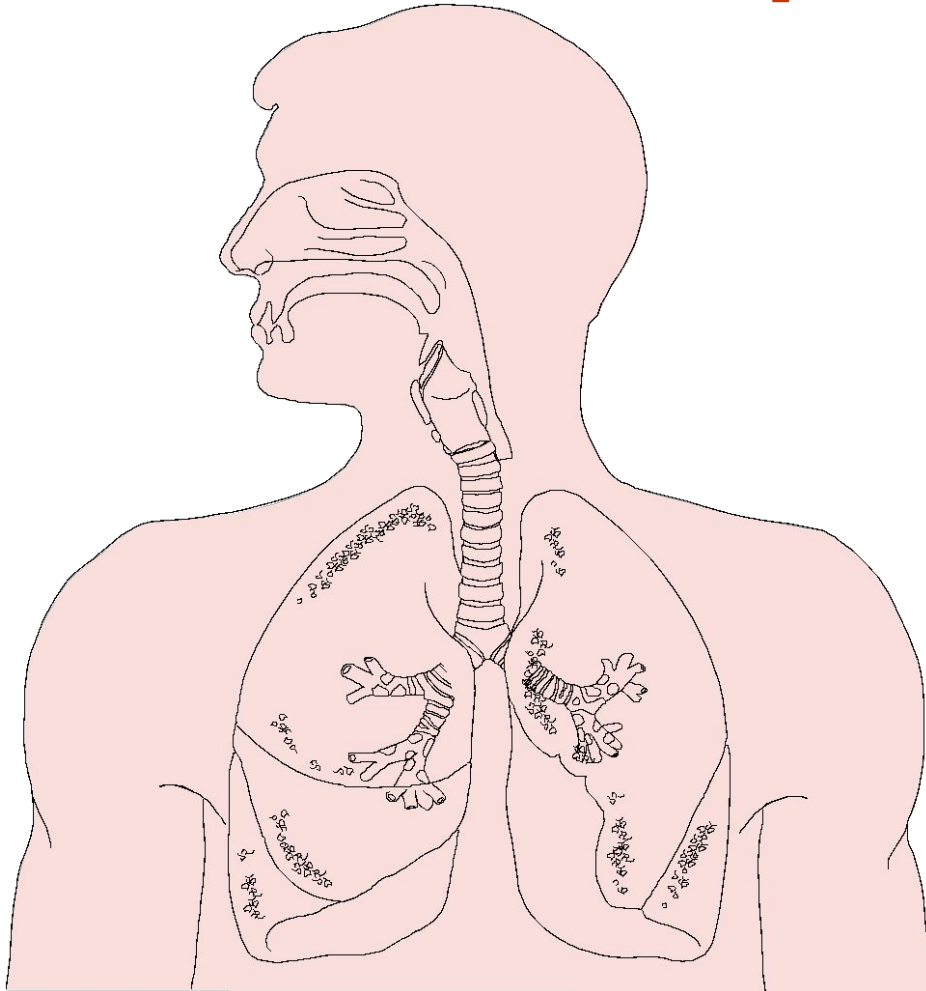


•  
•  
•

# Кафедра нормальной физиологии КрасГМА



## ФИЗИОЛОГИЯ ДЫХАНИЯ

### Внешнее дыхание и транспорт газов кровью

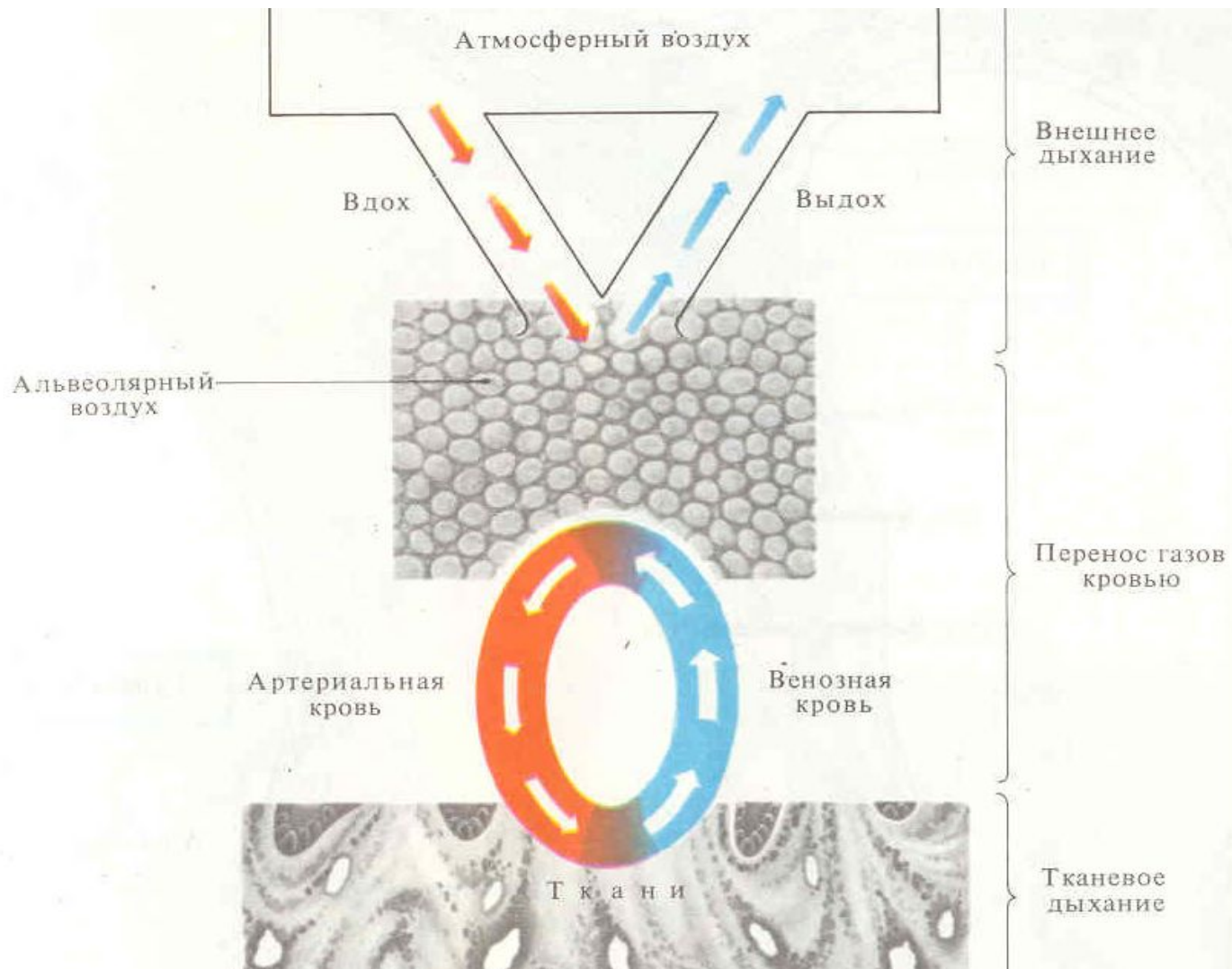
- **Дыхание - совокупность процессов, обеспечивающих поступление во внутреннюю среду организма кислорода, использование его для окислительных процессов, и удаление из организма углекислого газа**

## ЭТАПЫ ДЫХАНИЯ:



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

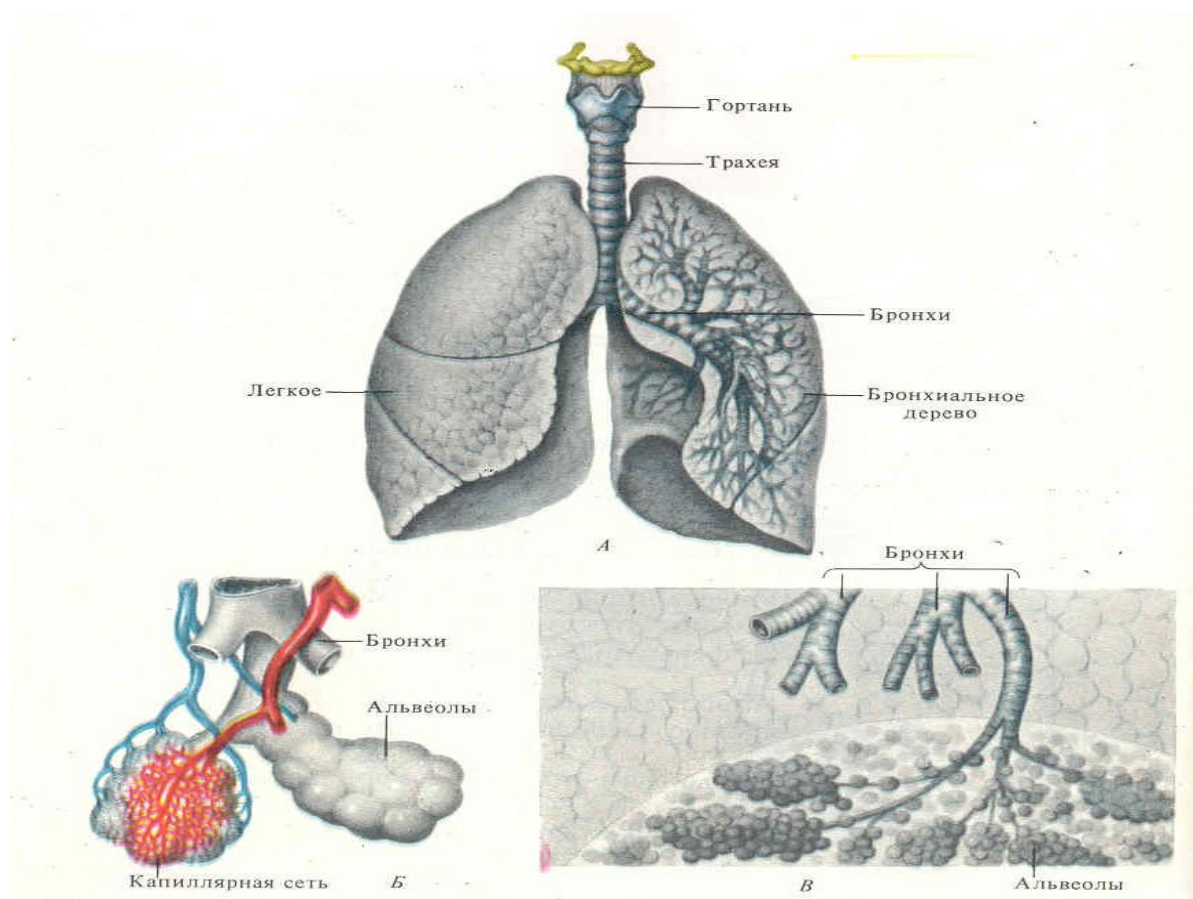
# Этапы дыхания



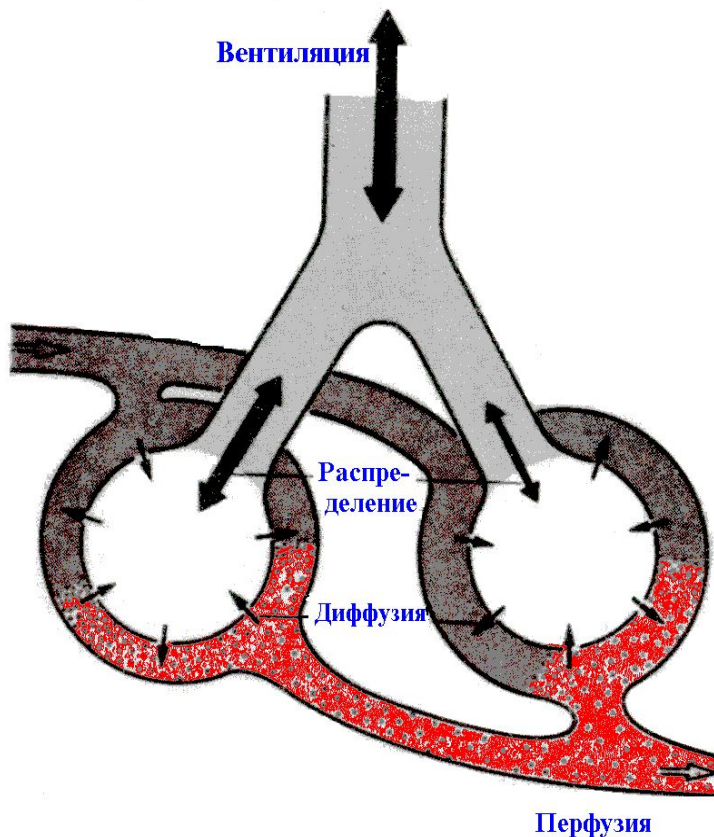
## **Структура аппарата внешнего дыхания**

- 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

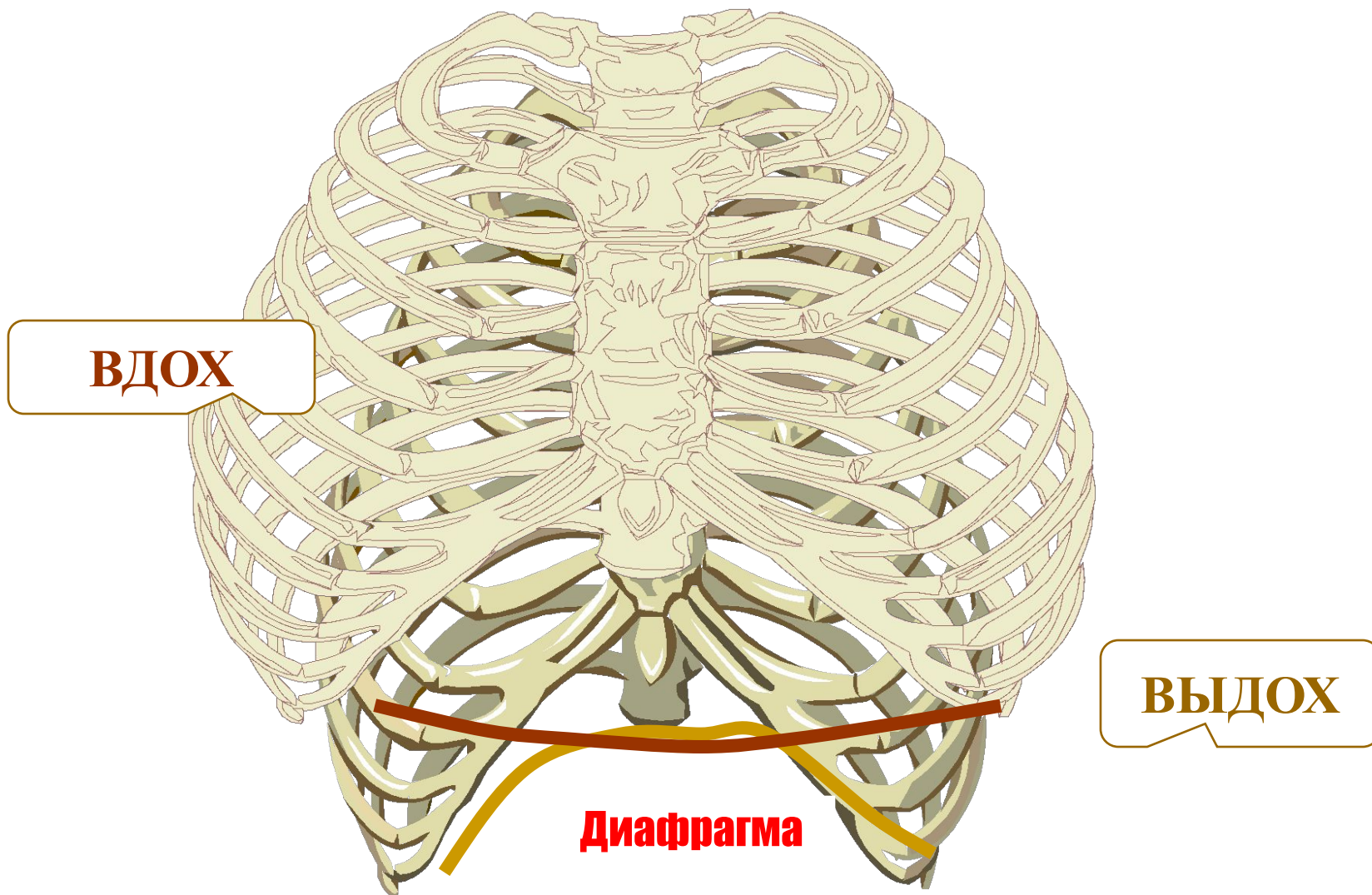


- 3 ПРОЦЕССА:

---

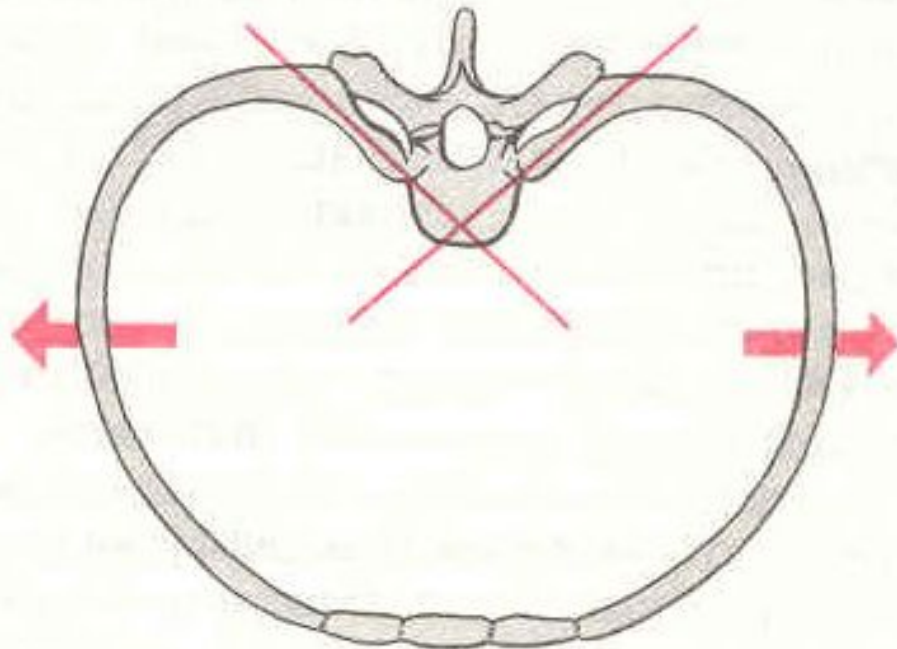
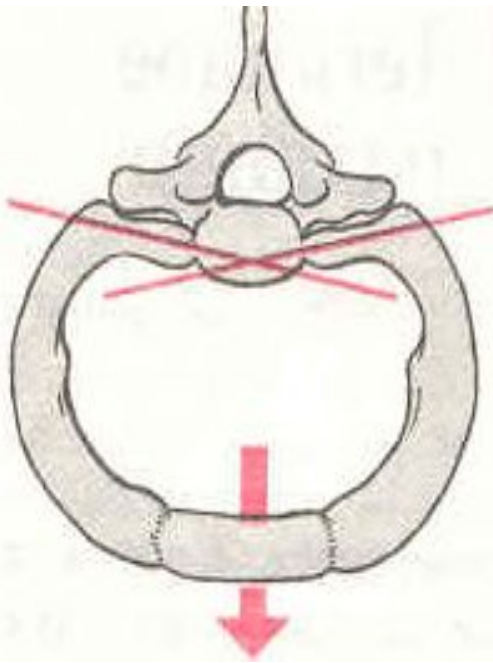
- - Вентиляция
- - Диффузия
- - Перфузия

•  
•  
•  
**Изменения формы грудной клетки при вдохе и выдохе**



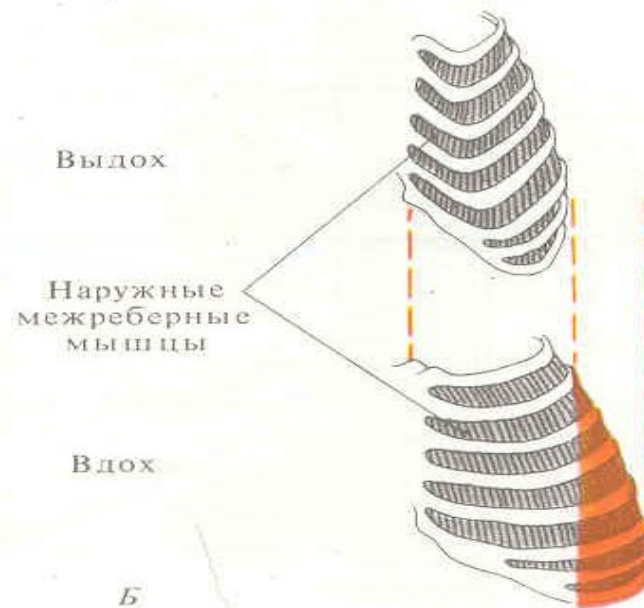
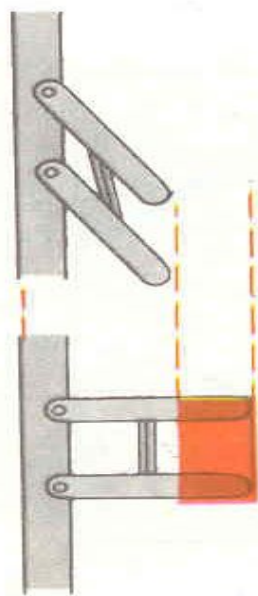
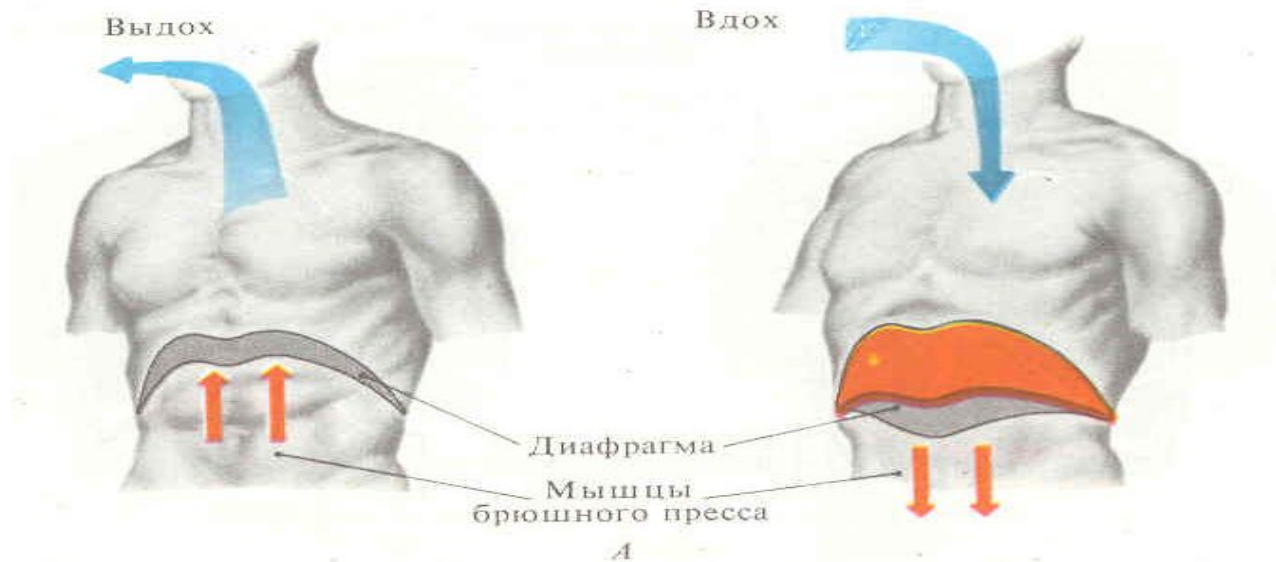


•  
•  
•  
Направление вращения первого и шестого ребер при вдохе



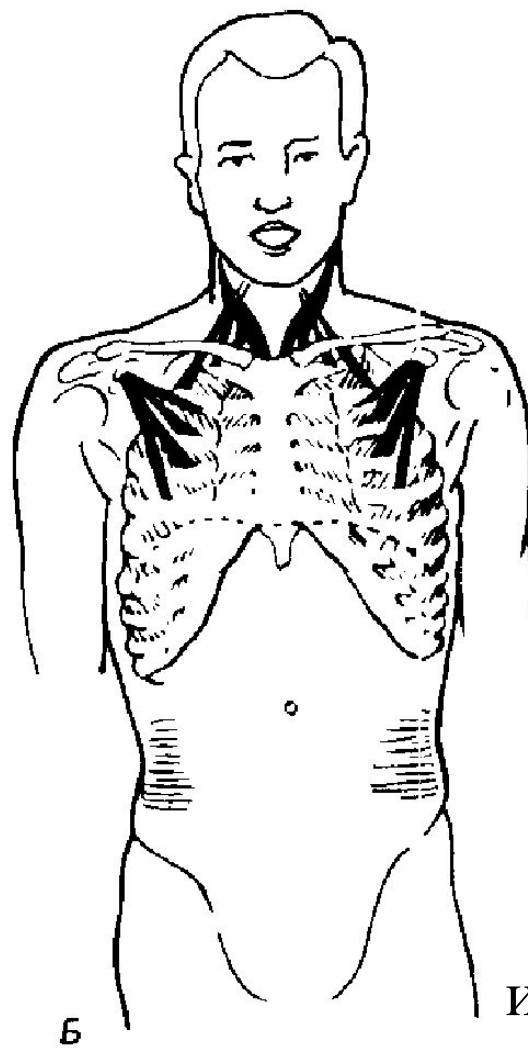
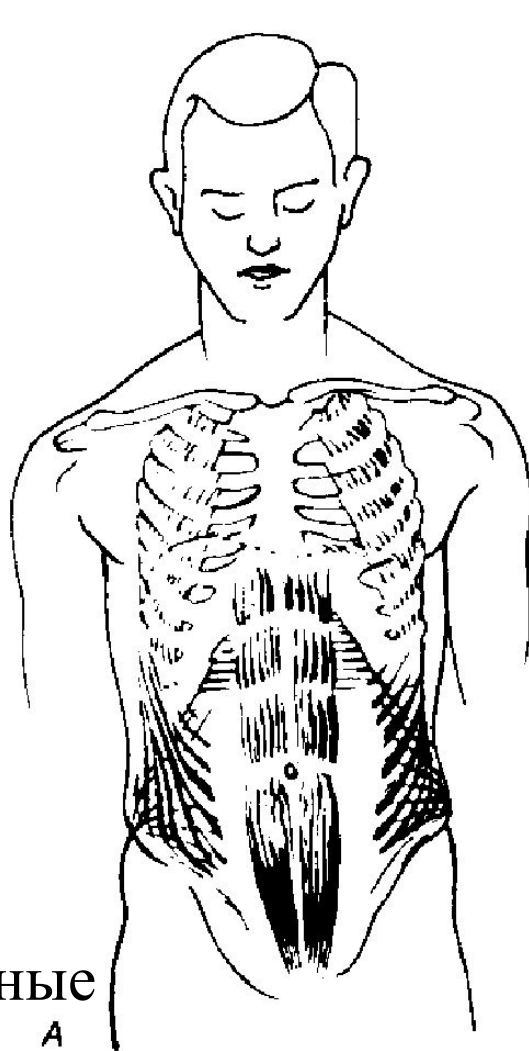
Направление, в котором преимущественно увеличиваются размеры грудной клетки при вдохе

# Механизм дыхательных движений



•  
•  
•

# Вспомогательные дыхательные МЫШЦЫ



экспираторные

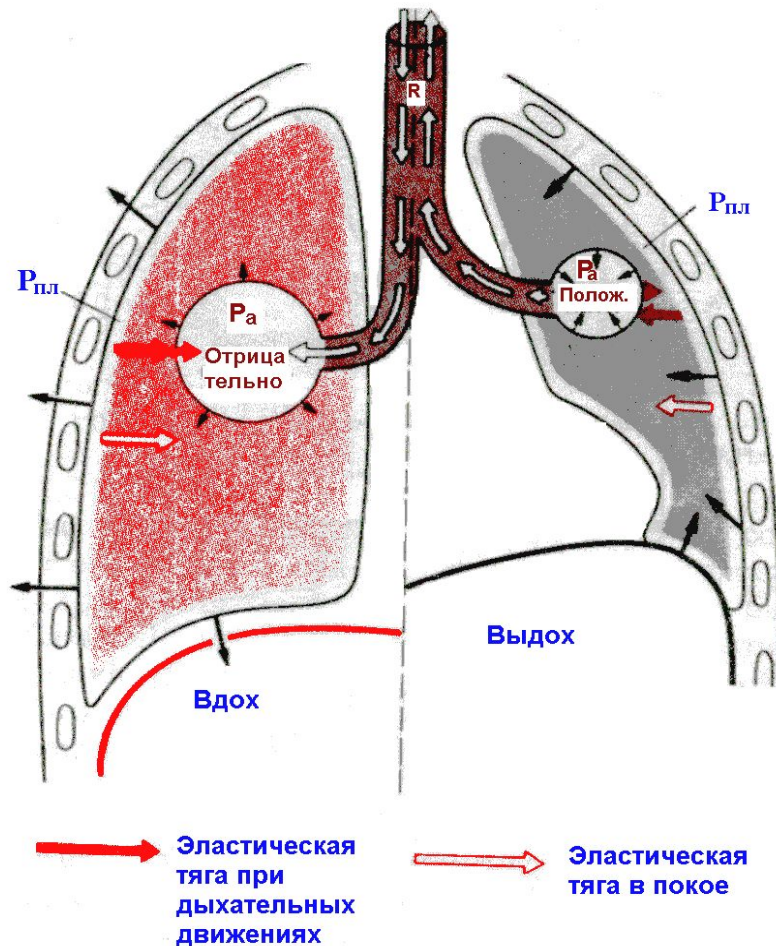
А

Б

инспираторные

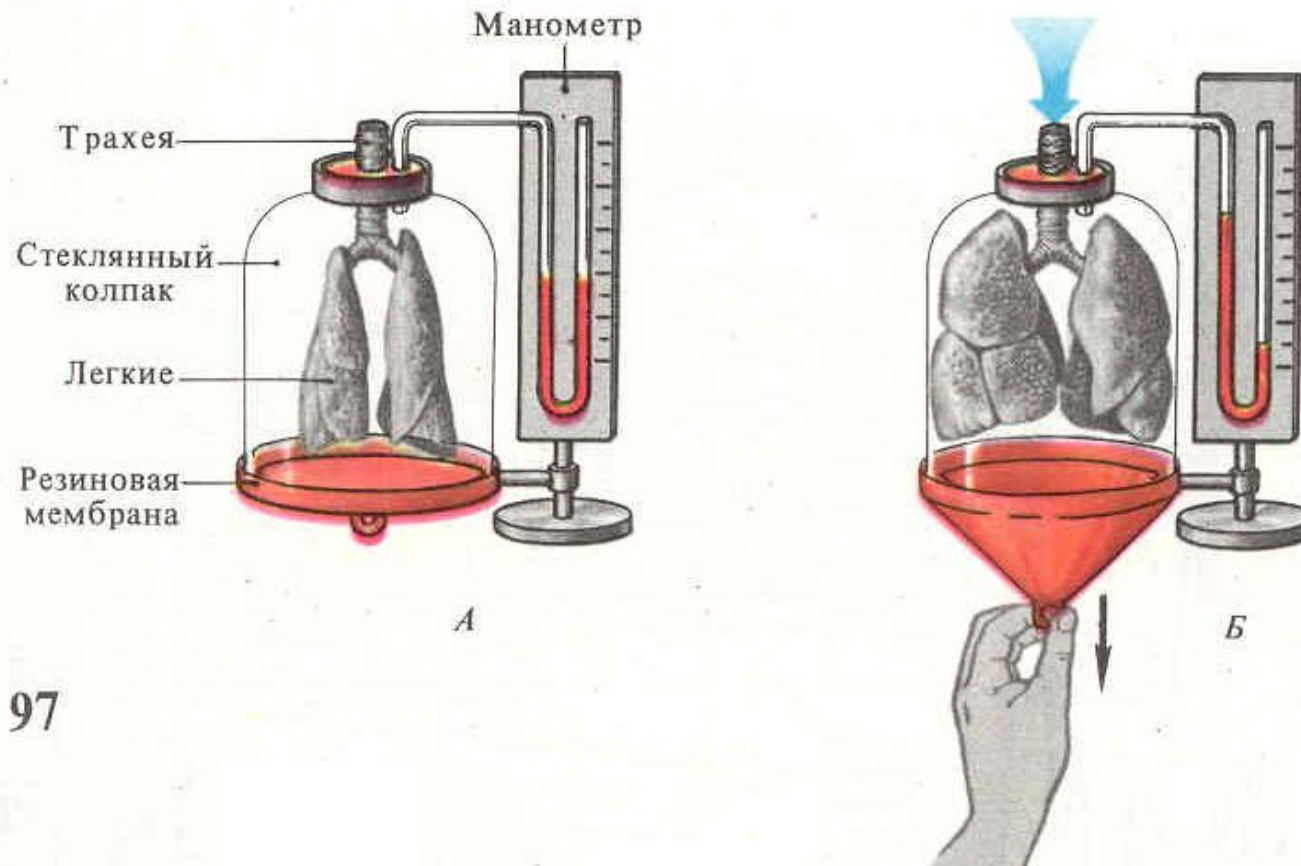


# Механизм вдоха и выдоха

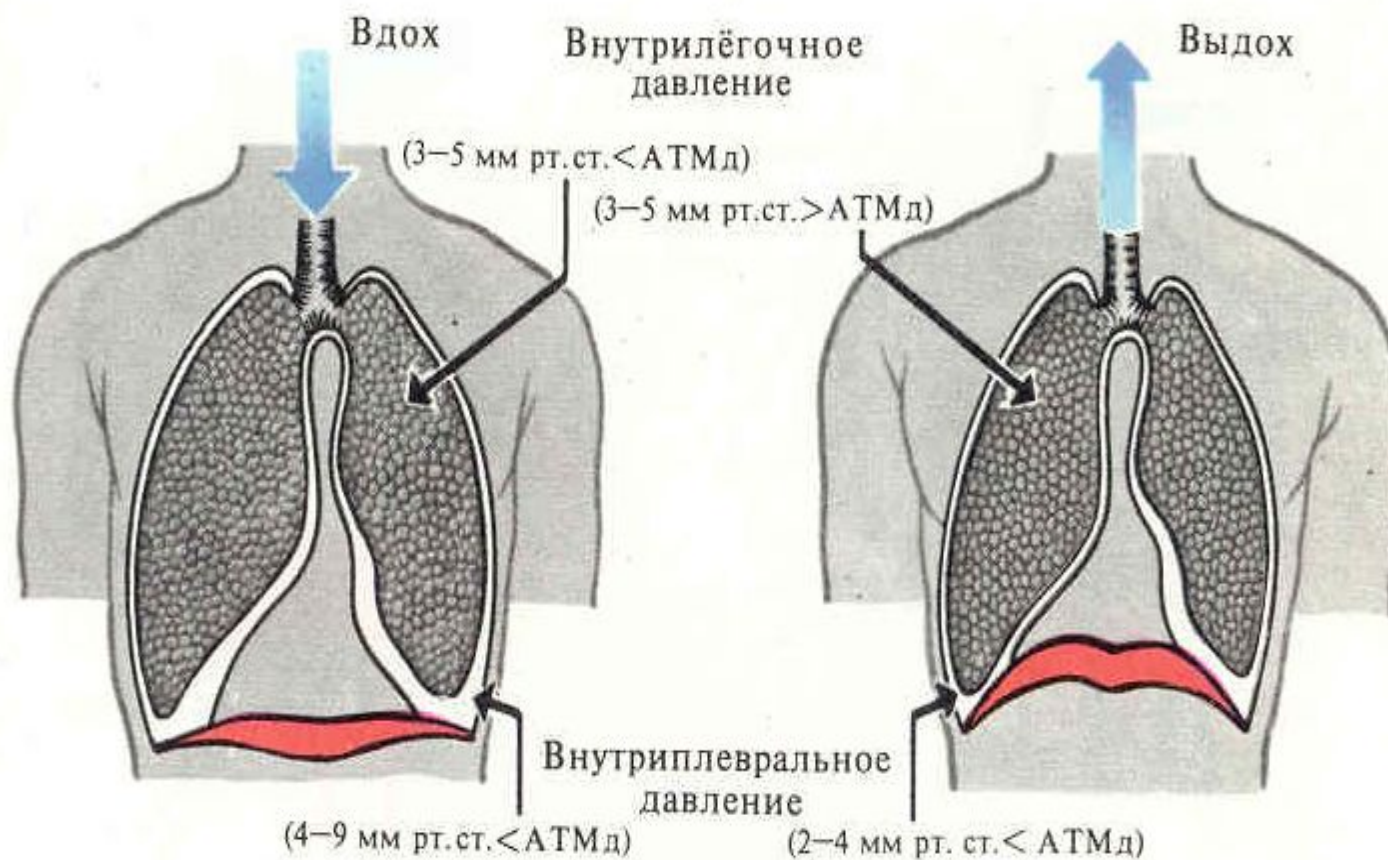


- **Транспульмональное давление:**  
 $P_{трп} = P_{альв} - P_{плевр}$
- **На вдохе  $P_{плевр} = -9$  мм Нг**
- **Перед вдохом  $P_{плевр} = -3$  мм Нг**
- **На выдохе  $P_{плевр} = +4-10$  мм Нг**
- **Трансреспираторное давление:**  
 $P_{трр} = P_{альв.} - P_{внешн.}$
- **На вдохе:  $P_{трр} = 756 - 760 = -4$  мм Нг**
- **На выдохе:  $P_{трр} = 764 - 760 = +4$  мм Нг**
- **Эластическая тяга дыхания = эластическая тяга легких + эластическая тяга грудной клетки**

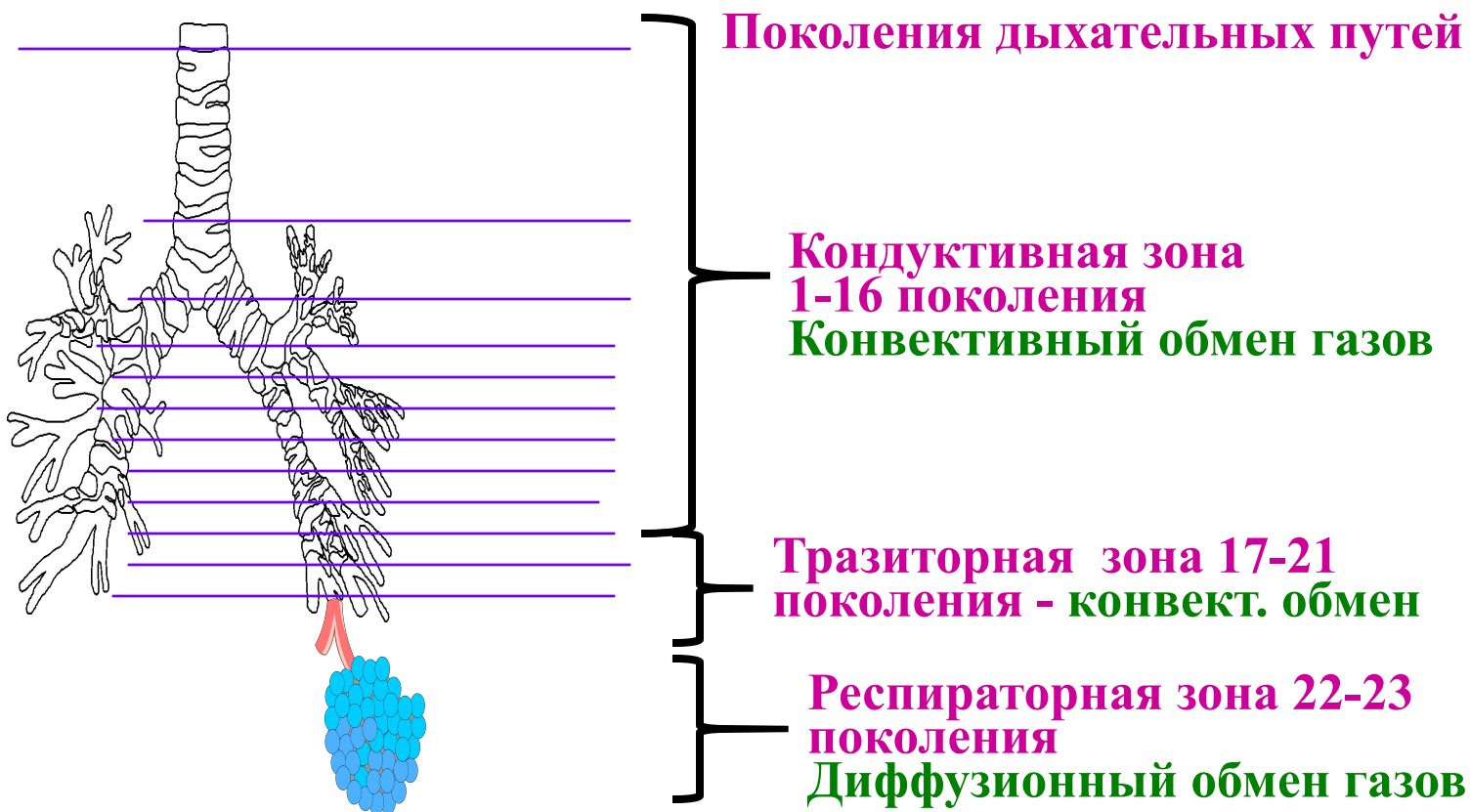
# Модель Дондерса



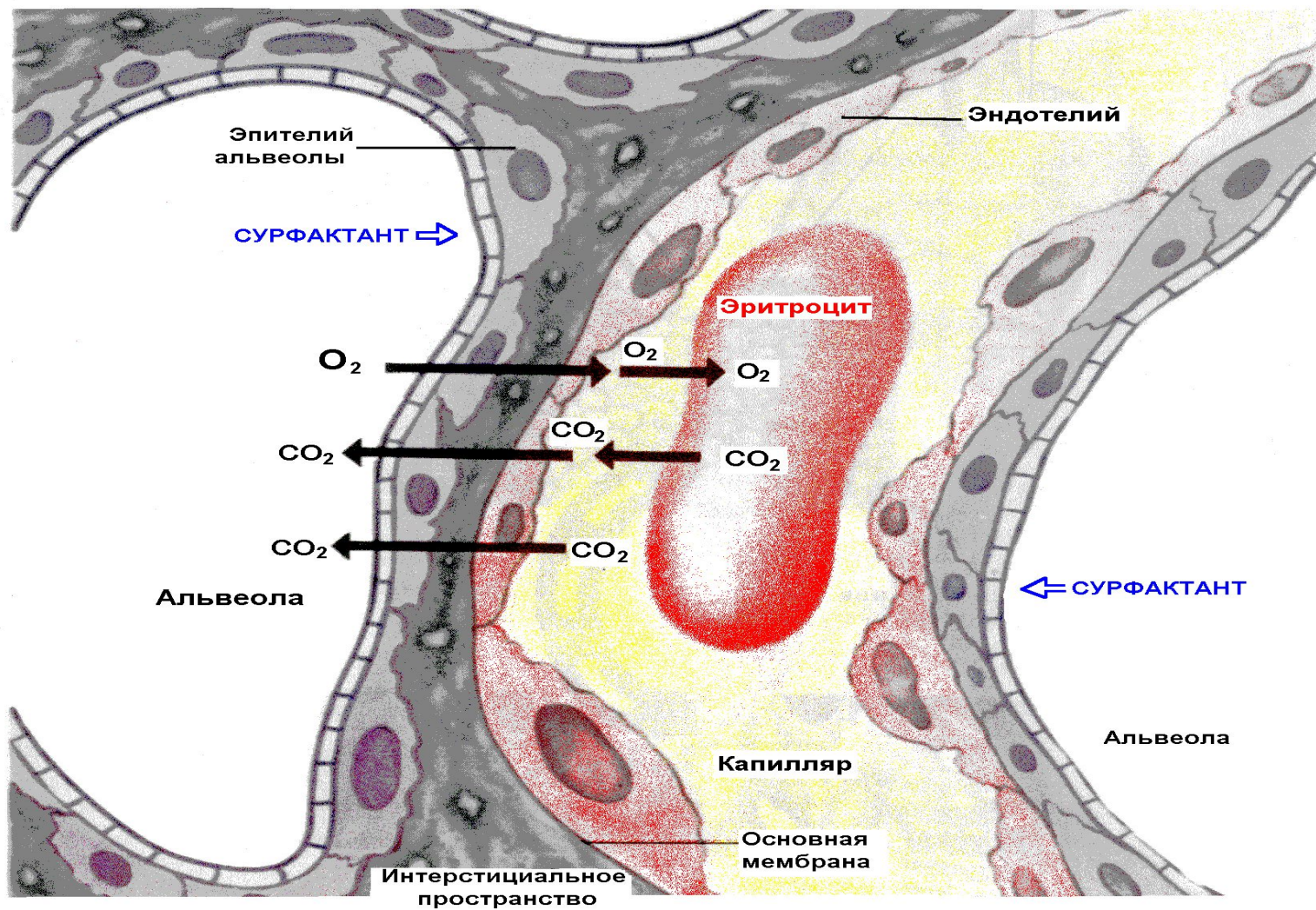
# Внутрилегочное и внутриплевральное давление на вдохе и выдохе



# Ветвления и зоны трахеобронхиального дерева



# АЗРОГЕМАТИЧЕСКИЙ БАРЬЕР





# Парциальное давление

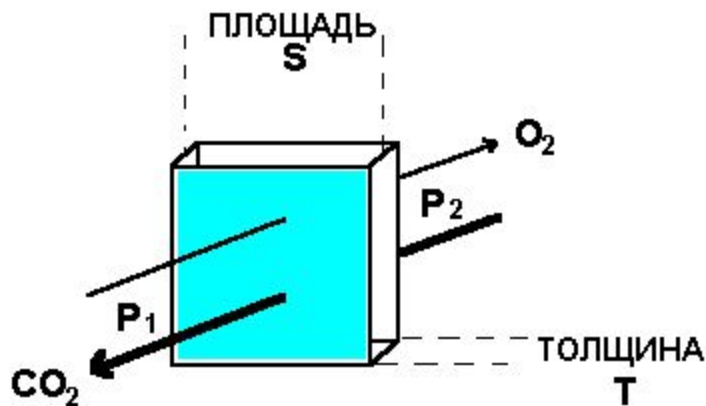
- Парциальное давление - часть общего давления смеси газов, приходящаяся на отдельный газ (если бы он занимал весь объем смеси)

- 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

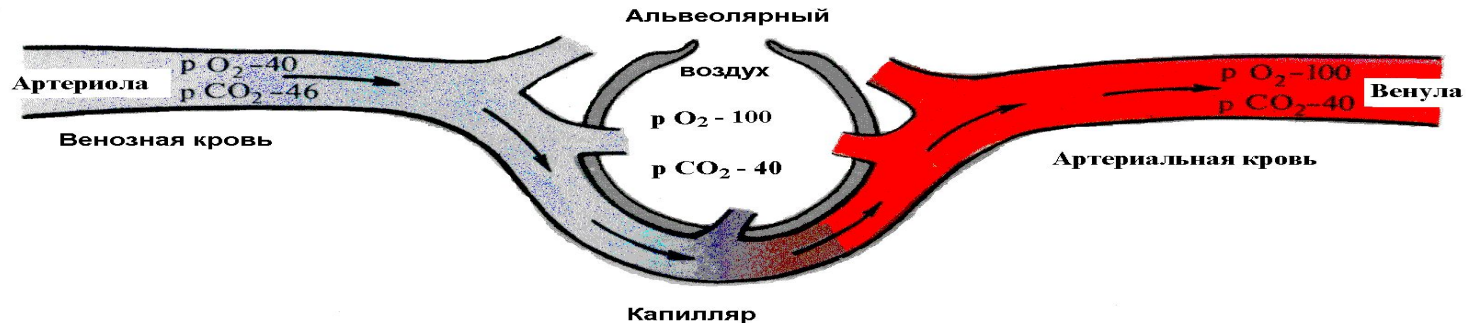
- Для кислорода:

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

- Для  $\text{CO}_2$ :

- $P_{\text{вен.крови}} = 46 \text{ мм Нг}$
- $P_{\text{альв.возд.}} = 40 \text{ мм Нг}$
- $P_1 - P_2 = 6 \text{ мм Нг}$
- $DK \text{ CO}_2 > DK \text{ O}_2$  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 Легких</b>	<b>Кровоток на % объема</b>	<b>Вентиляция на % объема</b>	<b>ВПК</b>	<b>P O<sub>2</sub> в крови ( мм Hg)</b>
<b>1 Верхушки</b>	<b>0,01</b>	<b>0,03</b>	<b>3,0</b>	<b>120</b>
<b>2 Средняя</b>	<b>0,06</b>	<b>0,05</b>	<b>0,8</b>	<b>98</b>
<b>3 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)**

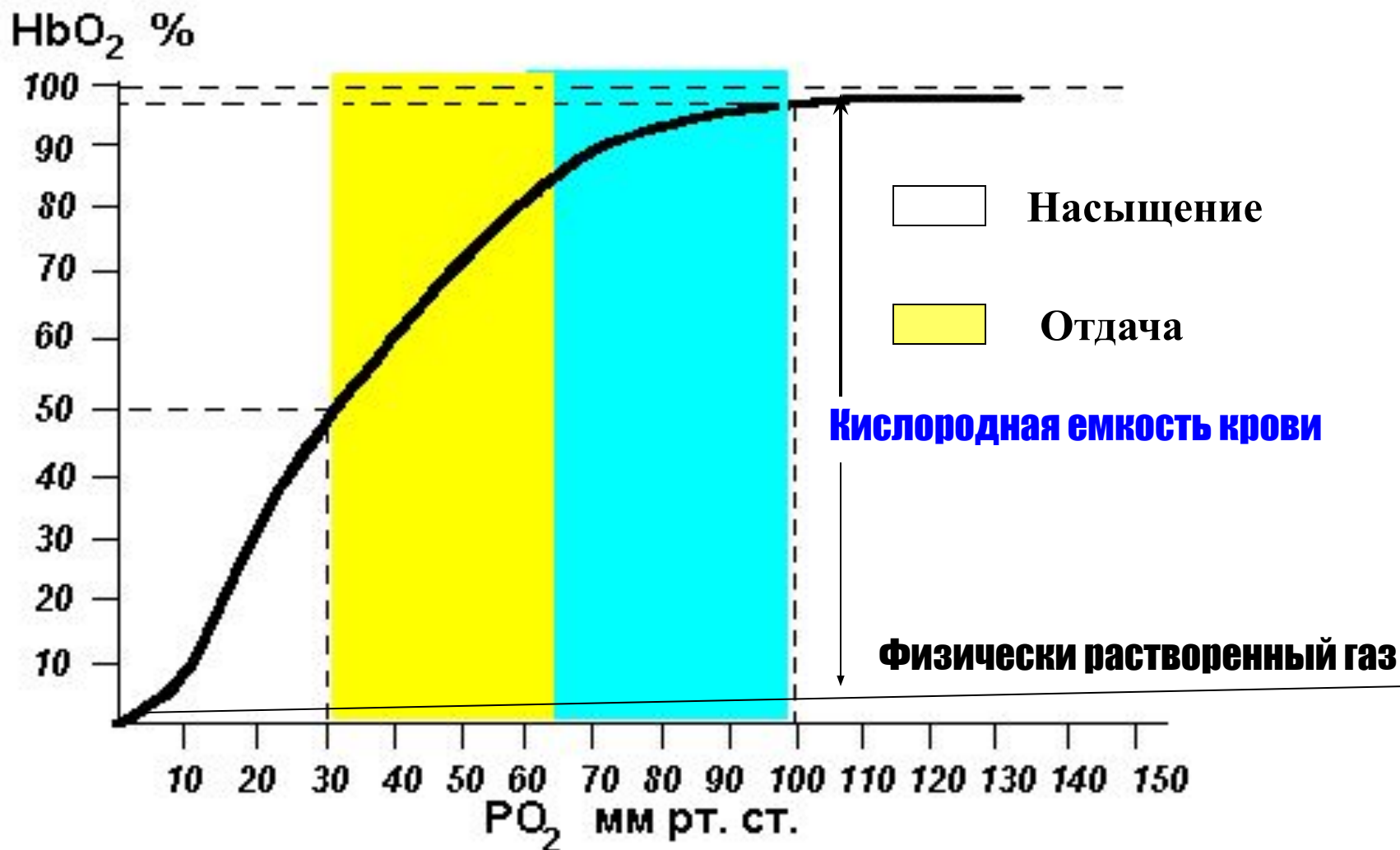


# ХАРАКТЕРИСТИКИ КРОВИ

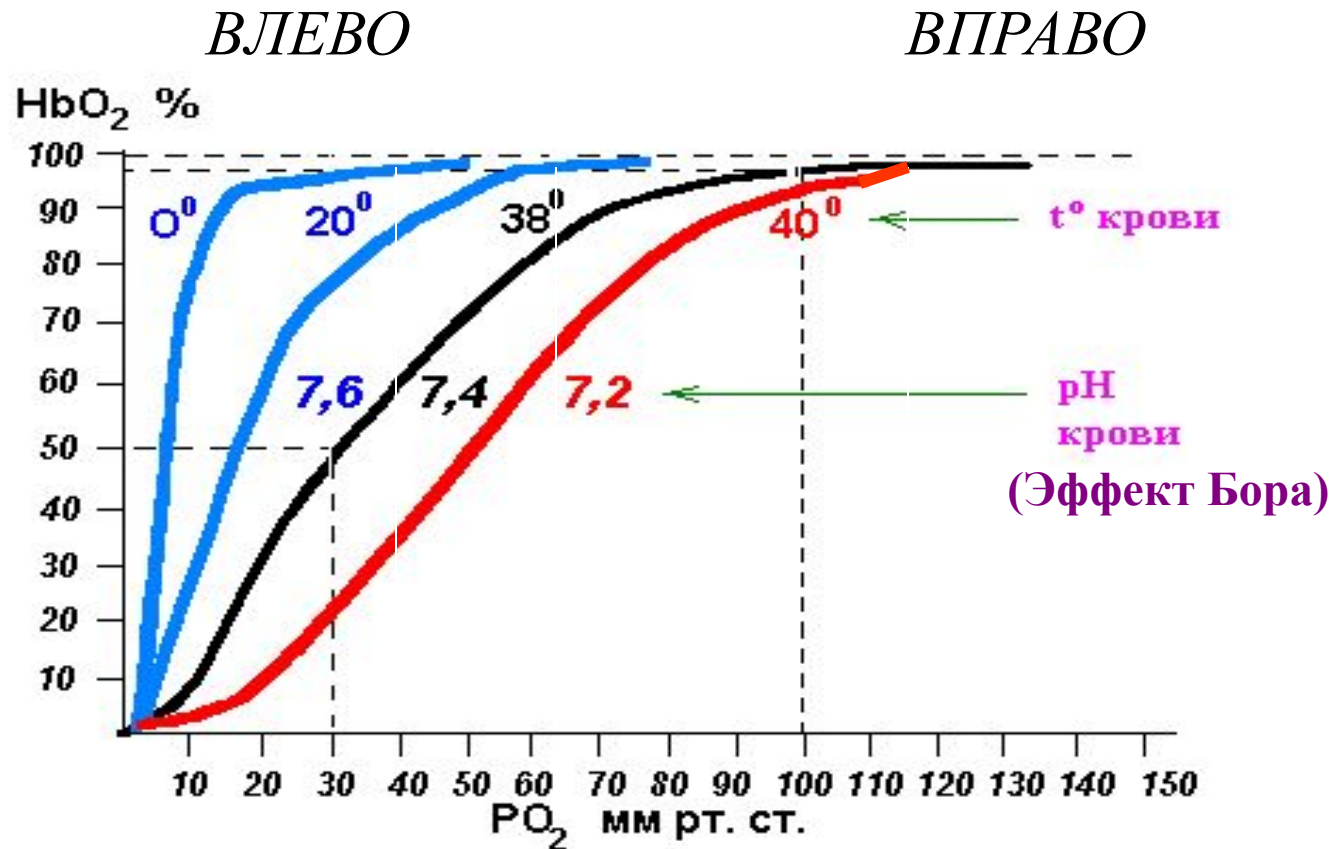
- $\text{Hb} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{HbO}_2$                        $\text{HbO}_2 \rightleftharpoons \text{Hb} + \text{O}_2$
- Кислородная емкость крови - количество  $\text{O}_2$ , которое связывается кровью до полного насыщения гемоглобина
- Константа Гюфнера: 1 г. Hb - 1,36 - 1,34 мл  $\text{O}_2$
- 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

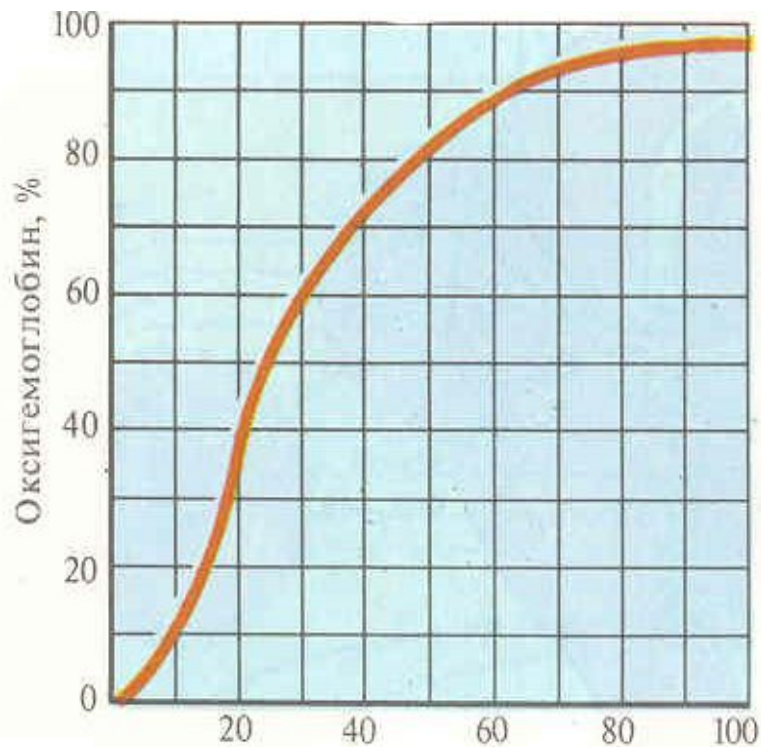


# Сдвиги кривой диссоциации



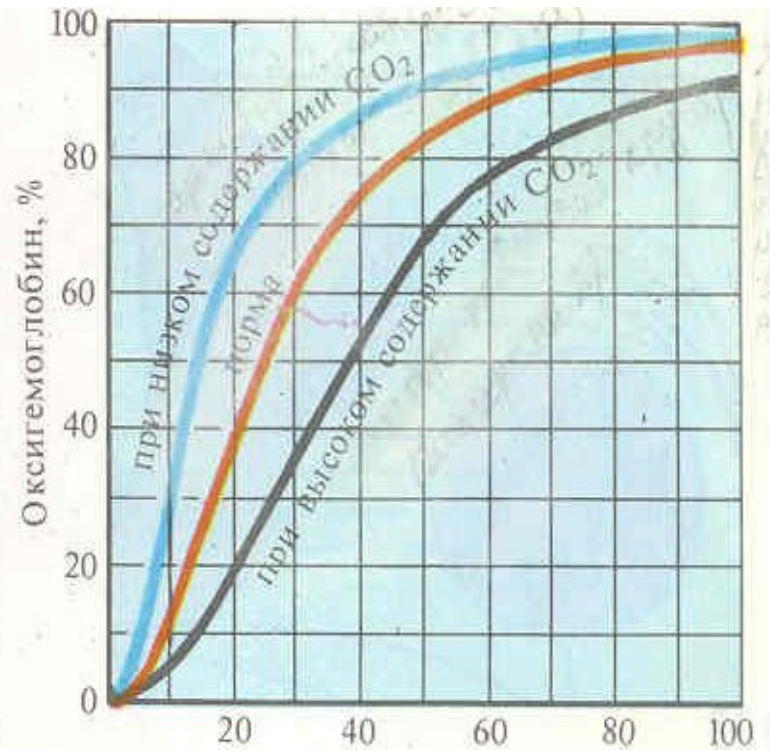
**Сдвиг влево - легче насыщение кислородом: <t; <Pco<sub>2</sub>; <2,3-ДФГ; >pH**  
**Сдвиг вправо - легче отдача кислорода: >t; >Pco<sub>2</sub>; >2,3-ДФГ; <pH**

# КРИВЫЕ ДИССОЦИАЦИИ ГЕМОГЛОБИНА



I

Парциальное давление кислорода, мм рт. ст.



II

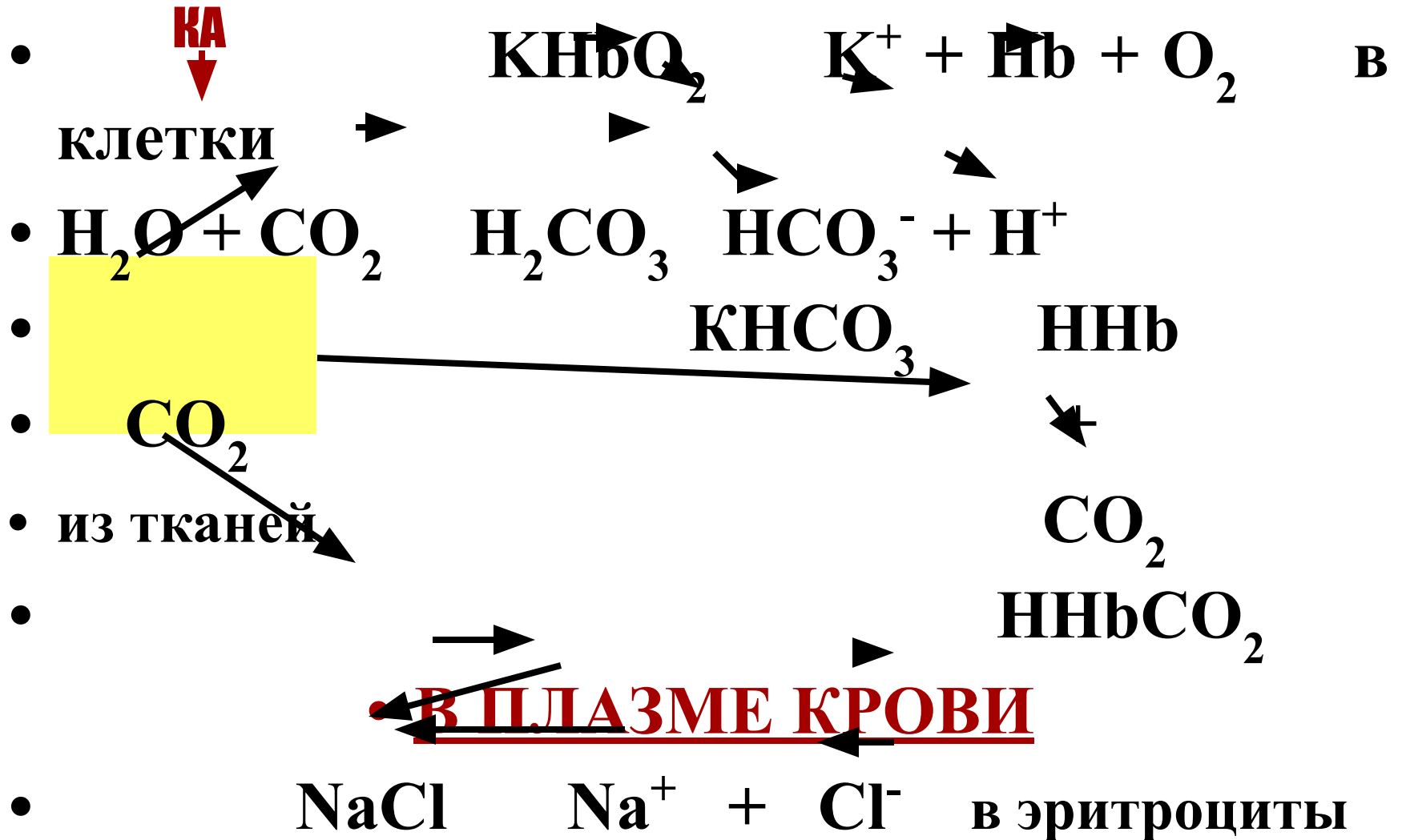
# Транспорт $\text{CO}_2$ кровью

## • 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%

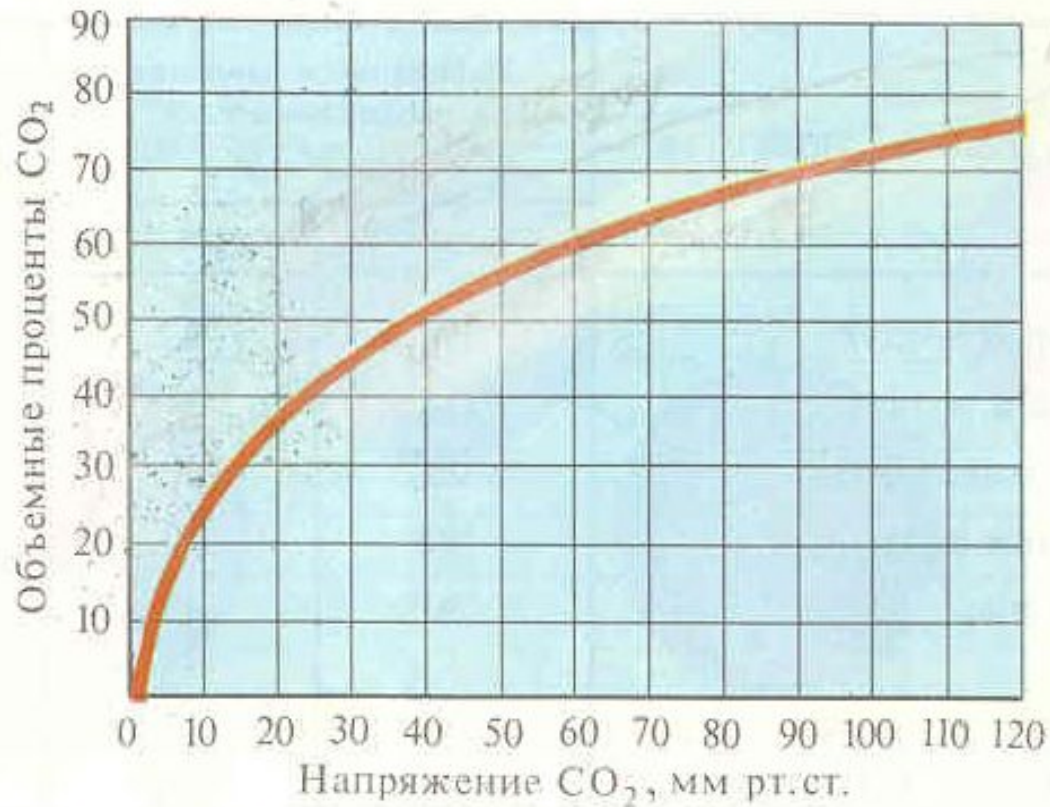
# Транспорт CO<sub>2</sub> кровью

## В ЭРИТРОЦИТАХ

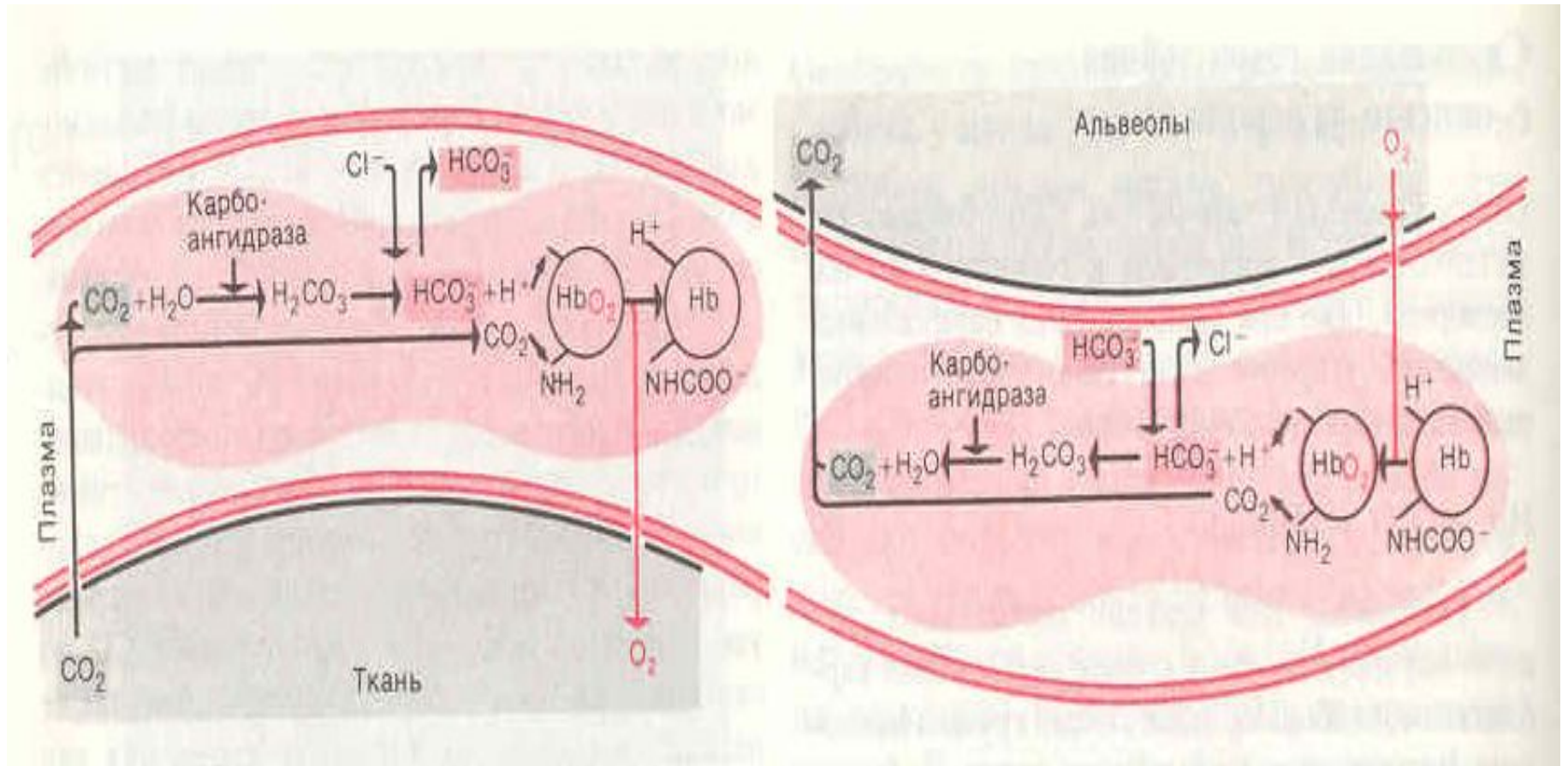


•  
•  
•

# 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

