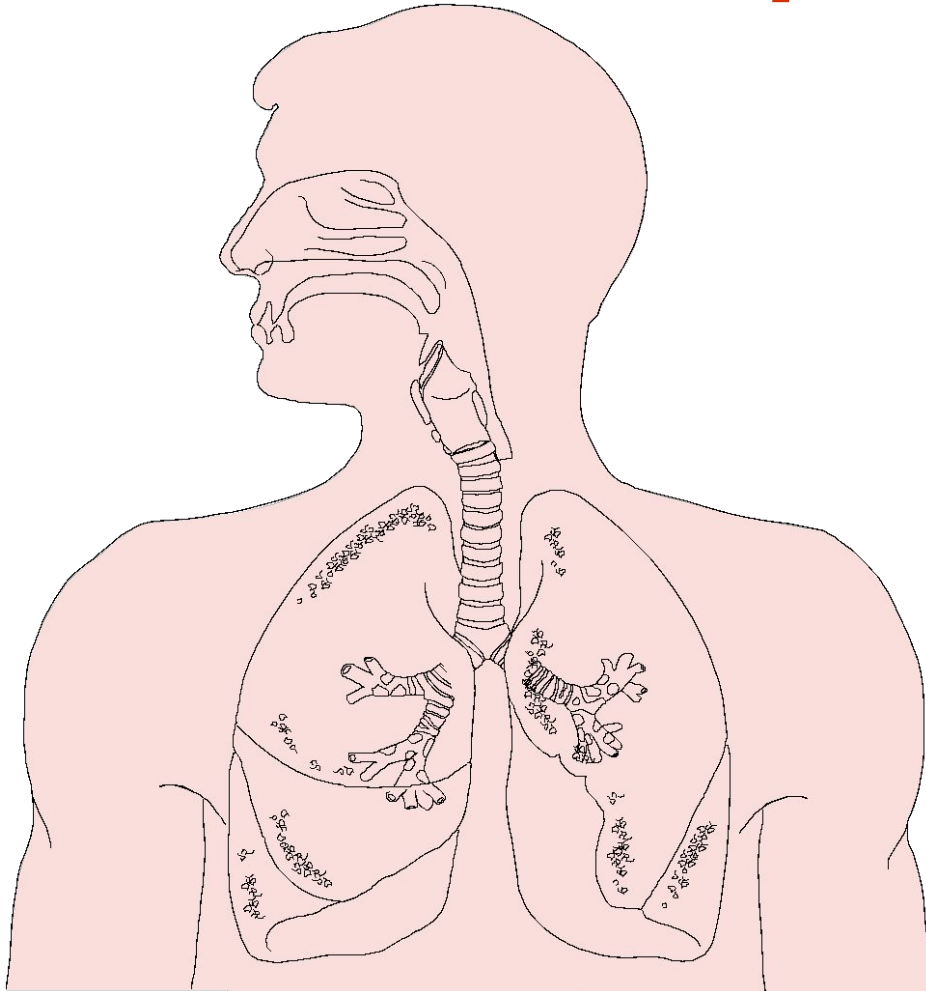


•
•
•

Кафедра нормальной физиологии КрасГМА



ФИЗИОЛОГИЯ ДЫХАНИЯ

Внешнее дыхание и транспорт газов кровью

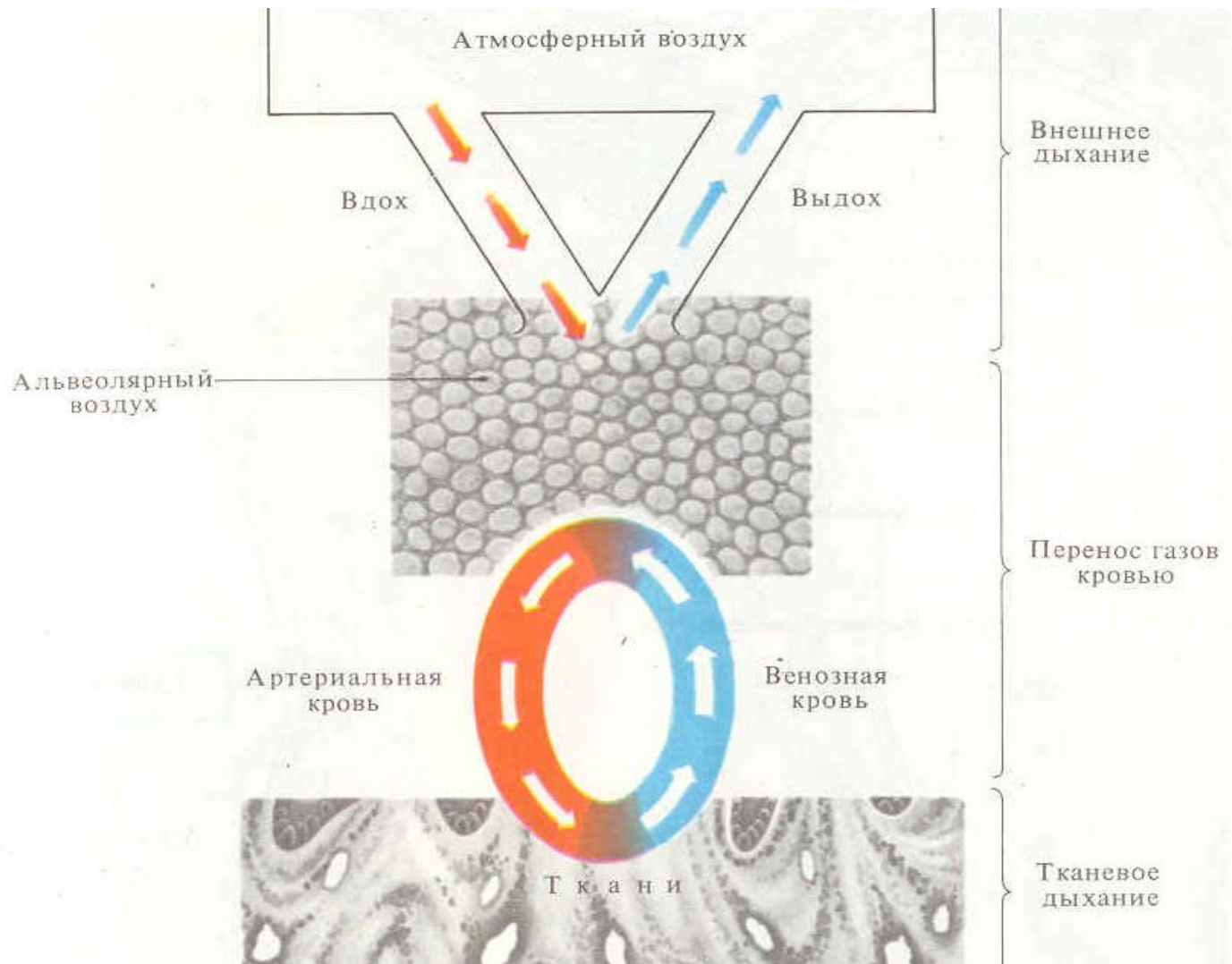
- **Дыхание - совокупность процессов, обеспечивающих поступление во внутреннюю среду организма кислорода, использование его для окислительных процессов, и удаление из организма углекислого газа**

ЭТАПЫ ДЫХАНИЯ:



- - **ВНЕШНЕЕ** или **ЛЕГОЧНОЕ ДЫХАНИЕ**
 - Диффузия газов в легких
- - **ТРАНСПОРТ ГАЗОВ КРОВЬЮ**
 - Диффузия газов в тканях
- **ВНУТРЕННЕЕ** или **ТКАНЕВОЕ ДЫХАНИЕ**

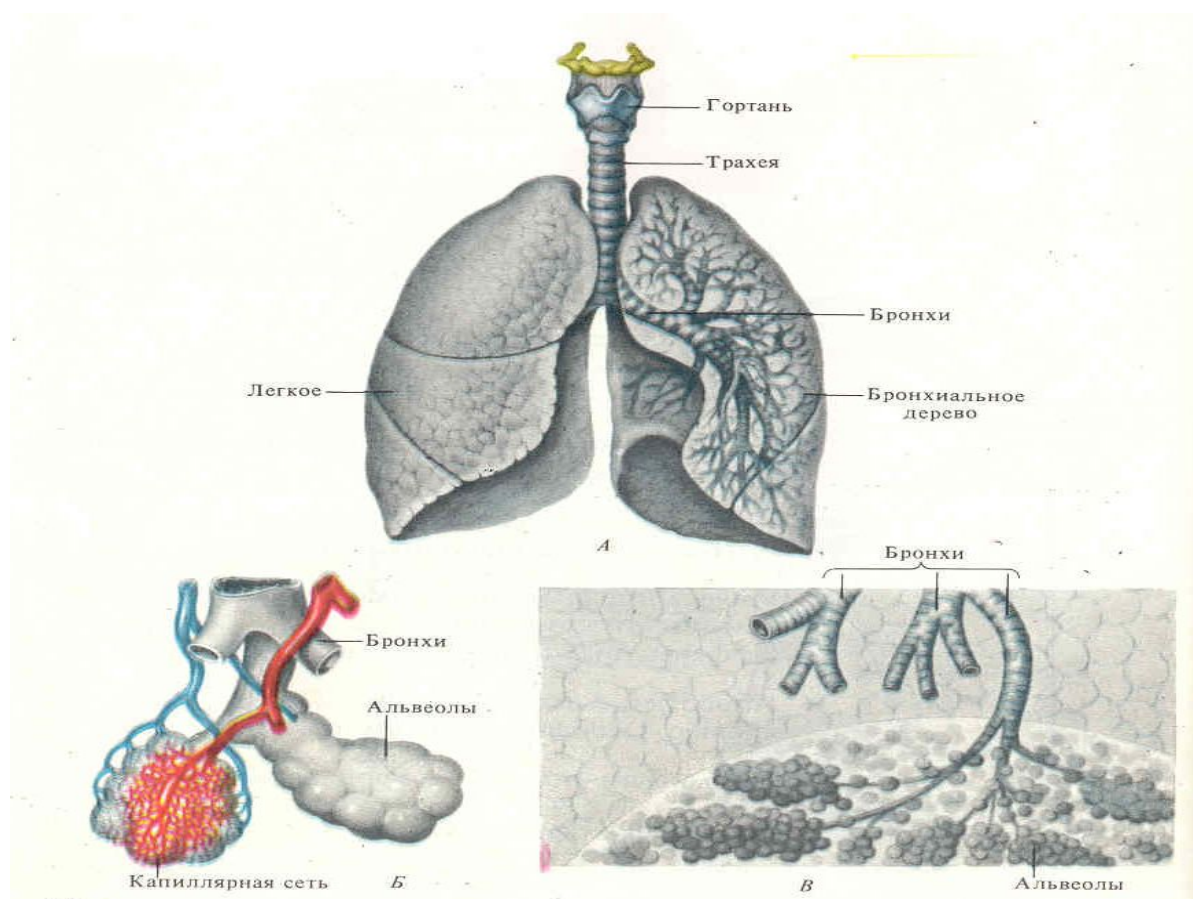
Этапы дыхания



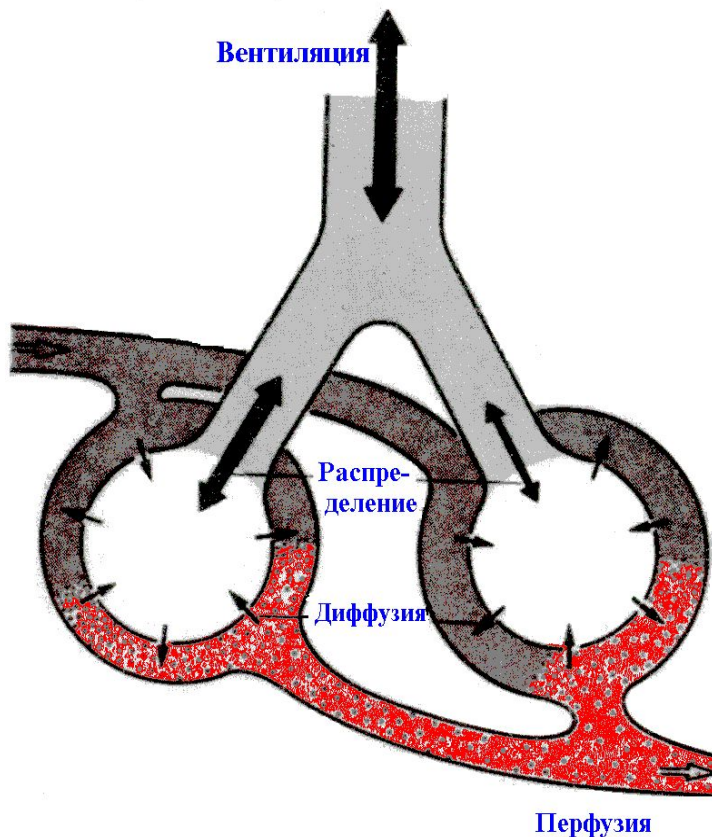
Структура аппарата внешнего дыхания

- 1. Воздухоносные пути и альвеолы легких
- 2. Костно-мышечный каркас грудной клетки и плевра
- 3. Малый круг кровообращения
- 4. Нейрогуморальный аппарат регуляции

СТРОЕНИЕ ЛЕГКИХ



Внешнее дыхание



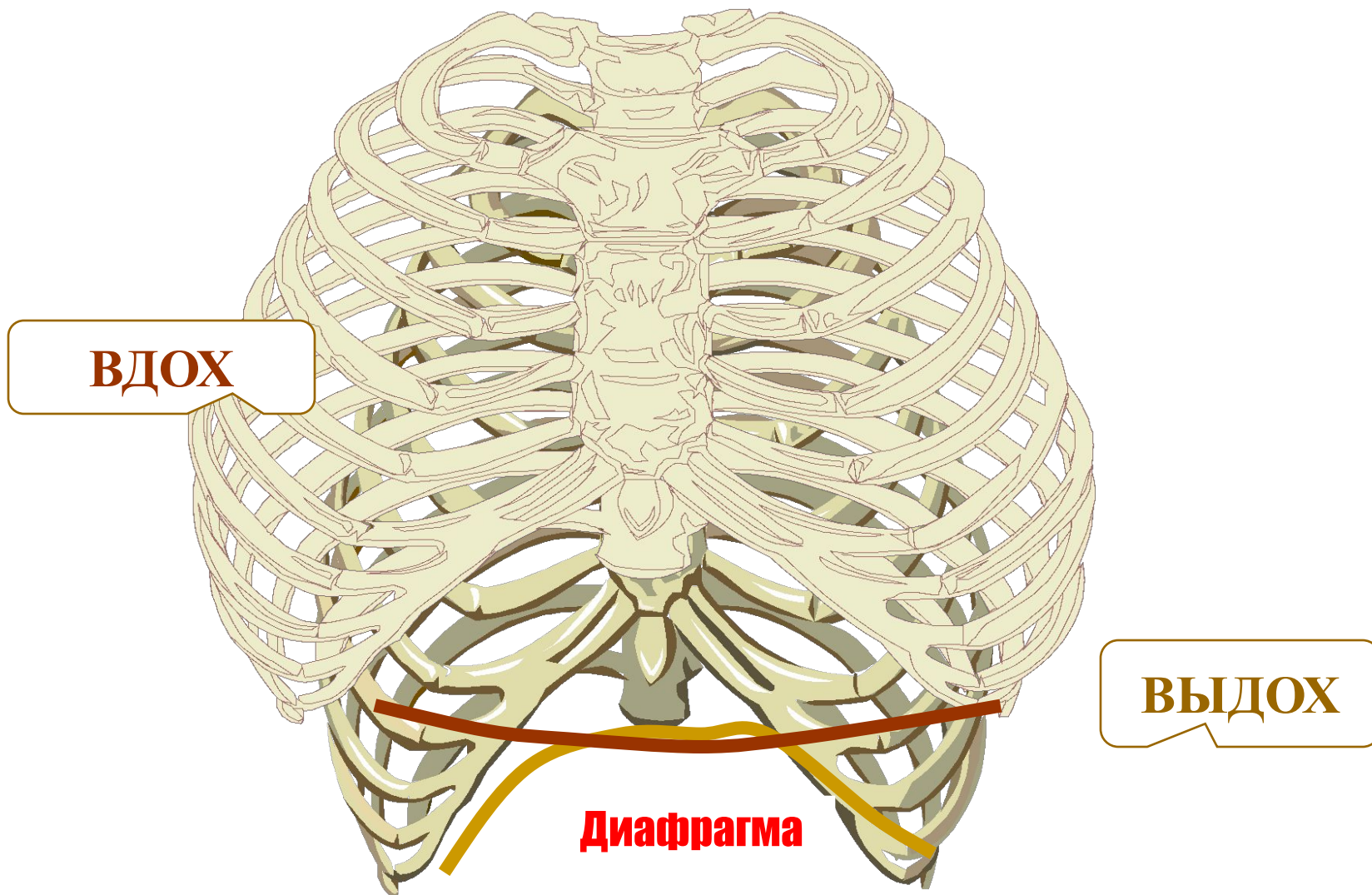
- 3 ПРОЦЕССА:

- - Вентиляция

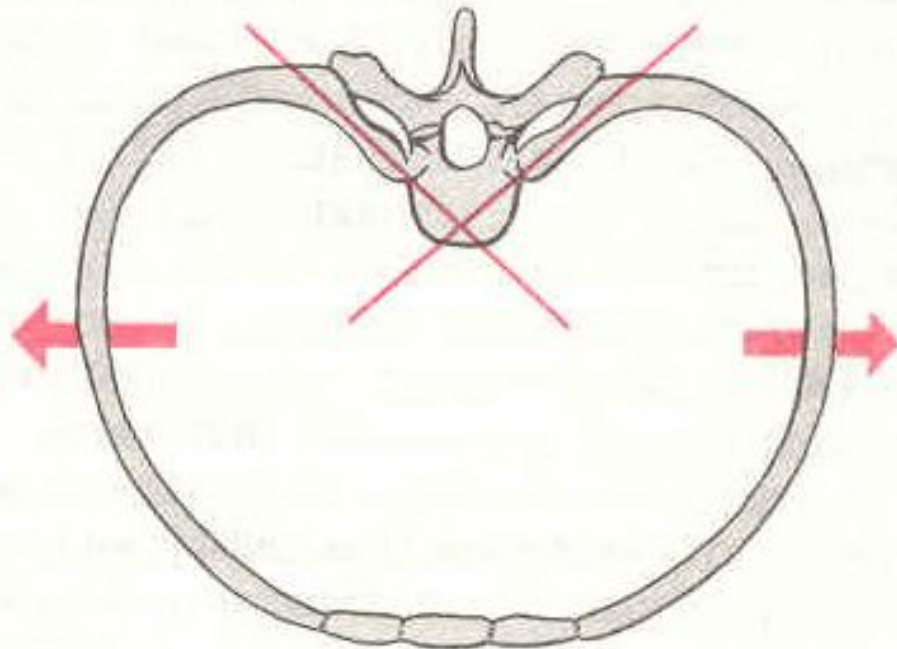
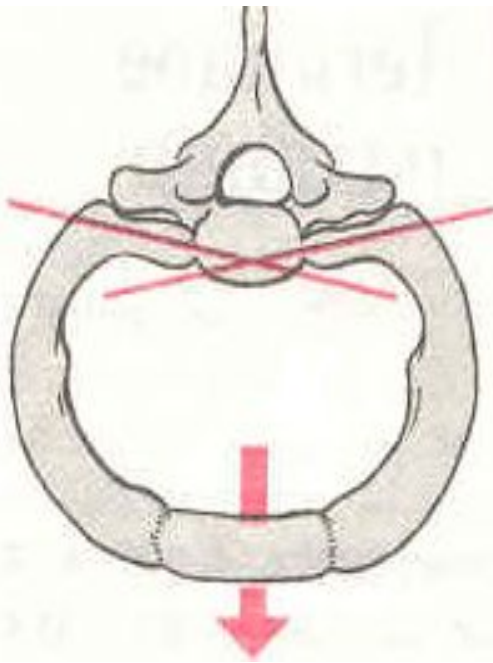
- - Диффузия

- - Перфузия

•
•
•
Изменения формы грудной клетки при вдохе и выдохе

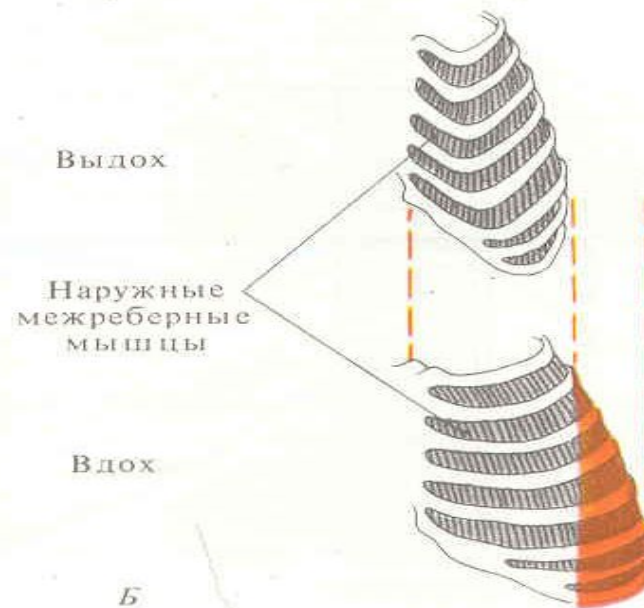
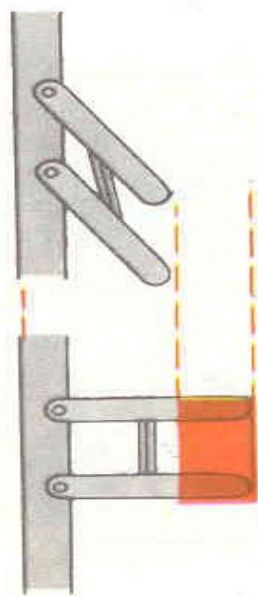
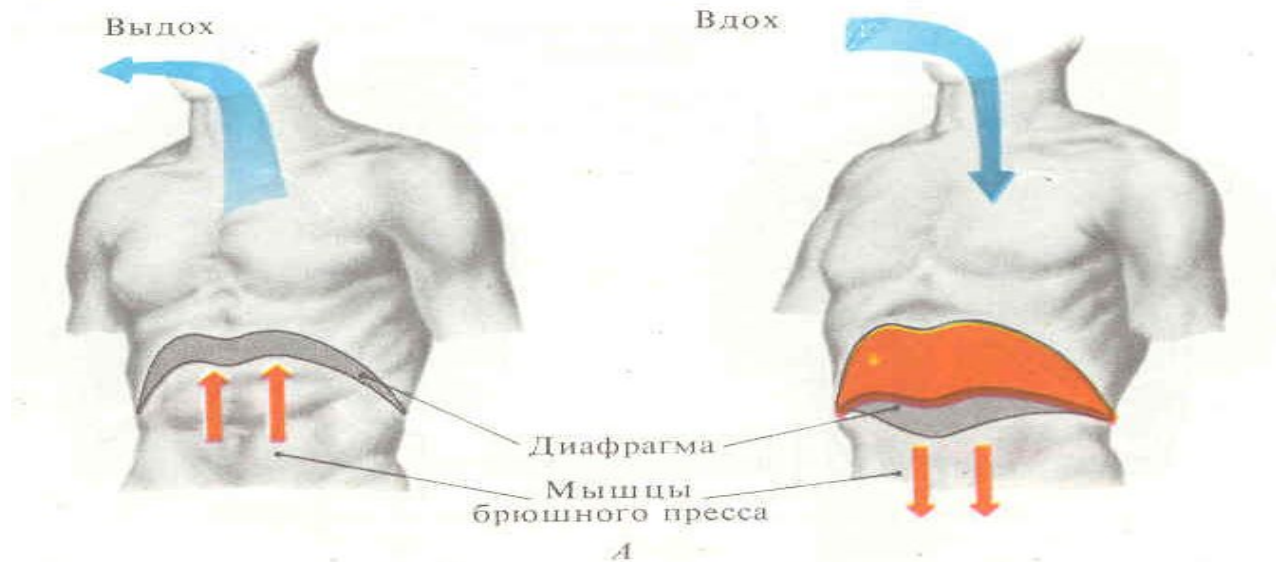


•
•
•
Направление вращения первого и шестого ребер при вдохе

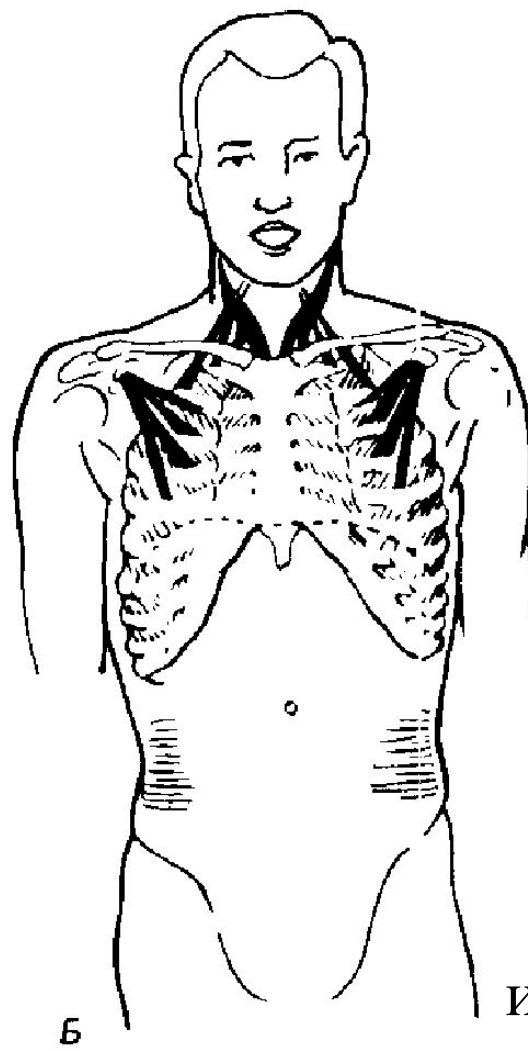
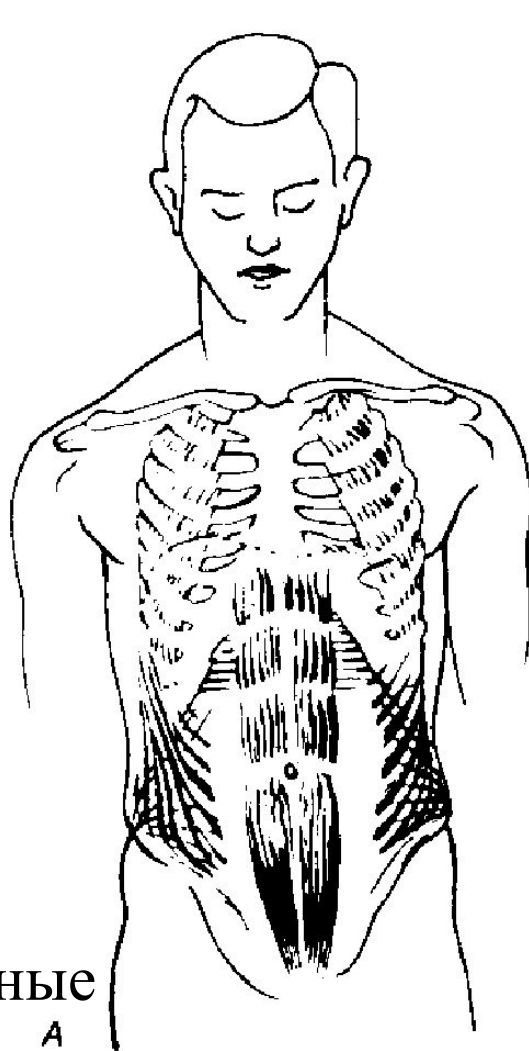


Направление, в котором преимущественно увеличиваются размеры грудной клетки при вдохе

Механизм дыхательных движений



Вспомогательные дыхательные мышцы



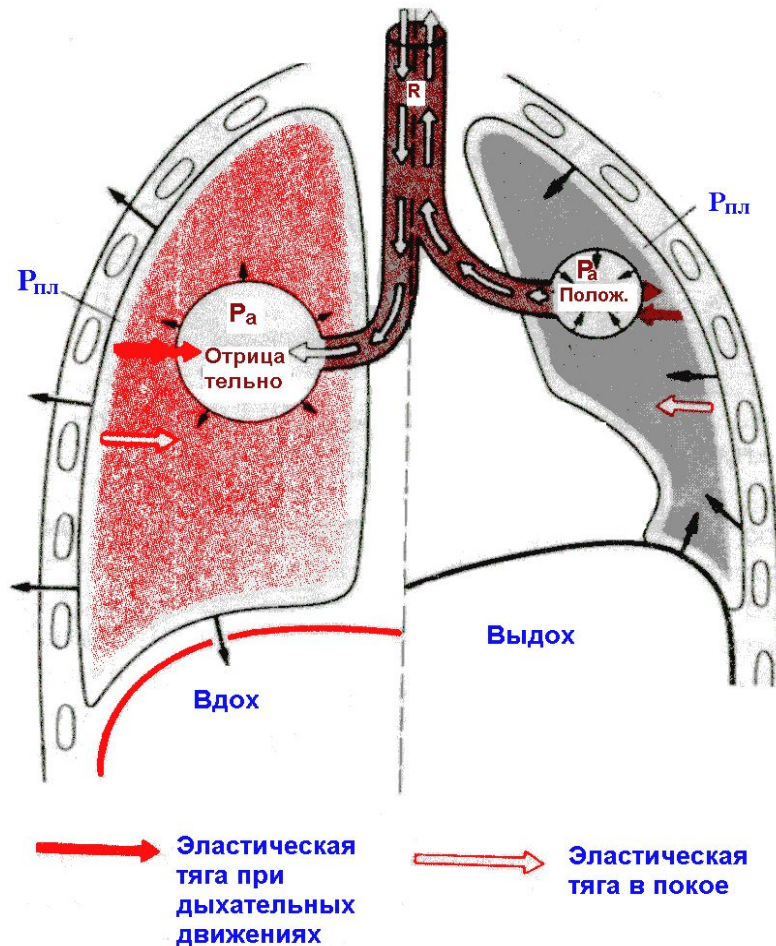
эксспираторные

А

Б

инспираторные

Механизм вдоха и выдоха

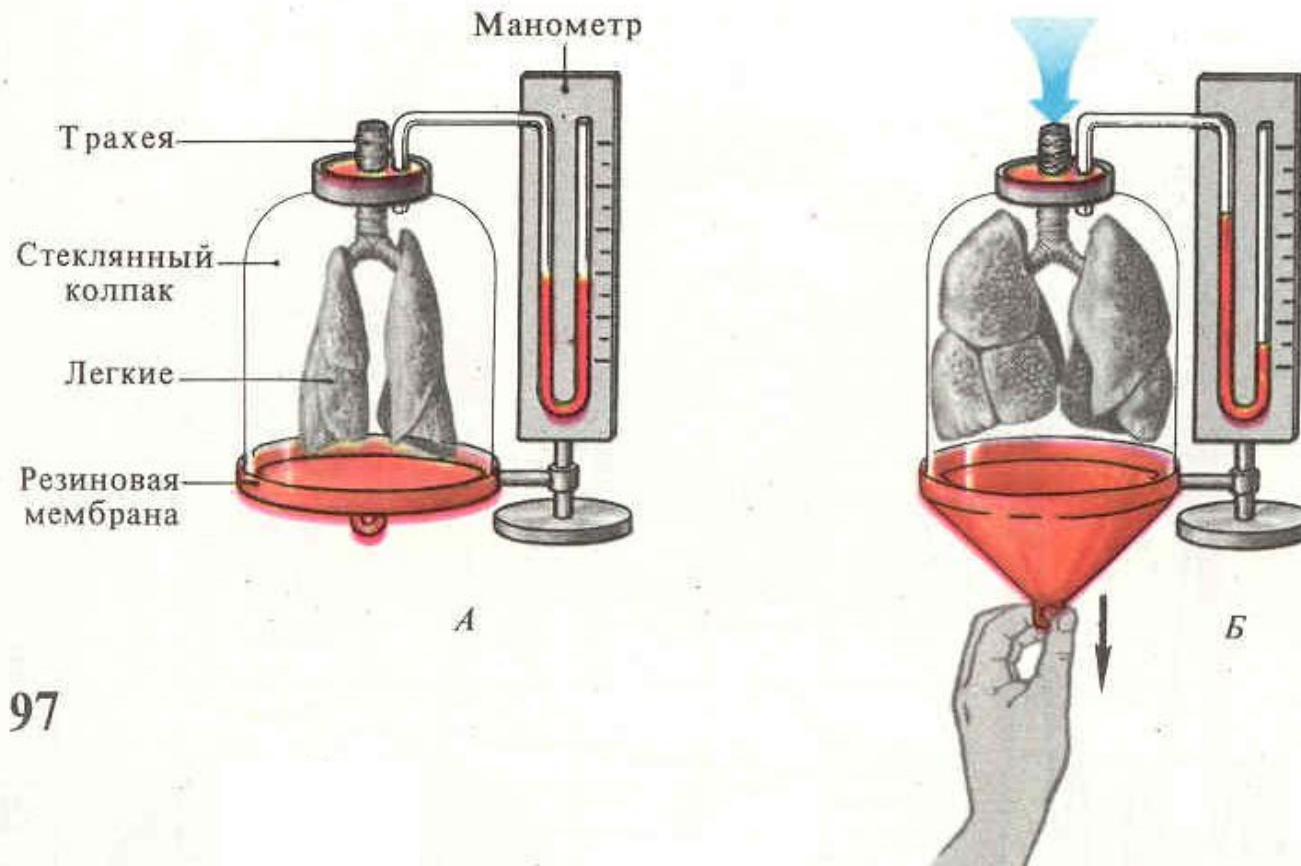


- **Транспульмональное давление:**

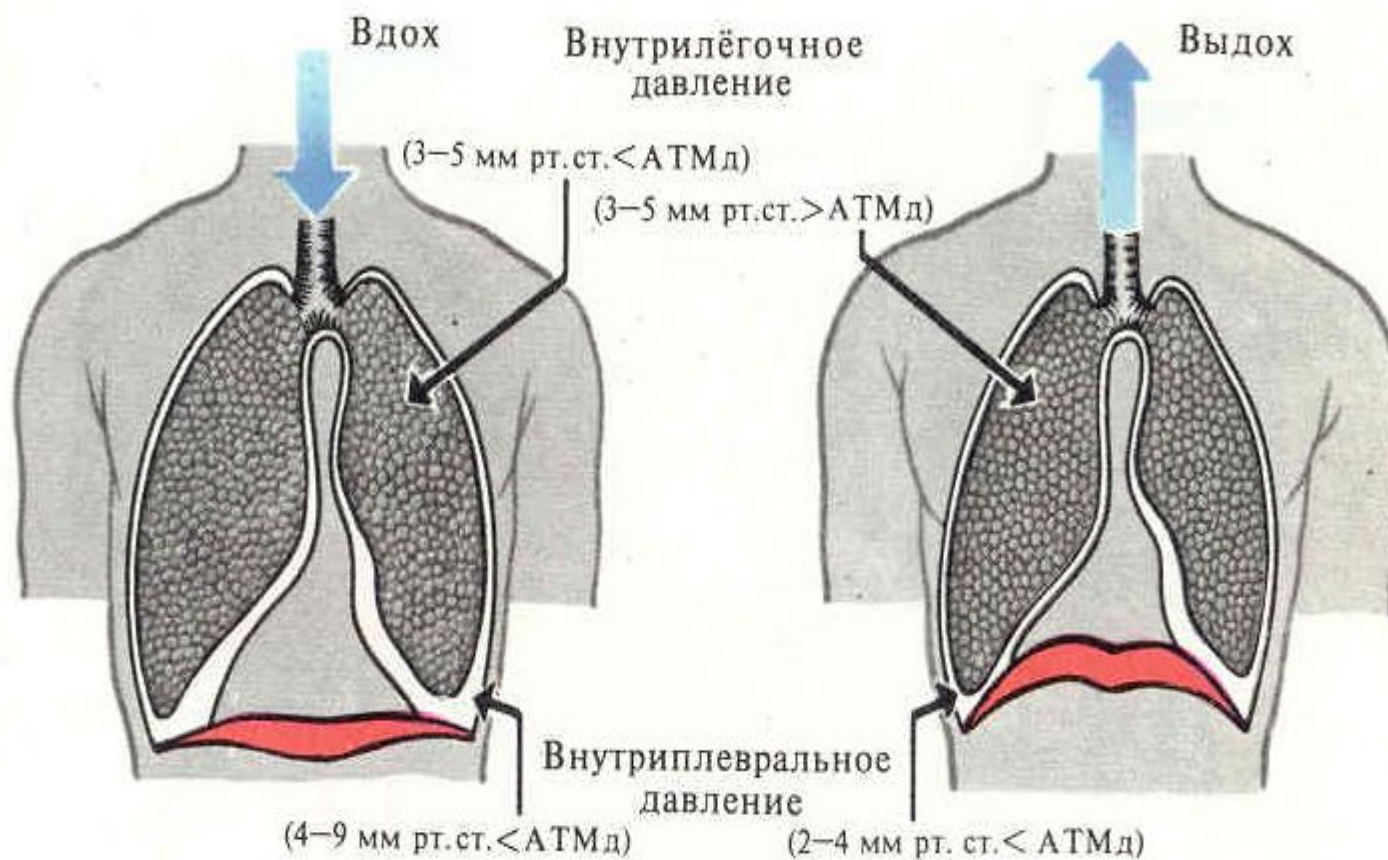
$$P_{\text{трп}} = P_{\text{альв}} - P_{\text{плевр}}$$
- **На вдохе $P_{\text{плевр}} = -9 \text{ мм Нг}$**
- **Перед вдохом $P_{\text{плевр}} = -3 \text{ мм Нг}$**
- **На выдохе $P_{\text{плевр}} = +4-10 \text{ мм Нг}$**
- **Трансреспираторное давление:**

$$P_{\text{трр}} = P_{\text{альв.}} - P_{\text{внешн.}}$$
- **На вдохе: $P_{\text{трр}} = 756 - 760 = -4 \text{ мм Нг}$**
- **На выдохе: $P_{\text{трр}} = 764 - 760 = +4 \text{ мм Нг}$**
- **Эластическая тяга дыхания = эластическая тяга легких + эластическая тяга грудной клетки**

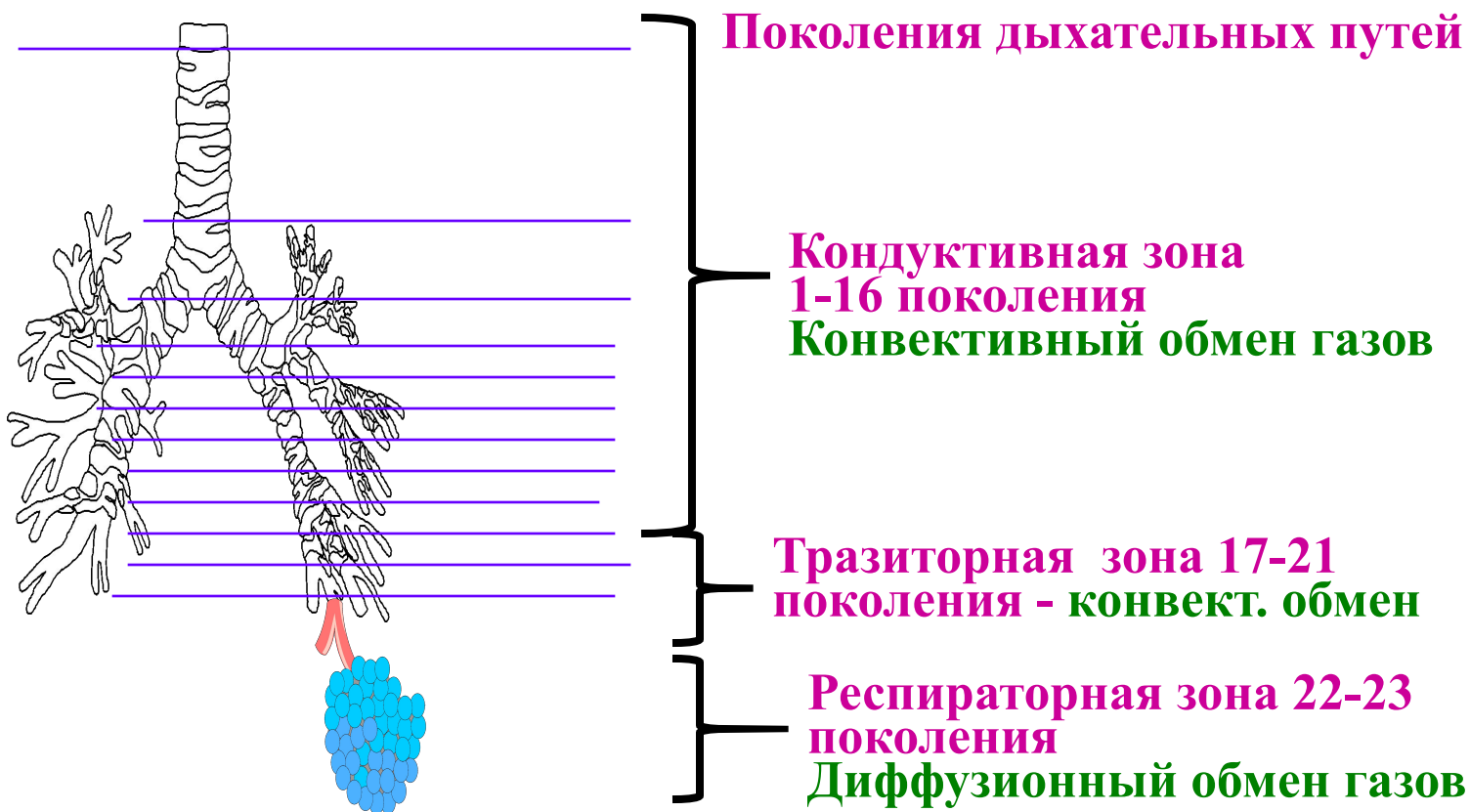
Модель Дондерса



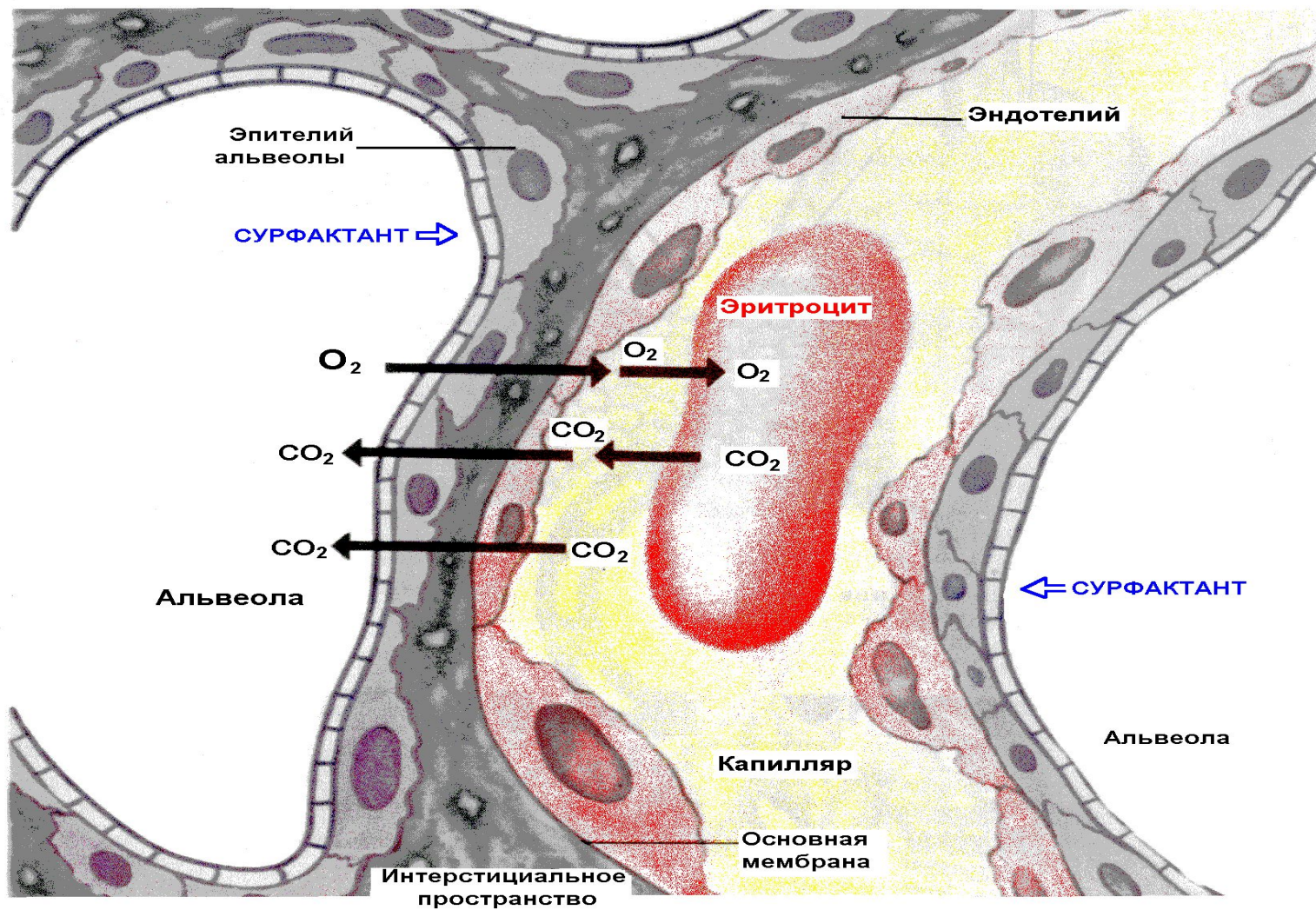
Внутрилегочное и внутриплевральное давление на вдохе и выдохе



Ветвления и зоны трахеобронхиального дерева



АЗРОГЕМАТИЧЕСКИЙ БАРЬЕР



Парциальное давление

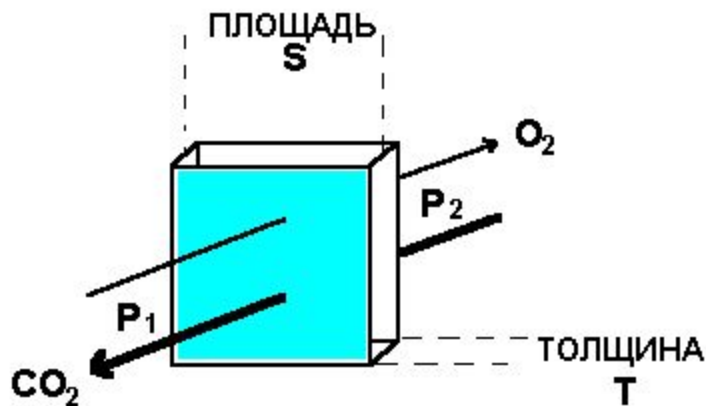
- Парциальное давление - часть общего давления смеси газов, приходящаяся на отдельный газ (если бы он занимал весь объем смеси)

- ЗАКОН ДАЛЬТОНА

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

- Для воздуха: $P_{\text{атм}} = 760 \text{ мм Нг}$; $C_{\text{кислорода}} = 20,9\%$;
- $P_{\text{кислорода}} = 159 \text{ мм Нг}$

Диффузия газов через барьер



• ЗАКОН ФИКА

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

- 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

Диффузия газов через АГБ

- ЗАКОН ФИКА

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

- 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

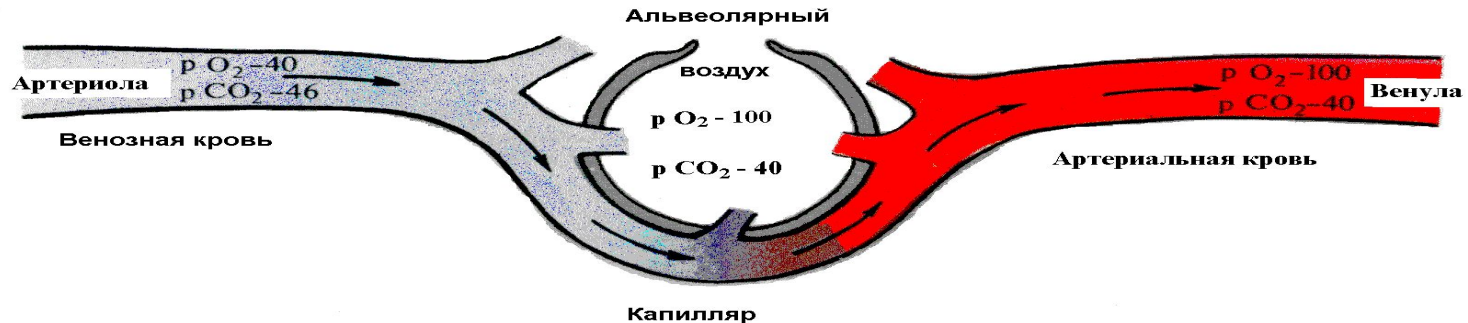
- Для кислорода:

- $P_{\text{альв.возд}} = 100 \text{ мм Нг}$
- $P_{\text{вен.крови}} = 40 \text{ мм Нг}$
- $P_1 - P_2 = 60 \text{ мм Нг}$

- 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

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 , значит кислорода в нем не 21%, а 14%, тогда парциальное давление кислорода составит 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

ВЕНТИЛЯЦИОННО-ПЕРФУЗИОННЫЕ ОТНОШЕНИЯ В РАЗНЫХ ЗОНАХ ЛЕГКИХ

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

Транспорт O_2 кровью

- ДВЕ ФОРМЫ ТРАНСПОРТА
КИСЛОРОДА:

- - **физически растворенный газ: 3 мл O_2 в 1 л крови**

- **Закон Генри: $C_{\text{газа}} = K \times P_{\text{газа}}$, где**

$C_{\text{газа}}$ - концентрация растворенного газа,

K - константа растворимости газа,

**$P_{\text{газа}}$ - парциальное давление газа над уровнем
жидкости**

- **- связанный с гемоглобином газ:**
190 мл O_2 в 1 л крови

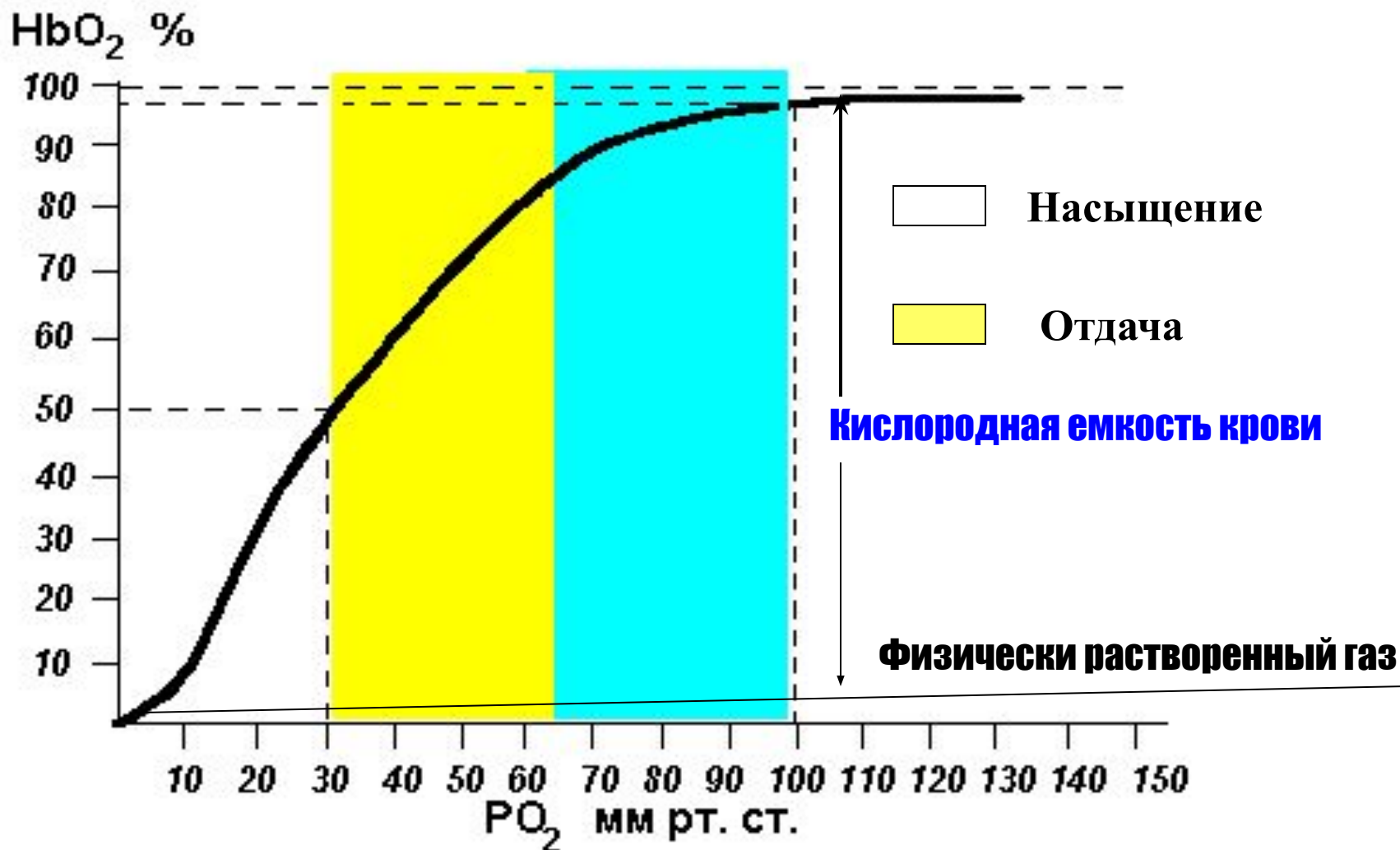
•
• **Соотношение вентиляции и перфузии в разных отделах легких. Распределение вентиляционно-перфузионного коэффициента (ВПК)**



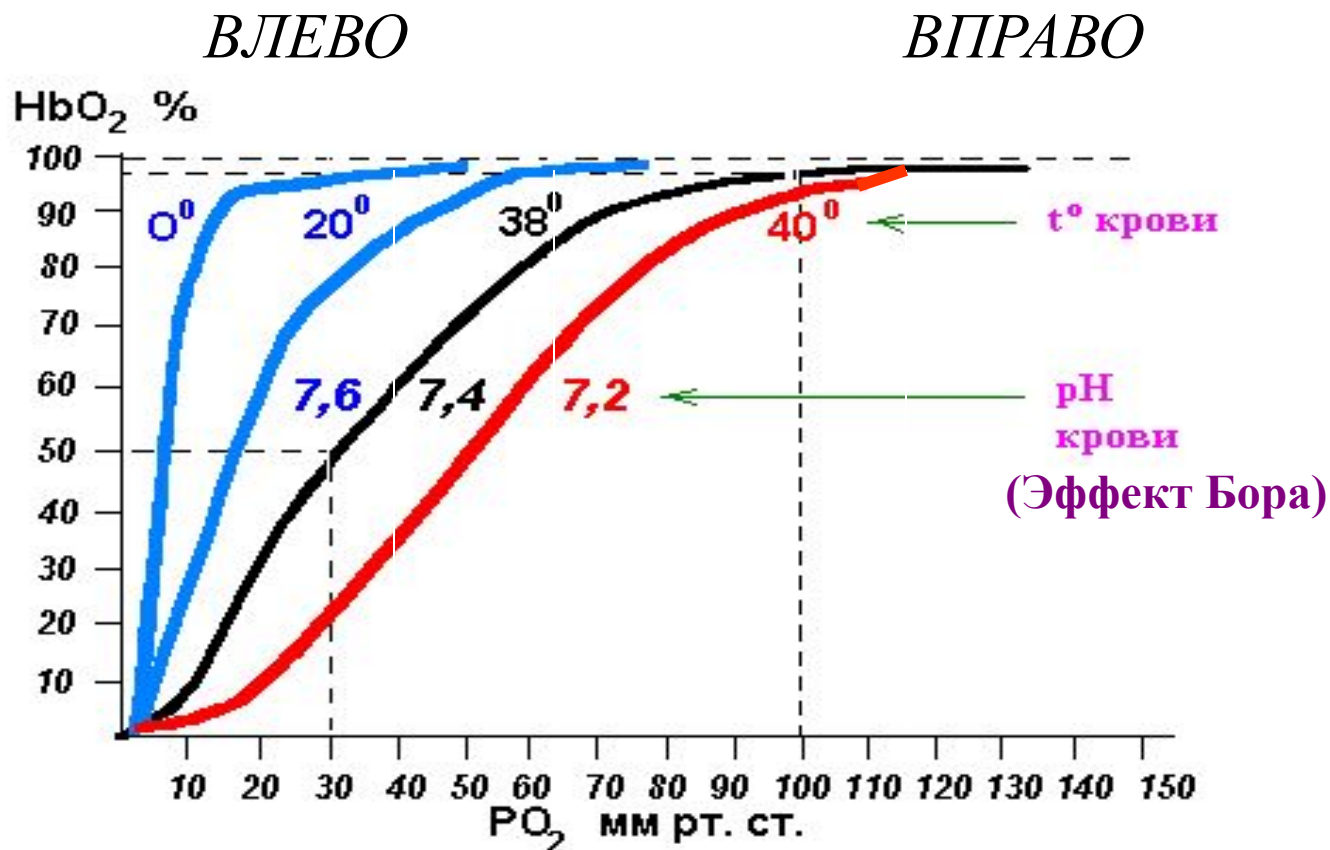
ХАРАКТЕРИСТИКИ КРОВИ

- $\text{Hb} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{HbO}_2$ $\text{HbO}_2 \rightleftharpoons \text{Hb} + \text{O}_2$
- Кислородная емкость крови - количество O_2 , которое связывается кровью до полного насыщения гемоглобина
- Константа Гюфнера: 1 г. Hb - 1,36 - 1,34 мл O_2
- Кислородная емкость крови = 190 мл O_2 в 1 л.
- Всего в крови содержится около 1 литра O_2
- Коэффициент утилизации кислорода = 30 - 40%

Кривая диссоциации оксигемоглобина



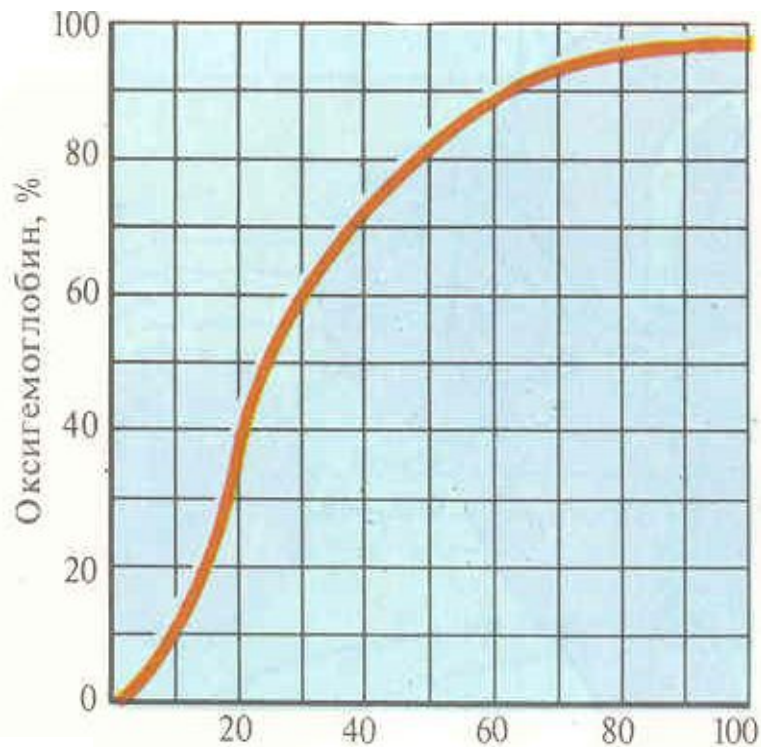
Сдвиги кривой диссоциации



Сдвиг влево - легче насыщение кислородом: <t; <Pco₂; <2,3-ДФГ; >рН

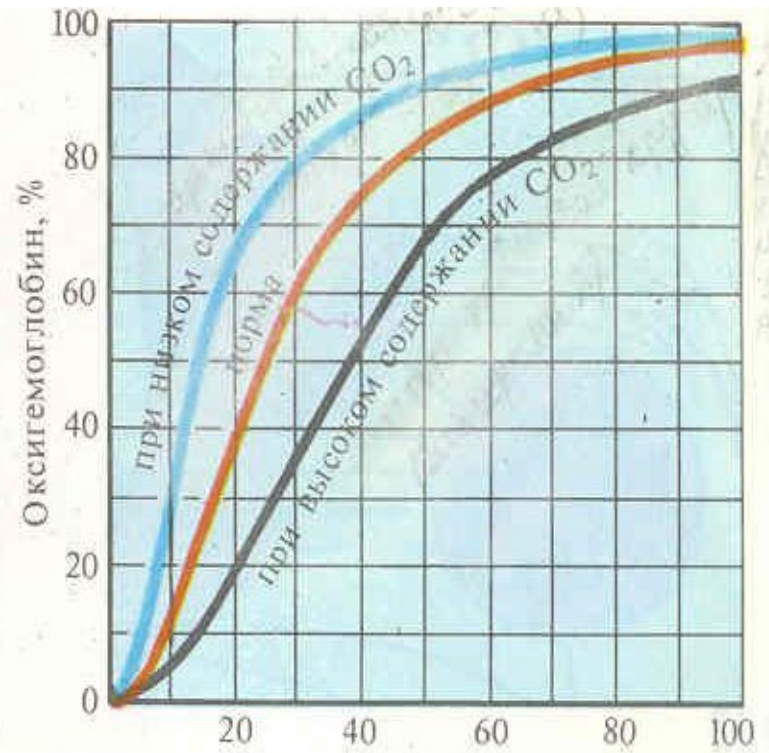
Сдвиг вправо - легче отдача кислорода: >t; >Pco₂; >2,3-ДФГ; <рН

КРИВЫЕ ДИССОЦИАЦИИ ГЕМОГЛОБИНА



I

Парциальное давление кислорода, мм рт. ст.



II

Транспорт CO_2 кровью

• ТРИ ФОРМЫ ТРАНСПОРТА :

- - физически растворенный газ - 5-10%

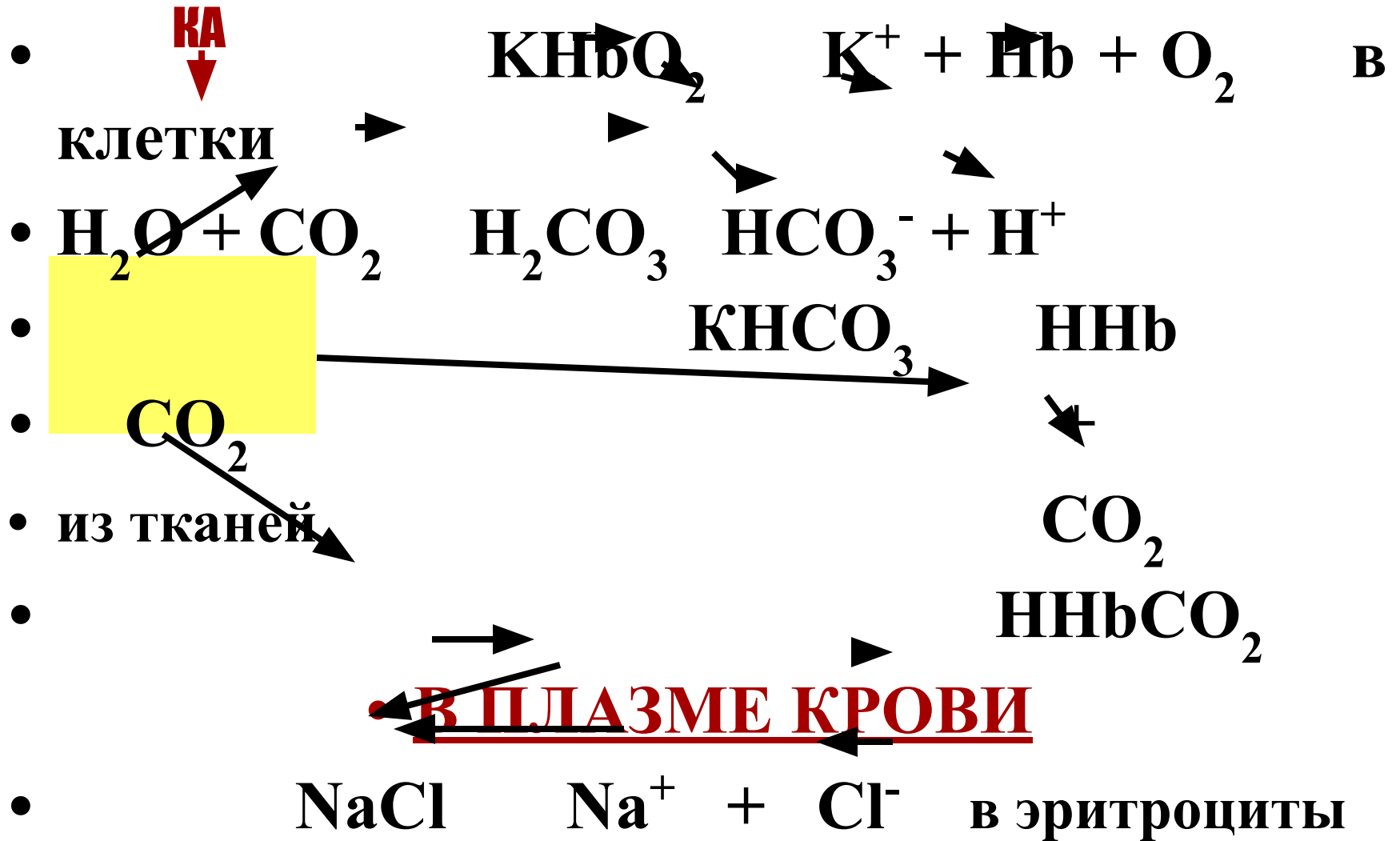
- - химически связанный в бикарбонатах:
в плазме NaHCO_3 , в эритроцитах KHCO_3 -
80-90%



- - связанный в карбаминовых соединениях
гемоглобина: $\text{Hb} \cdot \text{NH}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{HbNHCOOH}$ -
5-15%

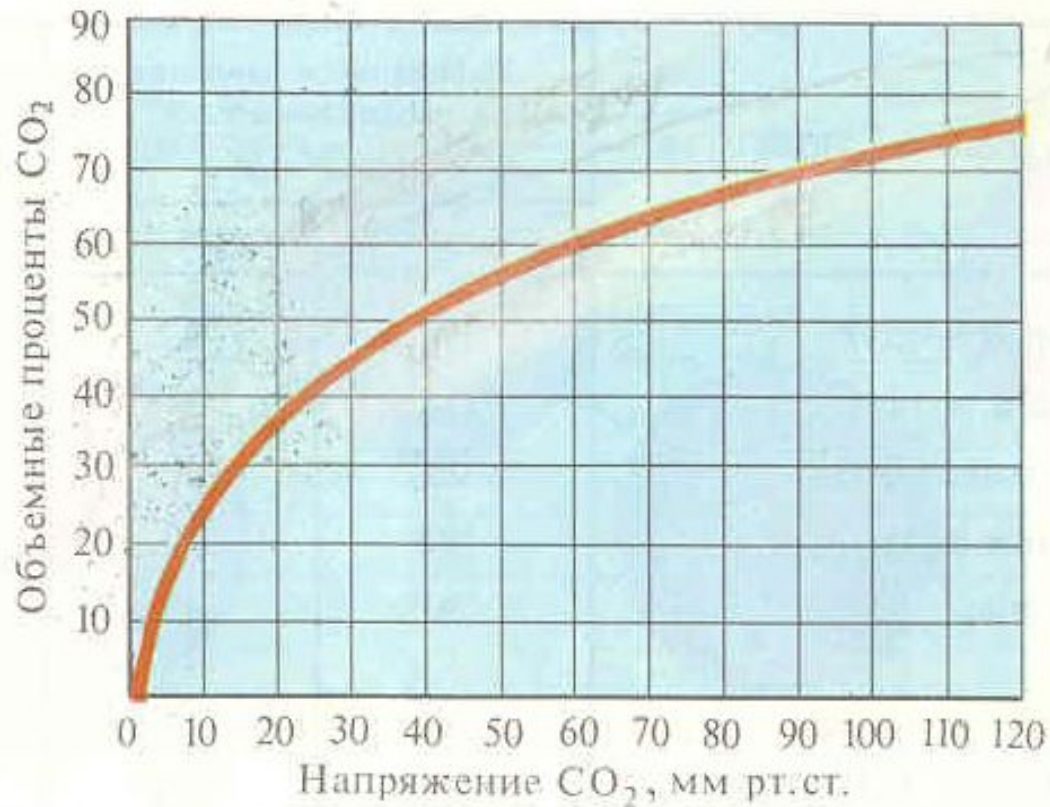
Транспорт CO₂ кровью

• В ЭРИТРОЦИТАХ

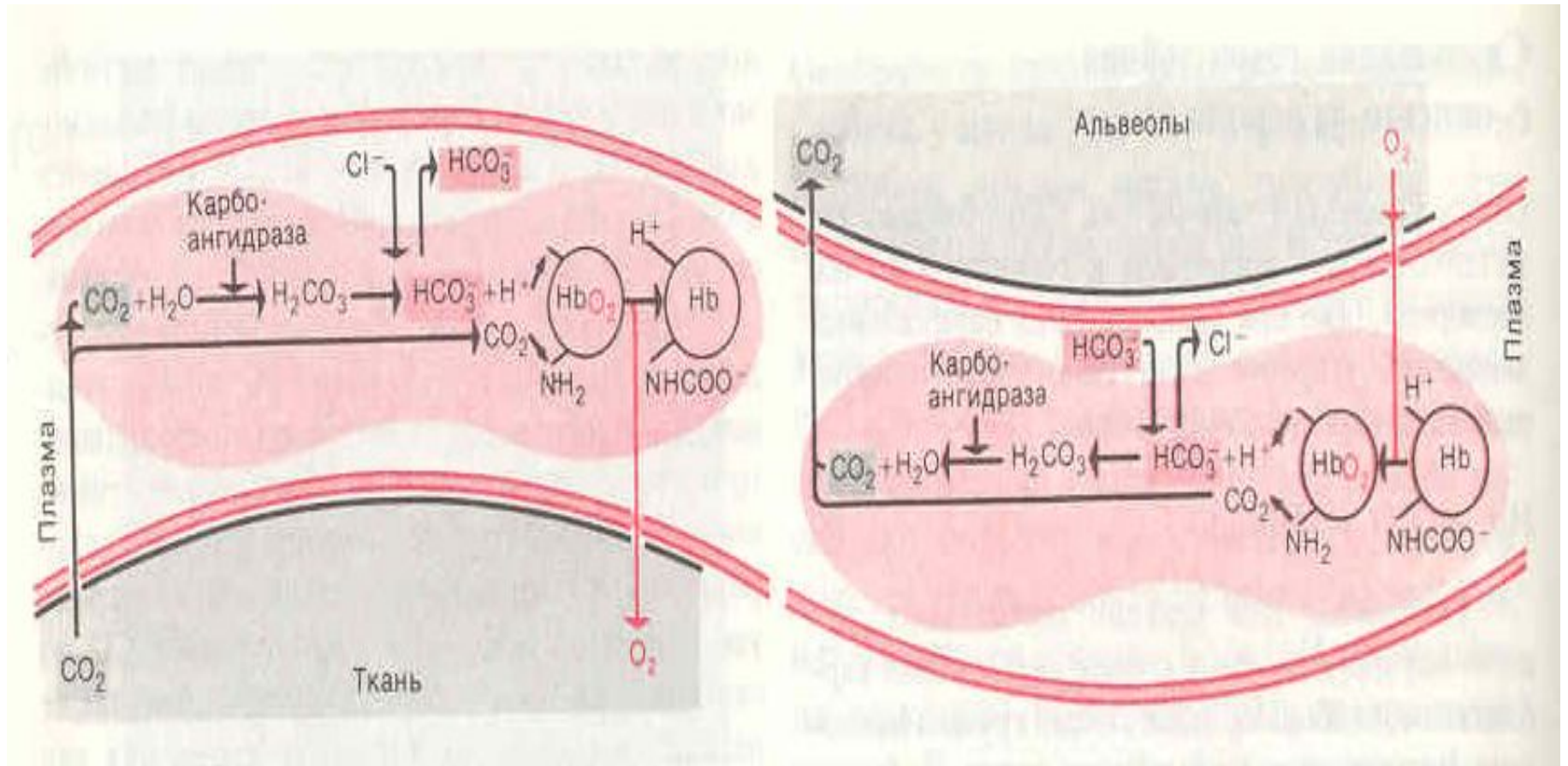


•
•
•

Зависимость содержания CO_2 в крови от его парциального давления



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



Каскад кислорода

