребер, облегчая действие инспираторов.

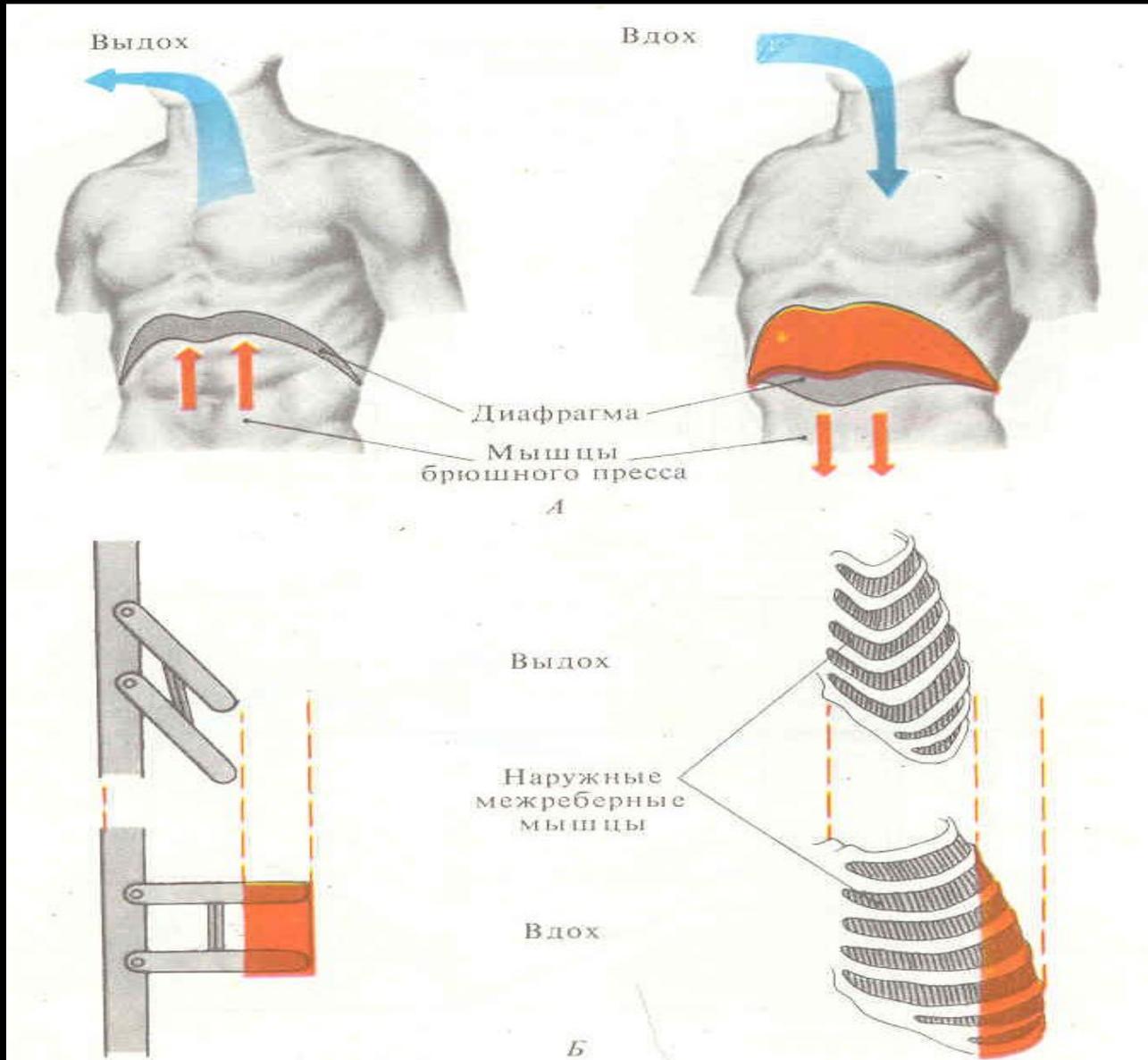


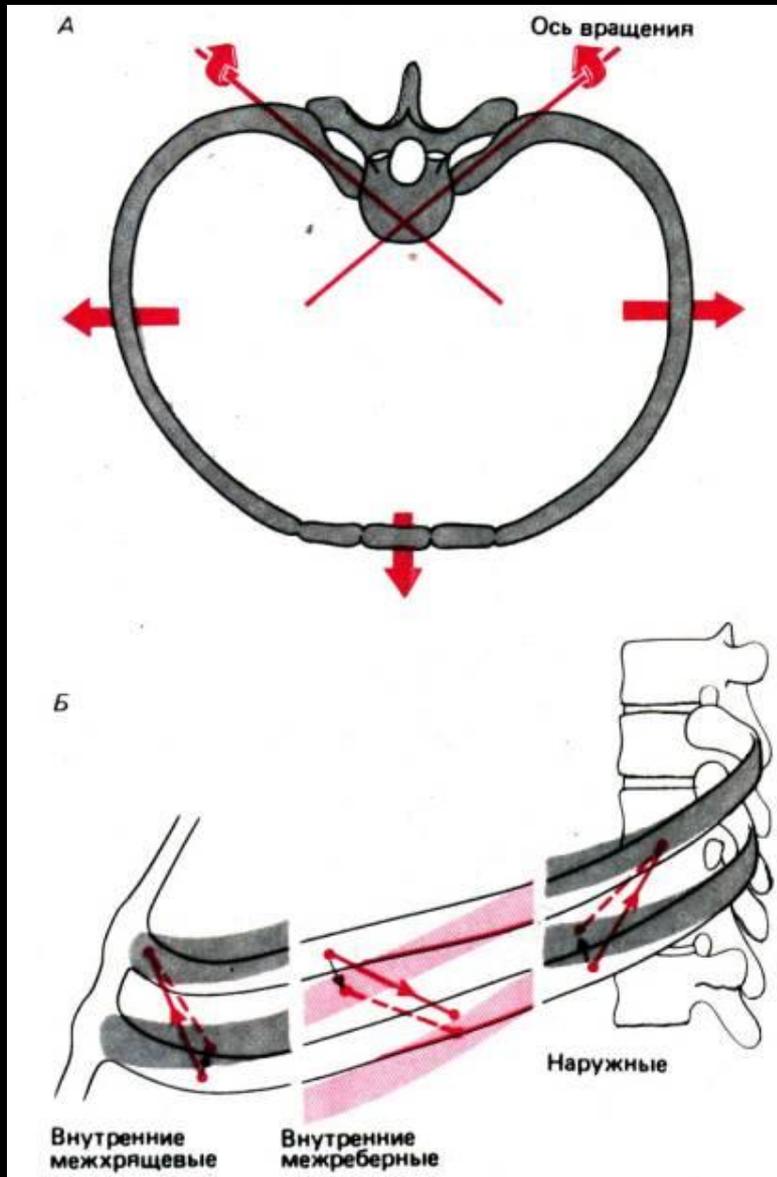
Экспираторные мышцы

1. задние (межкостные) участки внутренних межреберных мышц
2. мышцы брюшной стенки (их функция состоит в повышении внутрибрюшного давления, благодаря чему купол диафрагмы втягивается в грудную полость и уменьшает ее объем).
3. сгибатели спины.



Механизм дыхательных движений





А. Расширение грудной клетки в поперечнике (в направлении красных стрелок) при вдохе.

Б. Схема расположения волокон межреберных мышц (показаны красным) и направлений их растяжения при вдохе и выдохе.

Дыхательный цикл

Включает три фазы: вдох (инспирацию), постинспирацию и выдох (экспирацию).

Обычно вдох несколько короче выдоха:

у человека их соотношение равно в среднем 1 : 1,3.

Соотношение компонентов дыхательного цикла (длительность фаз, глубина дыхания, динамика давления и потоков в воздухоносных путях) характеризует так называемый паттерн дыхания

ТИПЫ ДЫХАНИЯ

- **Грудной тип** – дыхание обеспечивается преимущественно за счет работы межреберных мышц.
- **Брюшной тип** – дыхание обеспечивается в результате сокращения диафрагмы.
- **Смешанный тип**

Типы вентиляции легких

1. *Нормовентиляция*
2. *Гипервентиляция*
3. *Гиповентиляция*
4. *Повышенная вентиляция*
5. *Эупное*
6. *Гиперпное*
7. *Тахипное*
8. *Брадипное*
9. *Апное*
10. *Диспное*
11. *Ортопное*
12. *Асфиксия*

В процессе своей работы дыхательные мышцы преодолевают сопротивление

1. Примерно $2/3$ его приходится на эластическое сопротивление тканей легких и грудной стенки.

В свою очередь, около $1/3$ эластического сопротивления легких, создается стромой лёгких. А др. $2/3$ – за счет поверхностного натяжения водной плёнки, покрывающей альвеолы.

Однако, благодаря сурфактанту, затраты на преодоление поверхностного натяжения – снижаются в 8-10 раз.

2. Остальная часть усилий тратится на преодоление неэластического сопротивления воздушному потоку в воздухоносных путях - особенно голосовой щели, бронхов.

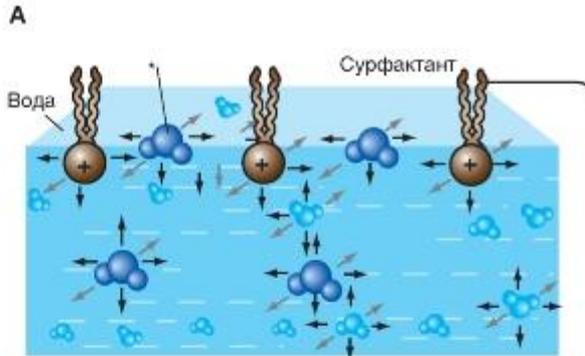
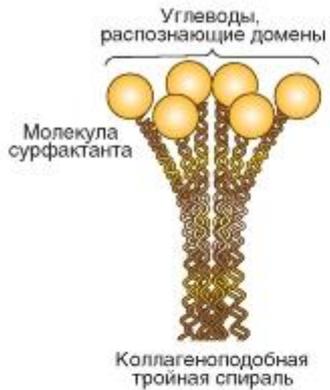
Во время вдоха голосовая щель несколько расширяется, на выдохе — сужается, увеличивая сопротивление потоку воздуха, что служит одной из причин большей длительности экспираторной фазы. Подобным же образом циклически меняются просвет бронхов и их проходимость.

Значение сурфактанта

- Стабилизируют сферическую форму альвеол, препятствуя их перерастяжению на вдохе и спаданию на выдохе.
- Регулирует скорость адсорбции кислорода альвеолами и интенсивность испарения воды с их поверхности.
- Очищает поверхность альвеол от попавших инородных частиц и обладает бактериостатической активностью.
- Создаёт возможность расправления лёгкого при первом вдохе новорождённого.

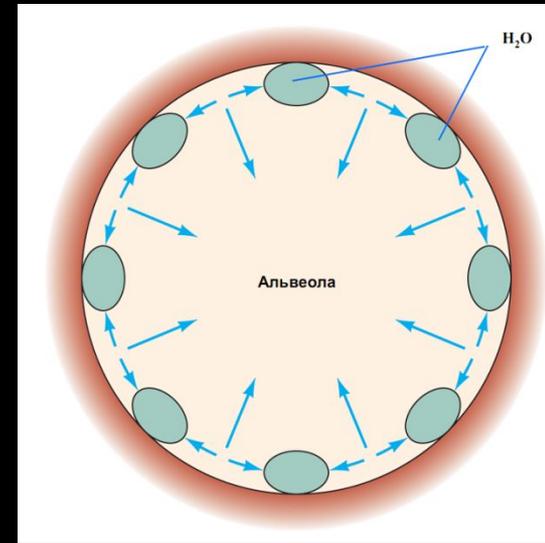
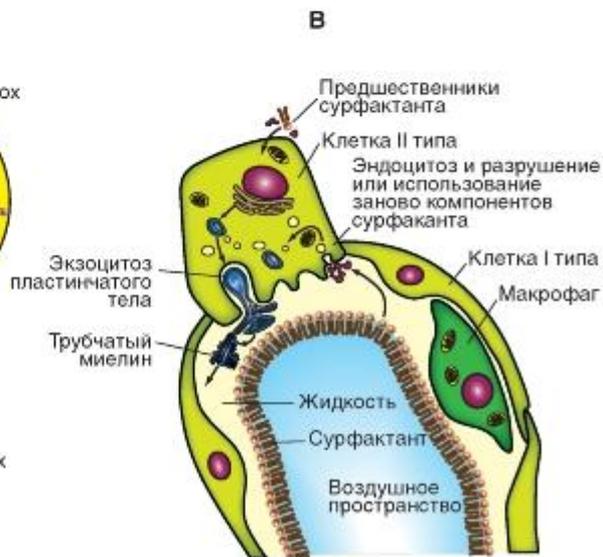
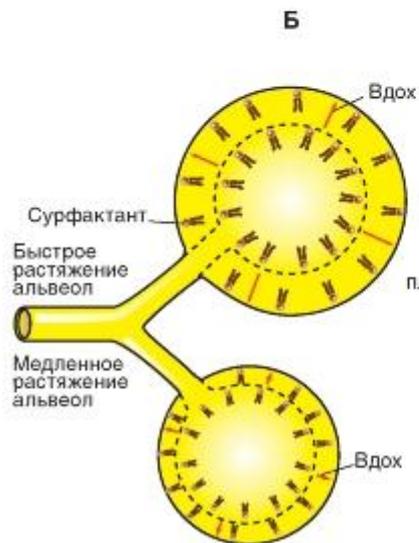
строение сурфактанта

Это комплексное вещество, состоящее из фосфолипидов (жиров) и 4 белков сурфактанта: гидрофильных (притягивающих воду) белков SP-A и SP-D и гидрофобных (отталкивающих воду) белков SP-B и SP-C.



* Сурфактант уменьшает поверхностное натяжение, снижая плотность молекул воды на границе воздух-вода

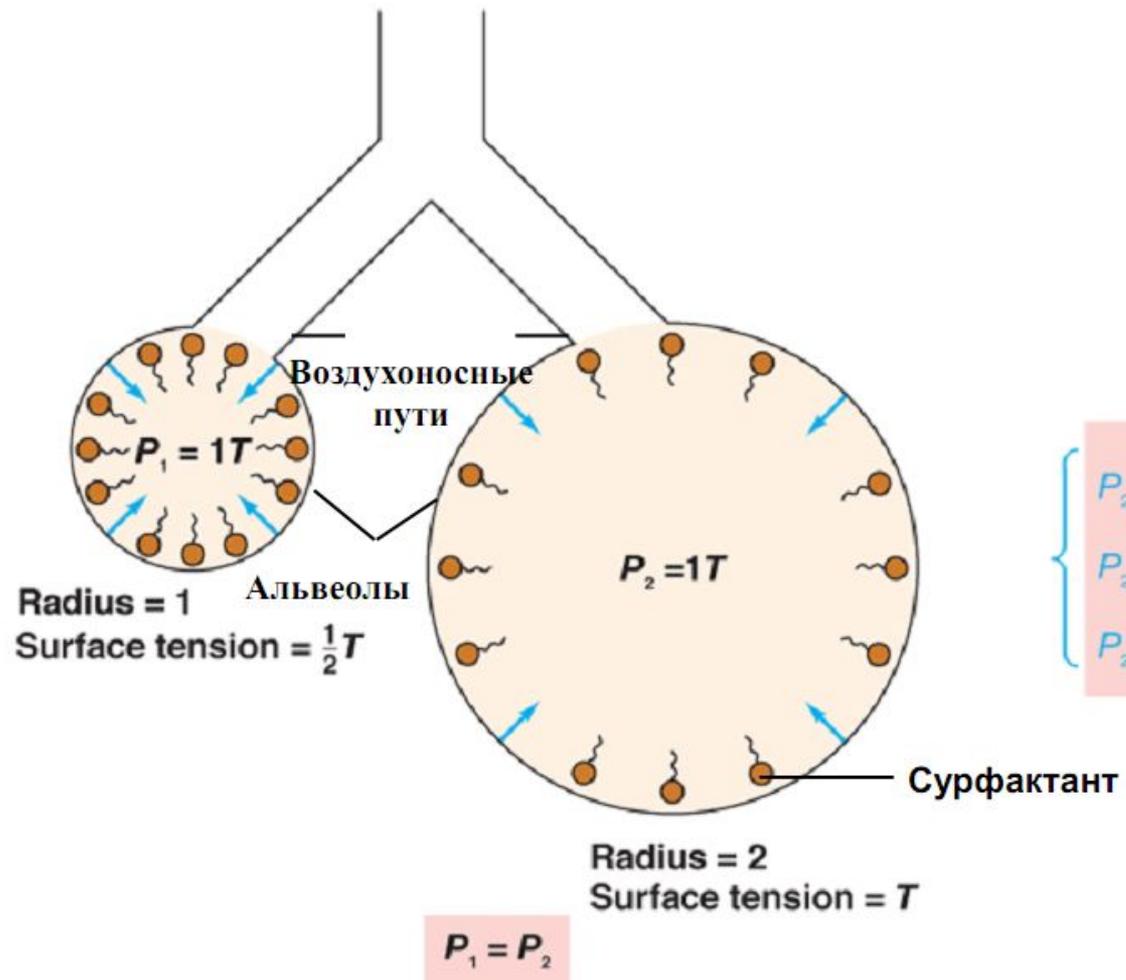
Результирующий вектор минимальный, так как гидрофобные хвосты вытягивают молекулу сурфактанта вверх



$$P_1 = \frac{2 \times T}{r}$$

$$P_1 = \frac{2 \times \frac{1}{2}T}{1}$$

$$P_1 = 1T$$

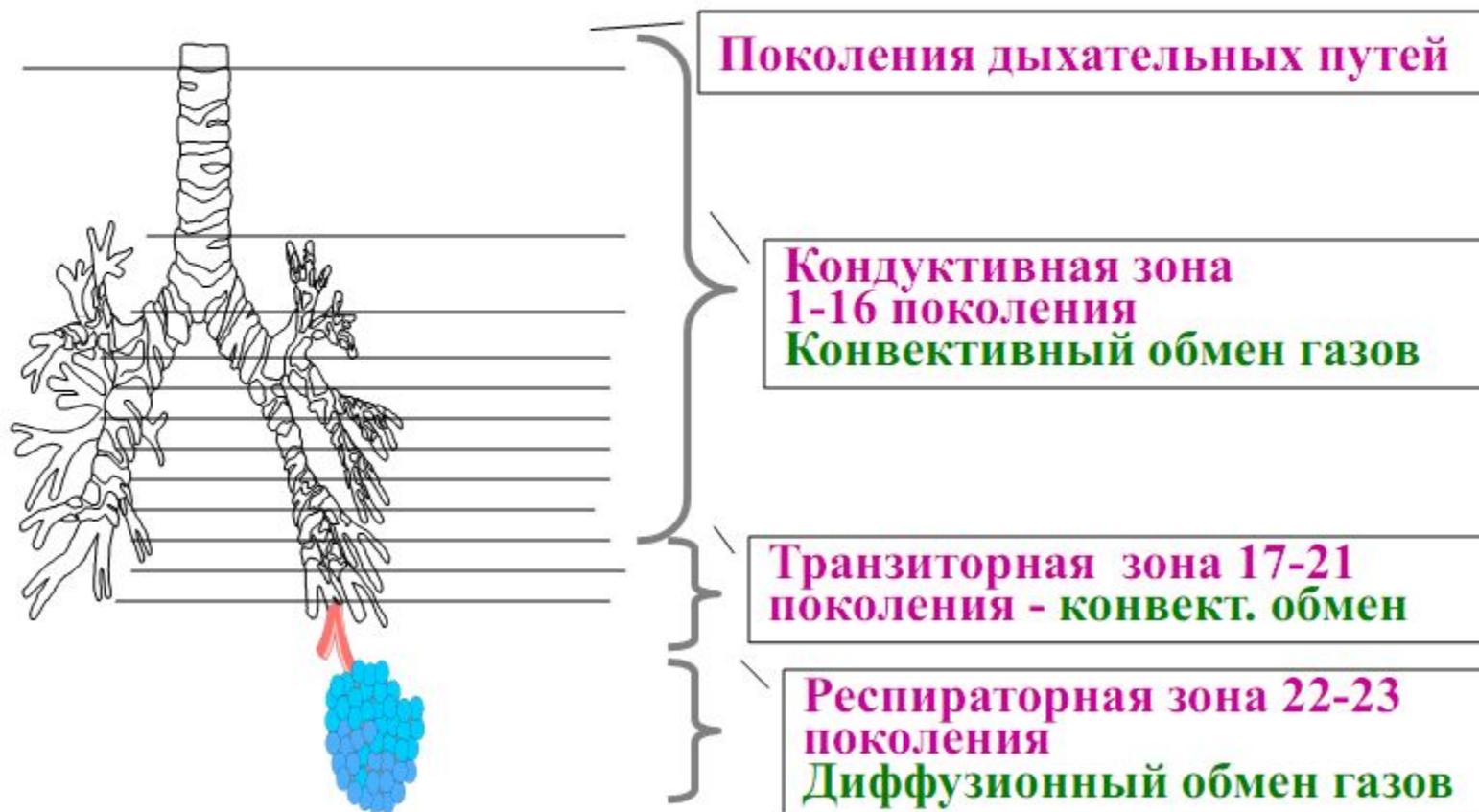


$$P_2 = \frac{2 \times T}{r}$$

$$P_2 = \frac{2 \times T}{2}$$

$$P_2 = 1T$$

Ветвления и зоны трахеобронхиального дерева



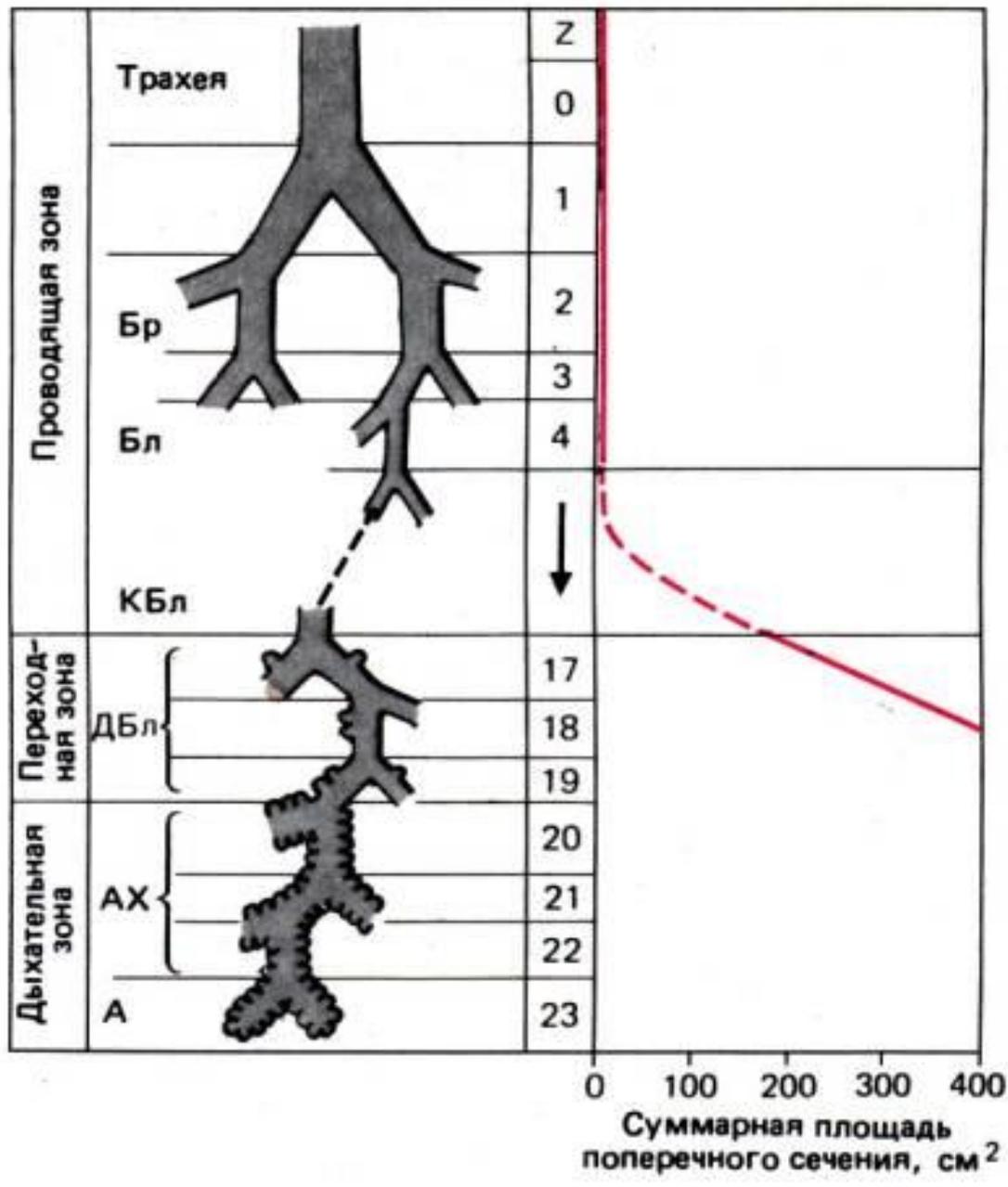


Схема ветвления воздухоносных путей (слева) и кривая суммарной площади поперечного сечения воздухоносных путей на уровне каждого ветвления (справа)

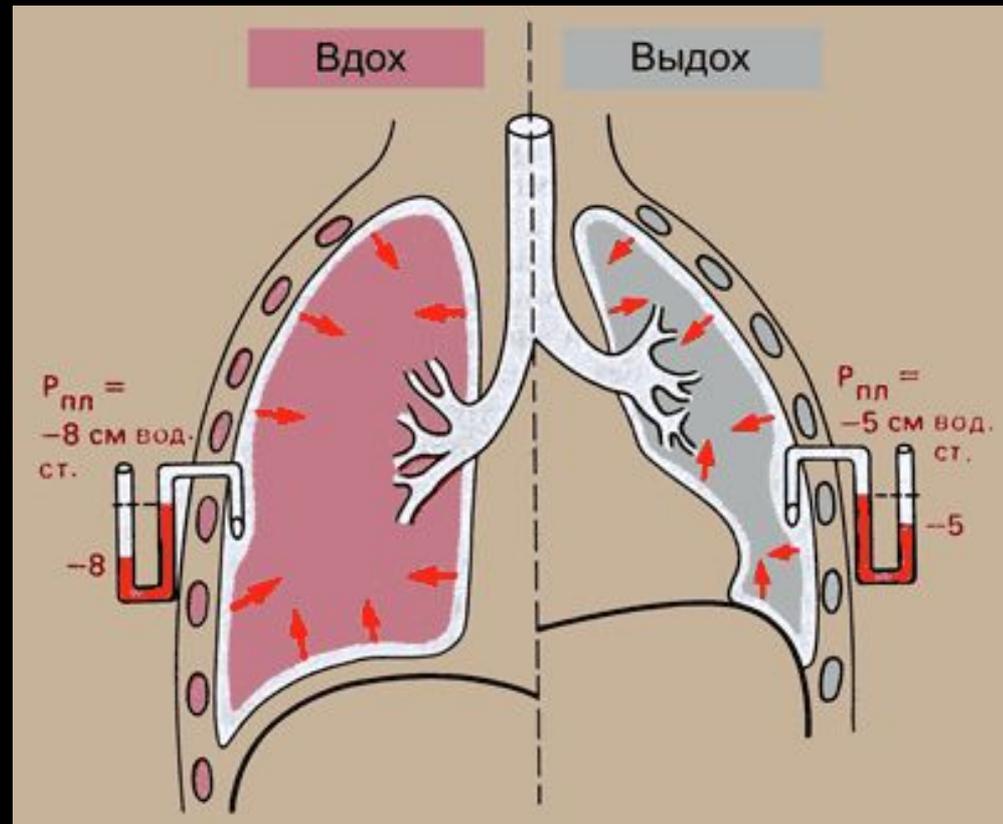
Коллатеральная вентиляция

- До **30-40%** воздуха может поступать в альвеолы за счёт коллатеральной вентиляции:
 1. В альвеолярной стенке имеются поры Кона (d до 10 мкМ).
 2. Между отдельными ацинусам есть сообщения, которые начинаются от альвеолярных ходов одного и заканчиваются в другом альвеолярном мешочке.
 3. Инспираторные бронхиолы одного сегмента, могут соединяться с терминальными бронхиолами соседнего сегмента (бронхиолы Мартина).

Газовый состав дыхательной среды и крови у человека (средние величины в покое)

Среда	Кислород		Углекислый газ	
	парциальное давление, мм рт. ст.	содержание, об. %	парциальное давление, мм рт. ст.	об. %
Вдыхаемый воздух	159	20,9	0,2	0,03
Выдыхаемый воздух	126	16,6	28	3,7
Альвеолярный воздух	103	14,5	40	55
Артериальная кровь	95	20.	40	50
Венозная кровь (смешанная)	40	15	46	54
Артерио—венозная разница	—55	—5	+6	+4

Внутри- плевральное давление

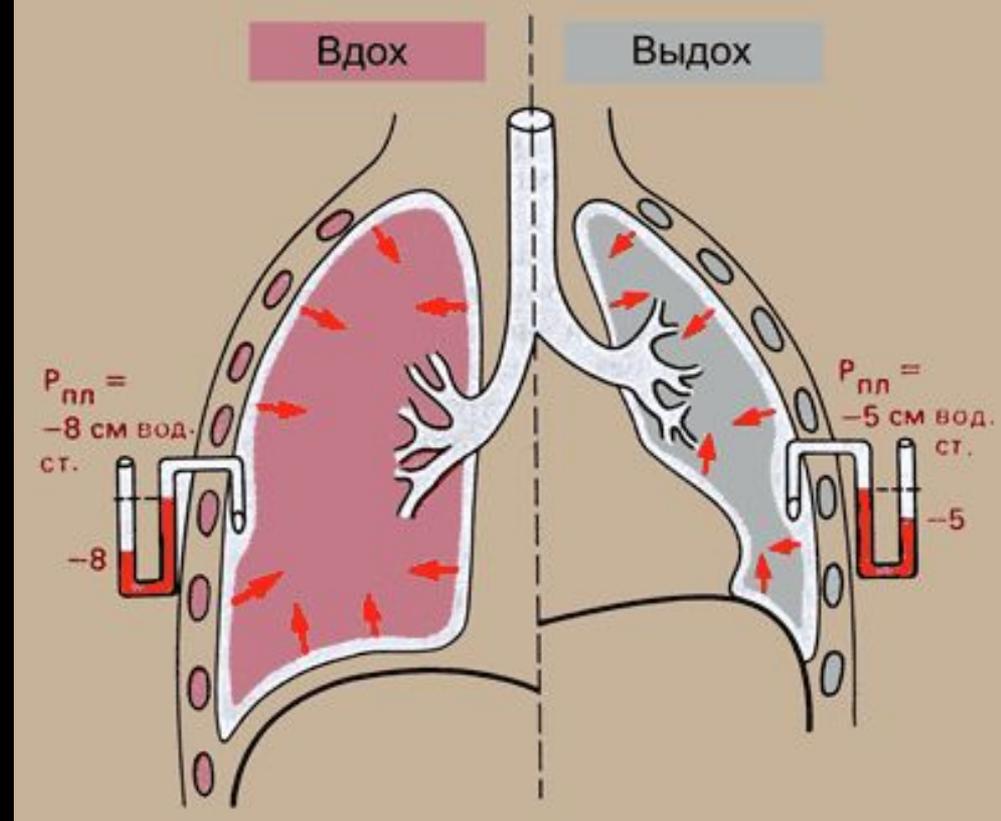


Легкие всегда находятся в растянутом состоянии.

Это объясняется отрицательным давлением в плевральной полости, окружающей легкие.

Оно противостоит эластической тяге легких — упругим силам, которые вызываются эластическими свойствами легочной ткани в сочетании с тонусом бронхиальных мышц и направлены на спадение легкого.

Внутри- плевральное давление



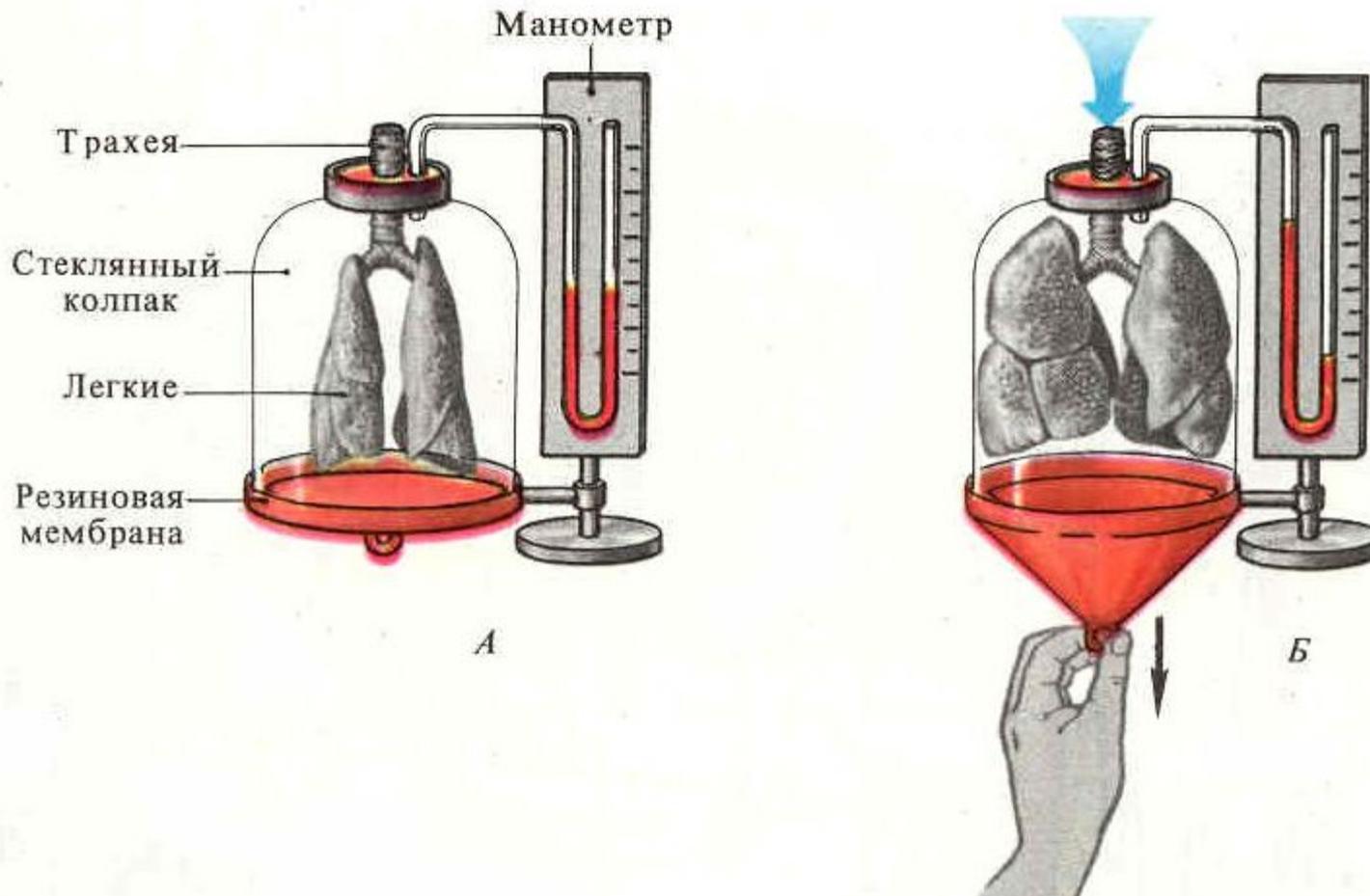
Отрицательное давление в плевральной полости с возрастом увеличивается, в связи с неравномерным ростом висцерального и париетального лепестков плевры (висцеральный растет медленнее).

Величина внутриплеврального давления:

1. на вдохе = - 6-8 мм рт.ст.(может при форсированном вдохе достигать -20 мм рт.ст.)

2. на выдохе = - 3-5 мм рт.ст.(может при форсированном выдохе достигать положительных величин).

Модель Дондерса



Вентиляционно-перфузионное отношение

В отдельных областях легких соотношение между вентиляцией и перфузией (ВПО) может быть неравномерным.

Легкие по величине этого давления делятся на 3 зоны (зоны Веста)

Зона 1. ВПО > 1

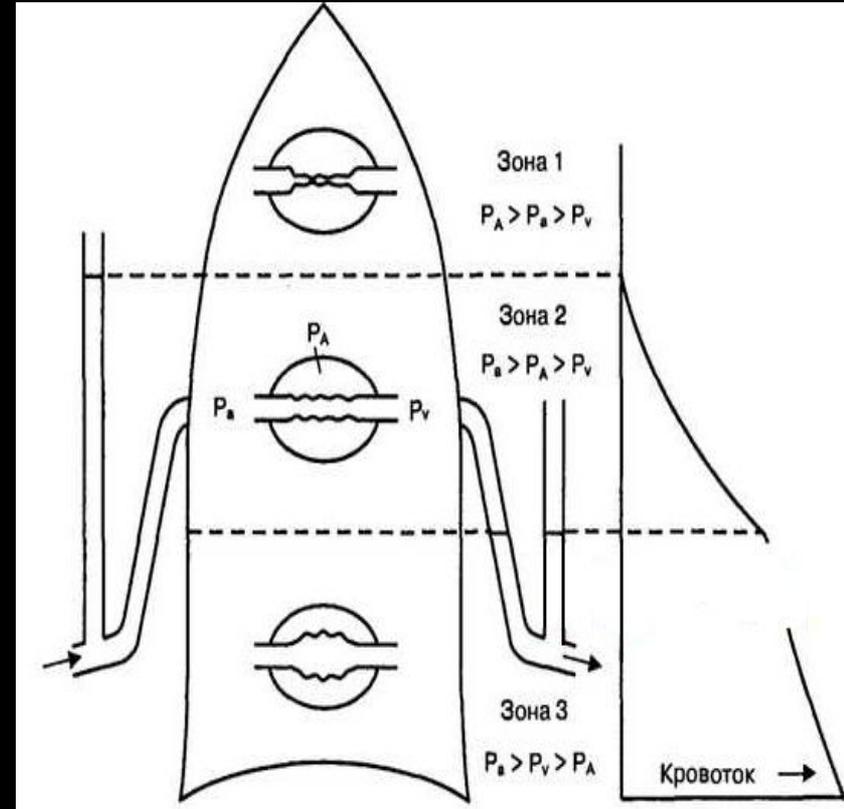
Зона 2. ВПО $= 1$

Зона 3. ВПО < 1

Зона 1. В верхушках легких альвеолярное давление (P_A) превышает давление в артериолах (P_a) и кровоток ограничен.

Зона 2. В средней зоне легких, где $P_a > P_A$, кровоток больше, чем в зоне 1.

Зона 3. В основаниях легких кровоток усилен и определяется разностью давления в артериолах (P_a) и венулах (P_v).



ВЕНТИЛЯЦИОННО-ПЕРФУЗИОННЫЕ ОТНОШЕНИЯ В РАЗНЫХ ЗОНАХ ЛЕГКИХ

ЗОНА Легких	Кровоток на % объема	Вентиляция на % объема	ВПК	P O₂ в крови (мм Hg)
1 Верхушки	0,01	0,03	3,0	120
2 Средняя	0,06	0,05	0,8	98
3 Основания	0,1	0,07	0,7	92

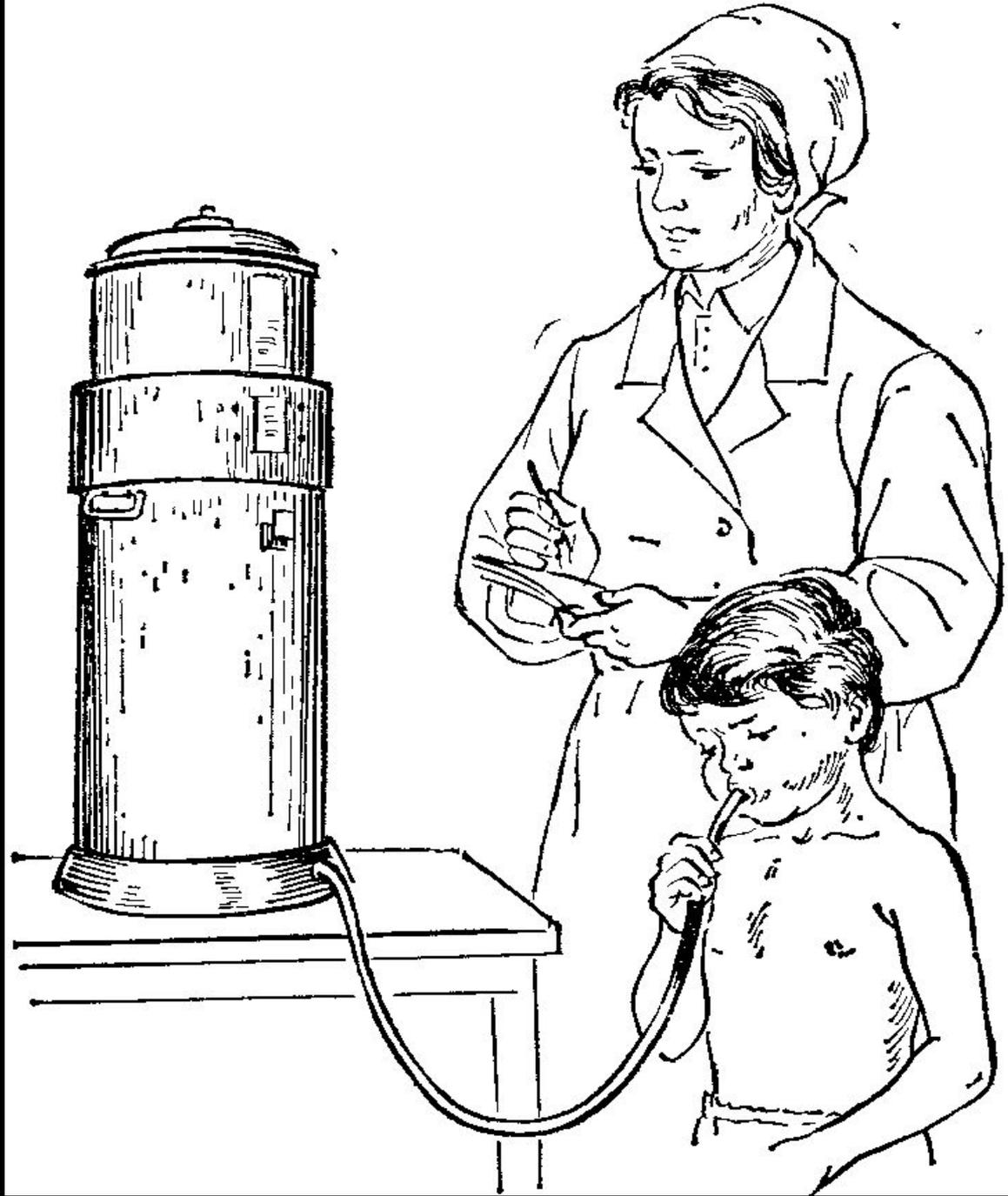
Регуляция лёгочного кровотока

Вазоактивной функцией обладает pO_2 и pCO_2 .

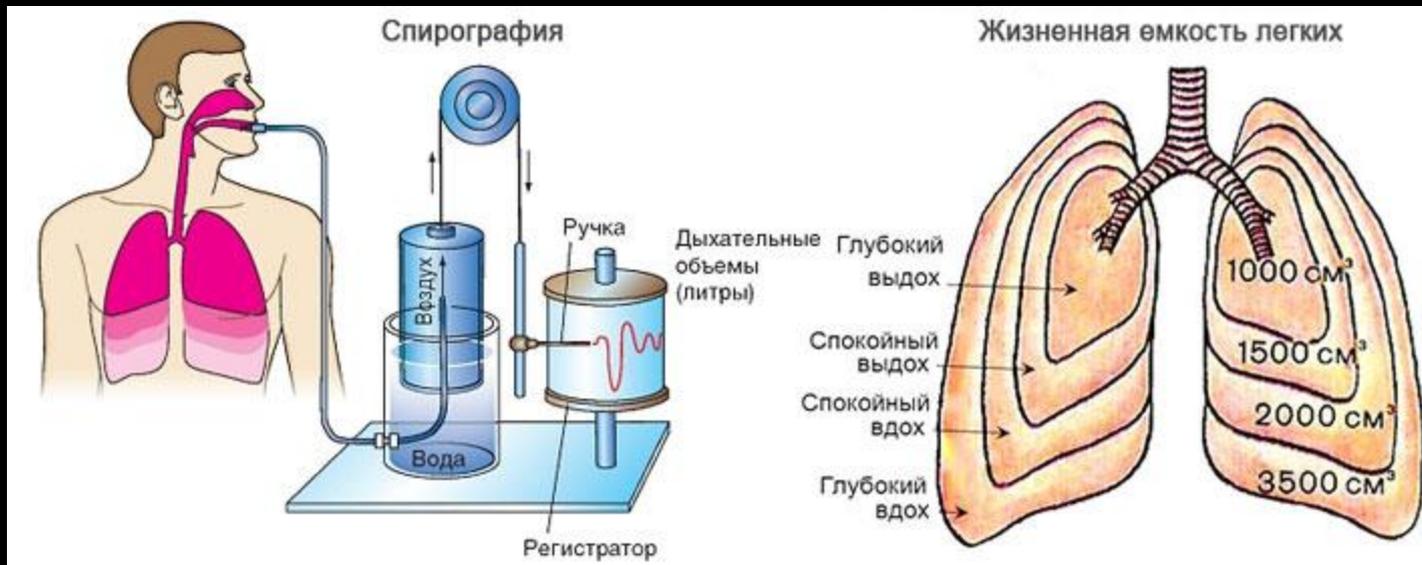
- Повышение pO_2 - лёгочное сосудистое сопротивление уменьшается, а перфузия увеличивается.
- Понижение pO_2 - лёгочное сосудистое сопротивление увеличивается, а перфузия уменьшается.
- Повышение pCO_2 имеет незначительный, преходящий и локальный сосудосуживающий эффект на просвет кровеносных сосудов.

Вазоактивные **БАВ** воздействующие на ГМК кровеносных сосудов легких, многочисленны, но их эффекты локальны и кратковременны:

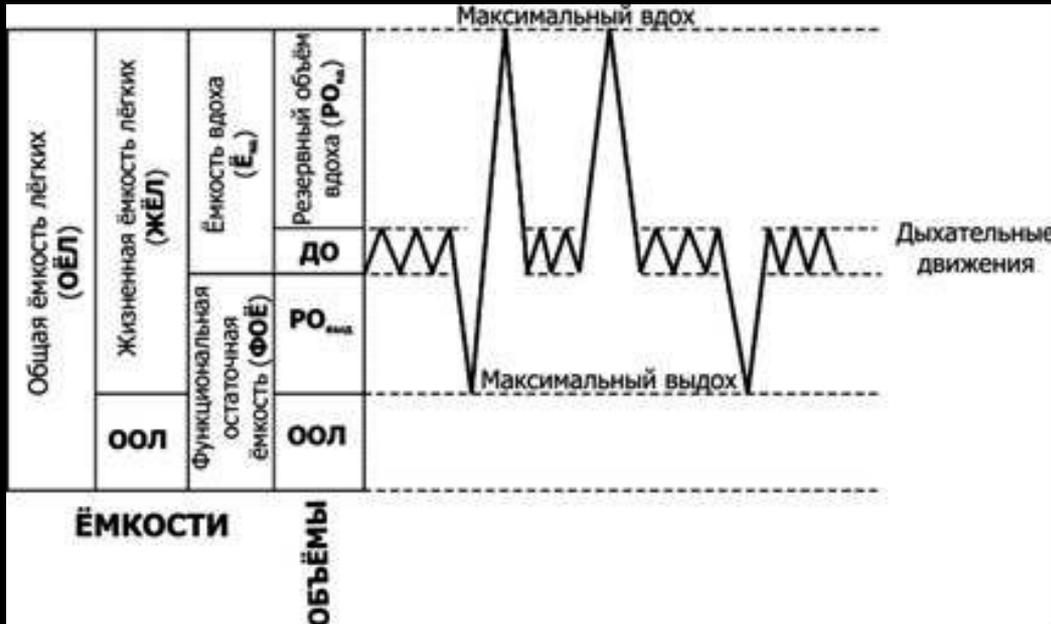
- **вазодилататоры:** простаглицлин, оксид азота, ацетилхолин, брадикинин, дофамин, β -адренергические лиганды.
- **вазоконстрикторы:** тромбоксан A_2 , α -адренергические лиганды, ангиотензины, лейкотриены, нейропептиды, серотонин, эндотелин, гистамин, Пг.



Спирометрия



Легочные объемы и емкости



Легочные объемы:

1. ДО = 500 мл
2. РО_{вдоха} = 1500-2500 мл
3. РО_{выдоха} = 1500 мл
4. ОО = 1000 -1500 мл

Легочные емкости складываются из легочных объемов:

1. ОЕЛ = (1+2+3+4) = 4-6 литров
2. ЖЕЛ = (1+2+3) = 3,5-5 литров
3. ФОЕ = (3+4) = 2-3 литра
4. ЕВ = (1+2) = 2-3 литра

спирография



Пневмотахометрия



2 типа нарушений вентиляции: Рестриктивный и обструктивный.

- **К рестриктивному** типу относятся все патологические состояния, при которых снижаются дыхательные экскурсии легких (т.е. способность легких расправляться). Наблюдается при поражении легочной паренхимы (фиброз легких) или при плевральных спайках.
- **Обструктивный** тип обусловлен сужением воздухоносных путей, то есть повышением их аэродинамического сопротивления (может быть при накоплении в дыхательных путях слизи, набухании слизистой оболочки, при спазме бронхиальных мышц – бронхиальная астма, астмоидный бронхит).
- У таких больных сопротивление выдоху повышается и, следовательно, со временем воздушность легких и функциональная остаточная емкость у них увеличивается. Патологическое состояние, характеризующееся как чрезмерным растяжением легких, так и их структурными изменениями (снижение числа эластических волокон, исчезновение альвеолярных перегородок, объединение капиллярной сети) называется эмфиземой легких.
- **При рестриктивном и обструктивном типе нарушений вентиляции выявляется нарушение максимальной вентиляции легких МВЛ). В норме = 120-170 л/мин.**
- **МВЛ** - объем воздуха, проходящий через легкие за определенный промежуток времени при дыхании с максимально возможной частотой и глубиной. Отражает резервы дыхательной функции, снижение их служит признаком патологического состояния.

Мертвое пространство

Это пространство в дыхательной системе не участвующее в газообмене.

Выделяют анатомическое и функциональное мертвое пространство.

Анатомическое мертвое пространство

Включает объем воздуха, находящийся в воздухоносных путях, потому что в них не происходит газообмена.

Объем мертвого пространства зависит от роста и положения тела.

Приблизительно можно считать, что у сидящего человека *объем мертвого пространства* (в миллилитрах) равен *удвоенной массе тела* (в килограммах). Таким образом, у взрослых он равен около 150 мл.

При глубоком дыхании он возрастает, так как при расправлении грудной клетки расширяются и бронхи с бронхиолами.

Функциональное мертвое пространство

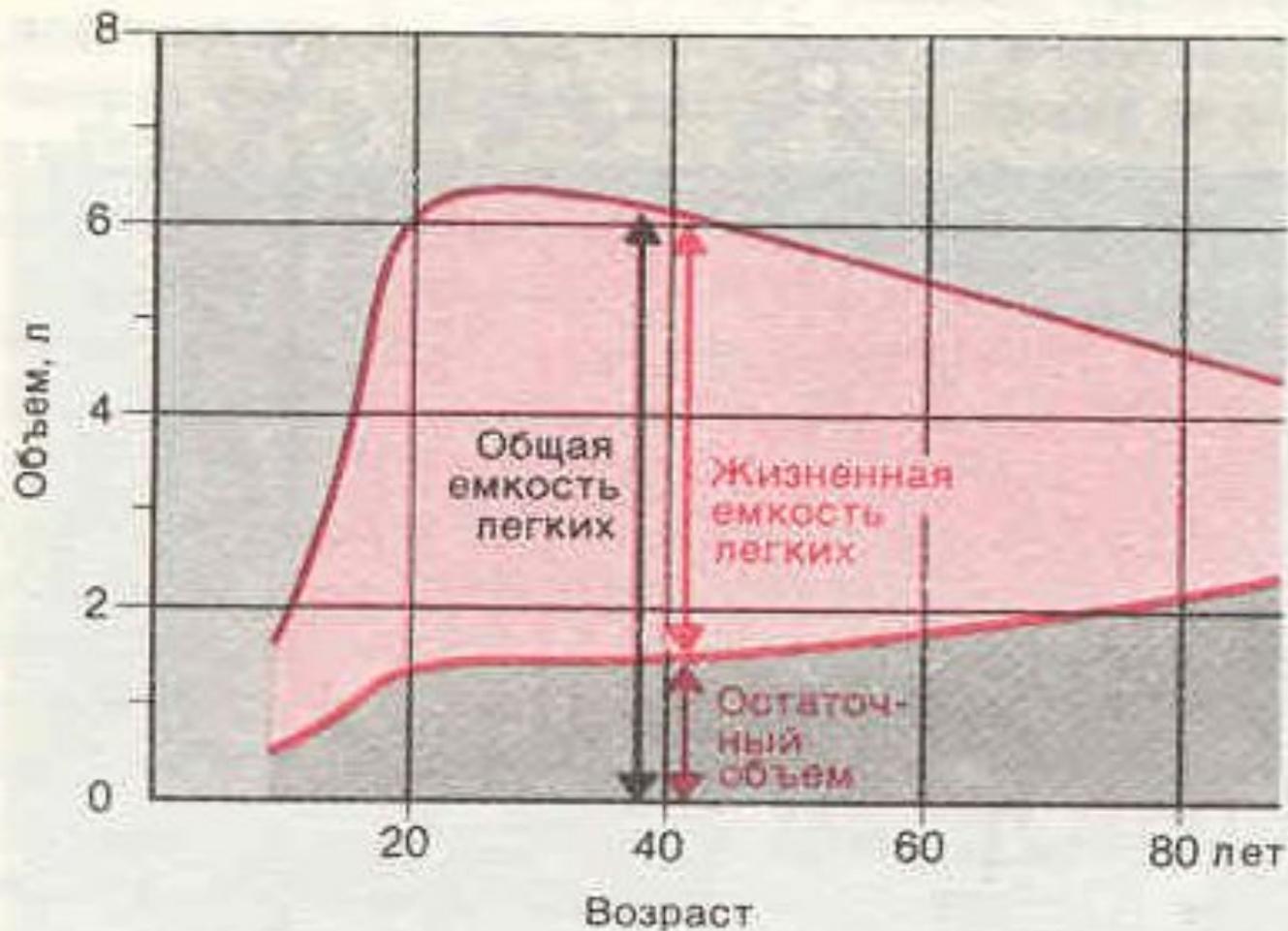
Все те участки дыхательной системы, в которых не происходит газообмена - не только воздухоносные пути, но также и те альвеолы, не участвующие в газообмене:

1. альвеолы, которые вентилируются, но не перфузируются кровью. В таких альвеолах газообмен невозможен, хотя их вентиляция и происходит.
2. альвеолы, забитые смолами, цементными и асбестовыми отложениями, угольной пылью и т.п.

Функции мертвого пространства:

1. Воздух, заполняющий мертвое пространство, играет роль буфера, который сглаживает колебания состава альвеолярного газа в ходе дыхательного цикла.
2. Кондиционирование вдыхаемого воздуха за счет интенсивного кровоснабжения и секреции слизистой оболочки носовых ходов, носоглотки, гортани, трахеи и бронхов.

Зависимость легочных объемов от возраста



Основные показатели вентиляции

1. Частота дыхания

$$\text{ЧД} = 12-16/\text{мин}$$

2. Минутный объем дыхания

$$\text{МОД} = \text{ДО} \times \text{ЧД} = 6 - 9 \text{ литров}$$

3. Объем анатомического мертвого пространства

$$\text{ОМП} = 140 \text{ мл}$$

4. Дыхательный альвеолярный объем

$$\text{ДАО} = \text{ДО} - \text{ОМП} = 500 - 140 = 360 \text{ мл}$$

5. Коэффициент вентиляции альвеол

$$\text{КВА} = \text{ДАО} / \text{ФОЕ} = (\text{ДО} - \text{ОМП}) / (\text{ОО} + \text{Р}_{\text{выд}}) = 360 / 2500 = 1/7$$

6. Минутная альвеолярная вентиляция легких

$$\text{МВЛ} = (\text{ДО} - \text{ОМП}) \times \text{ЧД} = 3,5 - 4,5 \text{ л}$$

Динамические лёгочные объёмы и ёмкости отражают проходимость дыхательных путей.

Минутный объём дыхания (МОД) — количество воздуха, проходящего через воздухоносные пути каждую минуту (6–8 л/мин).

Максимальная вентиляция лёгких (МВЛ) — максимальное количество воздуха, которое может быть провентилировано через лёгкие за 1 мин — произведение частоты дыхательных движений на ёмкость вдоха (МВЛ у мужчин — 140 л/мин, у женщин — 130 л/мин).

Объём форсированного выдоха за 1 с (ОФВ) — объём воздуха, изгоняемый с максимальным усилием из лёгких в течение первой секунды выдоха после глубокого вдоха. ОФВ отражает состояние крупных дыхательных путей и часто выражается в процентах от жизненной ёмкости лёгких (75% ЖЕЛ).

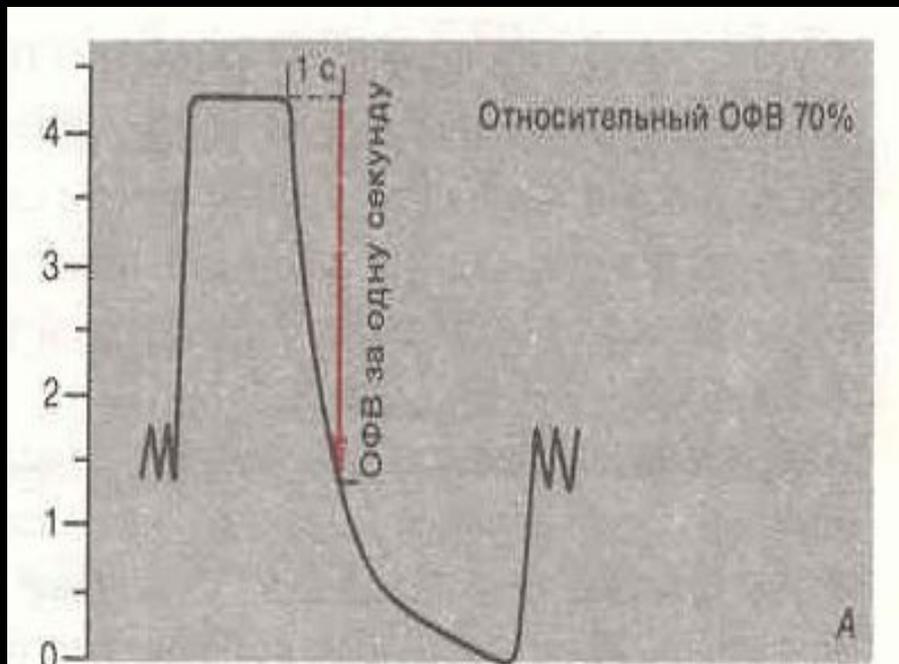
Форсированная жизненная ёмкость лёгких — ФЖЕЛ (4,6 л) — аналогична ЖЕЛ при максимально возможном вдохе и выдохе с максимальной силой и скоростью.

Индекс Тиффно — отношение ОФВ к ЖЕЛ. Значение индекса Тиффно прямо пропорциональное силе выдоха и в норме составляет около 80% ЖЕЛ. Снижение ОФВ без снижения ФЖЕЛ, т.е. $\text{ОФВ/ФЖЕЛ} < 70\%$ свидетельствует об обструкции; снижение обоих показателей (ОФВ и ФЖЕЛ) указывает на рестриктивную патологию.

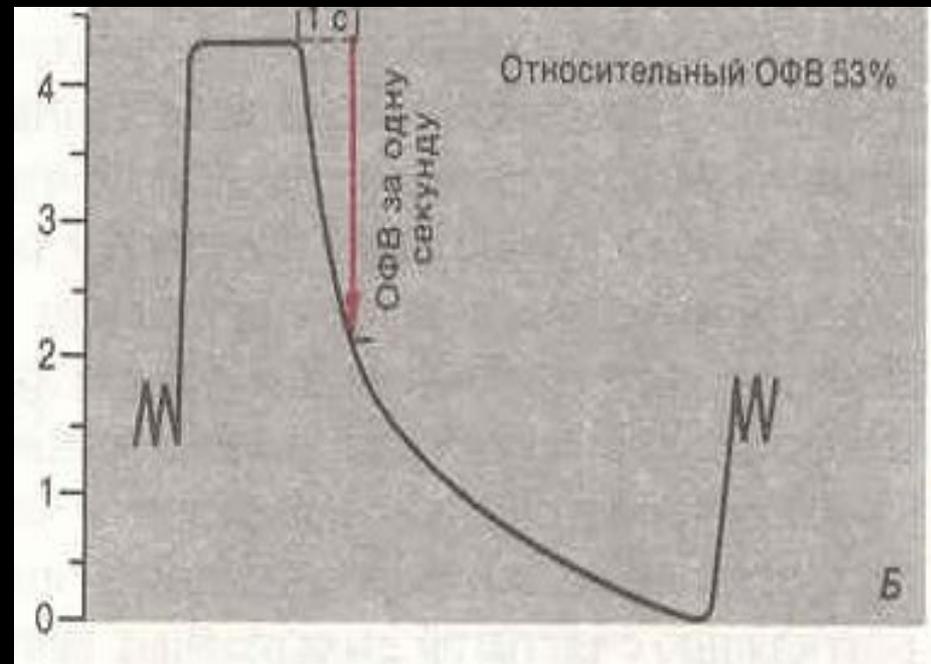
Объёмная скорость выдоха (мощность выдоха) — максимальная объёмная скорость, которую пациент может развить при форсированном выдохе — показатель проходимости дыхательных путей на уровне трахеи и крупных бронхов. Зависит от мышечного усилия пациента.

Резерв дыхания (РД) характеризует возможность увеличения лёгочной вентиляции (в норме 85–90%) и рассчитывается по разности максимальной вентиляции лёгких (МВЛ) и минутного объёма дыхания (МОД).

Относительный объем форсированного выдоха (ОФВ)



норма



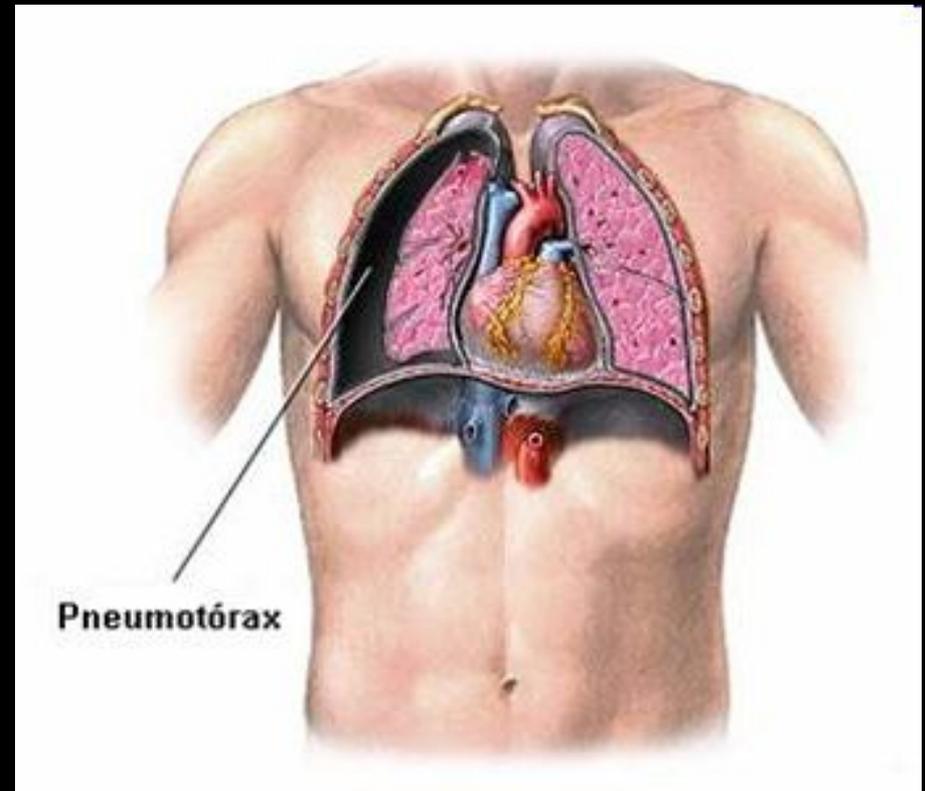
Обструктивные нарушения в
легких

Пневмоторакс

Пневмоторакс -
скопление воздуха в
плевральной
полости.

Пневмоторакс может
быть одно- и
двусторонним.

По этиологии выделяют
спонтанный,
травматический и
искусственный
пневмоторакс.



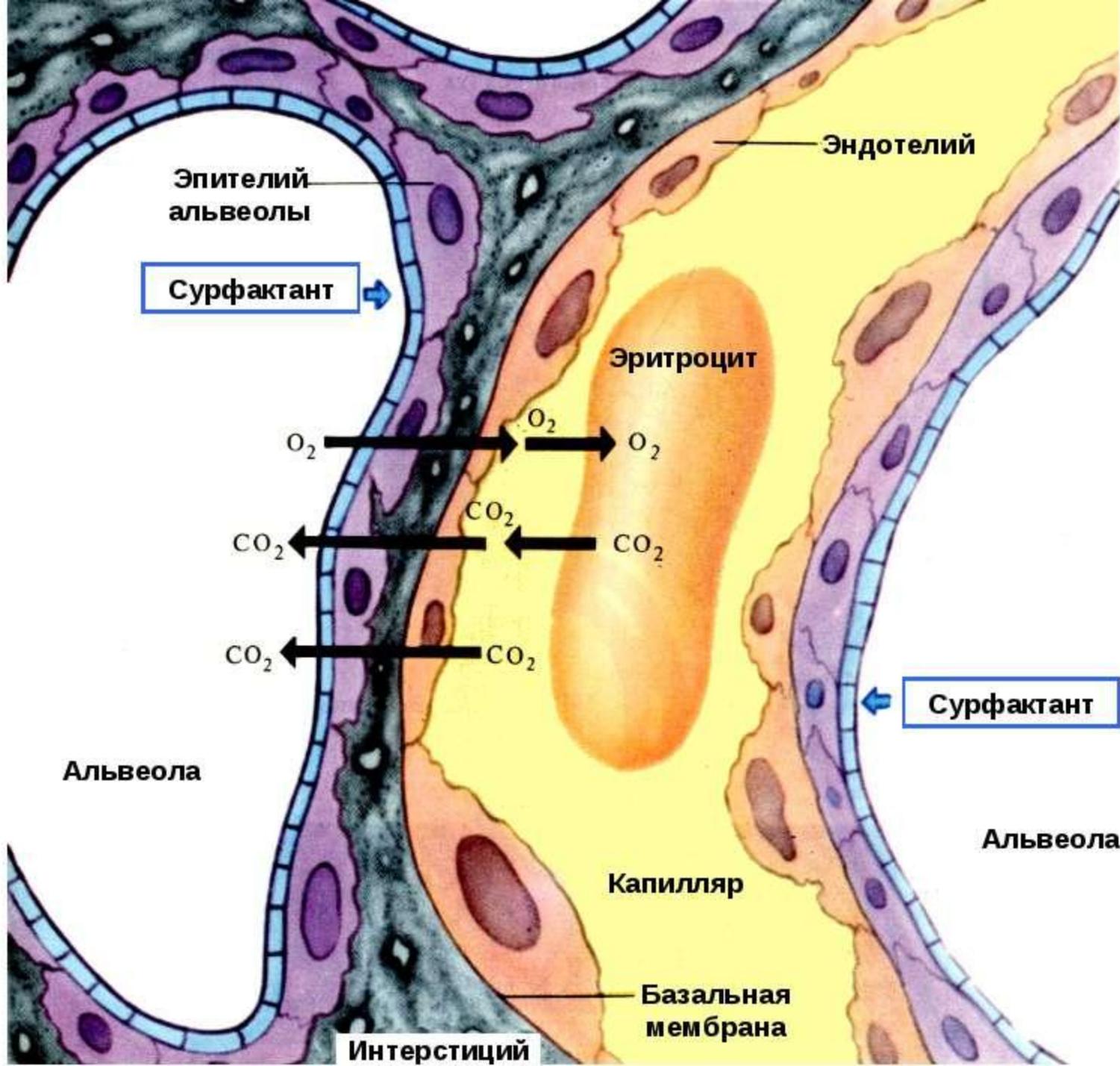
Виды пневмоторакса

1. *Пневмоторакс внутренний* — при котором плевральная полость сообщается с атмосферой через дефекты в легочной ткани, трахее или бронхах.
2. *Пневмоторакс наружный* — при котором плевральная полость сообщается с атмосферой через дефект в грудной стенке.
3. *Пневмоторакс открытый* — при котором воздух поступает в полость плевры при вдохе и выходит обратно при выдохе.

Виды пневмоторакса

4. *Пневмоторакс закрытый* — при котором отсутствует сообщение между плевральной полостью и атмосферой.
5. *Пневмоторакс клапанный* — при котором воздух при вдохе поступает в плевральную полость, а при выдохе не может ее покинуть из-за перекрытия отверстия в плевре.
6. *Пневмоторакс напряжённый* — выраженная степень клапанного пневмоторакса, при котором давление воздуха в плевральной полости значительно превышает атмосферное; сопровождается крайне затрудненным вдохом, резким смещением трахеи и сердца в сторону неповрежденной половины грудной полости.

Строение аэрогематического барьера



Парциальное давление

- Парциальное давление - часть давления приходящаяся на отдельный газ, относительно общего давления, создаваемого всей газовой смесью воздуха.

- **ЗАКОН ДАЛЬТОНА**

- $P_{\text{ГАЗА}} = P_{\text{СМЕСИ}} \times C (\%) / 100\%$

Для воздуха: $P_{\text{атм}} = 760 \text{ мм Нг}$; $C_{\text{кислорода}} = 20,9\%$;

$$P_{\text{кислорода}} = 159 \text{ мм Нг}$$

ПАРЦИАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ГАЗА

Давление, под которым газ стремится выйти из жидкости в газовую среду.

В жидкости газ удерживается - за счёт сил физического и химического взаимодействия.

Диффузия газов через АГБ

ЗАКОН ФИКА

$$Q_{\text{газа}} = S \cdot DK \cdot \frac{(P_1 - P_2)}{T}$$

где: $Q_{\text{газа}}$ - объем газа, проходящего через ткань в единицу времени,

S - площадь ткани,

DK - диффузионный коэффициент газа,

$(P_1 - P_2)$ - градиент парциального давления газа;

T - толщина барьера ткани

• Для кислорода:

$$P_{\text{альв.возд}} = 100 \text{ мм Нг}$$

$$P_{\text{вен.крови}} = 40 \text{ мм Нг}$$

$$P_1 - P_2 = 60 \text{ мм Нг}$$

• Для CO_2 :

$$P_{\text{вен.крови}} = 46 \text{ мм Нг}$$

$$P_{\text{альв.возд.}} = 40 \text{ мм Нг}$$

$$P_1 - P_2 = 6 \text{ мм Нг}$$

$DK \text{ CO}_2 > DK \text{ O}_2$ в 25 раз

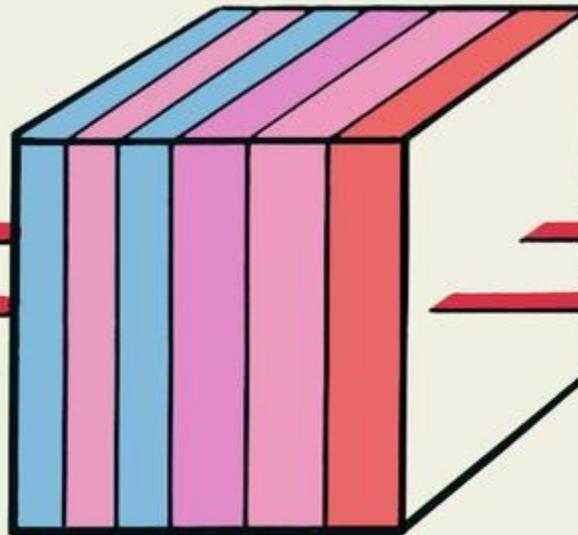
- Переход газов через альвеоло – капиллярную мембрану происходит по законам диффузии. Количество газа, проходящее через легочную мембрану в единицу времени, т.е. **скорость диффузии**, **прямо пропорциональна** разнице его парциального давления по обе стороны мембраны и **обратно пропорциональна** сопротивлению диффузии.

Альвеола

**100-110
мм.рт.ст.**

O₂ 

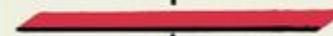

**37-41
мм.рт.ст.**



1 2 3 4 5 6

Кровь

**35-45
мм.тр.ст.**


 **CO₂**

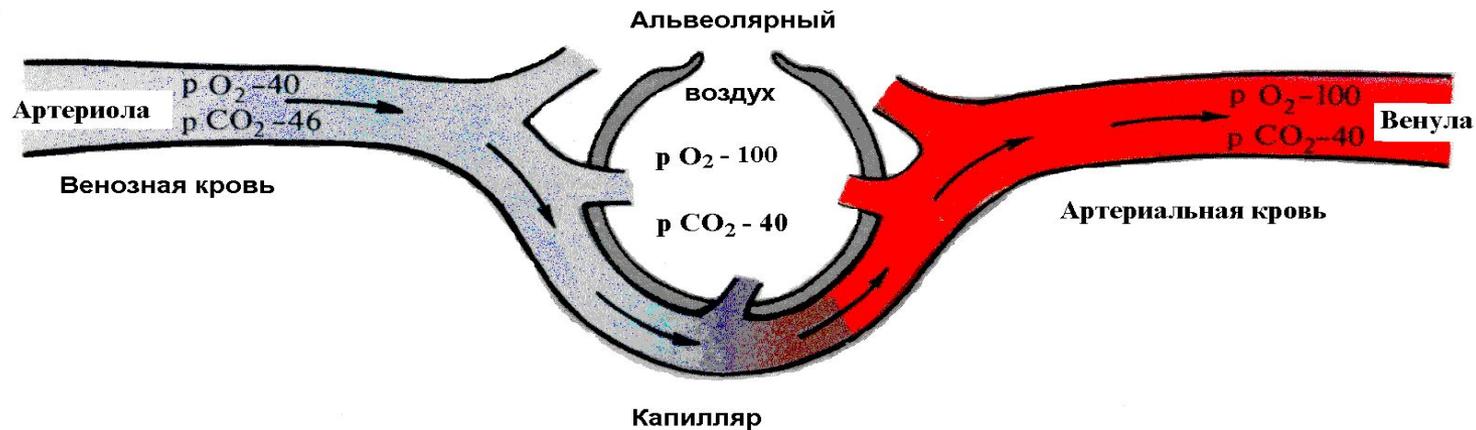
**42-47
мм.рт.ст.**

Сопротивление диффузии

определяется

- толщиной мембраны и величиной поверхности газообмена,
- коэффициентом диффузии газа, зависящим от его молекулярного веса и температуры, а также
- коэффициентом растворимости газа в биологических жидкостях мембраны.

Диффузия кислорода



- P_{O_2} в воздухе = 21% от 760 = 159 мм Нг
- В альвеолярном воздухе 47 мм Нг давления воздуха приходится на пары H_2O , значит давление «сухого» воздуха = $760 - 47 = 713$ мм Нг. Альвеолярный воздух обогащен CO_2 , кислорода в нем не 21%, а 14%, парциальное давление кислорода составляет в нем 14% от 713 = 100 мм Нг
- В венозной крови легочных капилляров напряжение кислорода = 40 мм Нг
- Градиент давлений, обеспечивающий диффузию кислорода равен $100 - 40 = 60$ мм Нг

Транспорт O_2 кровью.

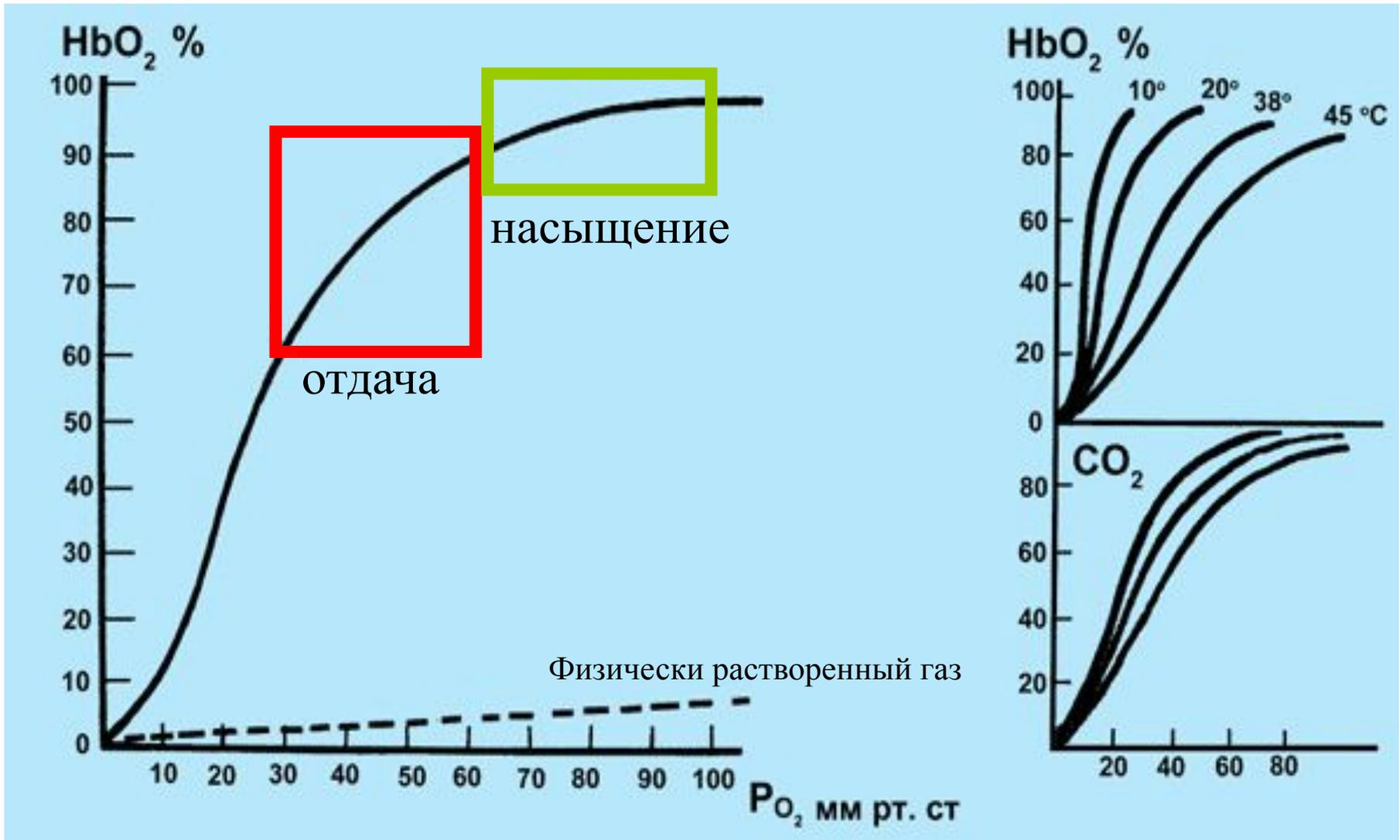
КИСЛОРОД НАХОДИТСЯ В КРОВИ В ДВУХ СОСТОЯНИЯХ:

- 1. физически растворенный: 3 мл O_2 в 1 л крови;**
- 2. связанный с Нв: 197 мл O_2 в 1 л крови**

ХАРАКТЕРИСТИКИ КИСЛОРОДНОЙ ЕМКОСТИ КРОВИ

- $\text{KНб} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{КНбO}_2 \rightleftharpoons \text{КНб} + \text{O}_2$
- Кислородная емкость крови - количество O_2 , которое связывается кровью до полного насыщения гемоглобина
- Константа Гюфнера: 1 г. Нб - 1,36 - 1,39 мл O_2
Кислородная емкость крови = 200 мл O_2 в 1 л.
- Всего в крови содержится около 1 литра O_2
- Коэффициент утилизации кислорода = 30 - 40%

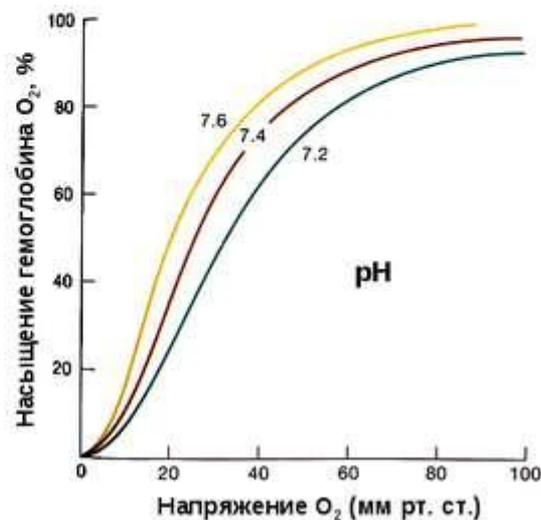
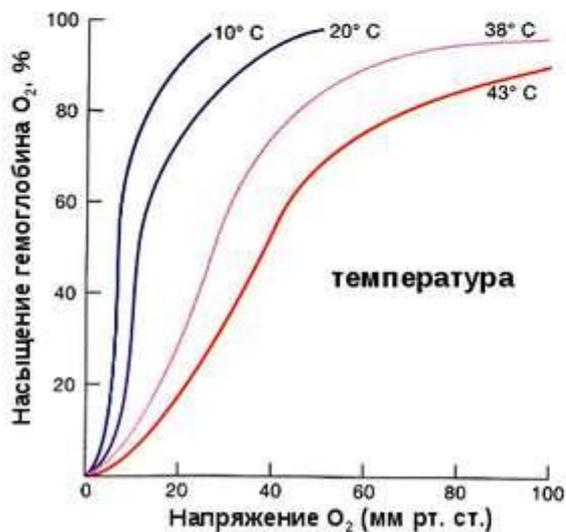
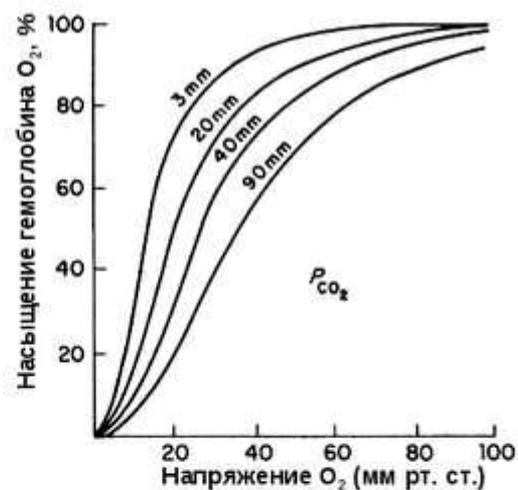
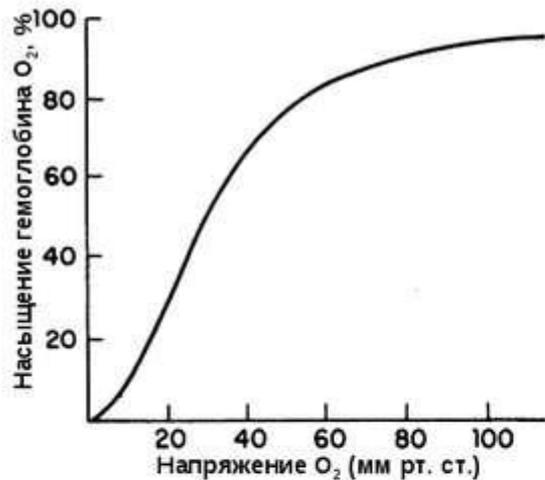
Кривая диссоциации оксигемоглобина



Факторы влияющие на сродство Hb к O₂

- **Во время оксигенации** происходит отщепление от гемоглобина протонов, которые, накапливаясь в эритроците, увеличивают его кислотность, что само по себе приводит к снижению сродства Hb к O₂. В сущности это и есть выражение **эффекта Бора – зависимость процесса оксигенации от pH**.
- **При pH больше 6,0** в растворе при стабильном режиме оксигенации содержится больше HbO₂, чем HbH, а **при pH меньше 6,0** при тех же условиях оксигенации в растворе преобладает восстановленный Hb.
- Влияния pH на кривую диссоциации оксигемоглобина тесно связано с влиянием на нее внутриэритроцитарного метаболита 2,3-ДФГ. Установлено, что образование этого промежуточного продукта гликолиза также регулируется pH **внутр.ср.** эритроцита: **алкалоз усиливает образование 2,3 – ДФГ, ацидоз – ингибирует.**
- pH оказывает прямое влияние на сродство Hb к O₂ и косвенное влияние на эту функцию через продукцию 2,3ДФГ.

Сдвиги кривой диссоциации



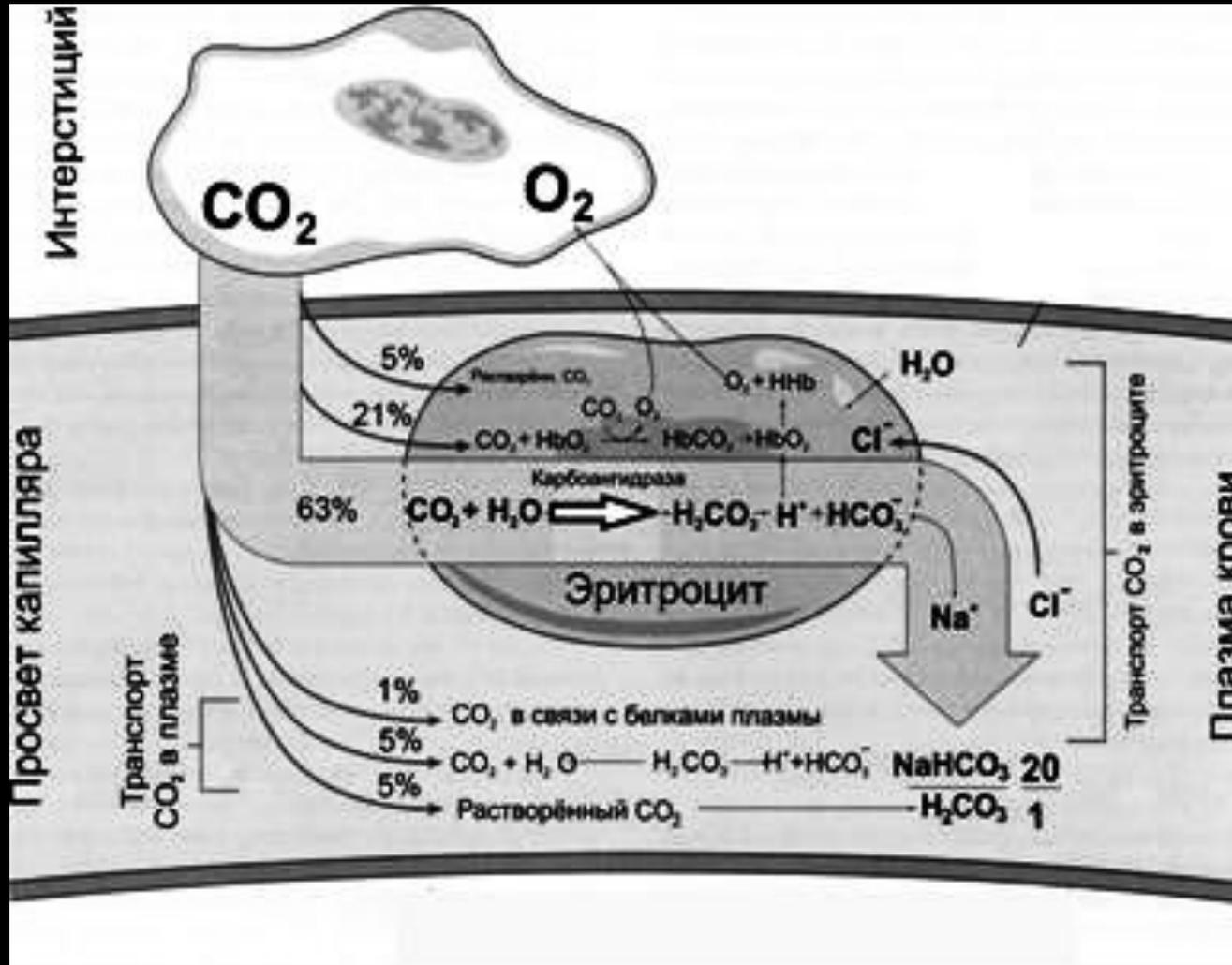
Влияние физических факторов на связывание кислорода гемоглобином

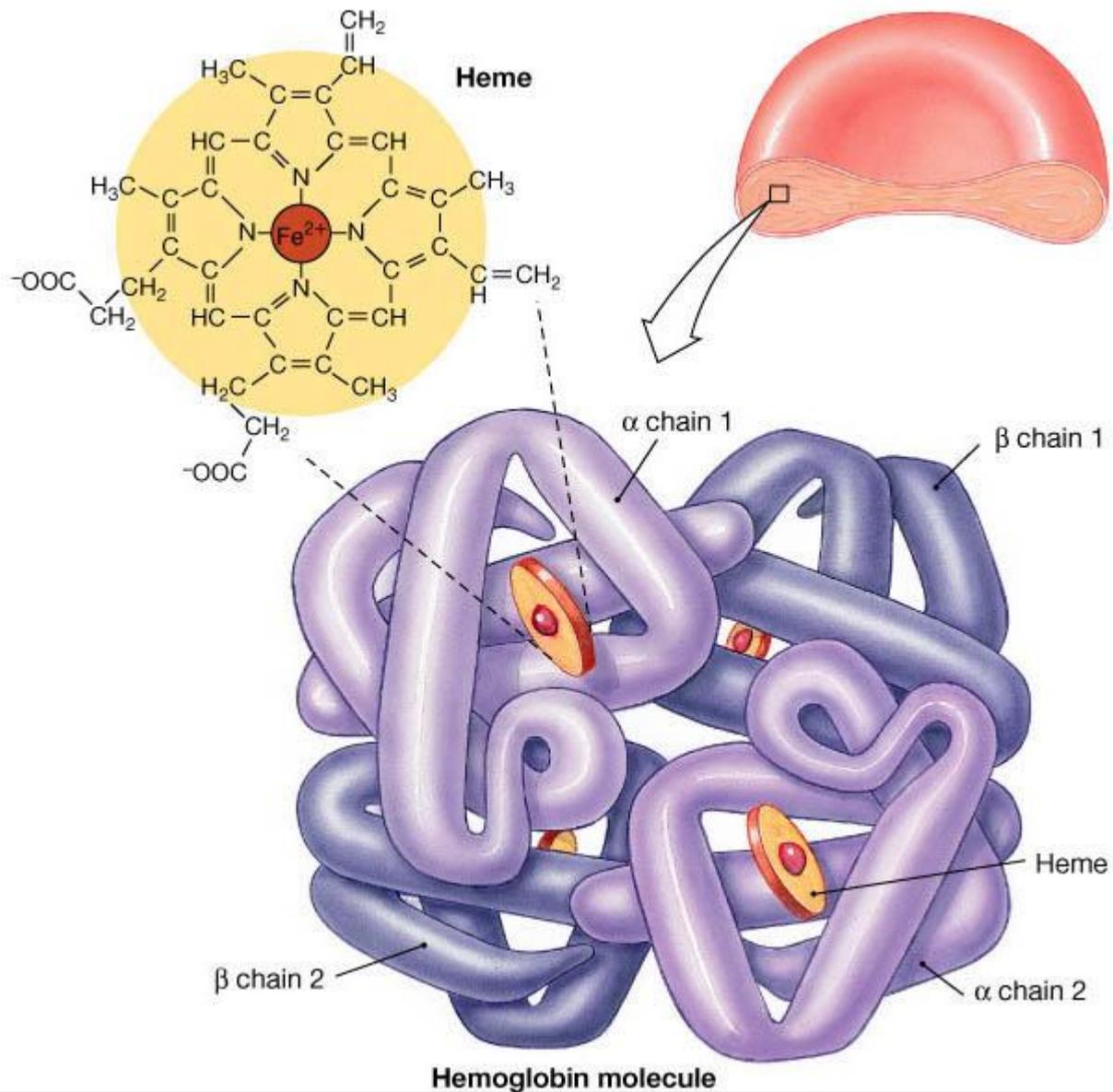
Транспорт CO_2 кровью

- ТРИ ФОРМЫ ТРАНСПОРТА :

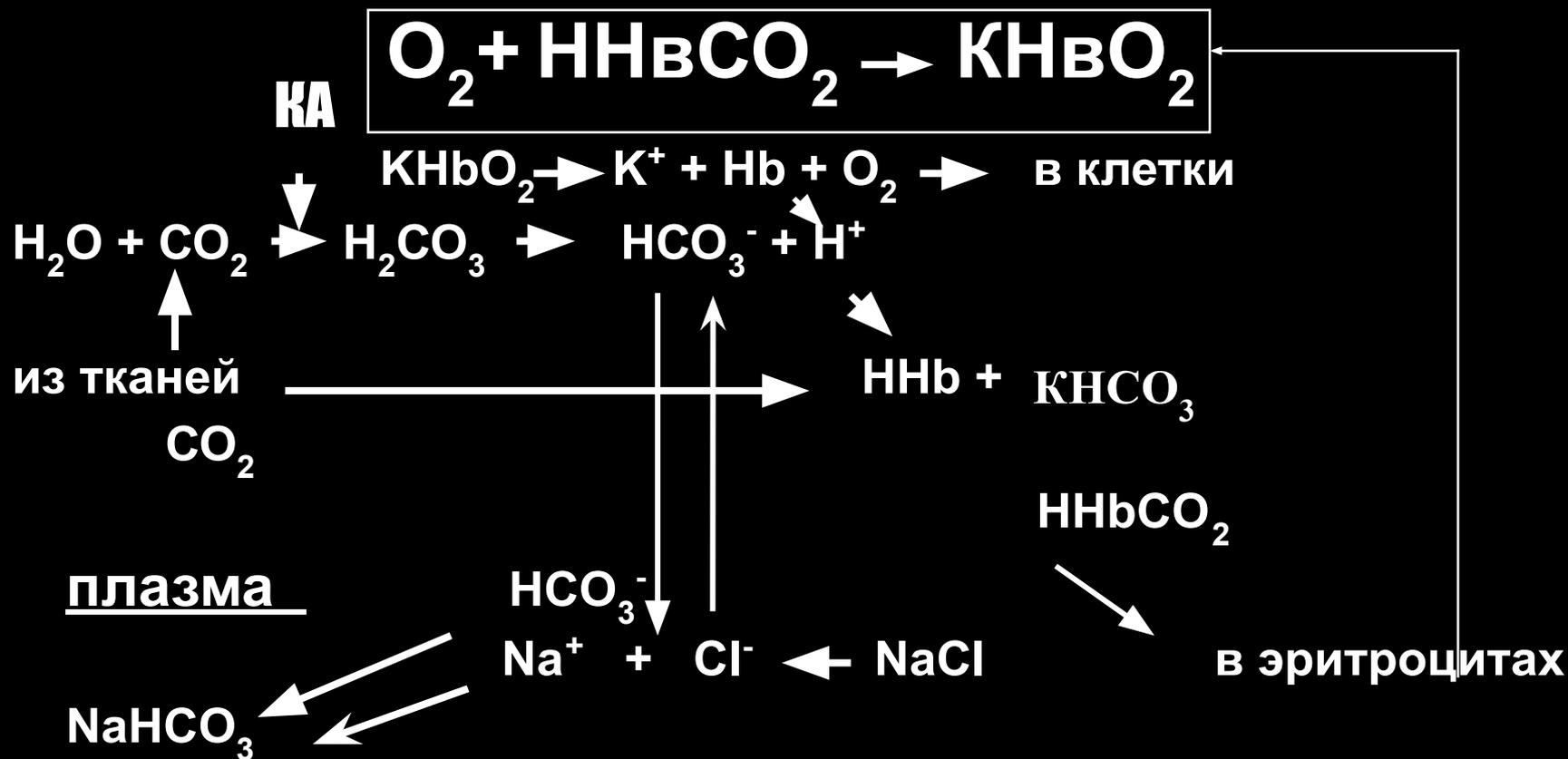
- - физически растворенный газ - 5-10%
- - химически связанный в бикарбонатах: в плазме - NaHCO_3 , в эритроцитах - KHCO_3 (80%)
- - связанный в карбаминовых соединениях гемоглобина: $\text{Hb}\cdot\text{NH}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{HbNHCOOH}$ - 5-15%

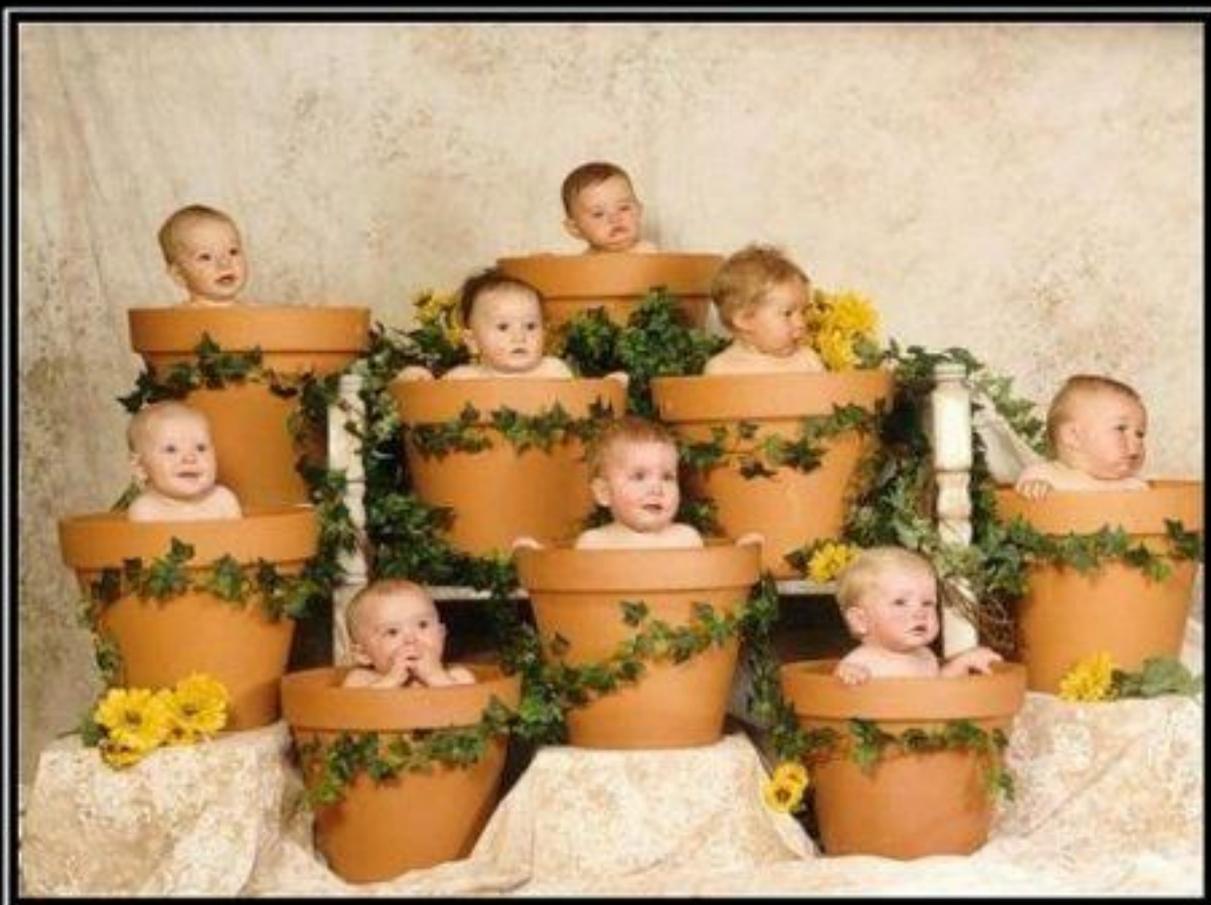
Транспорт CO_2 кровью





ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В КРОВИ ПРИ ОБМЕНЕ ГАЗОВ В ЛЕГКИХ И ТКАНЯХ





Дети - цветы жизни
Дарите женщинам цветы