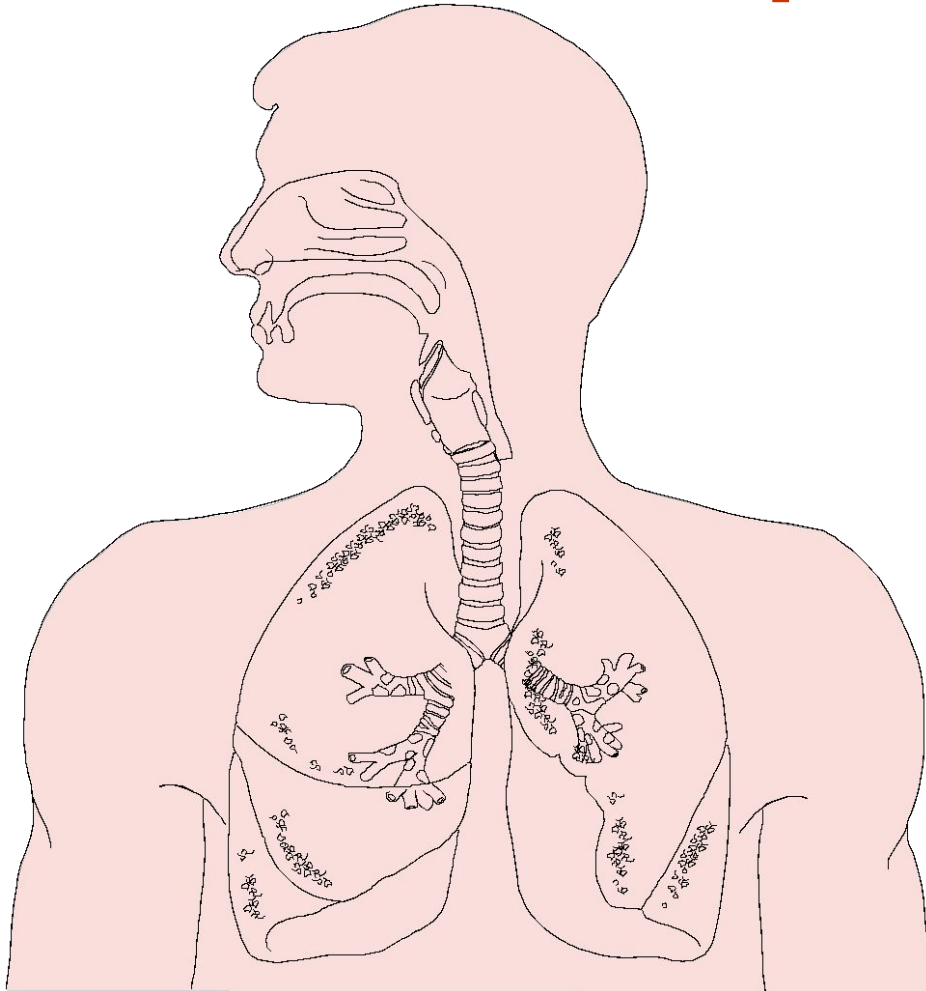


•  
•  
•

# 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**

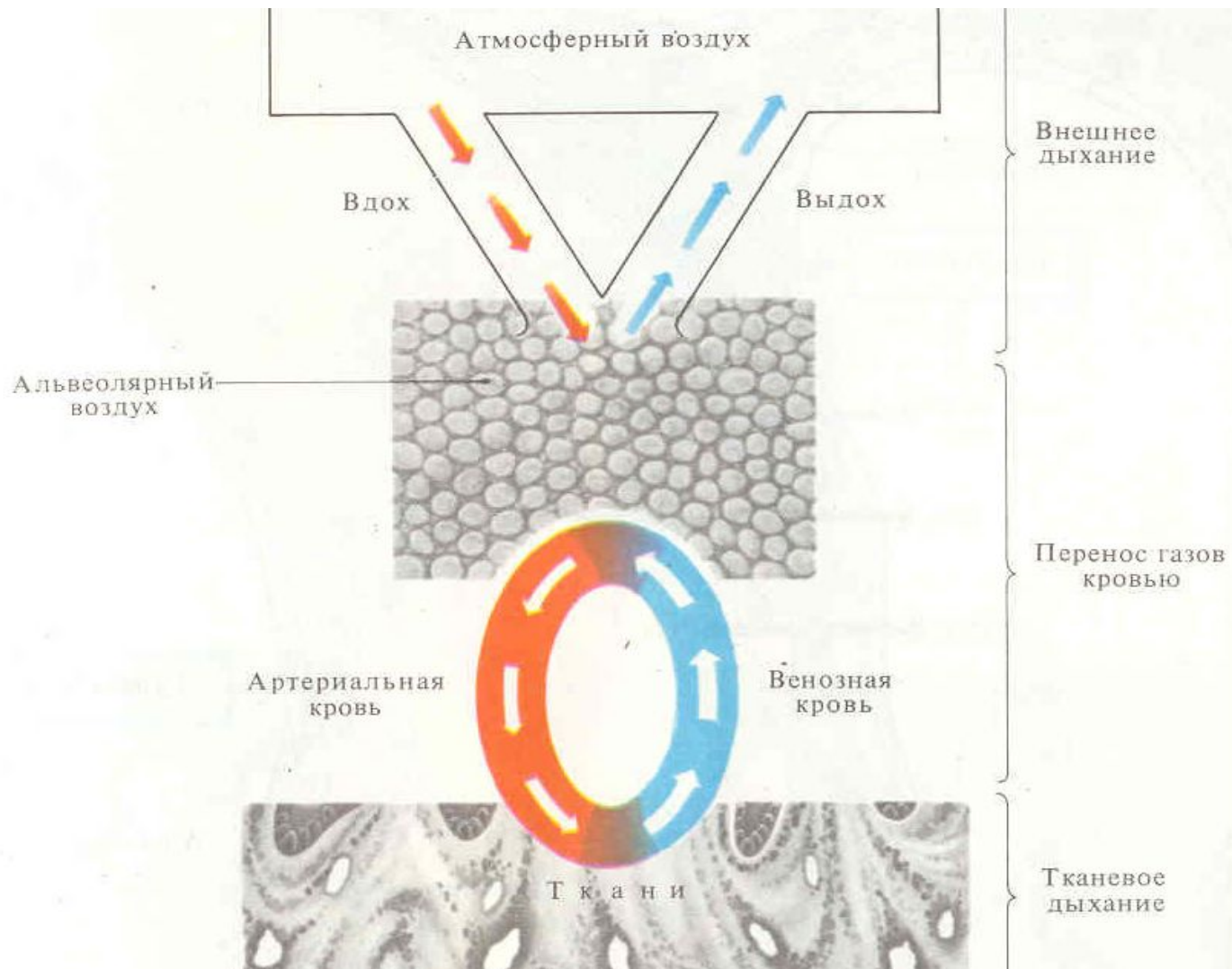
- Диффузия газов в легких

- **- ТРАНСПОРТ ГАЗОВ КРОВЬЮ**

- Диффузия газов в тканях

- **ВНУТРЕННЕЕ или ТКАНЕВОЕ ДЫХАНИЕ**

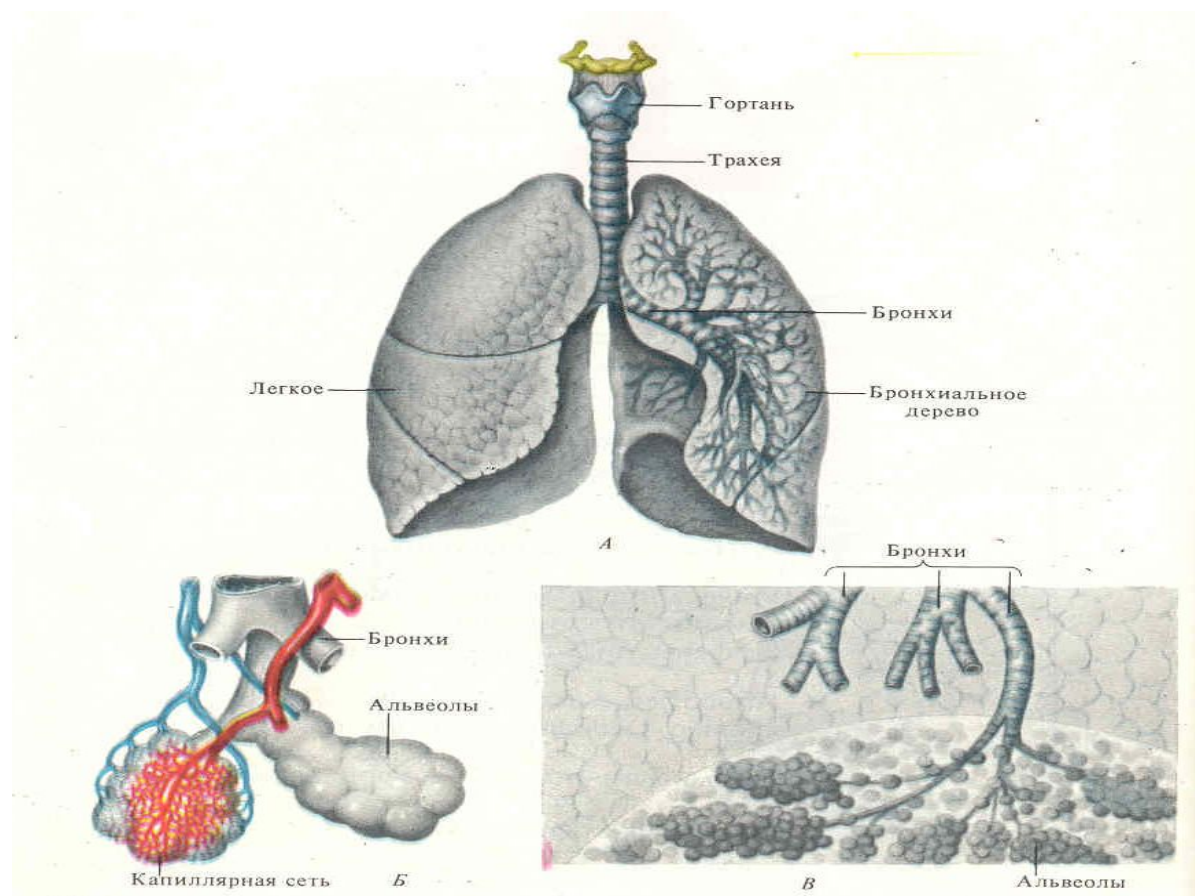
# Этапы дыхания



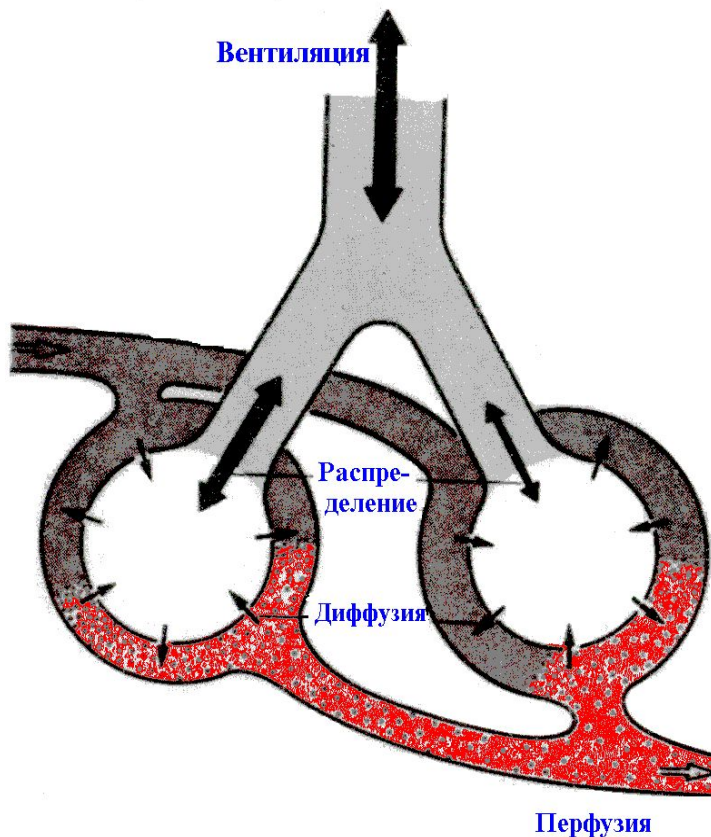
## **Структура аппарата внешнего дыхания**

- 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:

---

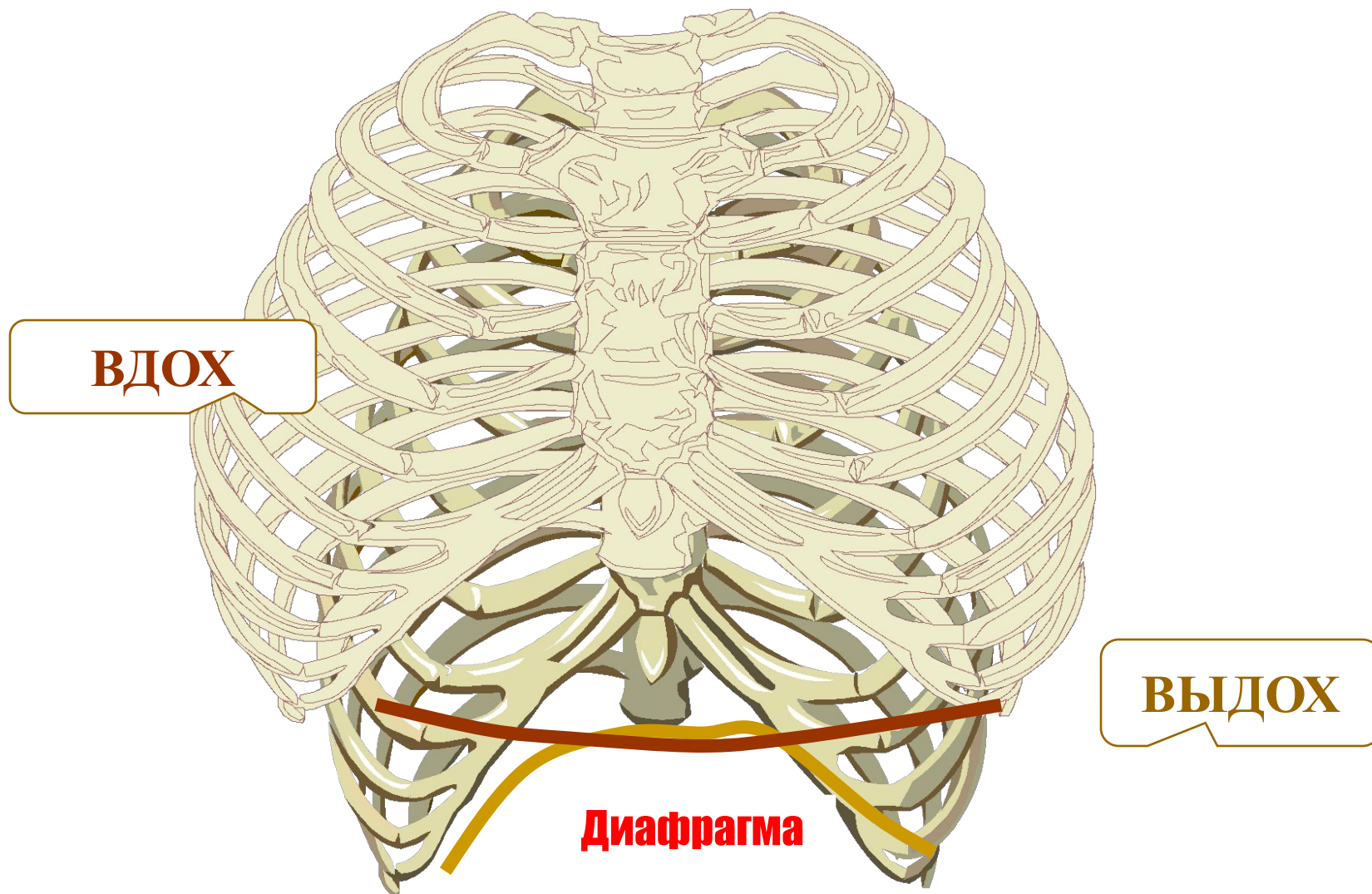
- - Вентиляция

- - Диффузия

- - Перфузия



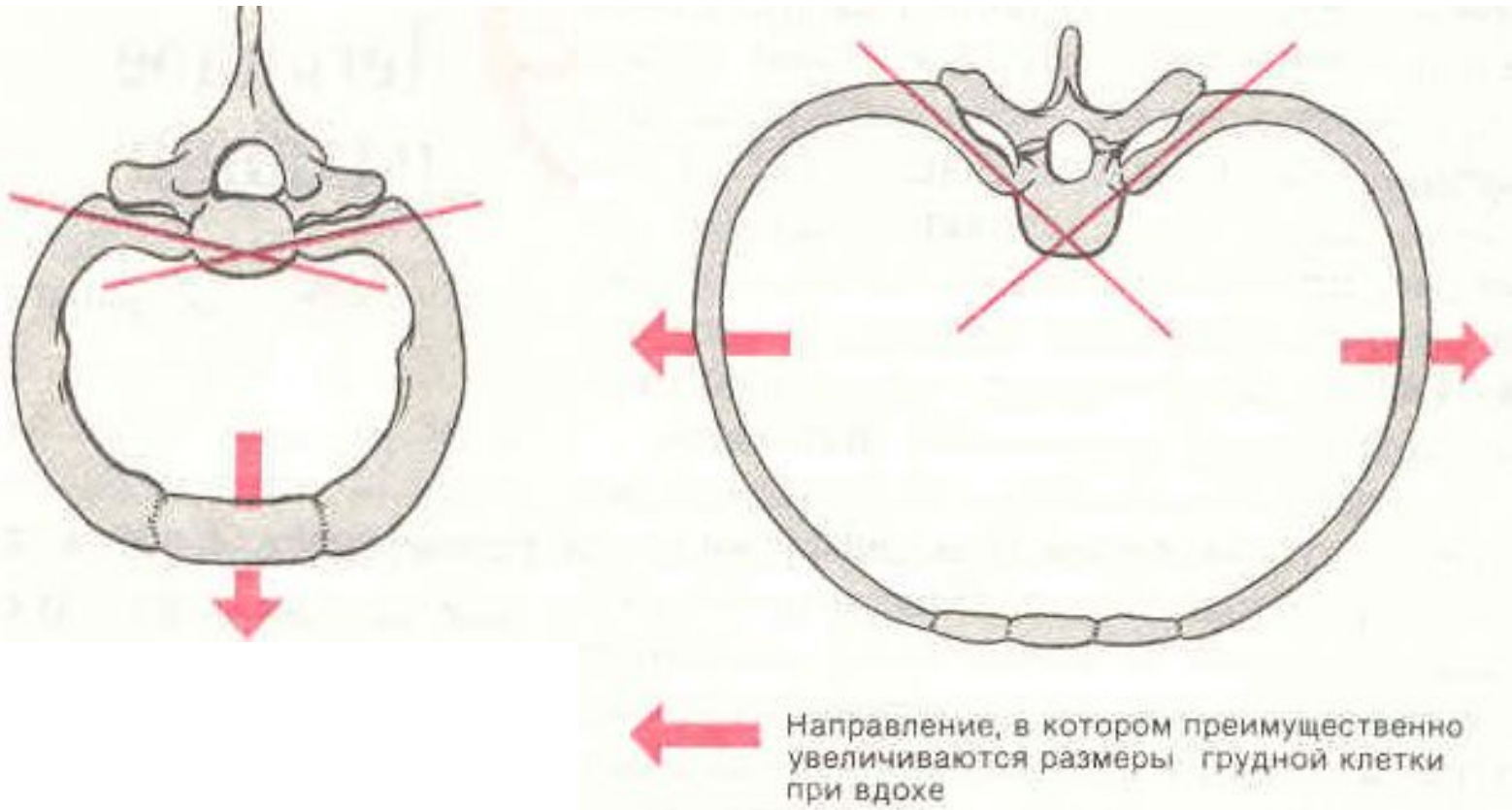
# Изменения формы грудной клетки при вдохе и выдохе



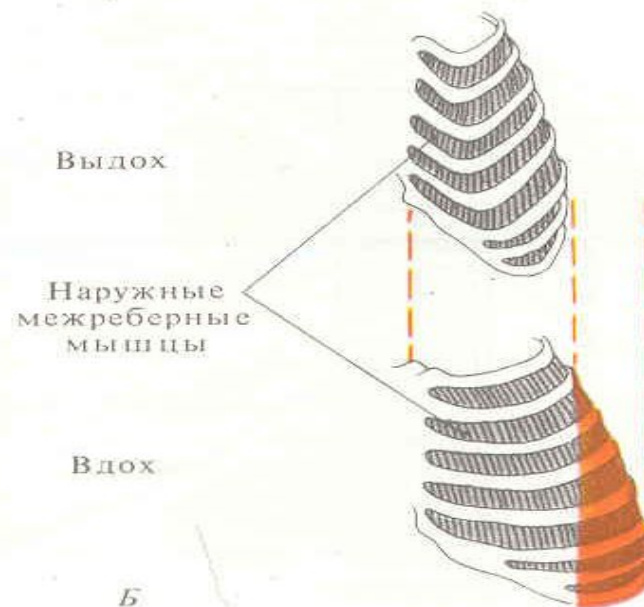
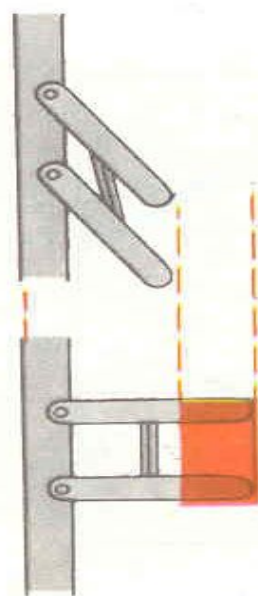
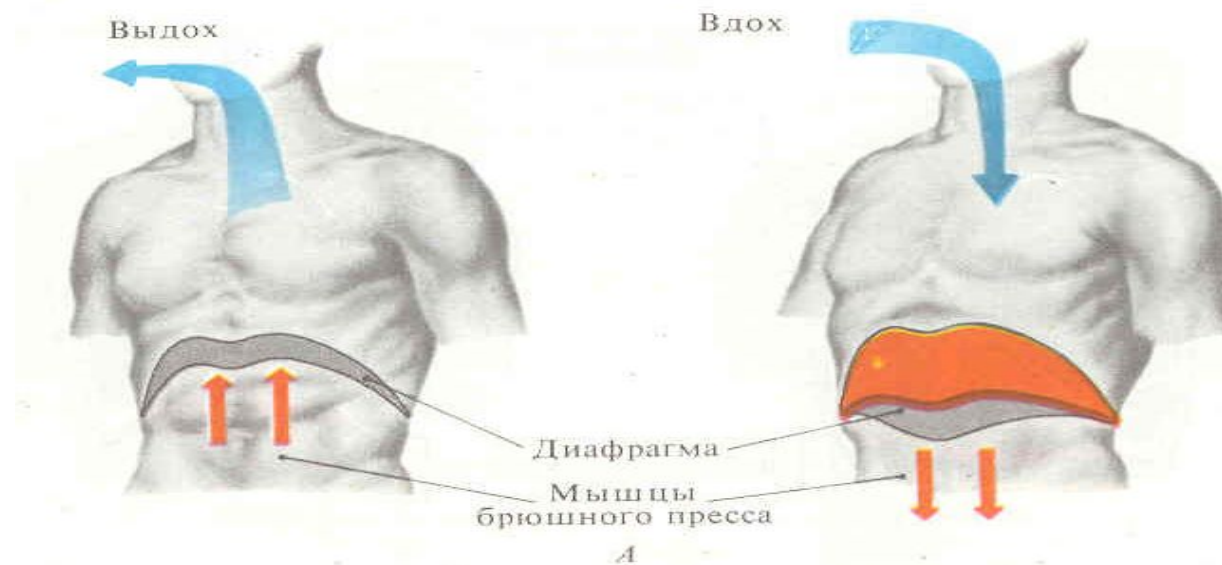


- 
- 
- 

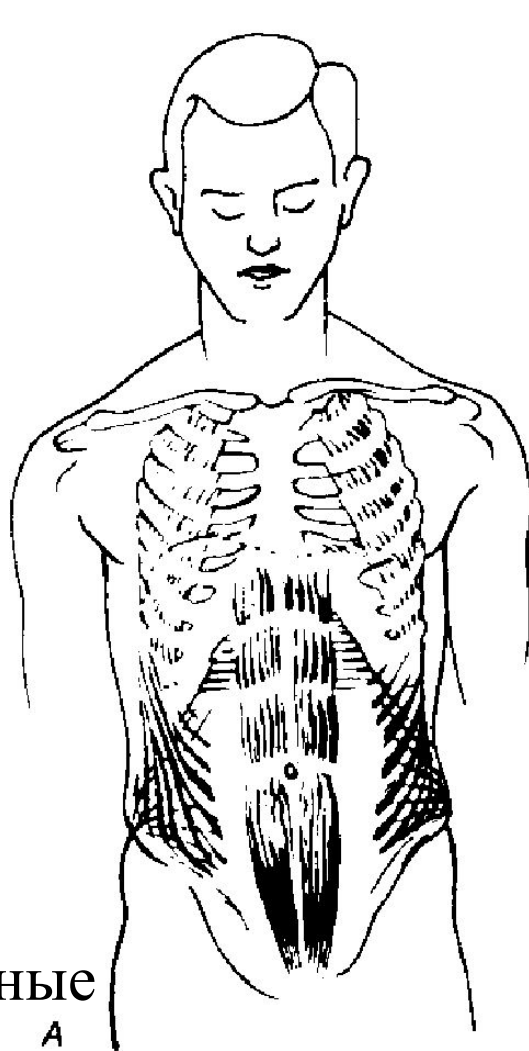
## Направление вращения первого и шестого ребер при вдохе



# Механизм дыхательных движений

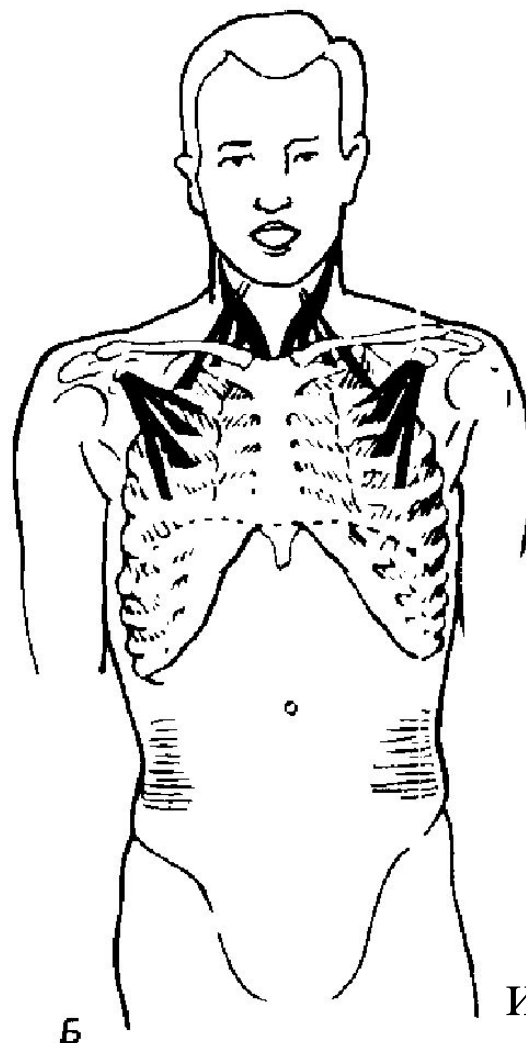


# Вспомогательные дыхательные мышцы



эксспираторные

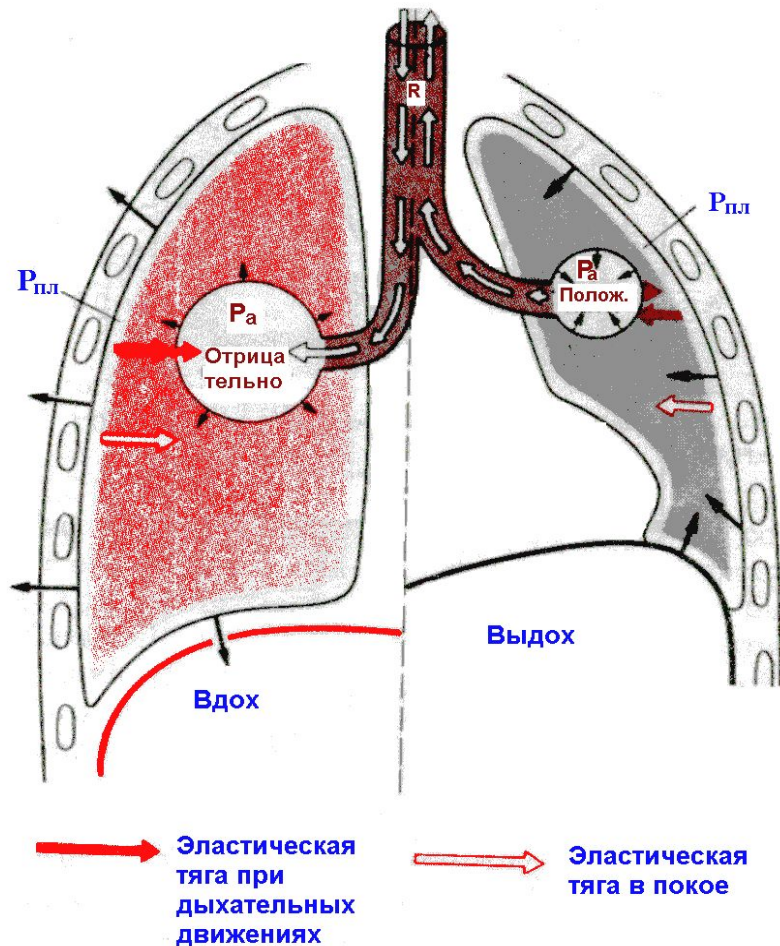
А



Б

инспираторные

# Механизм вдоха и выдоха

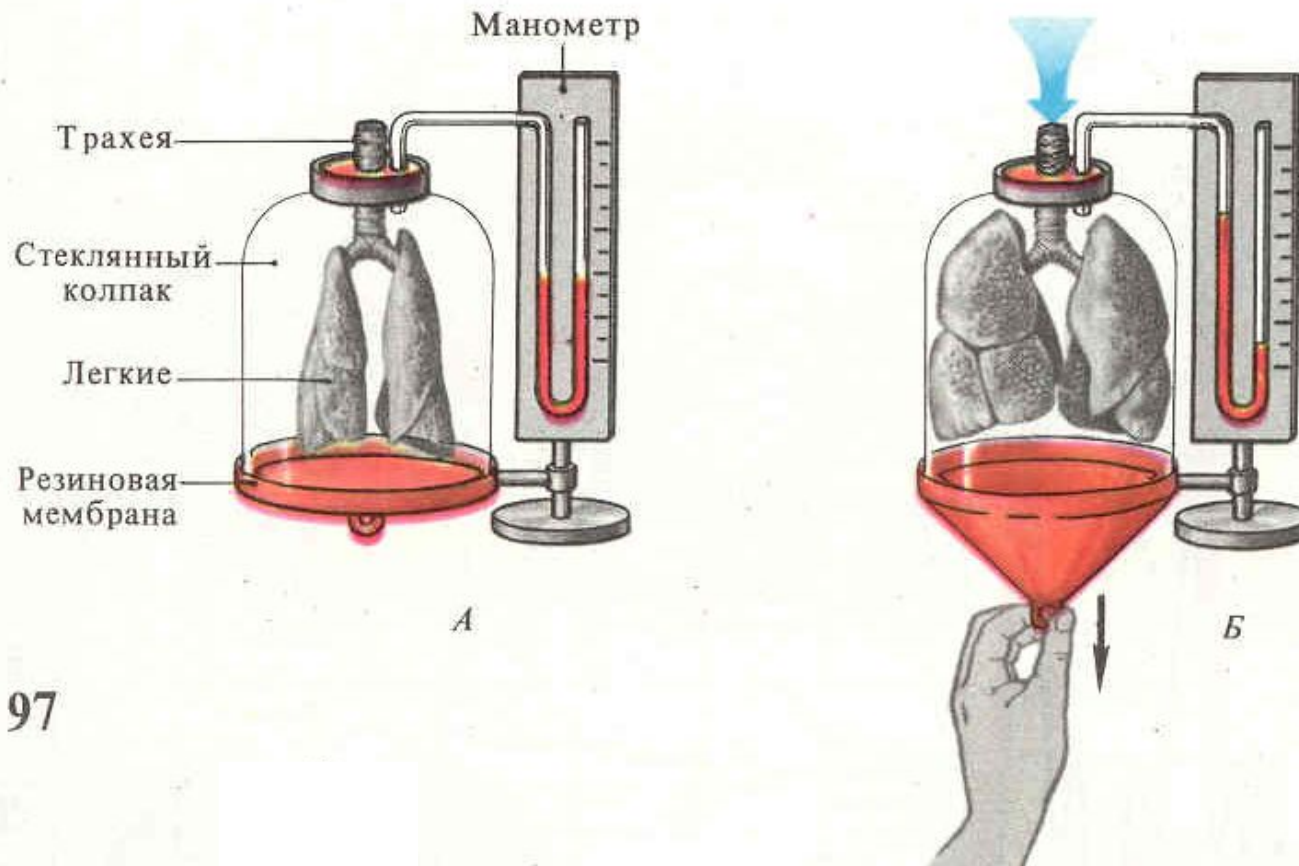


- Транспульмональное давление:  

$$P_{\text{трп}} = P_{\text{альв}} - P_{\text{плевр}}$$
- 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:  

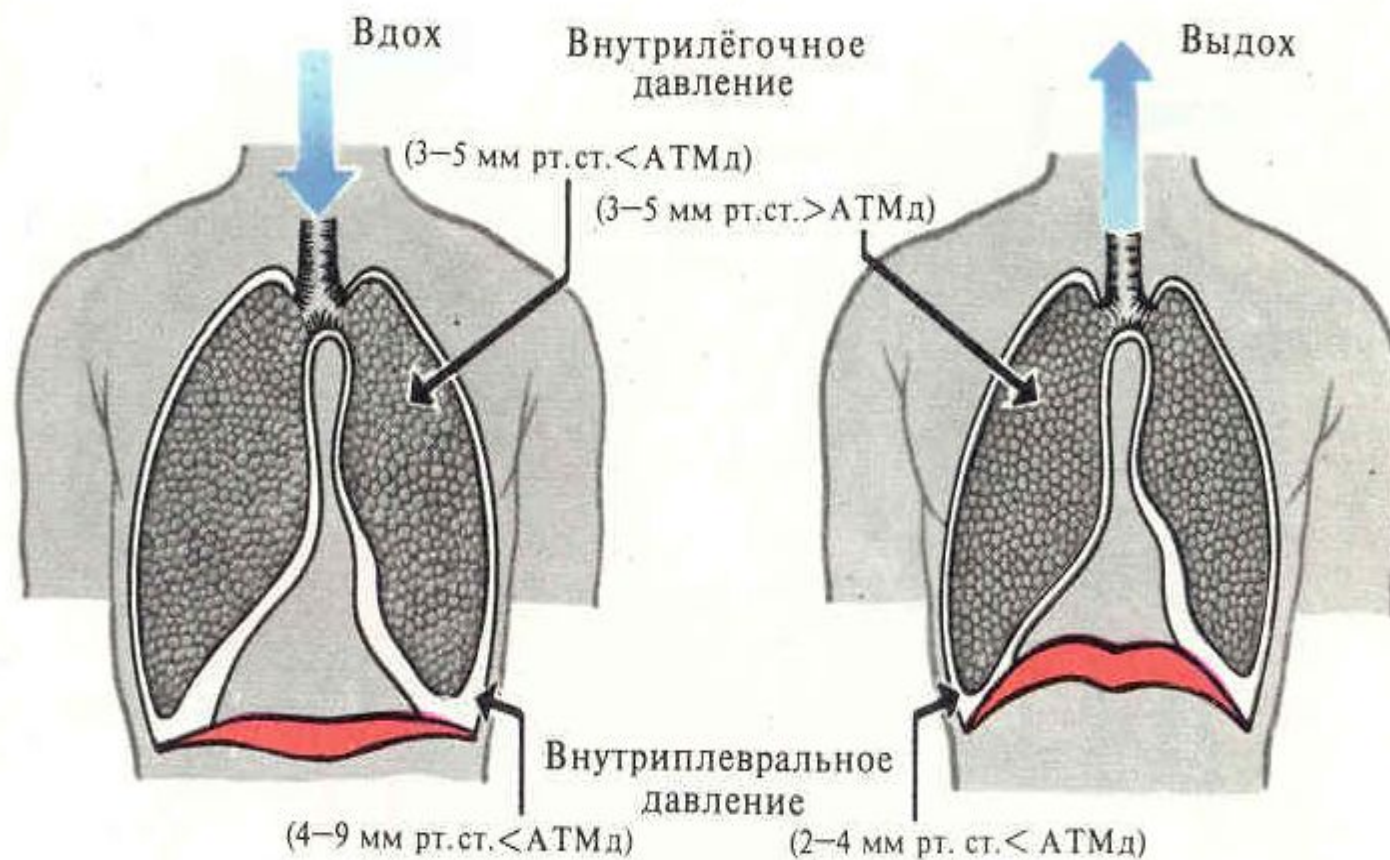
$$P_{\text{трр}} = P_{\text{альв.}} - P_{\text{внешн.}}$$
- На вдохе:  $P_{\text{трр}} = 756 - 760 = -4 \text{ мм Нг}$   
 На выдохе:  $P_{\text{трр}} = 764 - 760 = +4 \text{ мм Нг}$
- Эластическая тяга дыхания =  
 эластическая тяга легких +  
 эластическая тяга грудной клетки

# Модель Дондерса

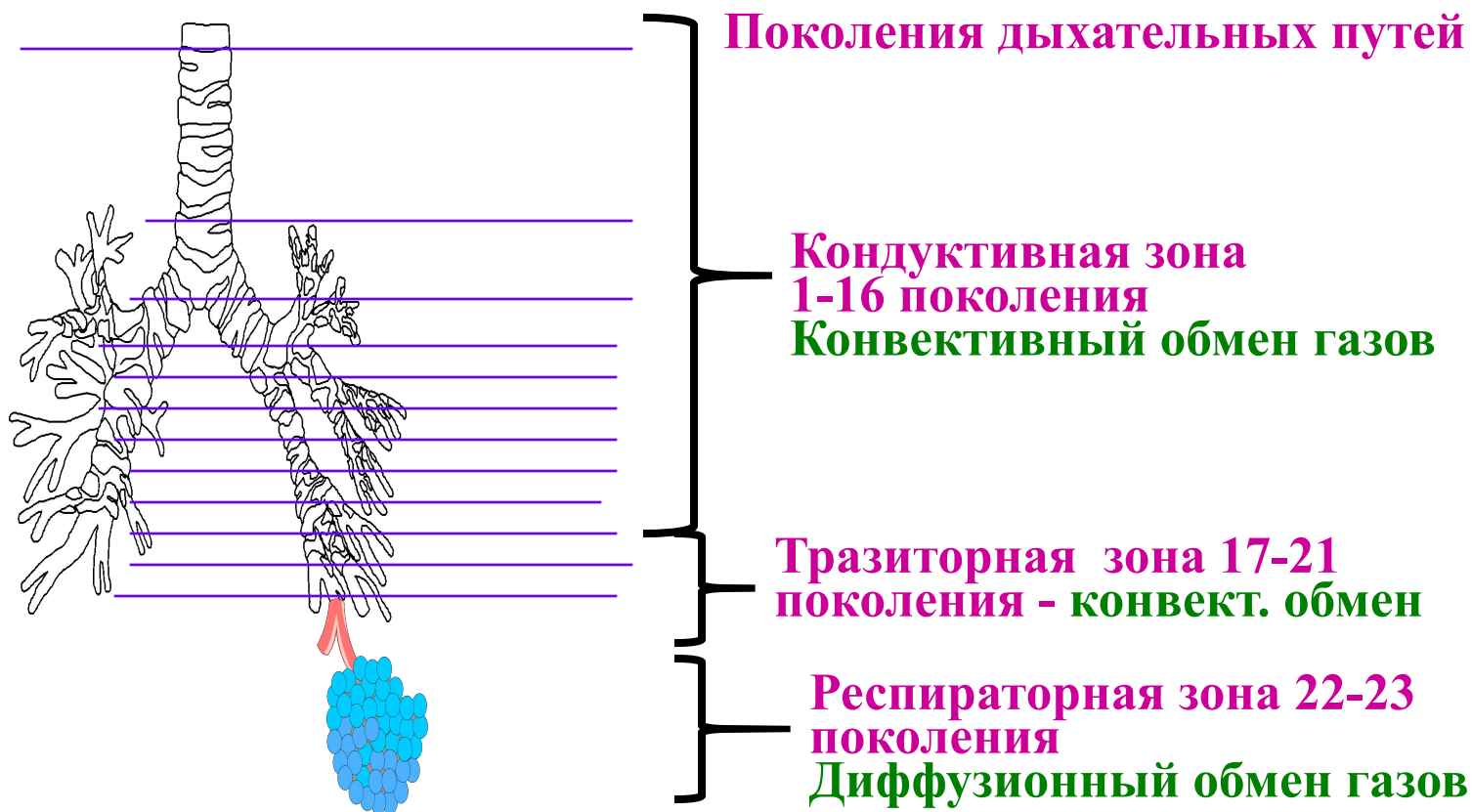




# Внутрилегочное и внутриплевральное давление на вдохе и выдохе

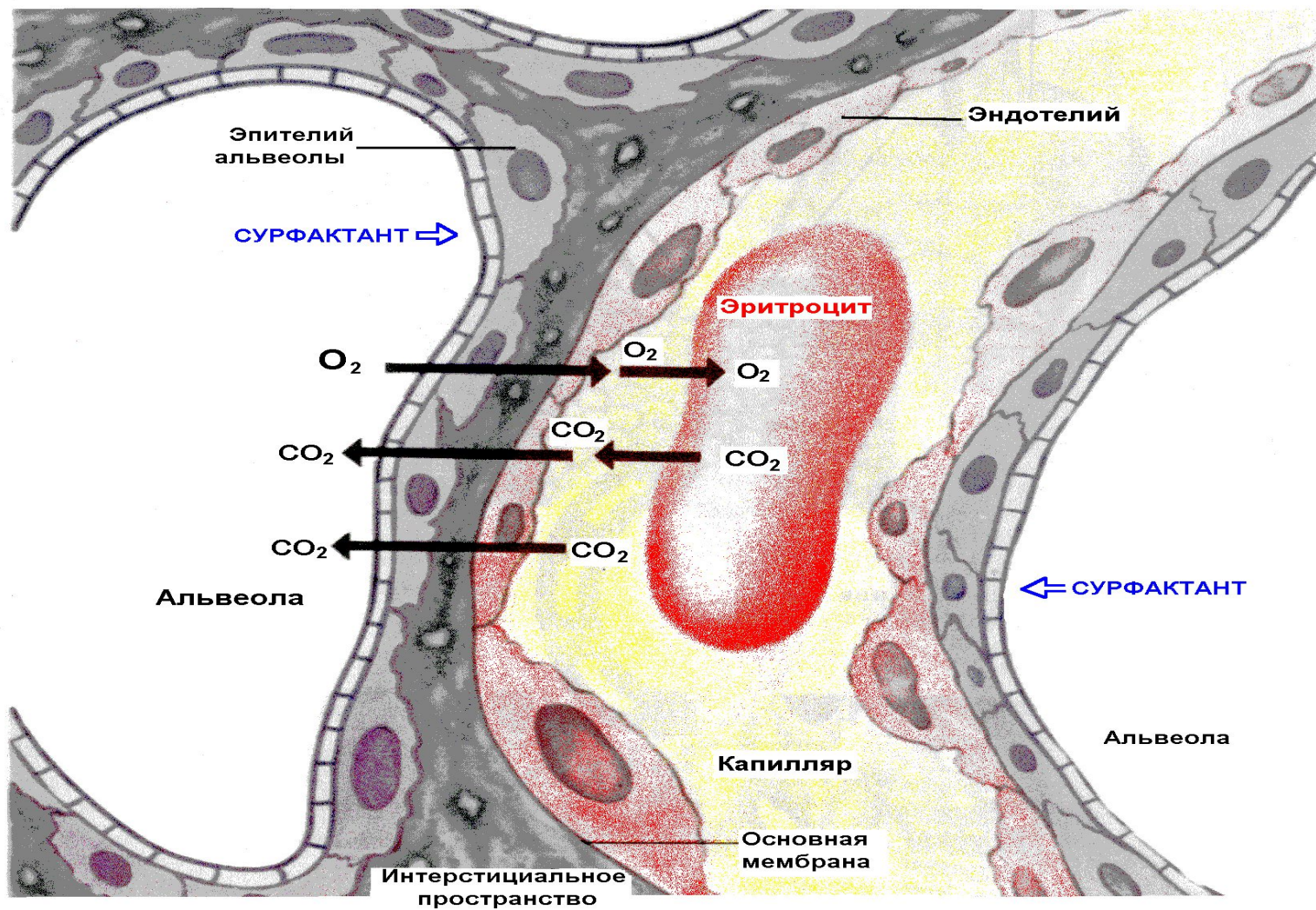


# Ветвления и зоны трахеобронхиального дерева





# АЗРОГЕМАТИЧЕСКИЙ БАРЬЕР



# Парциальное давление

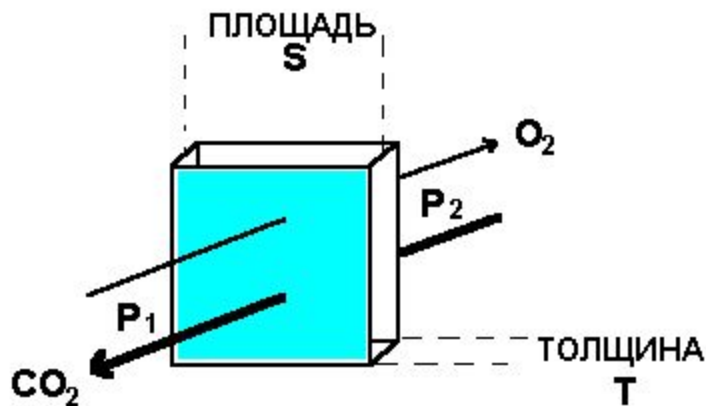
- Парциальное давление - часть общего давления смеси газов, приходящаяся на отдельный газ (если бы он занимал весь объем смеси)

- ЗАКОН ДАЛЬТОНА

$$P_{\text{газа}} = \frac{P_{\text{смеси}} \times C (\%)}{100\%}$$

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

# 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

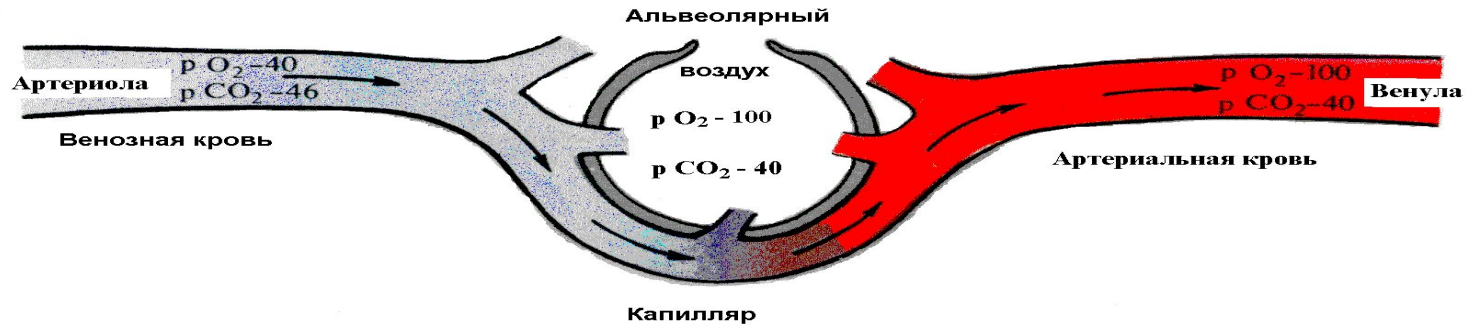
- Для кислорода:

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

- Для  $\text{CO}_2$ :

- $P_{\text{вен.крови}} = 46 \text{ мм Нг}$
- $P_{\text{альв.возд.}} = 40 \text{ мм Нг}$
- $P_1 - P_2 = 6 \text{ мм Нг}$
- $DK \text{ CO}_2 > DK \text{ O}_2$  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

| <b>ЗОНА<br/>Легких</b> | <b>Кровоток<br/>на %<br/>объема</b> | <b>Вентиляция<br/>на %<br/>объема</b> | <b>ВПК</b> | <b>P O<sub>2</sub><br/>в крови<br/>( мм<br/>Hg)</b> |
|------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------|
| <b>1<br/>Верхушки</b>  | <b>0,01</b>                         | <b>0,03</b>                           | <b>3,0</b> | <b>120</b>                                          |
| <b>2<br/>Средняя</b>   | <b>0,06</b>                         | <b>0,05</b>                           | <b>0,8</b> | <b>98</b>                                           |
| <b>3<br/>Основания</b> | <b>0,1</b>                          | <b>0,07</b>                           | <b>0,7</b> | <b>92</b>                                           |



# 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**

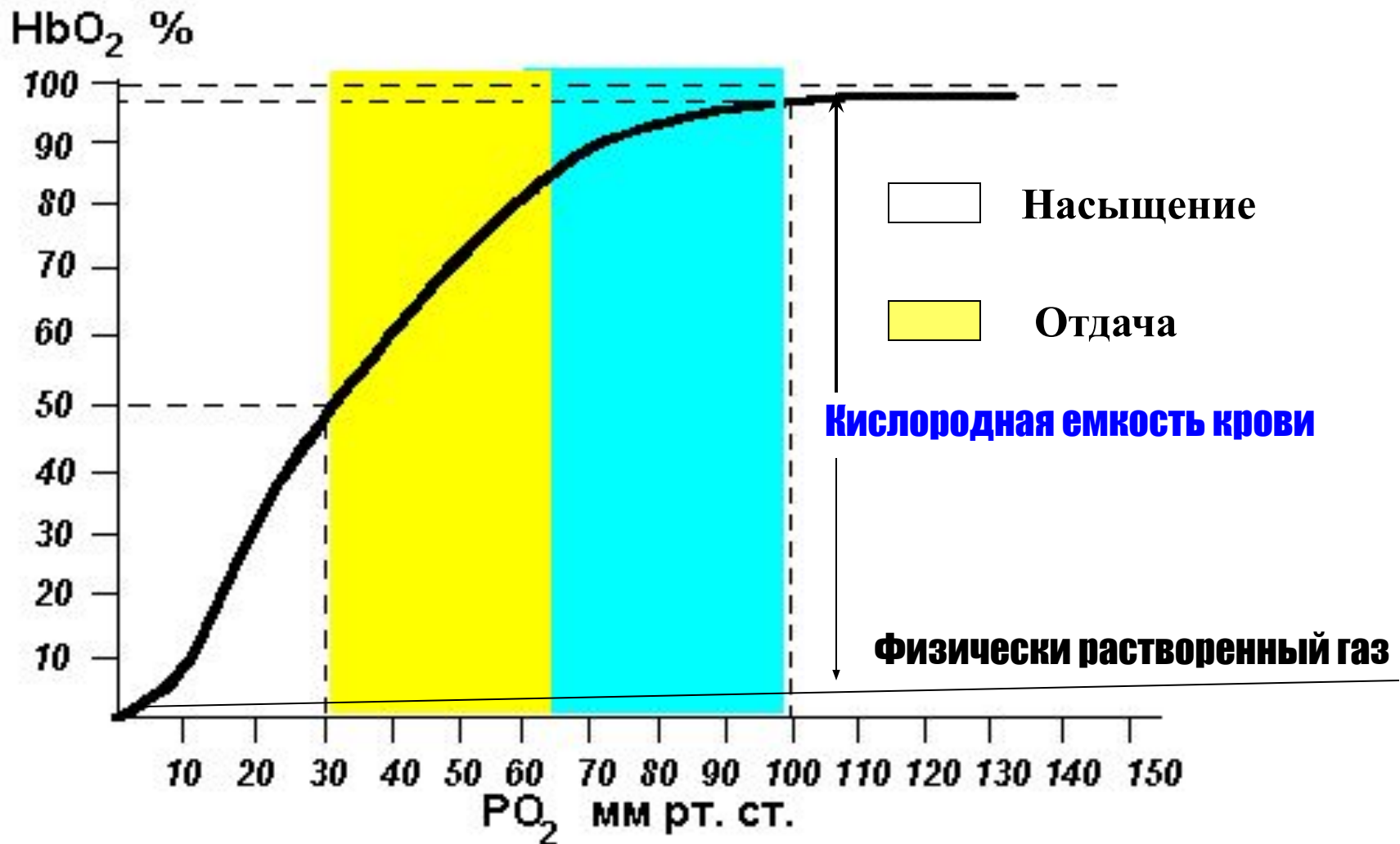
•  
• **Соотношение вентиляции и перфузии в разных отделах легких. Распределение вентиляционно-перфузионного коэффициента (ВПК)**



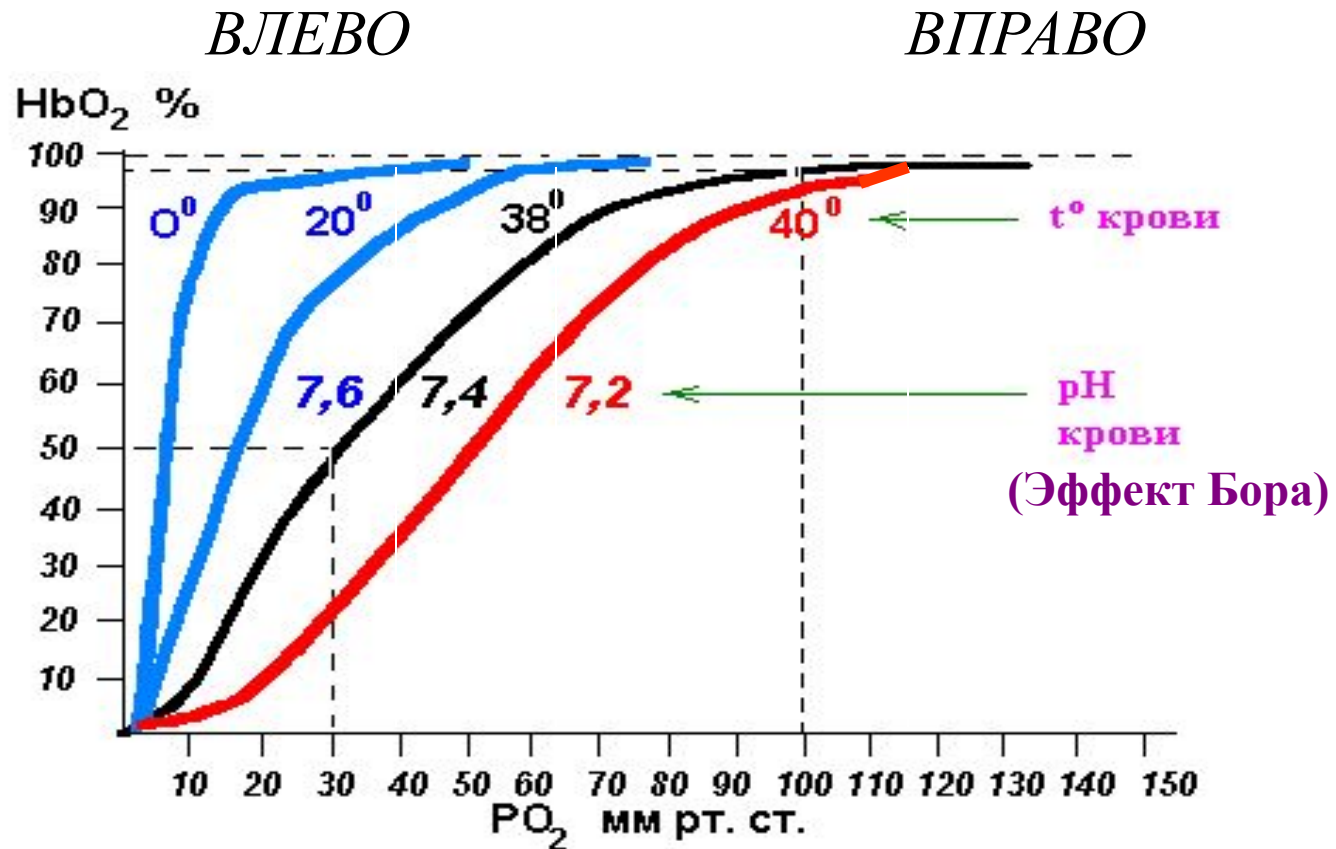
# ХАРАКТЕРИСТИКИ КРОВИ

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

# Кривая диссоциации оксигемоглобина

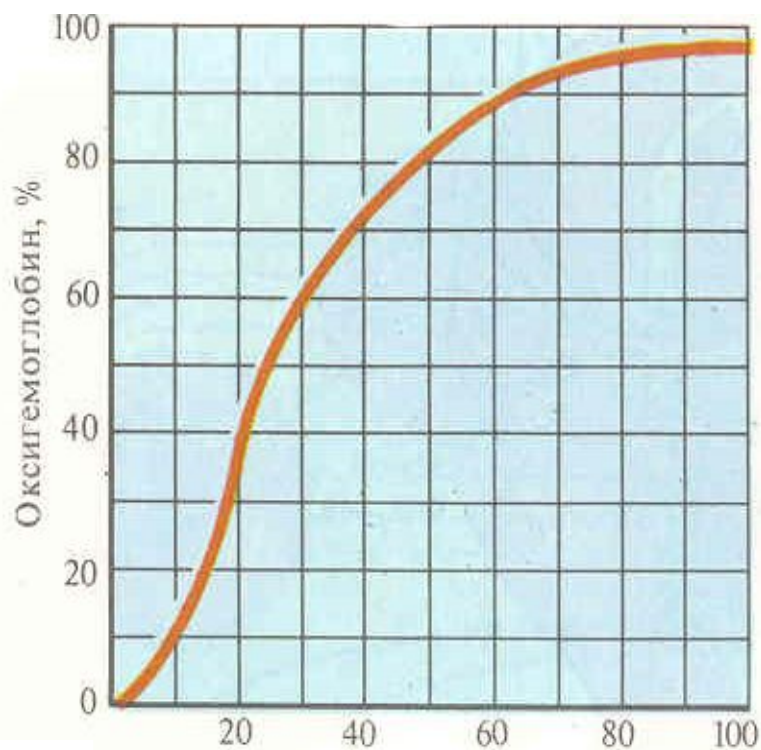


# Сдвиги кривой диссоциации

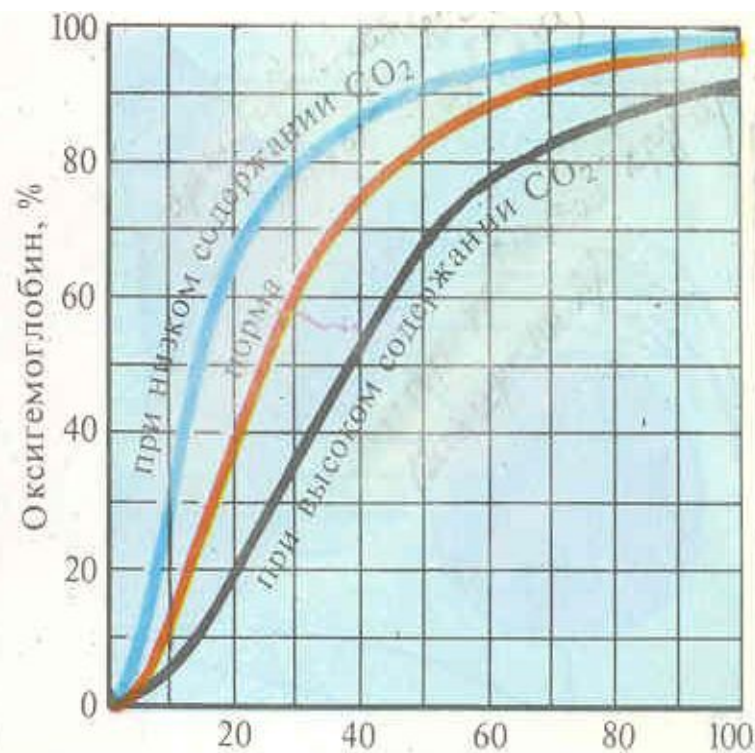


**Сдвиг влево - легче насыщение кислородом:  $<t$ ;  $<P_{CO_2}$ ;  $<2,3\text{-ДФГ}$ ;  $>pH$**   
**Сдвиг вправо - легче отдача кислорода:  $>t$ ;  $>P_{CO_2}$ ;  $>2,3\text{-ДФГ}$ ;  $<pH$**

# КРИВЫЕ ДИССОЦИАЦИИ ГЕМОГЛОБИНА



I Парциальное давление кислорода, мм рт. ст.



II



# Транспорт $\text{CO}_2$ кровью

- ТРИ ФОРМЫ ТРАНСПОРТА :

- - физически растворенный газ - 5-10%

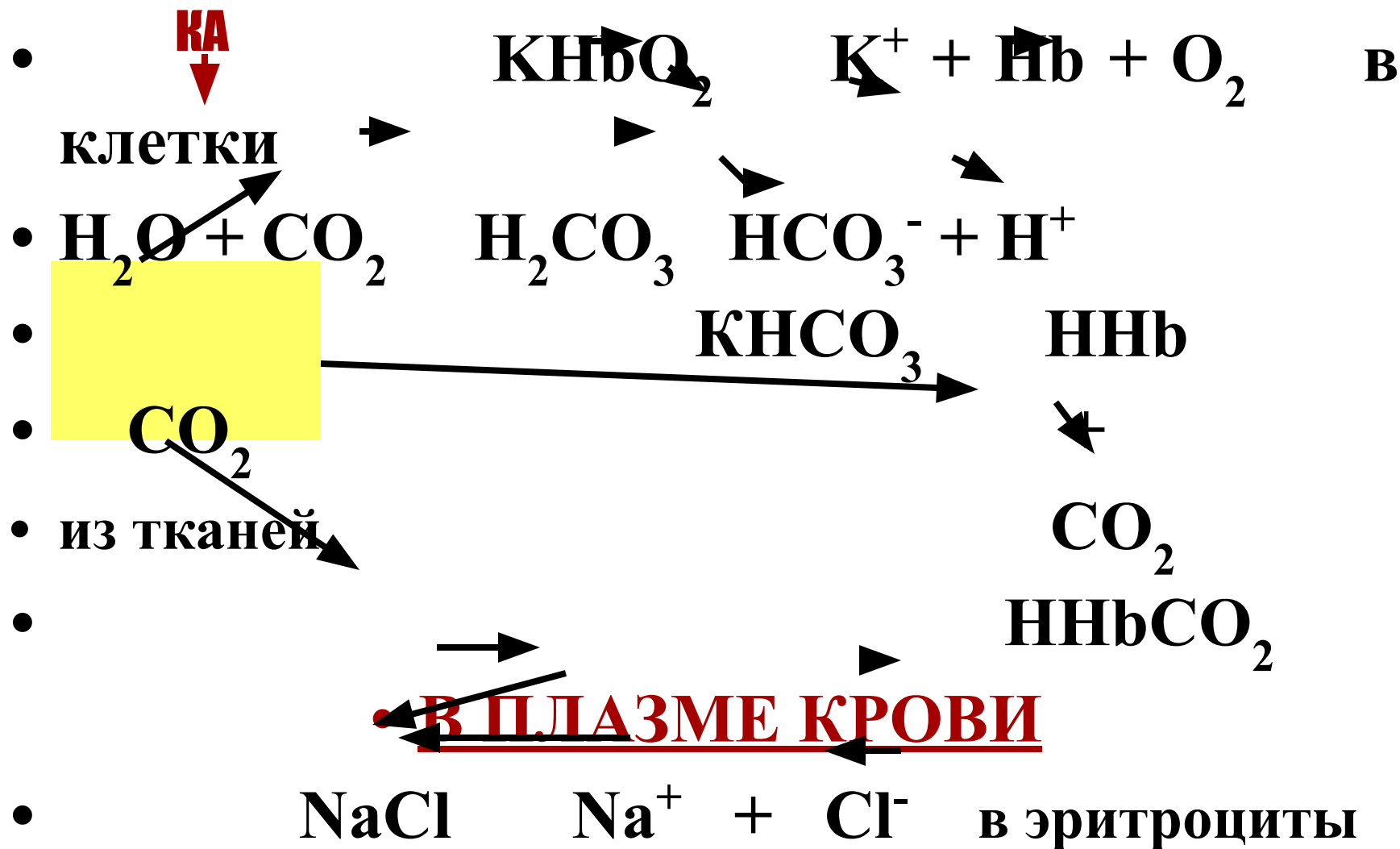
- - химически связанный в бикарбонатах:  
в плазме  $\text{NaHCO}_3$ , в эритроцитах  $\text{KHCO}_3$  -  
80-90%



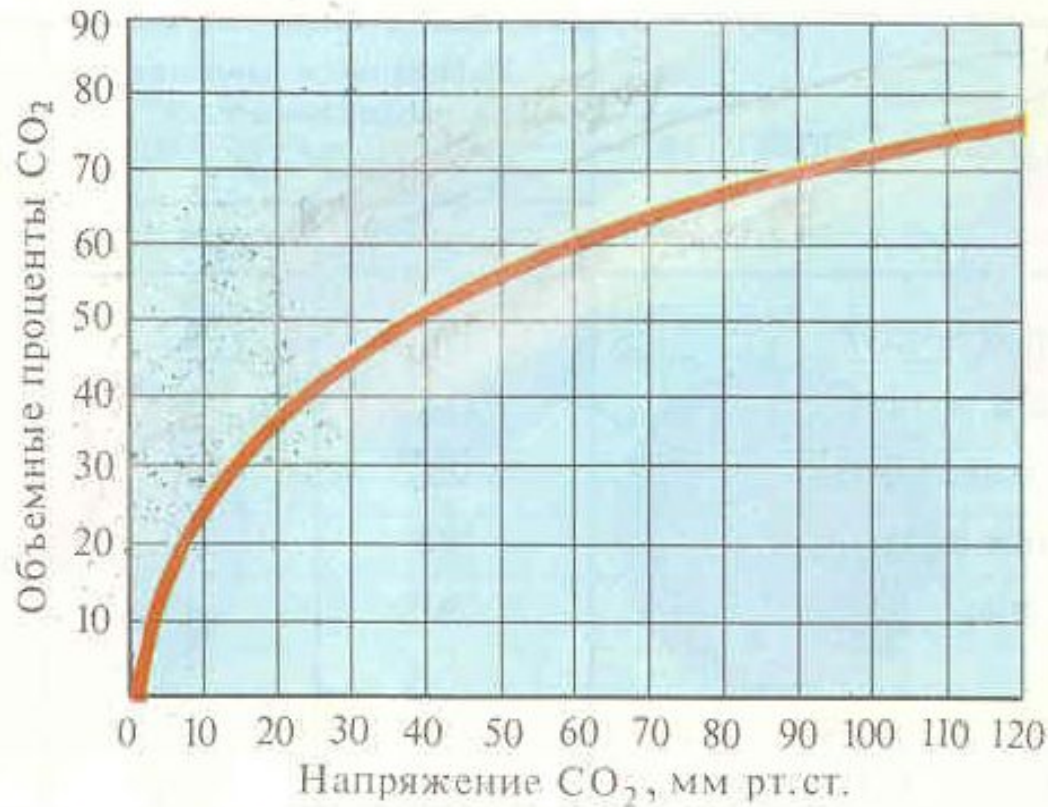
- - связанный в карбаминových соединениях  
гемоглобина:  $\text{Hb} \cdot \text{NH}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{HbNHCOOH}$  -  
5-15%

- В ЭРИТРОЦИТАХ

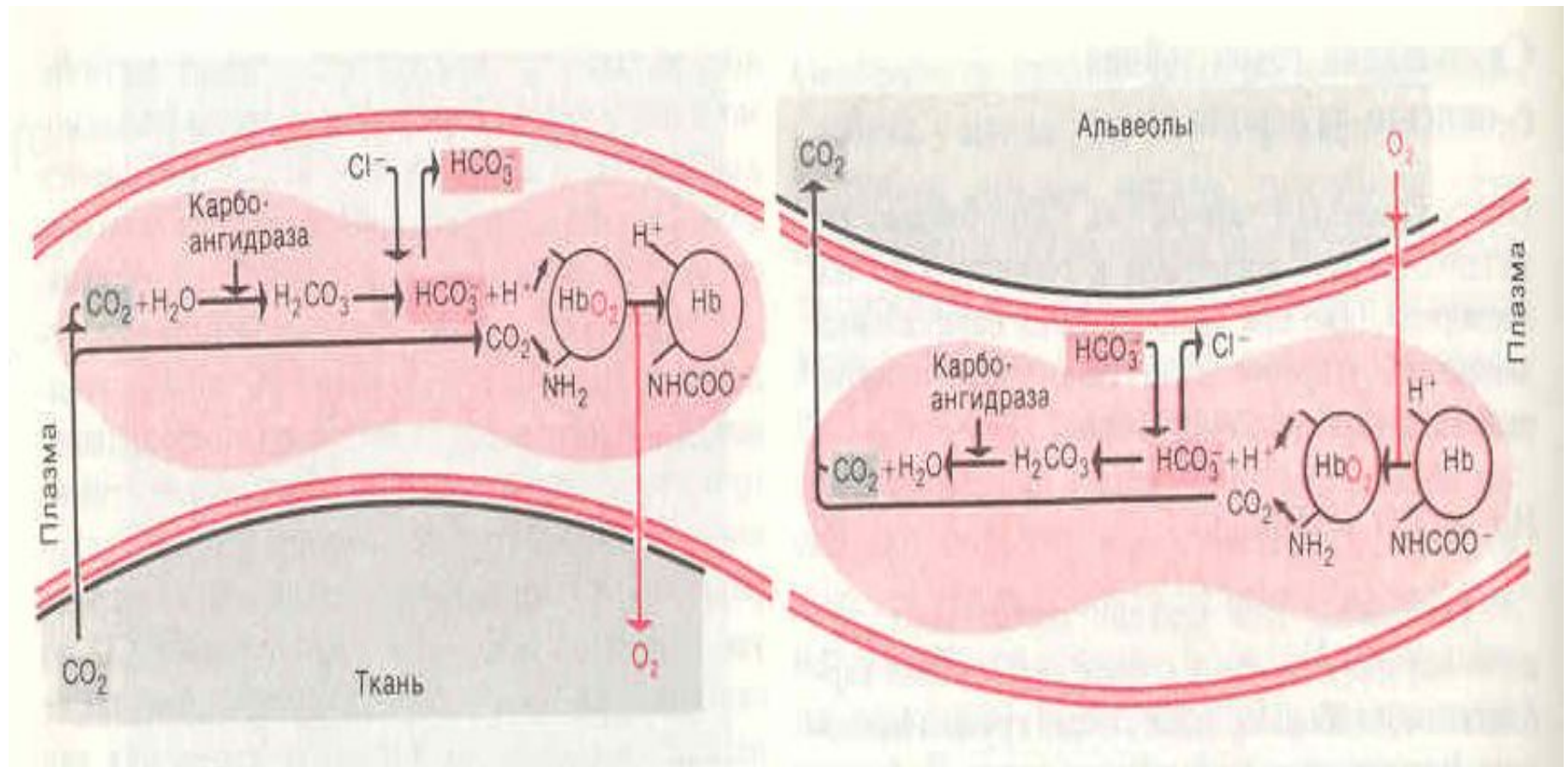
## • В ЭРИТРОЦИТАХ



## Зависимость содержания $\text{CO}_2$ в крови от его парциального давления



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



# Каскад кислорода

