

ФИЗИОЛОГИЯ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Дыхательная система человека

-совокупность органов, обеспечивающих в организме человека процесс дыхания;

Дыхание – это процесс газообмена между атмосферным воздухом и кровью легочных капилляров, в результате которого происходит артериализация крови: повышается напряжение кислорода и снижается напряжение CO_2 в крови.



Функции дыхательной системы:

Основная:

✓ Обеспечение газообмена тканей;

Вспомогательные:

✓ Синтетическая (гепарин, простагландины, липиды и др.);

✓ Кровотворная (созревают тучные клетки, базофилы);

✓ Депонирующая (депо крови);

✓ Всасывательная;

✓ Выделительная;

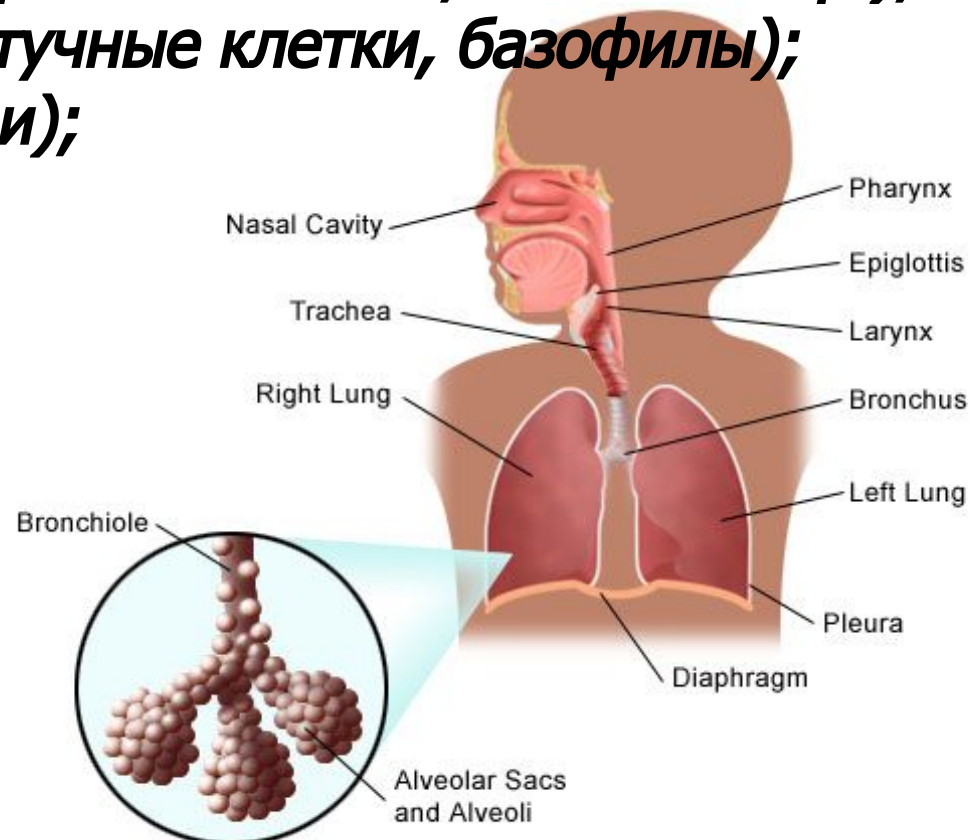
✓ Иммунологическая;

✓ Регуляторная;

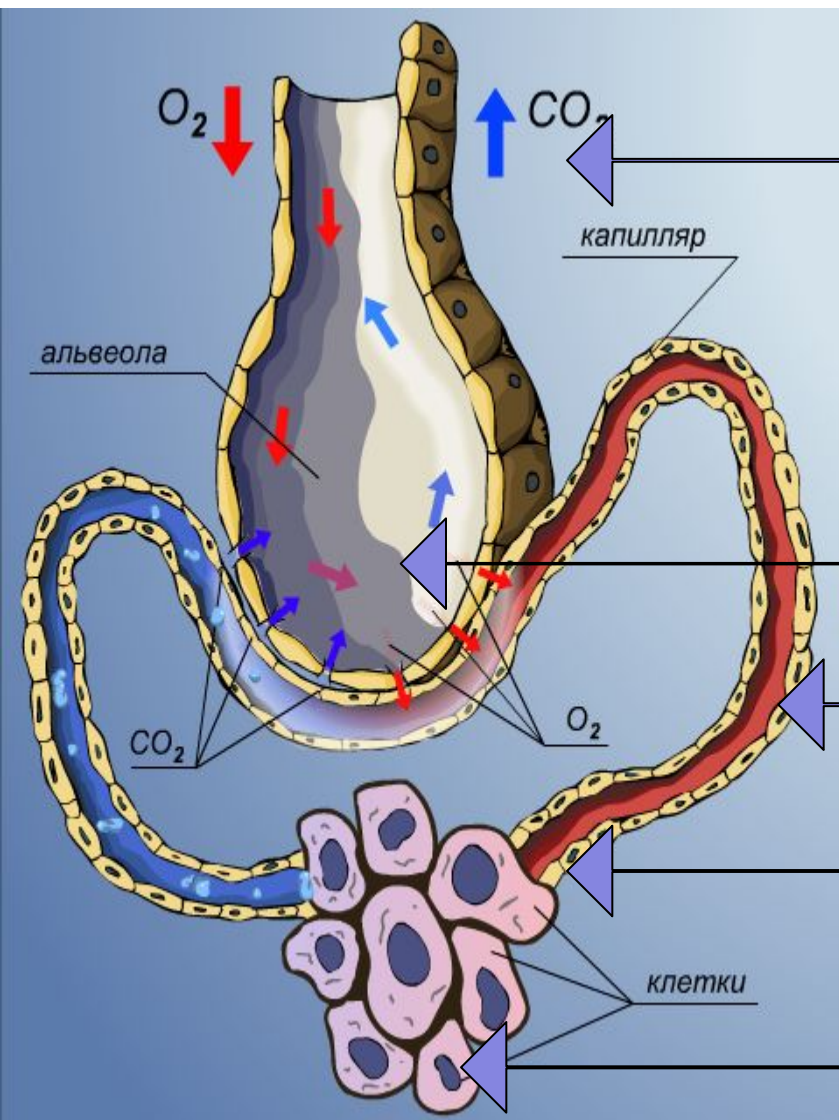
✓ Голосообразующая;

✓ Обонятельная;

✓ Кондиционирующая.



Фазы дыхания:



1. Внешнее или легочное дыхание, осуществляющее газообмен между внешней средой организма и альвеолами легких.

2. Диффузия газов в легких (обмен газов между альвеолярным воздухом и кровью).

3. Транспорт газов кровью.

4. Диффузия газов в ткани (обмен газов между кровью и тканью).

5. Внутреннее или тканевое дыхание (потребление кислорода и выделение углекислого газа клетками организма).

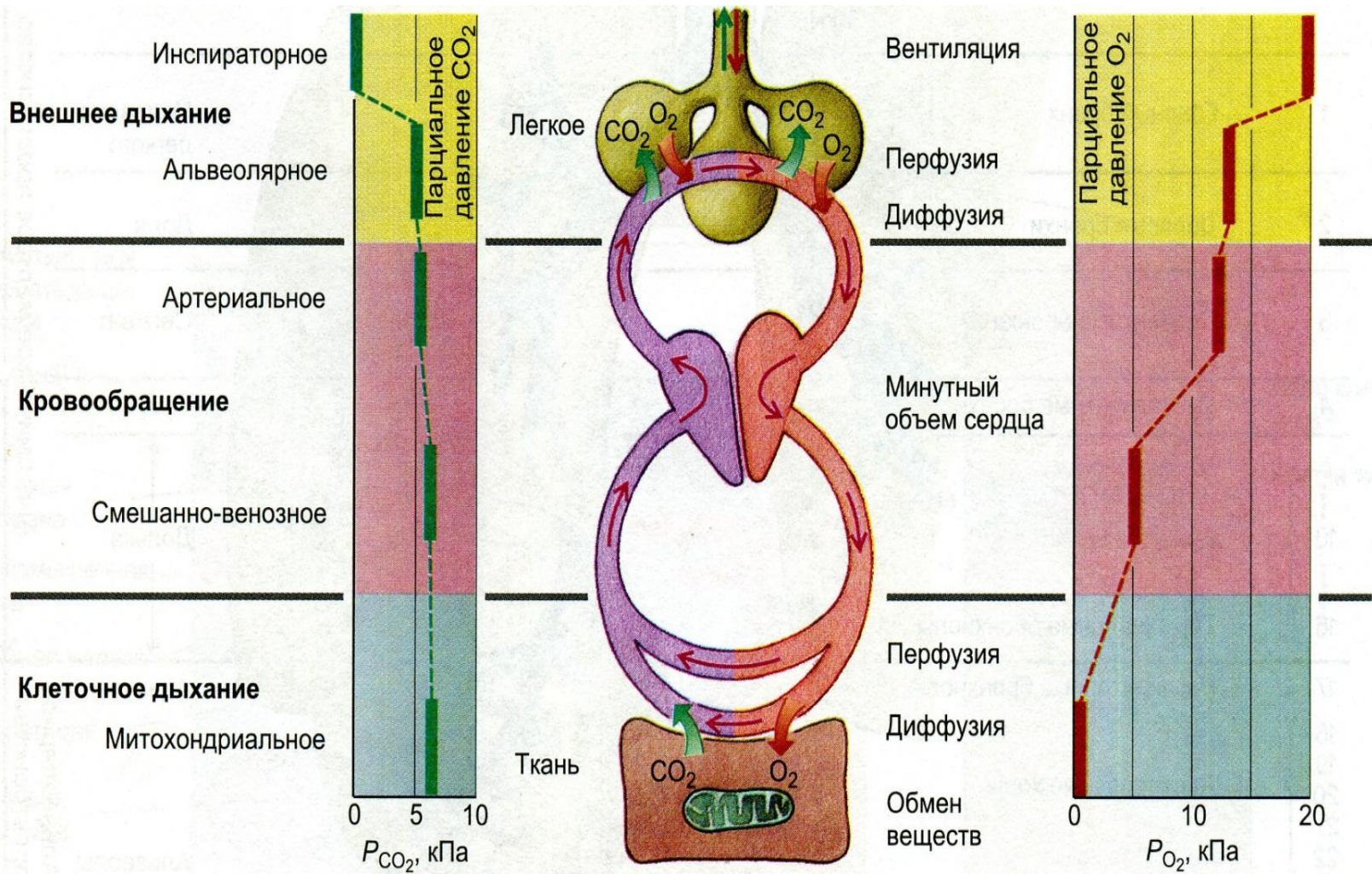
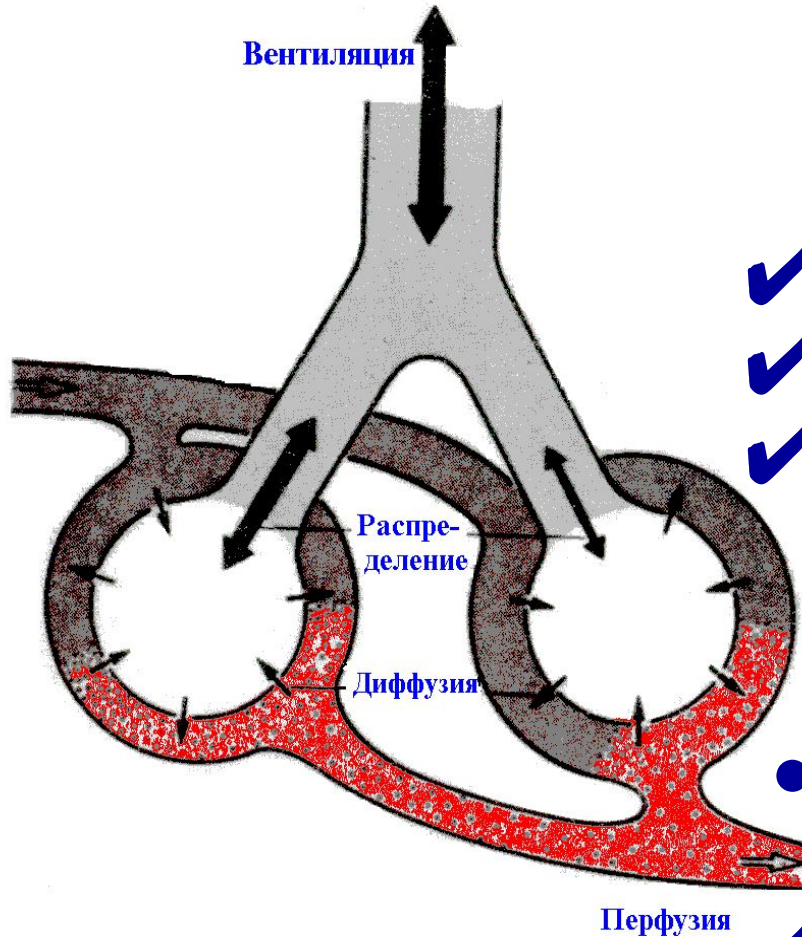


Рис. 63.1. Транспортная система дыхания, включающая системы внешнего дыхания, кровообращения и клеточного дыхания. Важнейшими составляющими транспортной системы для внешнего дыхания являются вентиляция, диффузия и перфузия; для кровообращения — сердечно-временной (минутный) объем (и транспортные свойства крови для O_2 и CO_2); для клеточного дыхания — кровоснабжение ткани, диффузия и обмен веществ (потребление O_2 , образование CO_2). Вдоль этой транспортной цепи парциальное давление CO_2 (P_{CO_2} , слева) повышается, а парциальное давление O_2 (P_{O_2} , справа) снижается

Внешнее дыхание



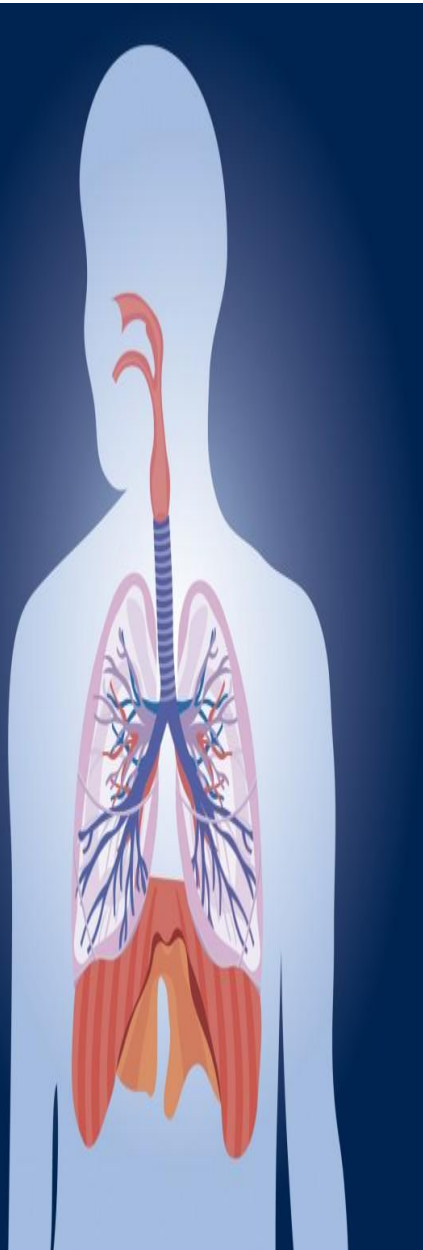
Процессы:

- ✓ Вентиляция;
- ✓ Диффузия;
- ✓ Перфузия;

Этапы внешнего дыхания:

- Вдох (инспирация) – активный процесс;
- ✓ Выдох (экспирация) – пассивный процесс;

Структура системы внешнего дыхания включает:



- Воздухопроводящие пути
- Костно-мышечный каркас грудной клетки
- Плевру, покрывающую легкие
- Дыхательную мускулатуру (диафрагма, межреберные мышцы)
- Малый круг кровообращения
- Нейрогуморальный аппарат регуляции

Дыхательная система человека

Трахея

Бронхи

Лёгкое

Альвеолы

Легочная вентиляция определяется следующими факторами:

- 1. проходимость дыхательных путей;**
- 2. механическим аппаратом вентиляции, который, в первую очередь, зависит от активности дыхательных мышц, их нервной регуляции и подвижности стенок грудной клетки;**
- 3. эластичностью и растяжимостью легочной ткани;**
- 4. внутрилегочным распределением газа и адекватностью этого распределения перфузии различных отделов легкого.**

Вентиляционные нарушения в клинической практике могут быть обусловлены дефектом одного или нескольких из приведенных факторов, что является причиной разнообразных типов вентиляционной дыхательной недостаточности.

Воздухоносные пути

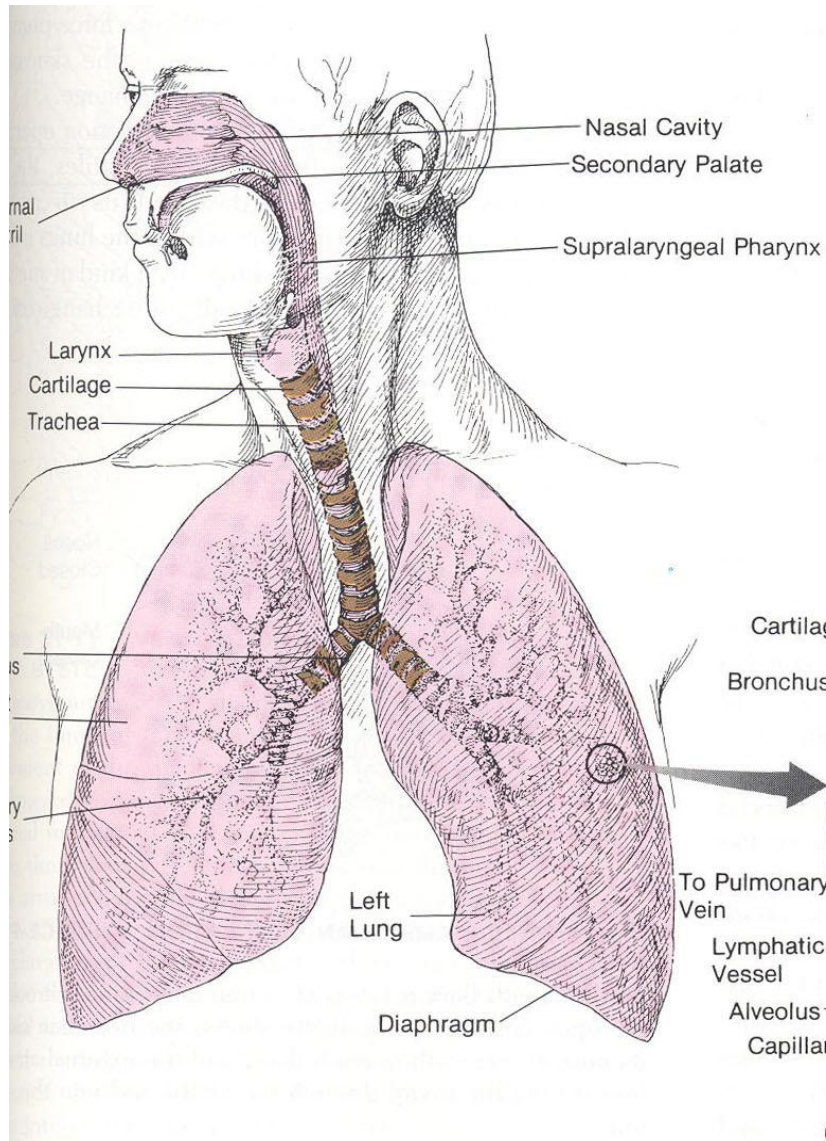
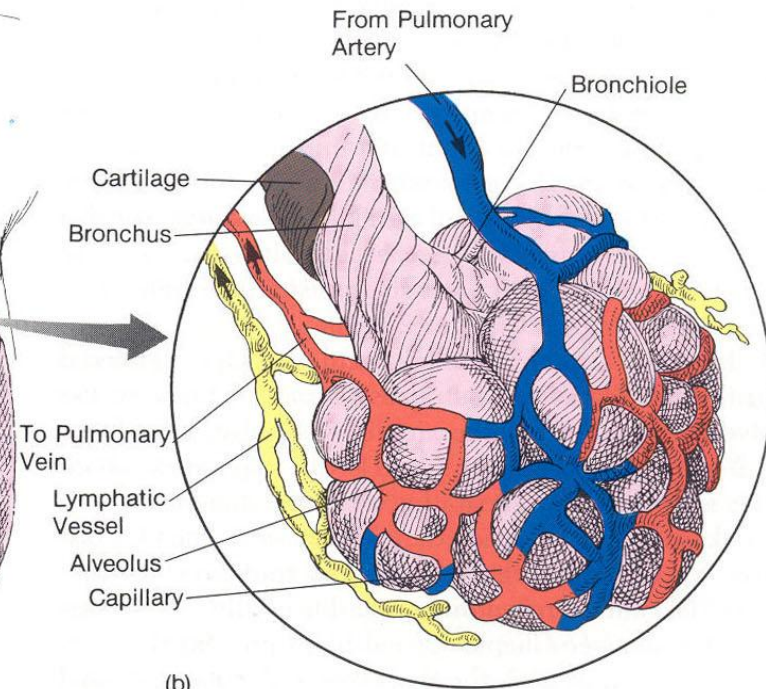


Figure 31-9 THE HUMAN RESPIRATORY SYSTEM.

(a) Air passages from the exterior to the respiratory exchange sites are shaded in light blue. (b) Alveoli and capillaries where the exchange of gases takes place are shown greatly enlarged. Branches of the pulmonary arteries and veins are shown, with their capillary bed where gas exchange occurs. A lymphatic vessel helps keep the alveoli “dry” (see Chapter 29).



(b)

Разветвление дыхательных путей

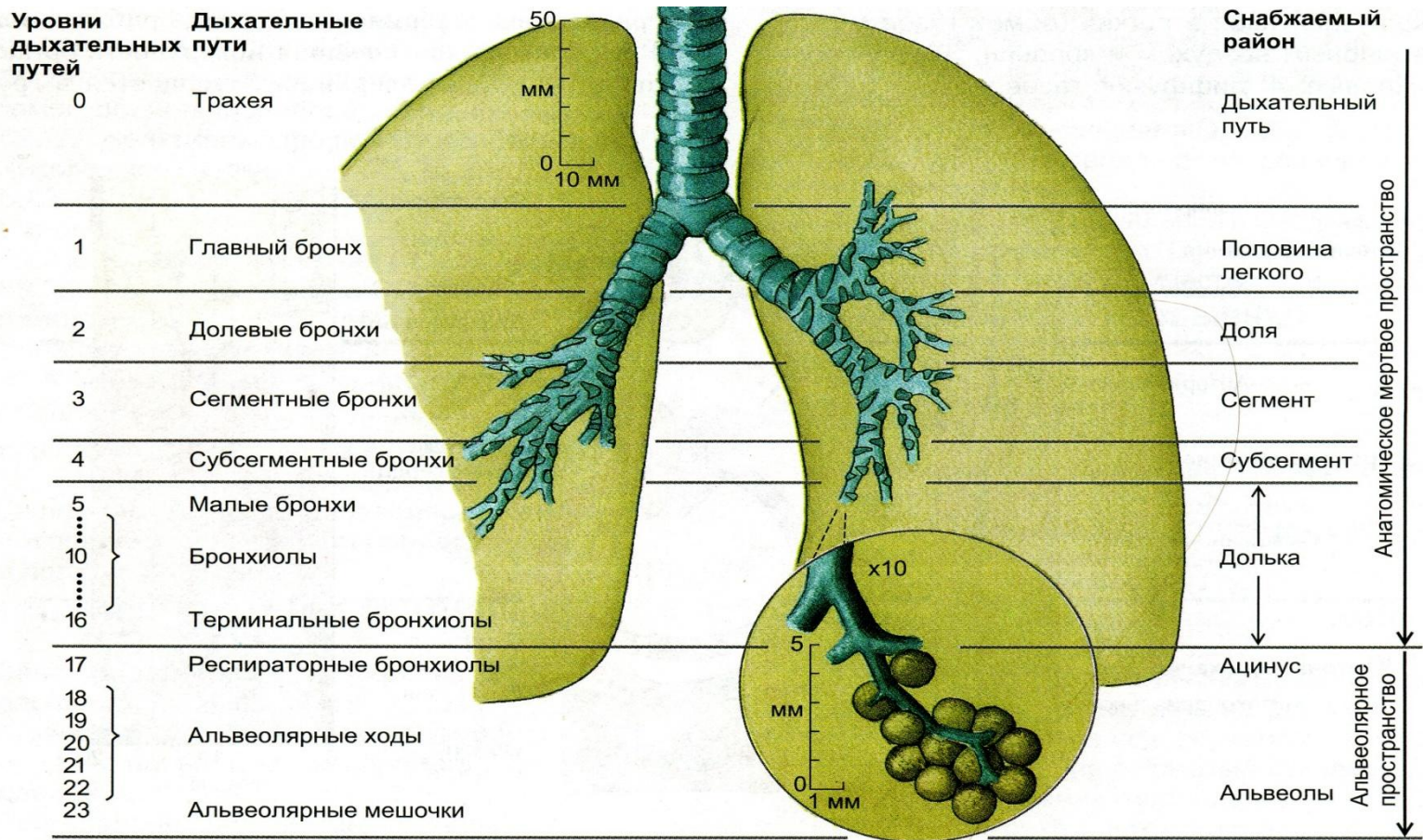
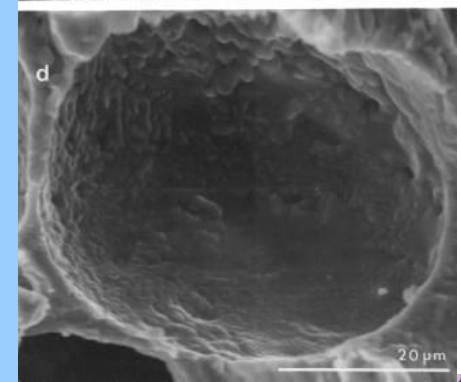
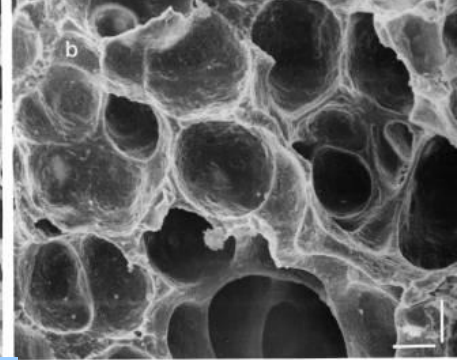
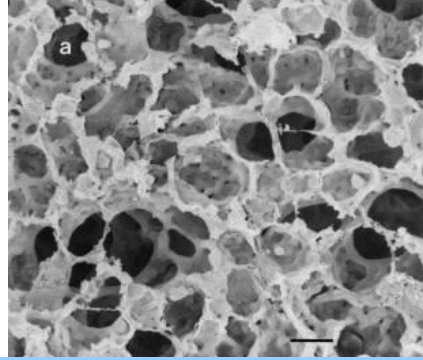
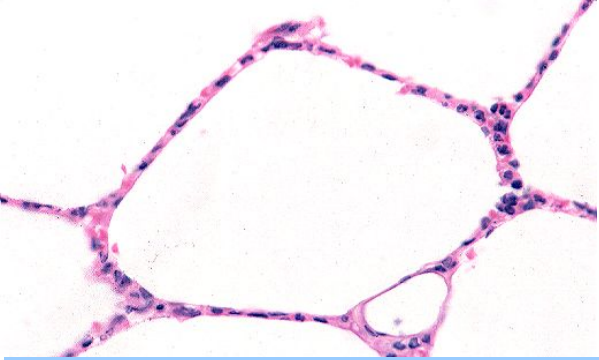


Рис. 63.3. Разветвление дыхательных путей. Ацинус — область дыхательных путей, состоящая из терминальных бронхиол, которые несут альвеолы. Проксимально лежащие дыхательные пути выполняют воздухопроводящую функцию (анатомическое мертвое пространство). Следует обратить внимание на десятикратно увеличенный масштаб изображения периферических дыхательных путей



Общая поверхность альвеол – 50-100 м² (80 м²)
Диаметр альвеолы – около 0.33 мм
Общее число альвеол – около 300 млн.

Альвеолярный объем
(в конце нормального выдоха) – около 3000 мл
Мертвый объем – около 150 мл
Дыхательный объем – 450-500 мл
(альвеолярной зоны достигает 2/3 свежего воздуха:
примерно 10 %-ное обновление)

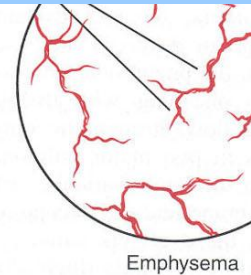
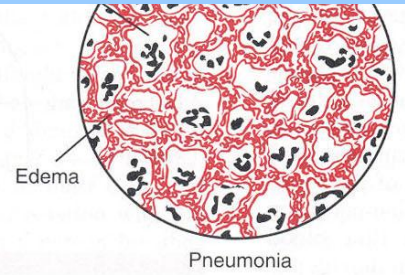
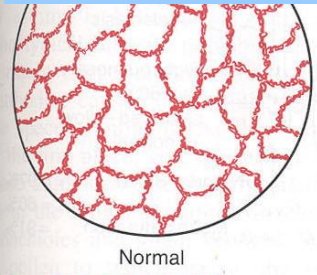
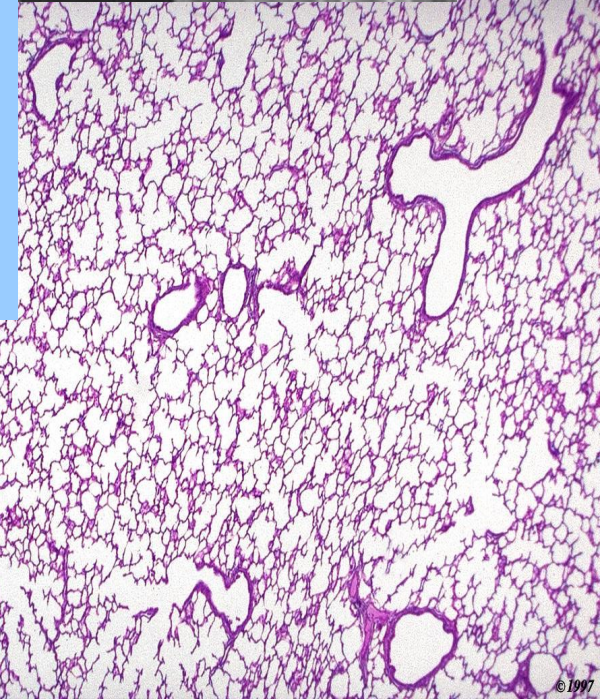
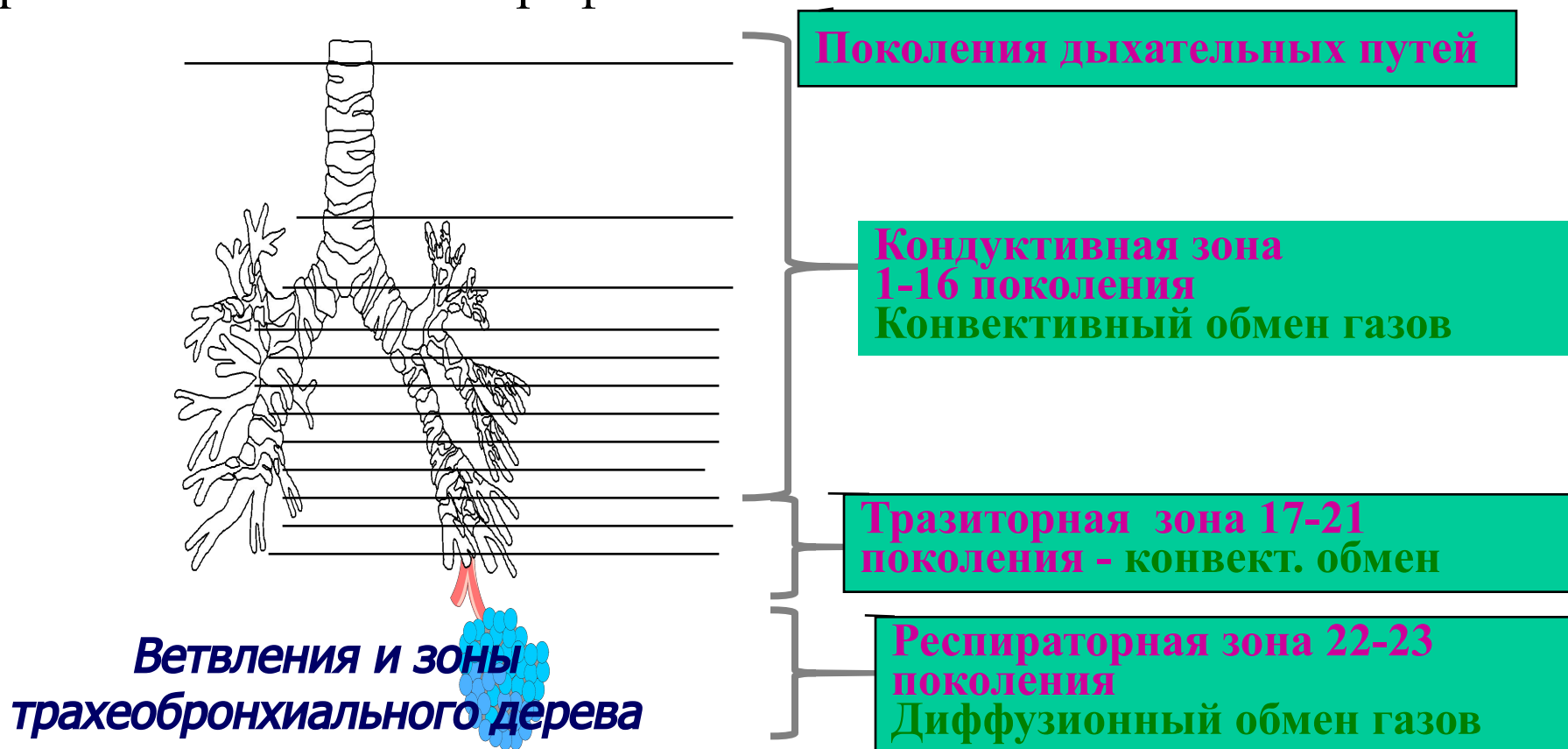


FIGURE 42-5
Pulmonary changes in pneumonia and emphysema.



Проходимость дыхательных путей

во многом зависит от нормального дренирования трахеобронхиального секрета, что обеспечивается прежде всего функционированием механизма мукоцилиарного очищения и нормальным кашлевым рефлексом.



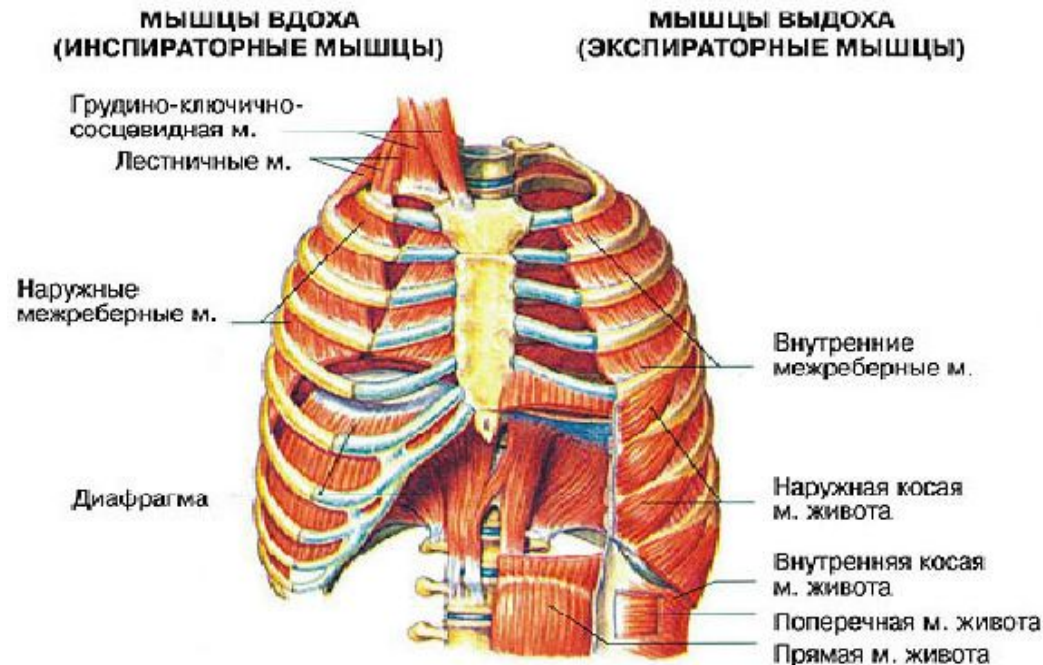
Механический аппарат вентиляции - дыхательные мышцы

Мышцы вдоха:

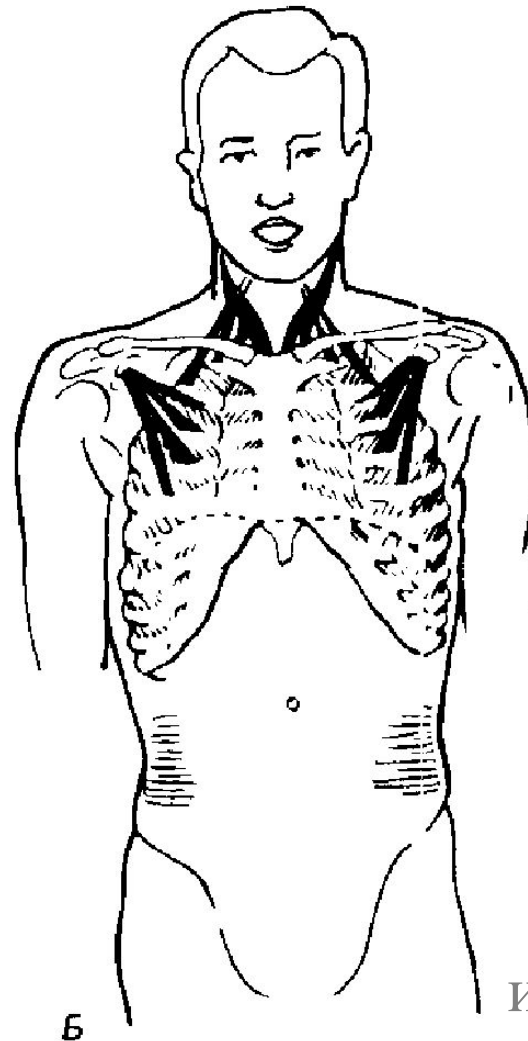
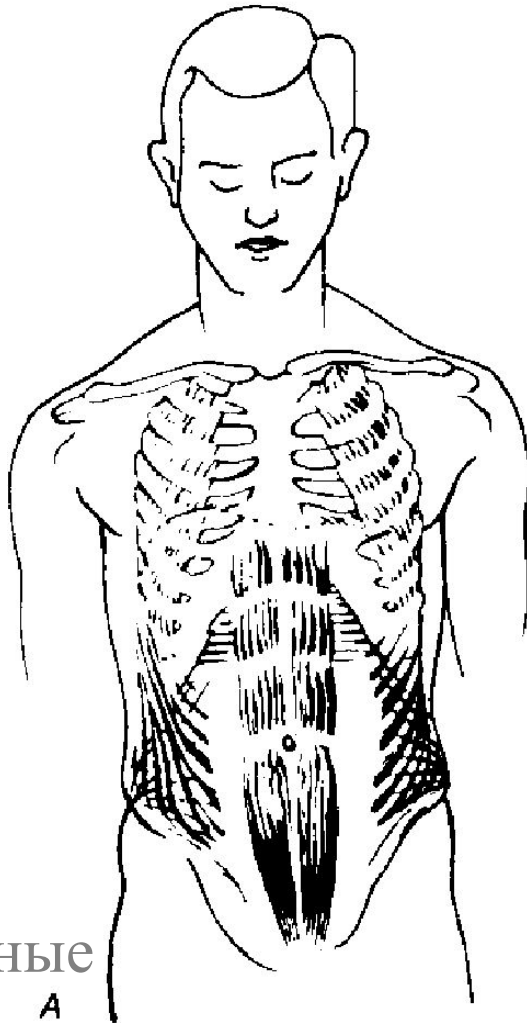
- Наружные межреберные мышцы;
- Диафрагма;
- Большие и малые грудные;
- Лестничные;
- Грудино-ключично-сосцевидные;
- Зубчатые;

Мышцы выдоха:

- Внутренние межреберные мышцы;
- Мышцы живота;



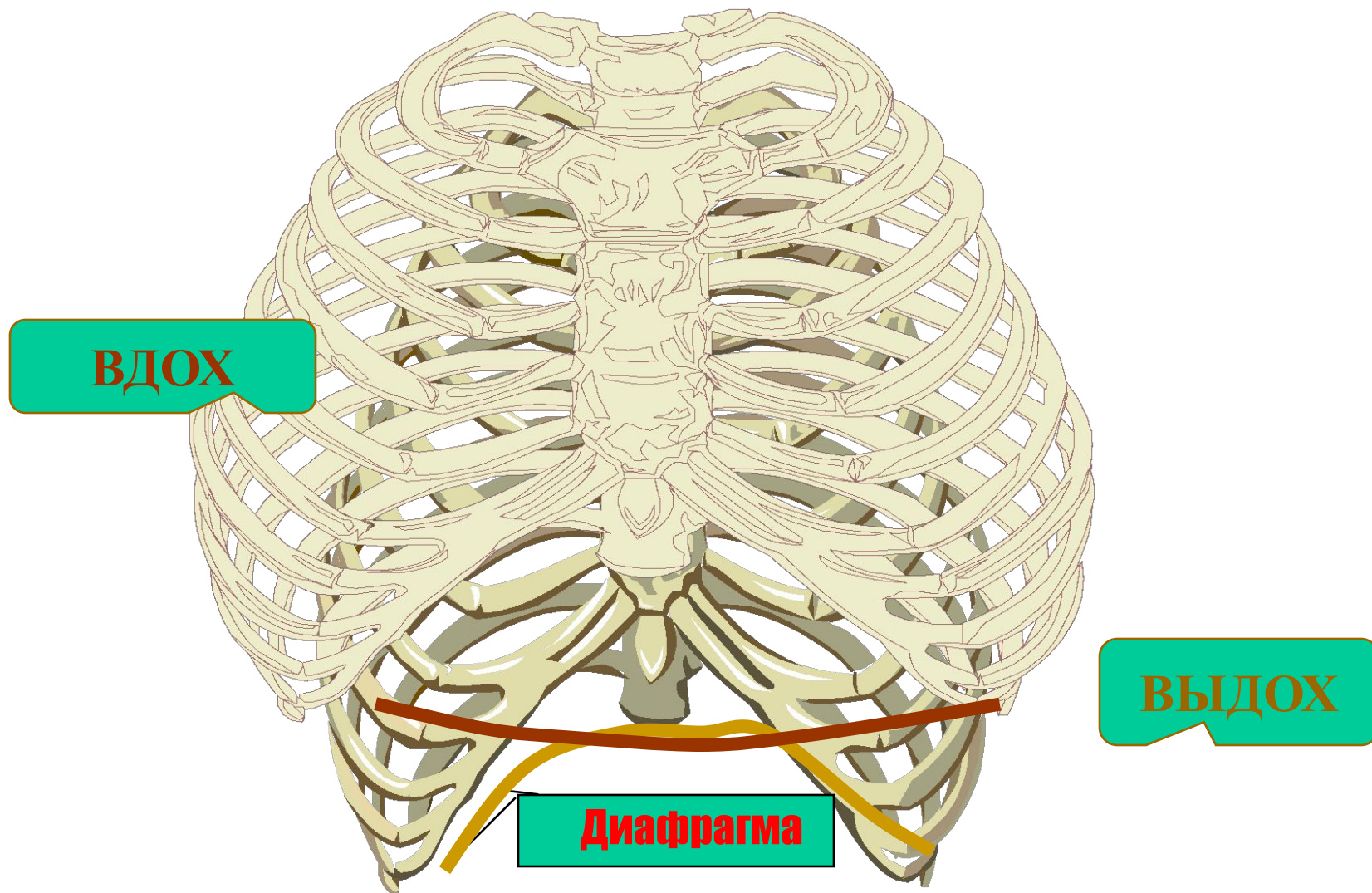
Вспомогательные дыхательные мышцы



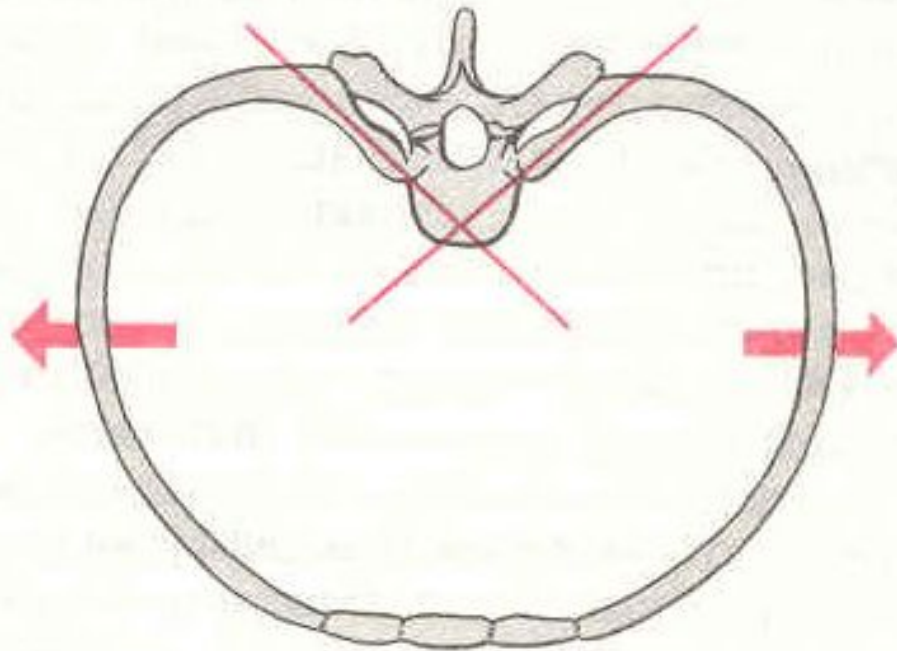
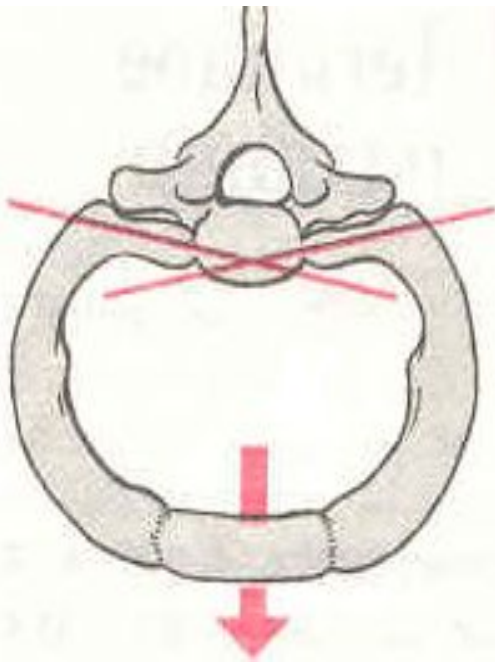
экспираторные

инспираторные

Изменения формы грудной клетки при вдохе и выдохе

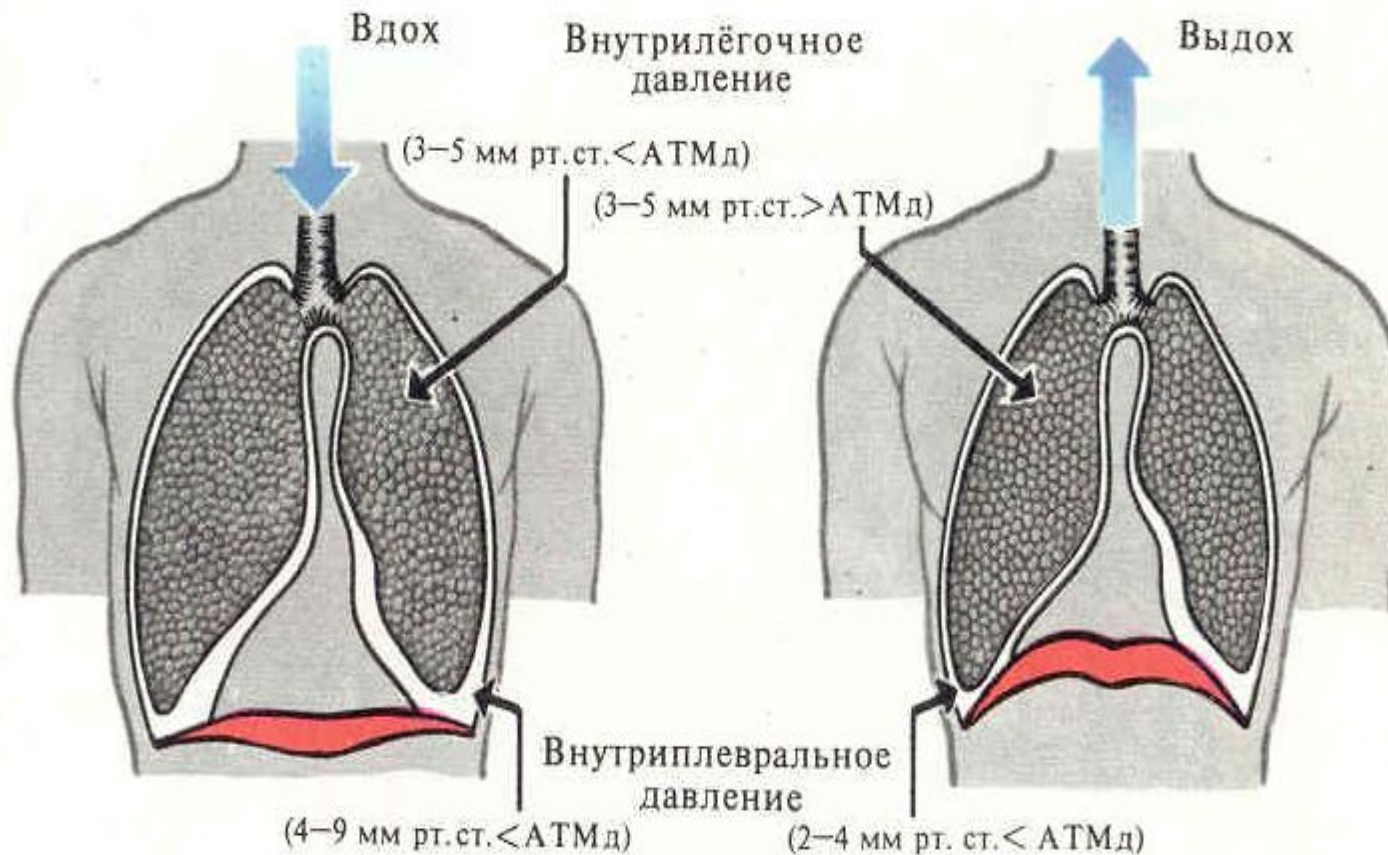


Направление вращения первого и шестого ребер при вдохе

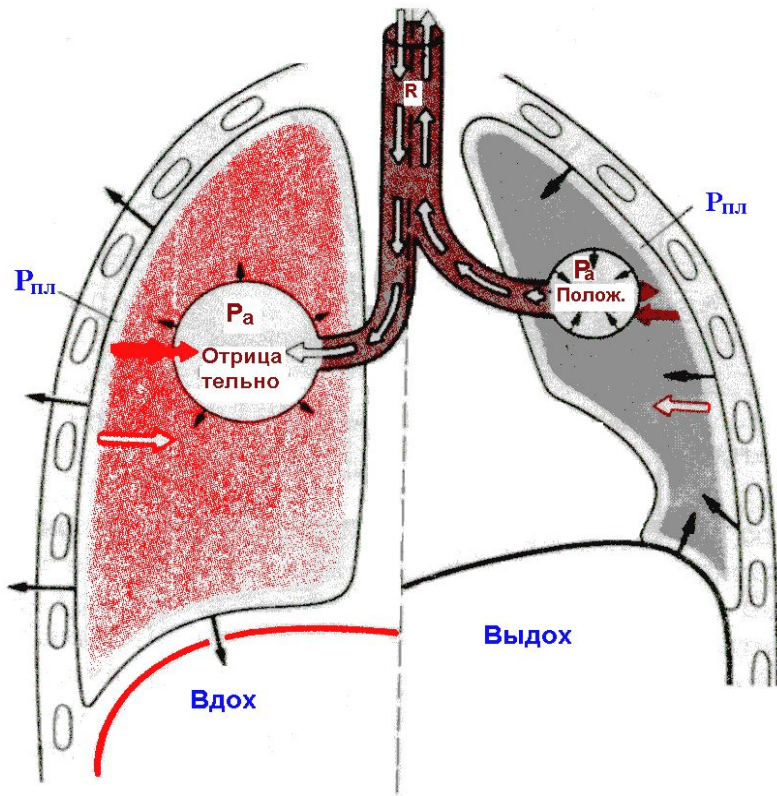


Направление, в котором преимущественно увеличиваются размеры грудной клетки при вдохе

Внутрилегочное и внутриплевральное давление на вдохе и выдохе



Механизм вдоха и выдоха



Транспульмональное давление:

$$P_{трп} = P_{альв} - P_{плевр}$$

На вдохе $P_{плевр} = -9$ мм Hg

Перед вдохом $P_{плевр} = -3$ мм Hg

На выдохе $P_{плевр} = +4-10$ мм Hg

Трансреспираторное давление:

$$P_{трр} = P_{альв.} - P_{внешн.}$$

На вдохе: $P_{трр} = 756 - 760 = -4$ мм Hg

На выдохе: $P_{трр} = 764 - 760 = +4$ мм Hg

Hg

Эластическая тяга дыхания =

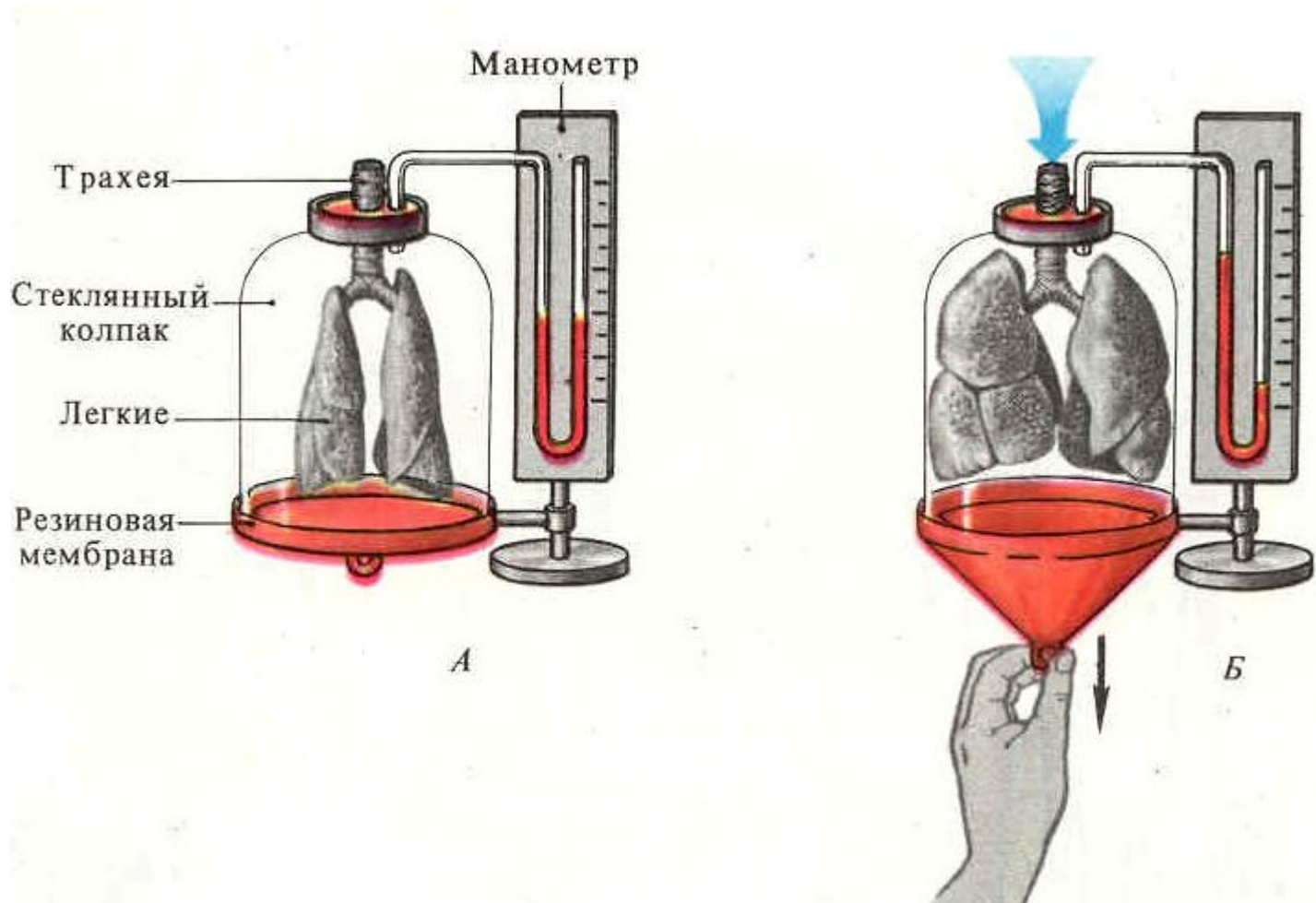
эластическая тяга легких +

эластическая тяга грудной клетки

→ Эластическая тяга при дыхательных движениях

→ Эластическая тяга в покое

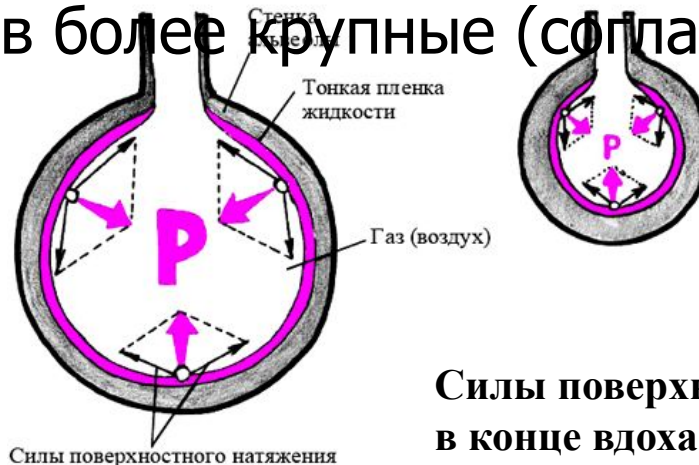
Модель Дондерса



Сурфактантная система

Важнейшими физиологическими функциями сурфактанта являются:

1. увеличение растяжимости легкого благодаря снижению сил поверхностного натяжения;
2. уменьшение вероятности спадения (коллапса) альвеол во время выдоха, поскольку при малых объемах легкого (в конце выдоха) его активность максимальна, а силы поверхностного натяжения минимальны;
3. предотвращение перераспределения воздуха из более мелких альвеол в более крупные (согласно закону Лапласа).



Силы поверхностного натяжения в альвеоле в конце вдоха (а) и в конце выдоха (б).

Факторы, способствующие ВЫДОХУ:



- **Расслабление дыхательной мускулатуры;**
- **Эластические свойства легких и грудной клетки;**
- **Тяжесть грудной клетки;**
- **Давление органов брюшной клетки;**

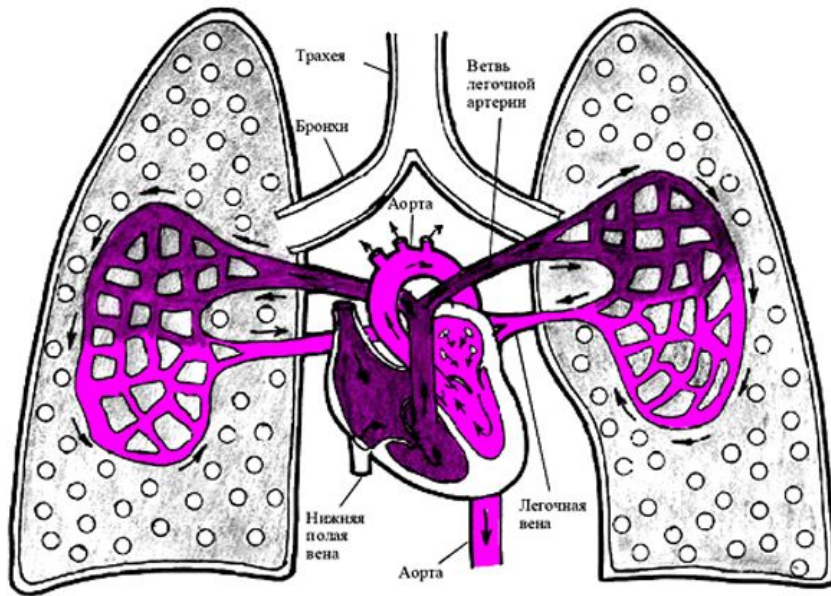
Неравномерность вентиляции легких

(существующая в норме) определяется прежде всего неоднородностью механических свойств легочной ткани. Наиболее активно вентилируются базальные отделы легких, в меньшей степени — их верхние отделы.

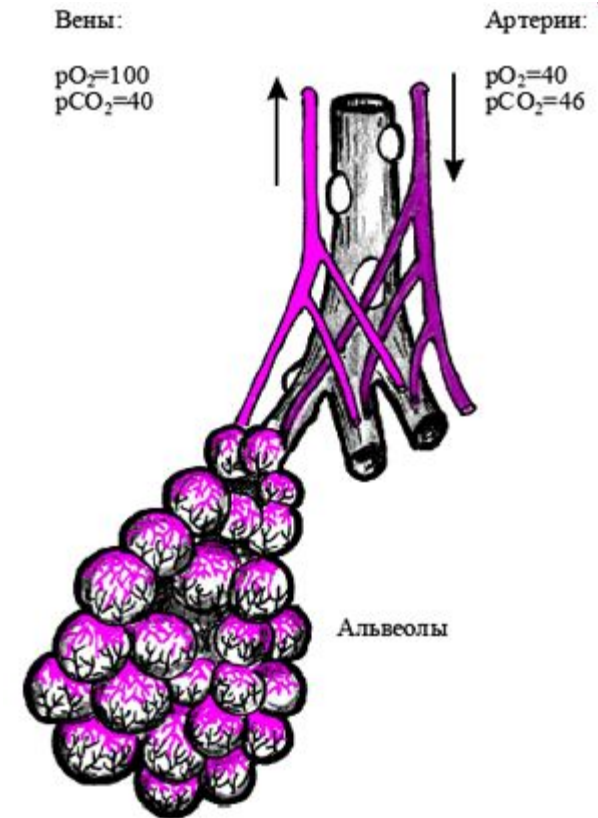


Соотношение вентиляции и перфузии в разных отделах легких. Распределение вентиляционно-перфузионного коэффициента (ВПК)

Легочный кровоток



Малый круг кровообращения

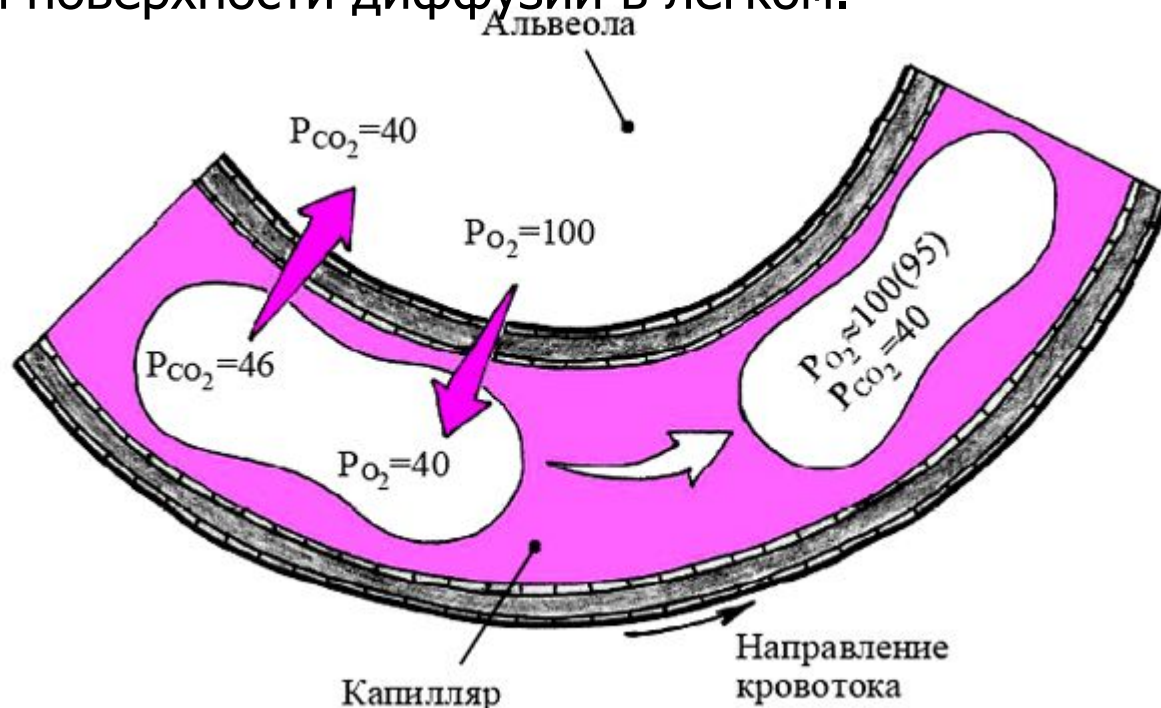


Кровообращение в ацинусе.
Цифрами обозначены величины парциального давления кислорода и углекислого газа в легочных артериях («венозная» кровь) и в венах («артериальная» кровь)

Диффузия газов

Процесс диффузии газов через альвеолярно-капиллярную мембрану зависит от:

1. градиента парциального давления газов по обе стороны мембраны (в альвеолярном воздухе и в легочных капиллярах);
2. толщины альвеолярно-капиллярной мембраны;
3. общей поверхности диффузии в легком.



Газообмен между альвеолярным воздухом и эритроцитом.

Цифрами обозначены величины парциального давления кислорода (P_{O_2}) и углекислого газа (P_{CO_2}) в артериальном и венозном конце капилляра (в мм рт. ст.)

область \ парциальное давление, мм Hg	O ₂	CO ₂
Вдыхаемый воздух	158	0,3
Альвеолы	100 (13,3 кПа)	40 (5,3 кПа)
Артерии большого круга	95	40
Капилляры тканей тела	40	46
Вены большого круга	40	46
Выдыхаемый воздух	116	32

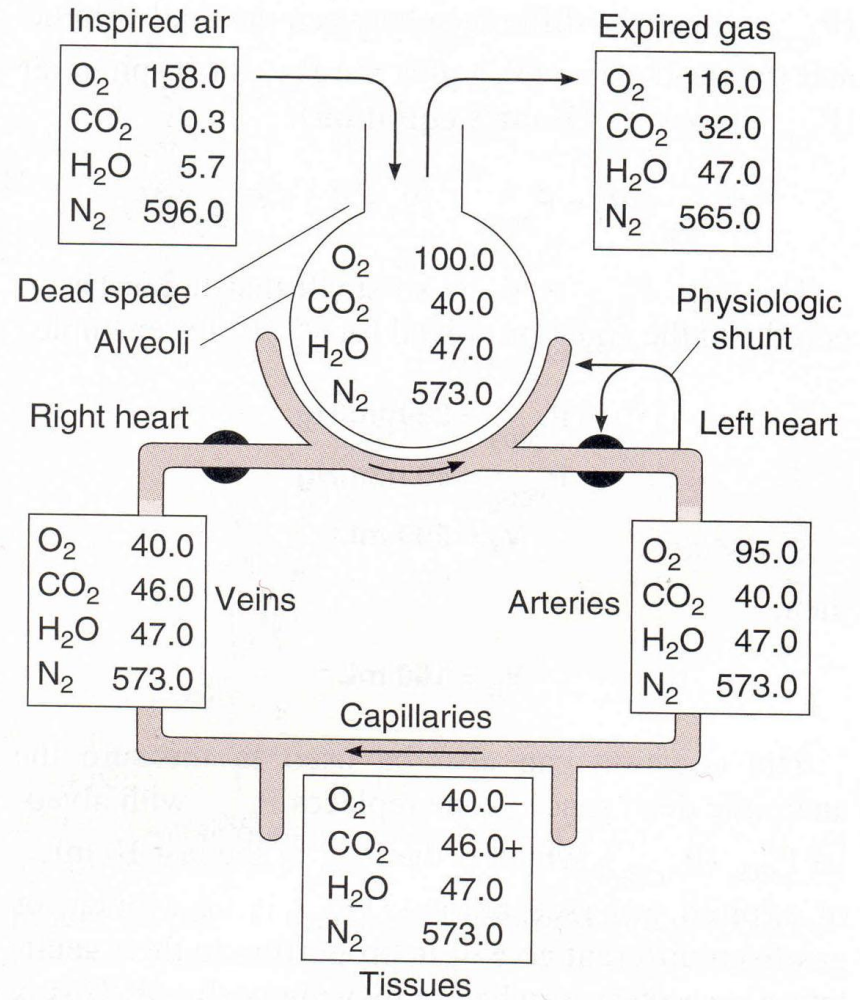
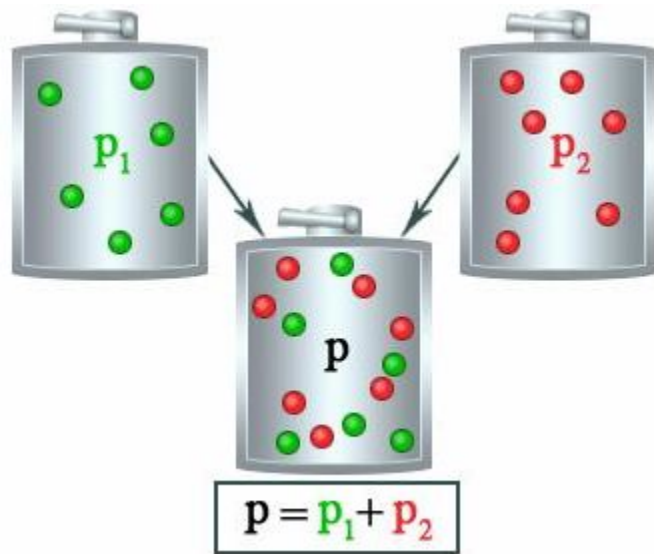


Figure 34-18. Partial pressures of gases (mm Hg) in various parts of the respiratory system and in the circulatory system.

Парциальное давление



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

ЗАКОН ДАЛЬТОНА

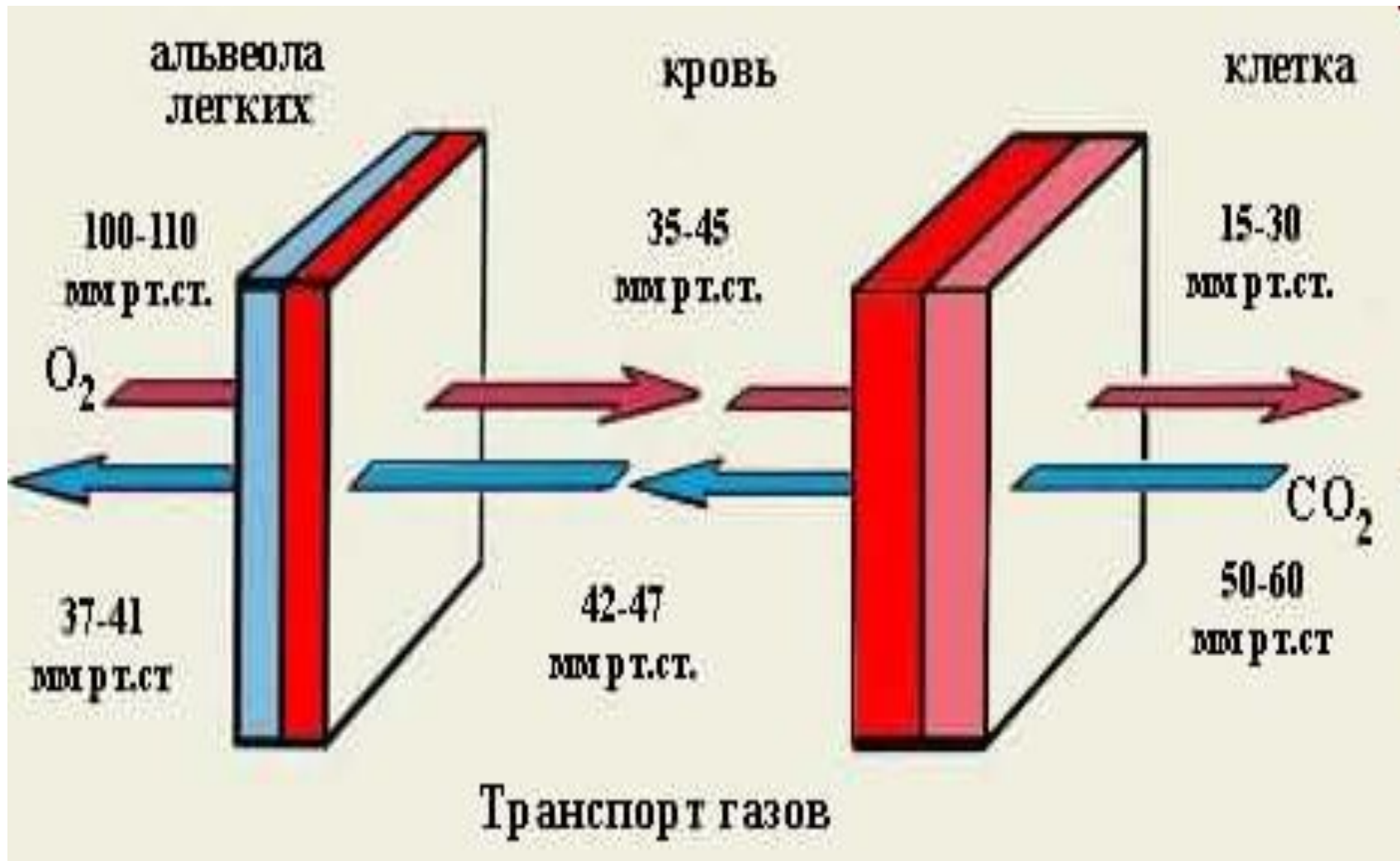
$$P_{\text{ГАЗА}} = \frac{P_{\text{СМЕСИ}} \times C (\%)}{100\%}$$

Для воздуха: $P_{\text{атм}} = 760 \text{ мм Hg}$;

$CO_2 = 20,9\%$;

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

Диффузия газов



Транспорт O_2 кровью

ДВЕ ФОРМЫ ТРАНСПОРТА КИСЛОРОДА:

физически растворенный газ: 3 мл O_2 в 1 л крови

Закон Генри: $C_{газа} = K \times P_{газа}$,

где $C_{газа}$ - концентрация растворенного газа,

K - константа растворимости газа,

$P_{газа}$ - парциальное давление газа над

уровнем жидкости

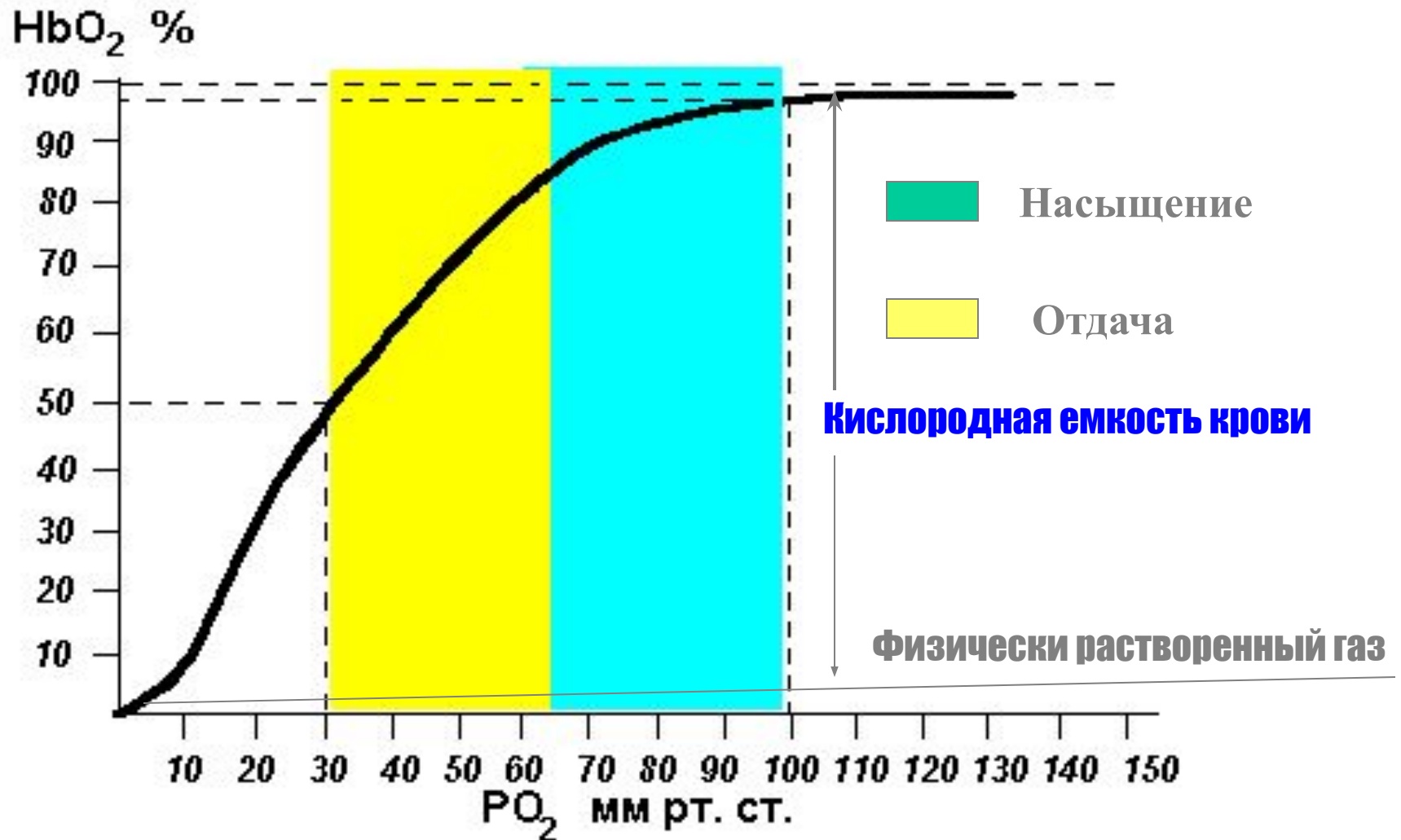
связанный с гемоглобином газ: 190 мл O_2 в 1

л крови

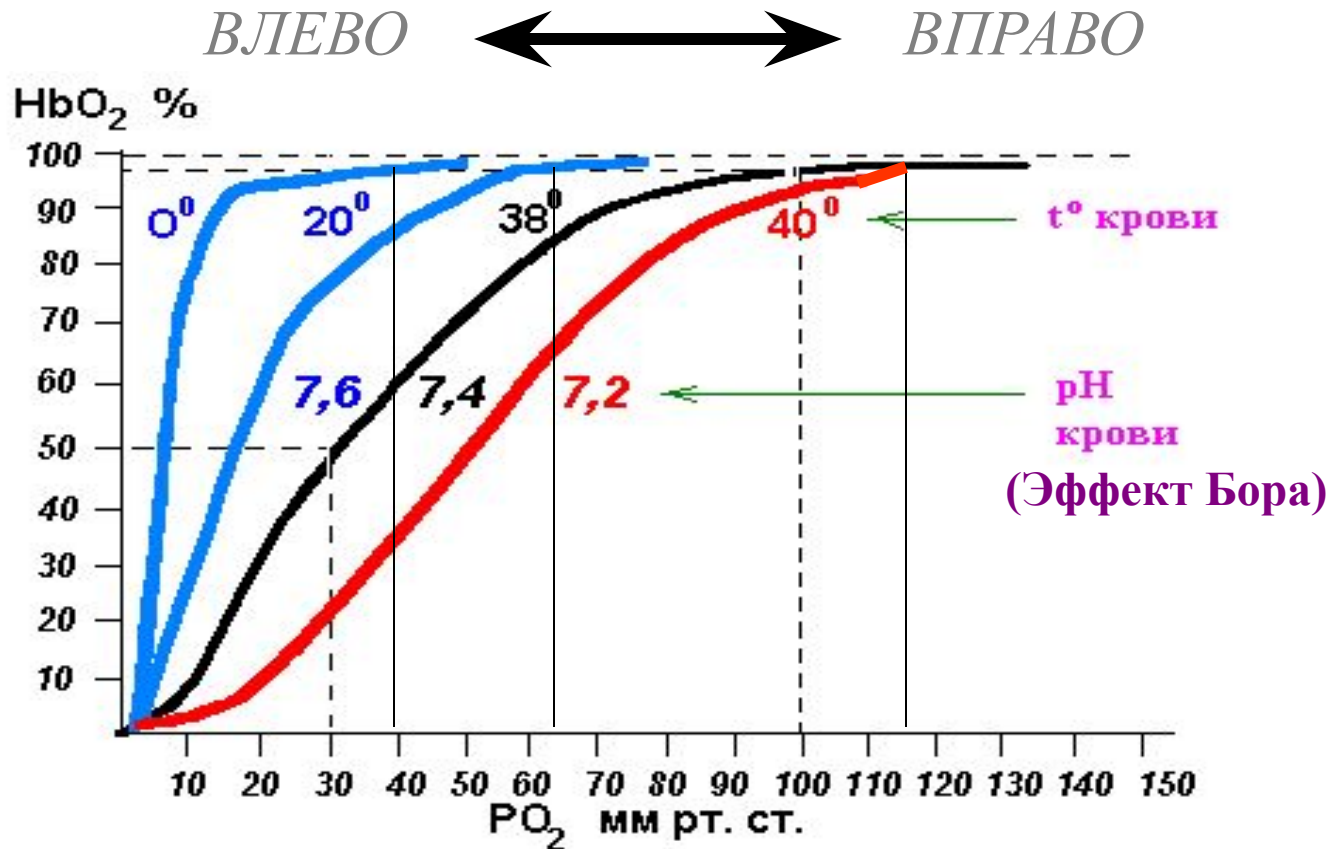
ХАРАКТЕРИСТИКИ КРОВИ

- $\text{Hb} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{HbO}_2$ $\text{HbO}_2 \rightleftharpoons \text{Hb} + \text{O}_2$
- **Кислородная емкость крови - количество O_2 , которое связывается кровью до полного насыщения гемоглобина**
- **Константа Хюфнера: 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



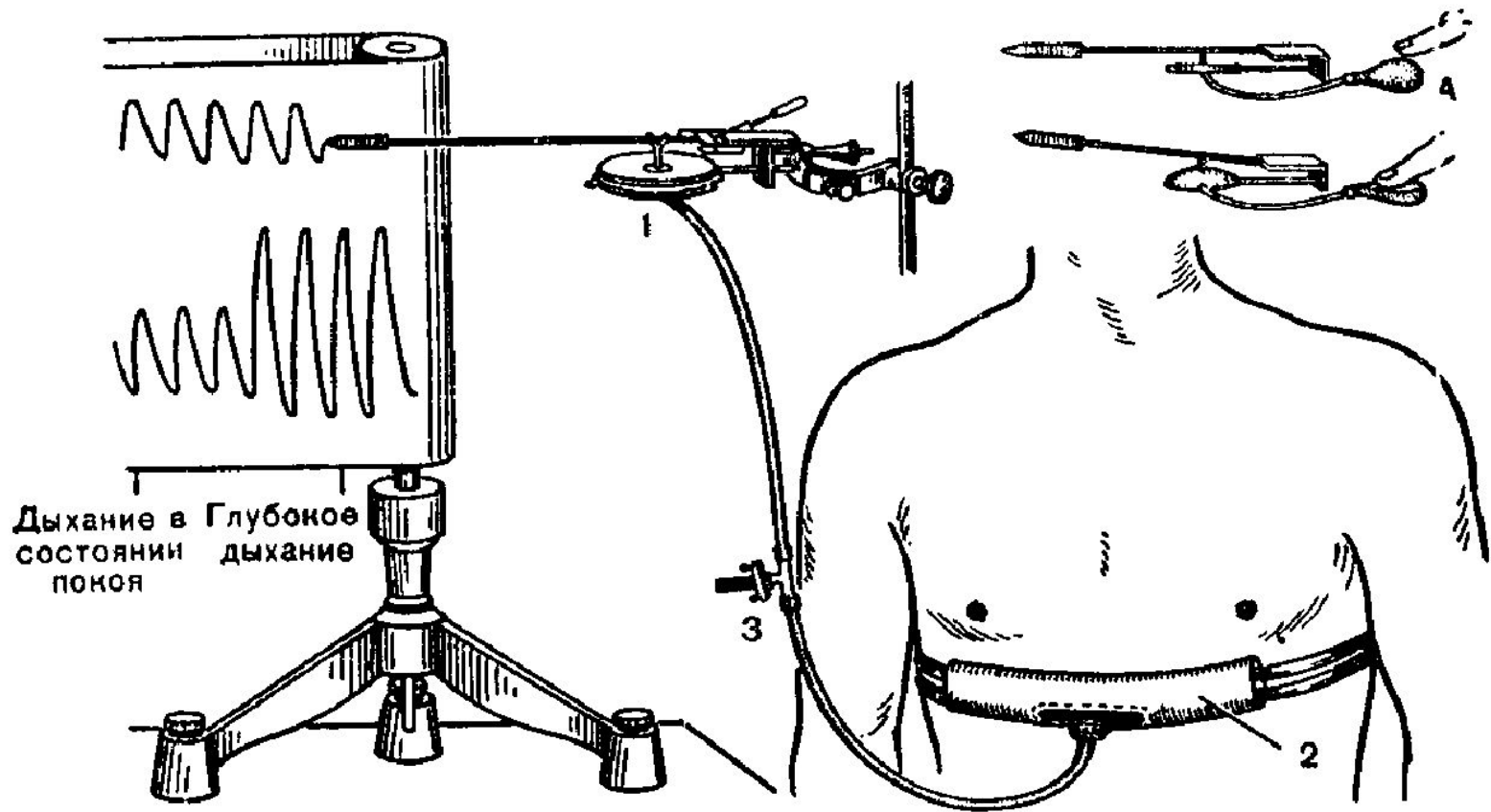
Сдвиги кривой диссоциации



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

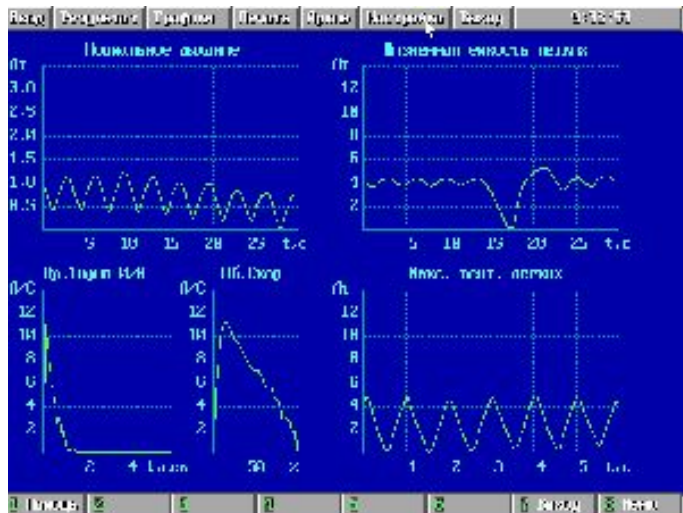
Сдвиг вправо - легче отдача кислорода: $>t$; $>P_{CO_2}$; $>2,3\text{-ДФГ}$; $<pH$

Методы оценки функции внешнего дыхания



пневмограф Маррея

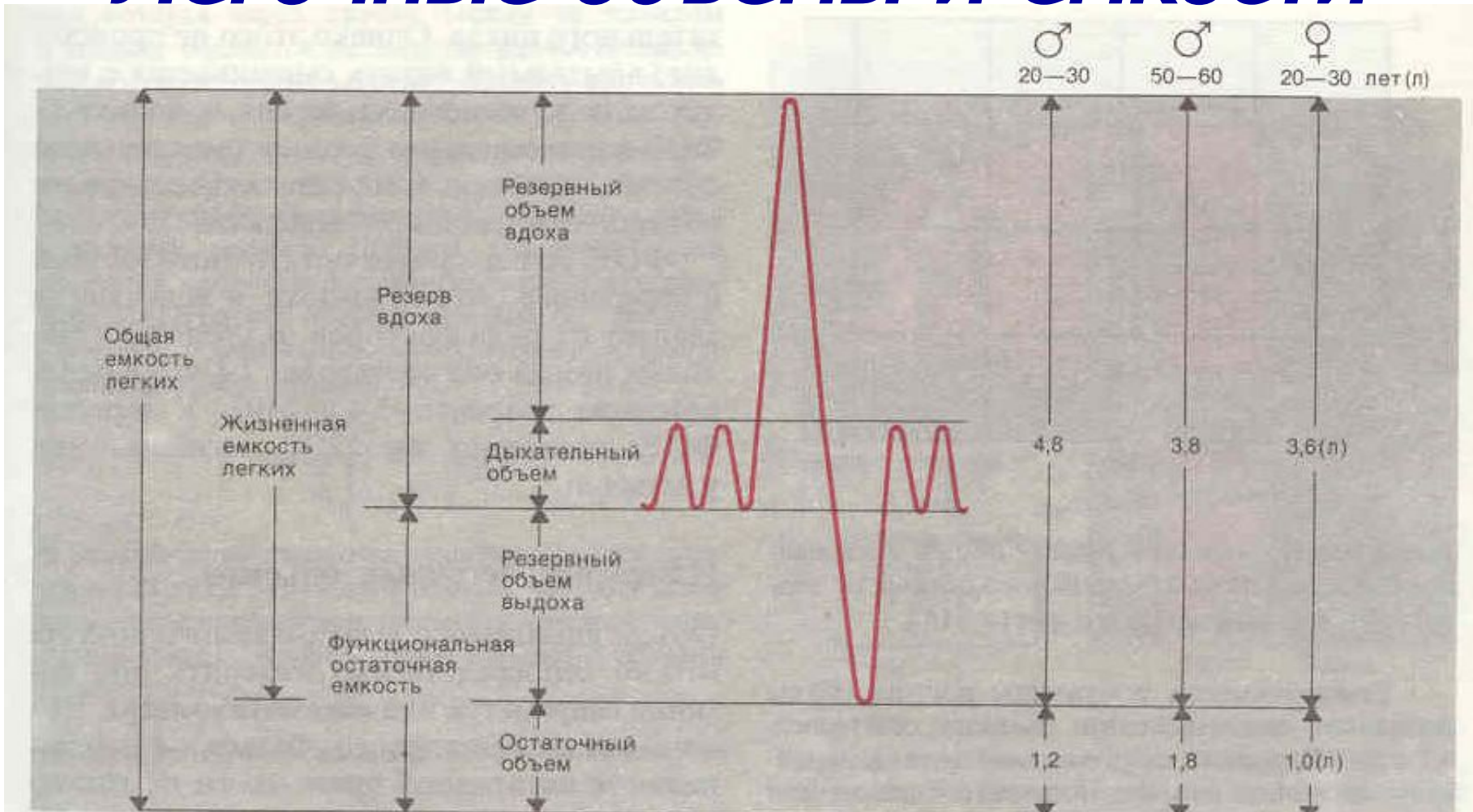
Методы оценки функции внешнего дыхания



Спирография



Легочные объемы и емкости



Жизненная емкость легких (ЖЕЛ) – объем воздуха, который можно выдохнуть при максимально глубоком выдохе после максимально глубокого вдоха;

Легочные объемы

- **Дыхательный объем** - количество воздуха, поступающего и выходящего из легких при спокойном дыхании – 500 см^3 .
- **Резервный объем вдоха** - количество воздуха, которое можно вдохнуть после спокойного вдоха - $1500-2500 \text{ см}^3$.
- **Резервный объем выдоха** – количество воздуха, которое можно выдохнуть после обычного выдоха – 1500 см^3 .
- **Жизненная емкость легких** – сумма объемов дыхательного, резервного вдоха и резервного выдоха – $3500-4500 \text{ см}^3$.
- **Остаточный объем** - количество воздуха, остающееся в легких и дыхательных путях после самого глубокого выдоха – 1500 см^3 .
- **Легочная вентиляция** – количество воздуха, проходящего за 1 мин через легкие – 7000 см^3 .

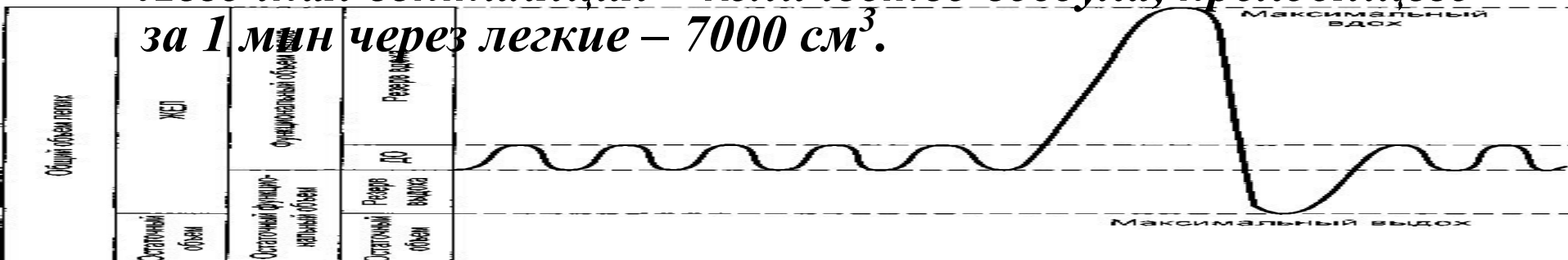


Рис. 13.4. Спирограмма (схема)

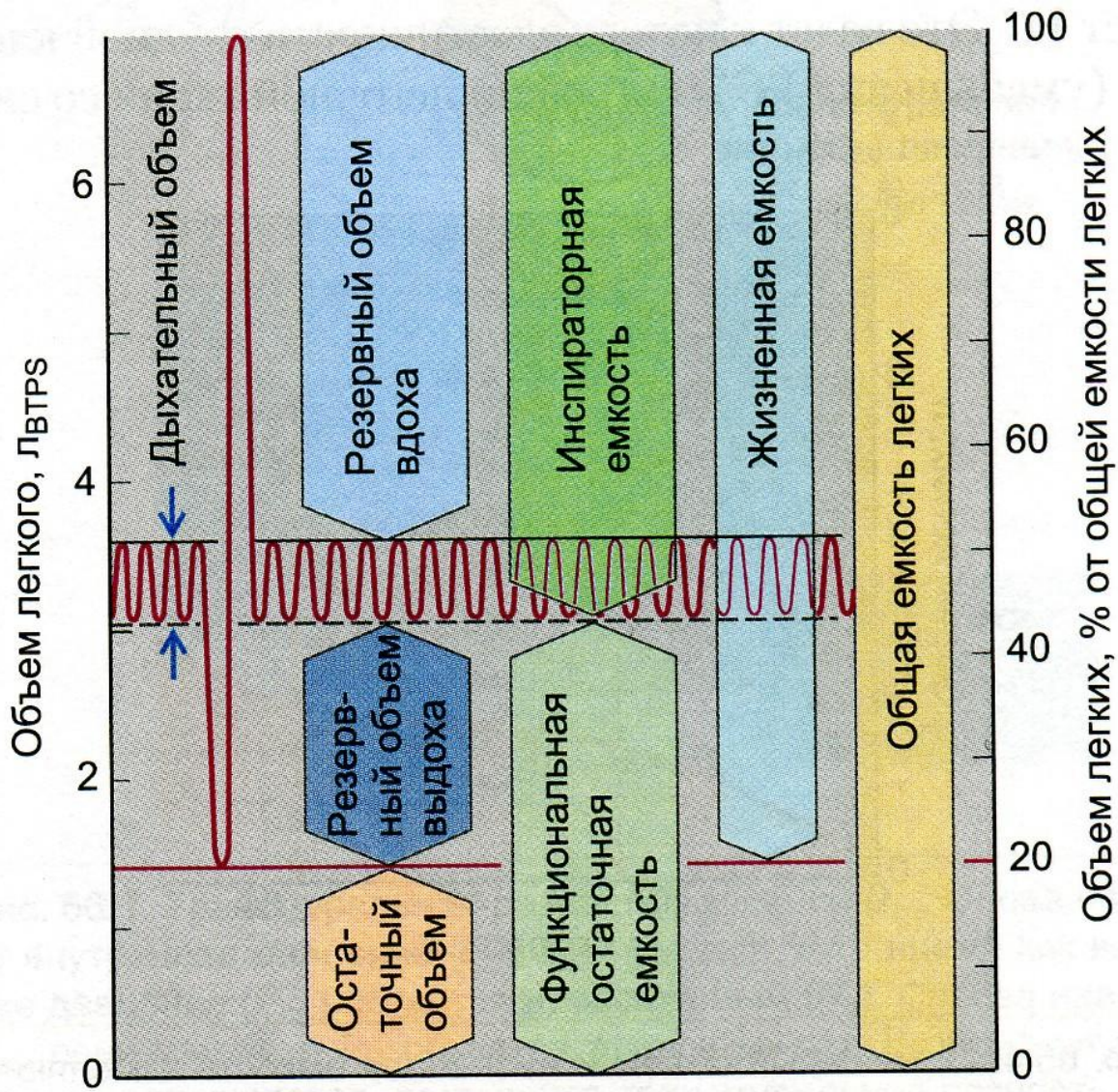


Рис. 65.3. Легочные объемы. Из спирометрических измерений (см. рис. 65.1) и измерения остаточного объема (см. рис. 65.2) получают легочные объемы. Левая ордината: абсолютное значение для здорового легкого молодого мужчины; правая ордината: объемы легкого в процентах общей емкости легкого (см. также табл. 65.1)

Общая емкость =
жизненная емкость
+ остаточный V
(определяется
методом разведения
чужеродного газа)

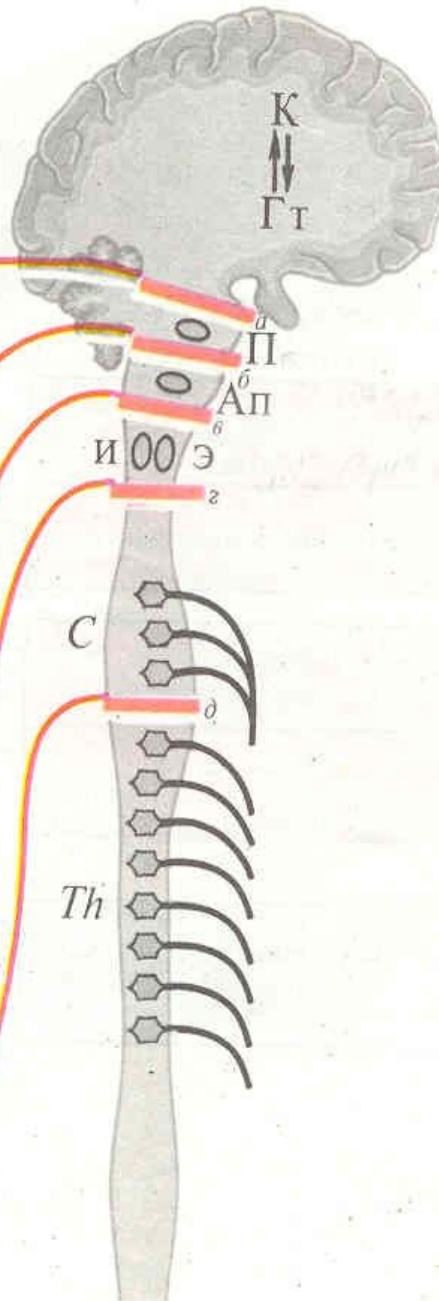
Жизненная емкость
= дыхательный V
+ резервн. V вдоха
+ резервн. V выдоха

Остаточный V
+ резервн. V выдоха
= функциональная
остаточная емкость

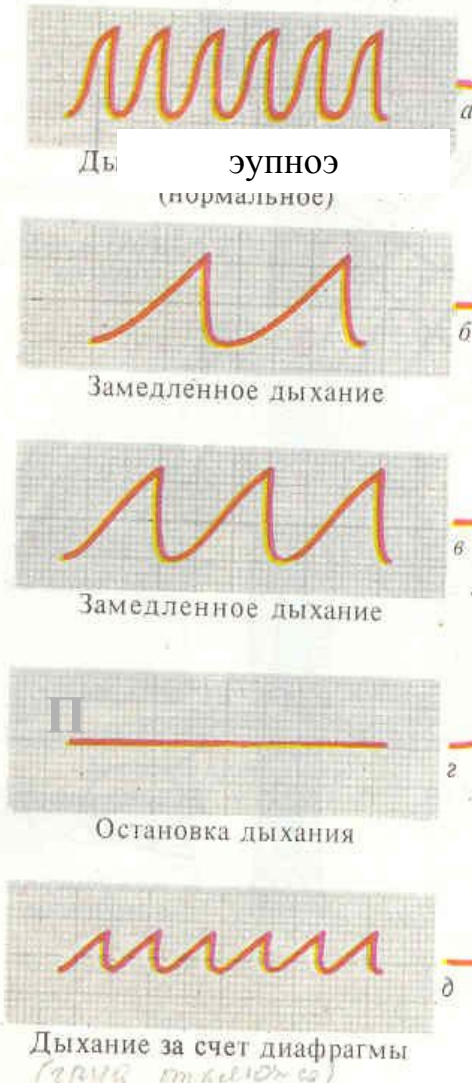
Дыхательный V
+ резервн. V вдоха
= инспир. емкость

Динамические легочные объемы и емкости

1. Частота дыхания (ЧД) = 12-16/мин
2. Минутный объем дыхания (МОД) = ДО x ЧД = 6 - 9 литров
3. Объем анатомического мертвого пространства (МП) = 140мл
4. Дыхательный альвеолярный объем (ДАО) = ДО - МП = 500 - 140 = 360мл
5. Коэффициент вентиляции альвеол (КВА) = $\frac{\text{ДАО}}{\text{ФОЕ}} = \frac{\text{ДО} - \text{МП}}{\text{ОО} + \text{РО}_{\text{выдоха}}} = \frac{360}{2500} = 1/7$
6. Минутная альвеолярная вентиляция легких (МВЛ) = (ДО - МП) x ЧД = 3,5 - 4,5 л



Регуляция ДЫХАНИЯ

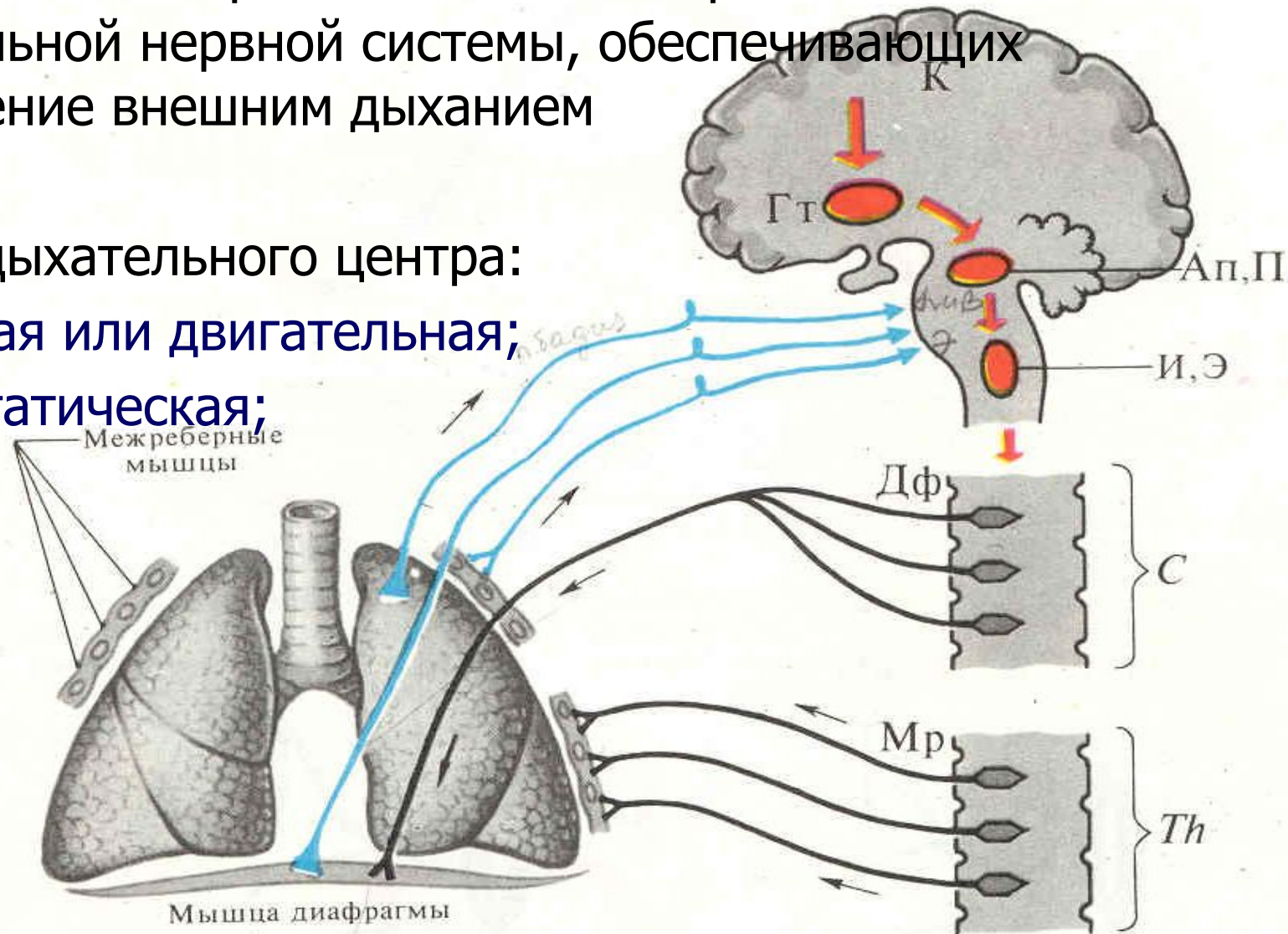


Дыхательный центр

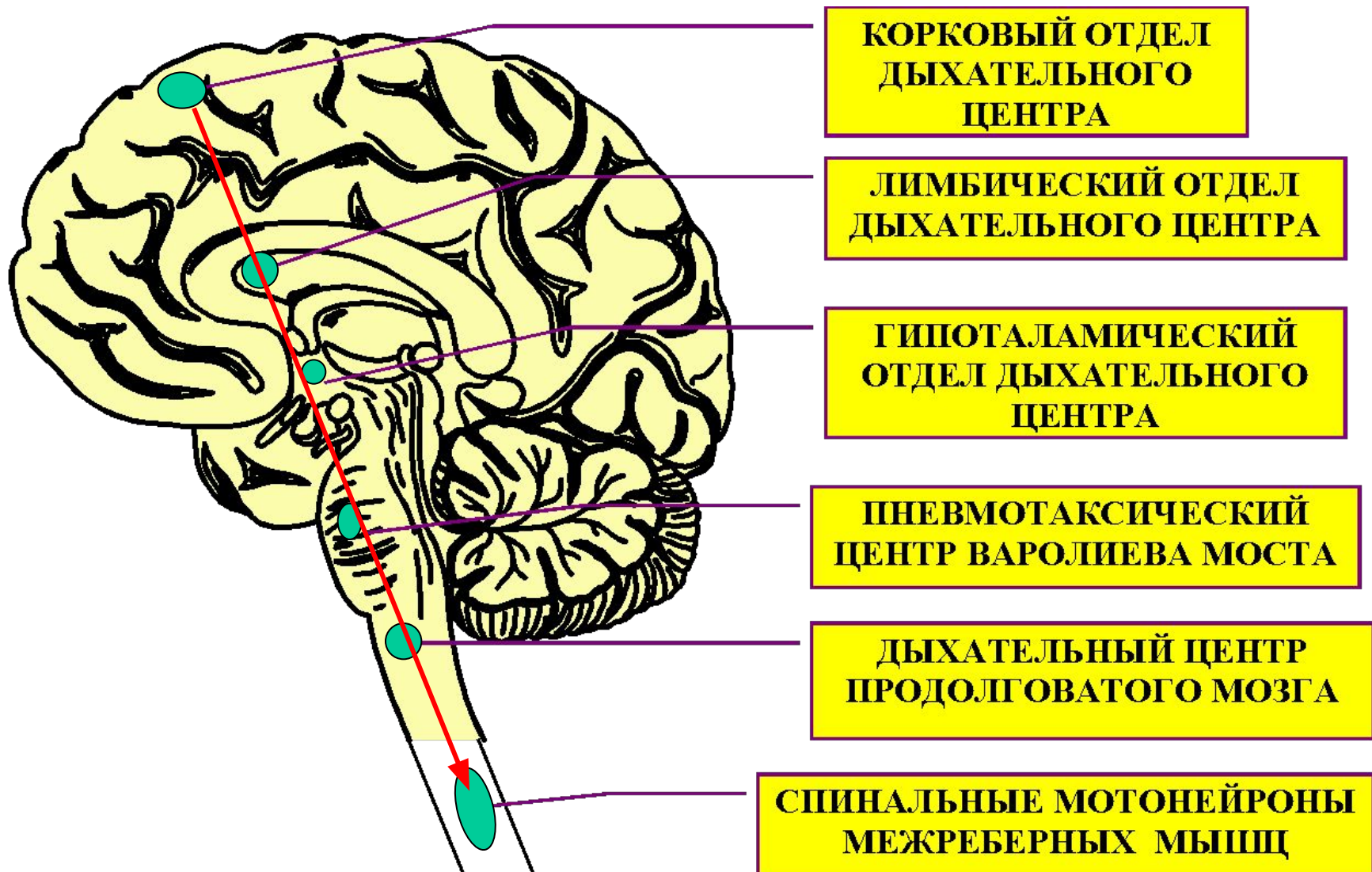
- совокупность нейронных ансамблей разных этажей центральной нервной системы, обеспечивающих управление внешним дыханием

Функции дыхательного центра:

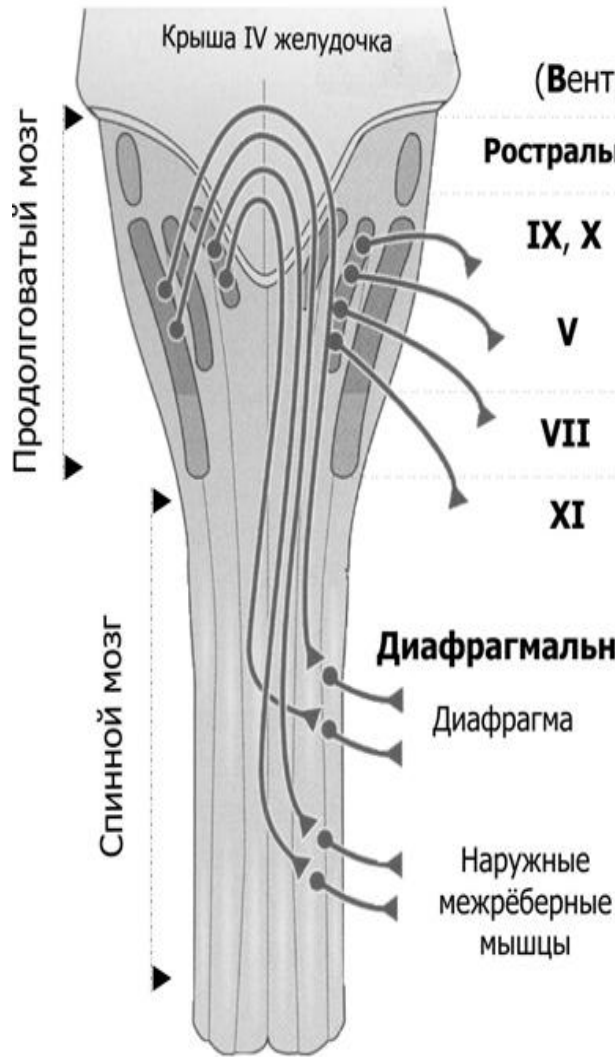
- Моторная или двигательная;
- Гомеостатическая;



Уровни организации дыхательного центра



I - ВДОХ



E - ВЫДОХ



ВДГ

(Вентральная Дыхательная Группа)

Ростральная часть ВДГ (комплекс Бётцингера)

IX, X

Промежуточная часть ВДГ

V

VII

Каудальная часть ВДГ

XI

Диафрагмальный нерв

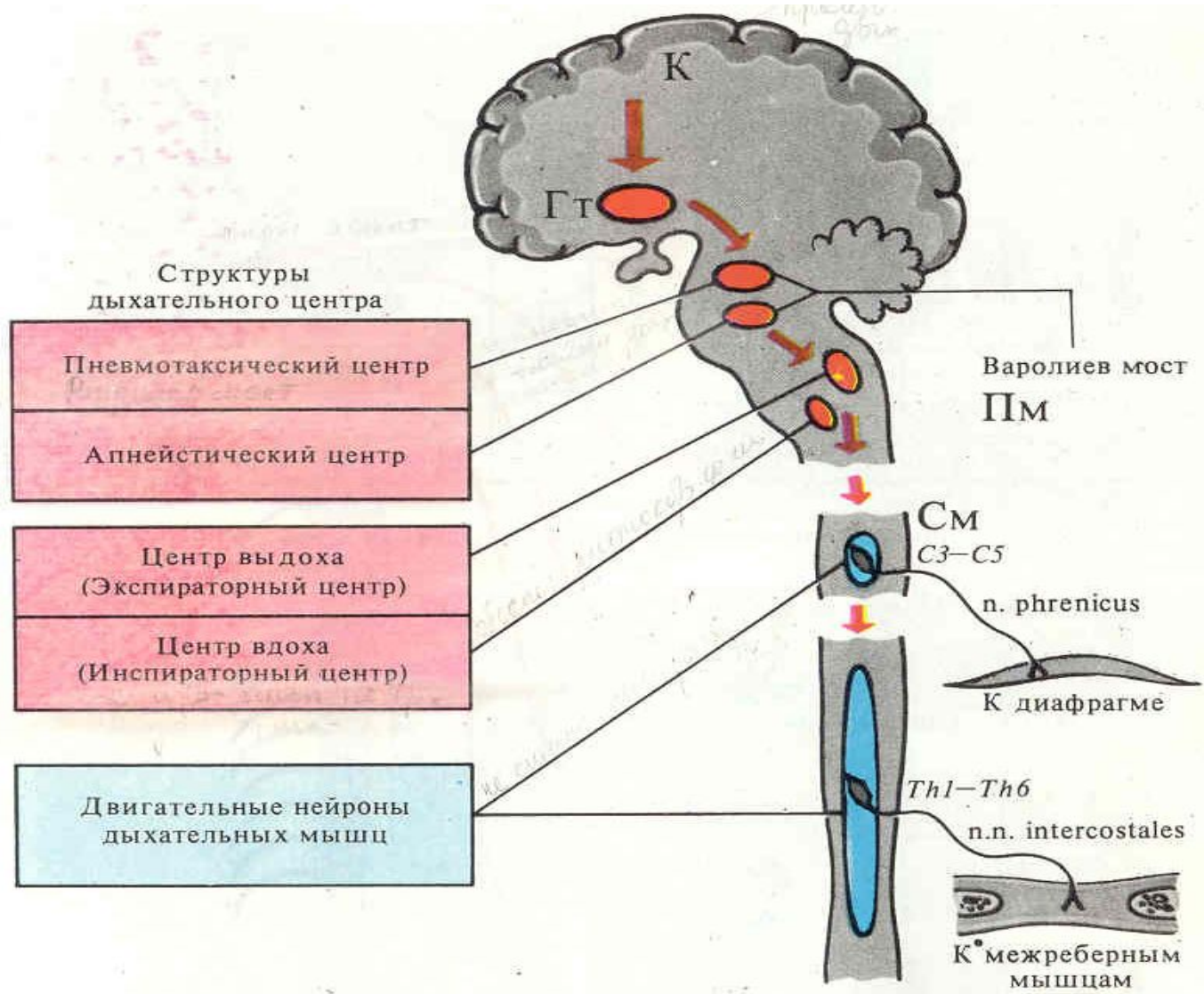
Диафрагма

Наружные межрёберные мышцы

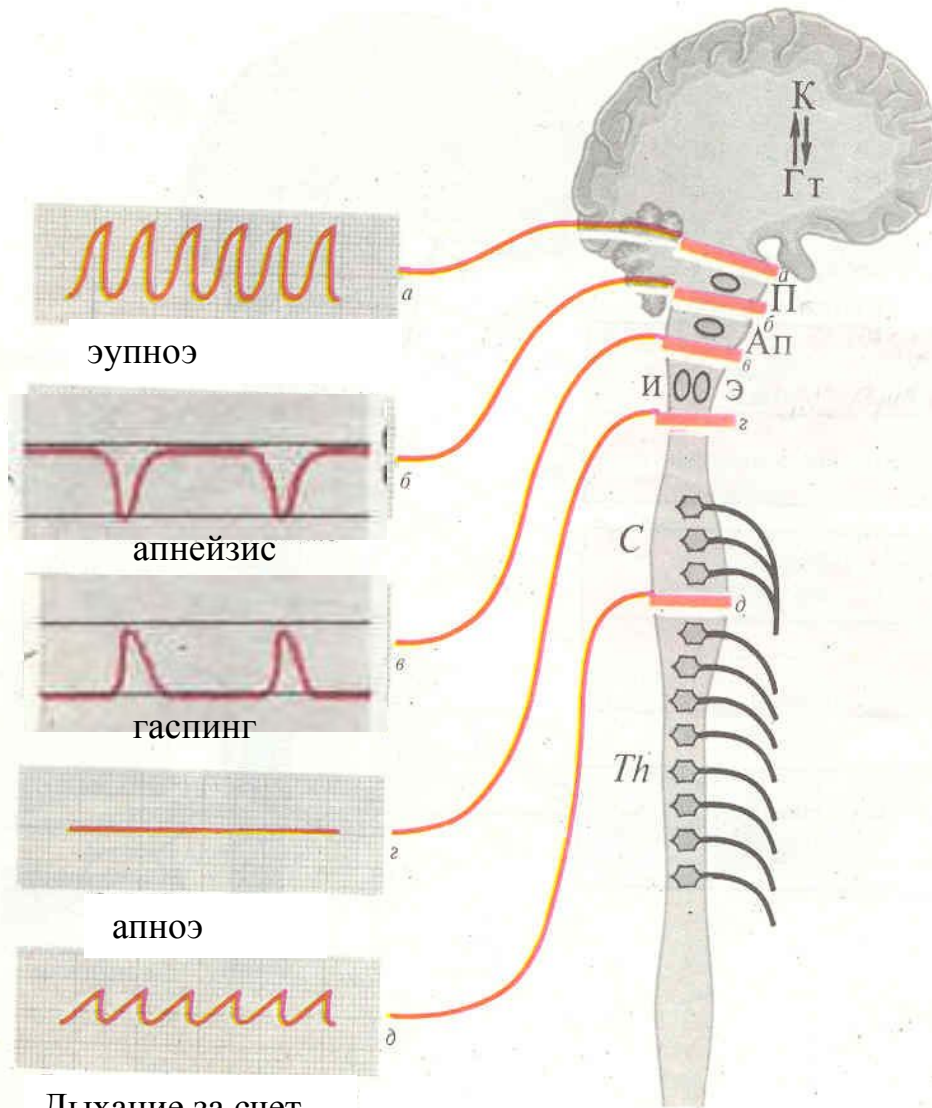
Спинномозговые нервы

Внутренние межрёберные и брюшные мышцы

Компоненты дыхательного центра и эфферентные нервы



Влияние на дыхание перерезок мозга на разных уровнях



эупноэ

апноэ

гаспинг

апноэ

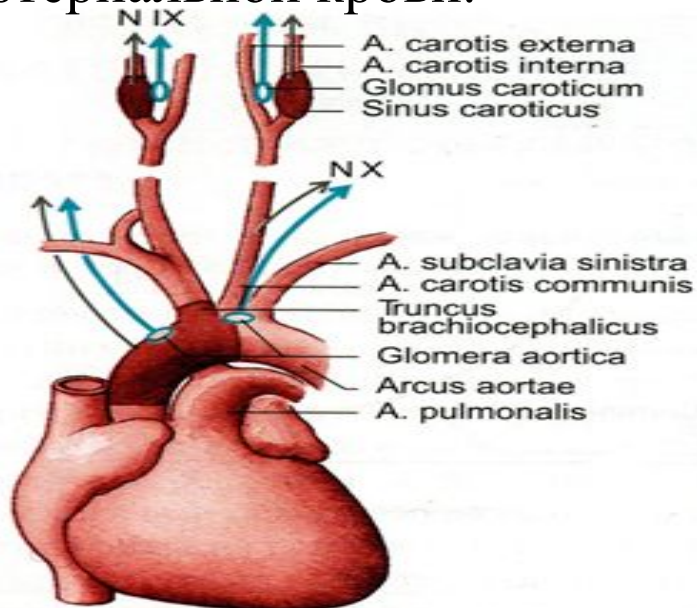
Дыхание за счет диафрагмы

II

б

Дыхательная система включает два основных контура регулирования: хемотрепторный и механорецепторный

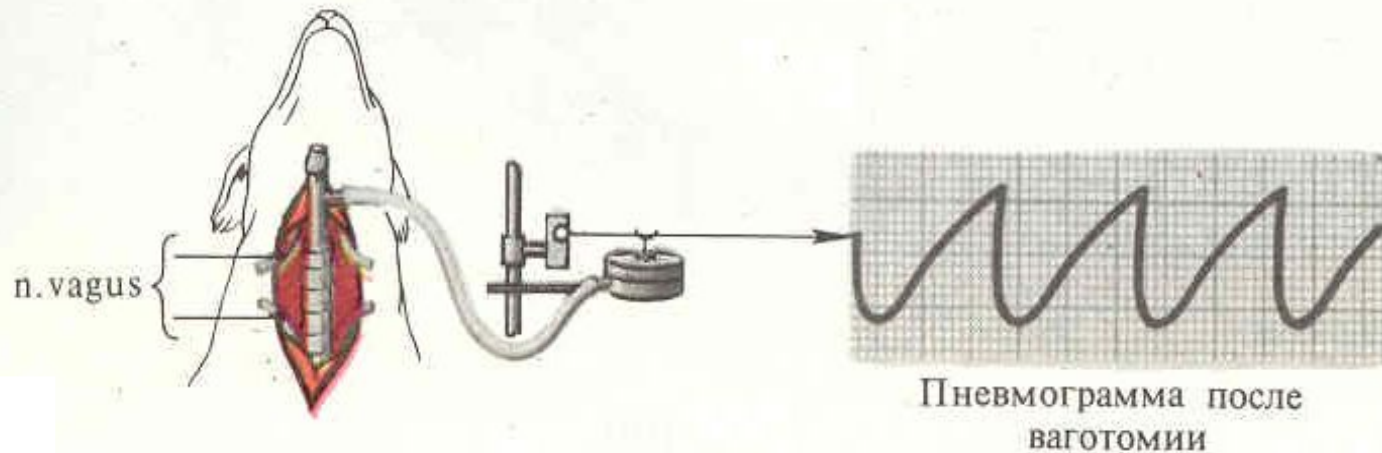
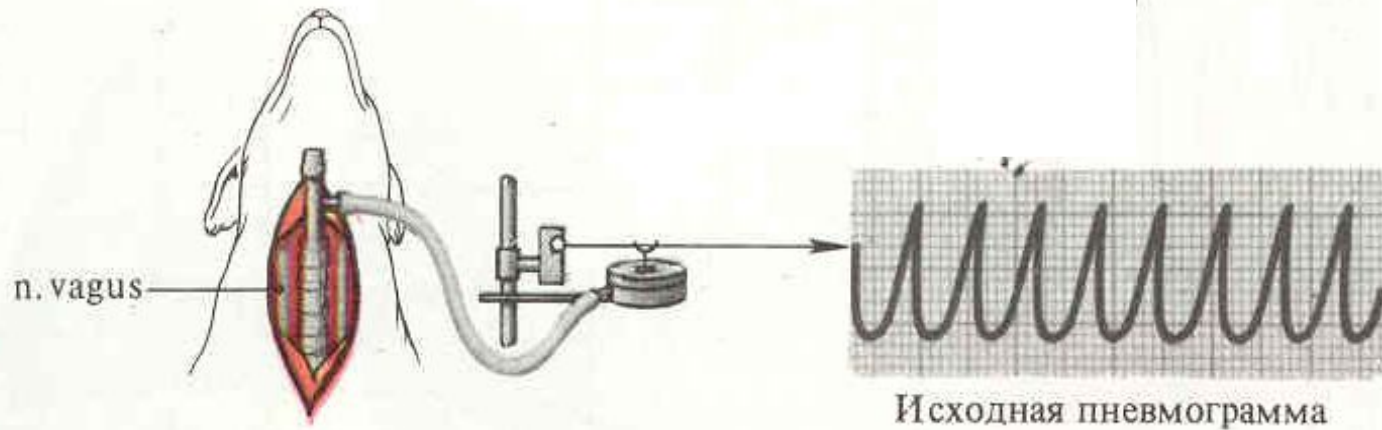
- Различают центральные и периферические хемотрепторы. Основными химическими раздражителями являются ионы водорода, парциальные давления кислорода и углекислоты в артериальной крови.



- Чувствительными элементами этого уровня регуляции являются рецепторы растяжения, расположенные в ткани легких, ирритатные и J-рецепторы в бронхах и трахее и механорецепторы дыхательных мышц.

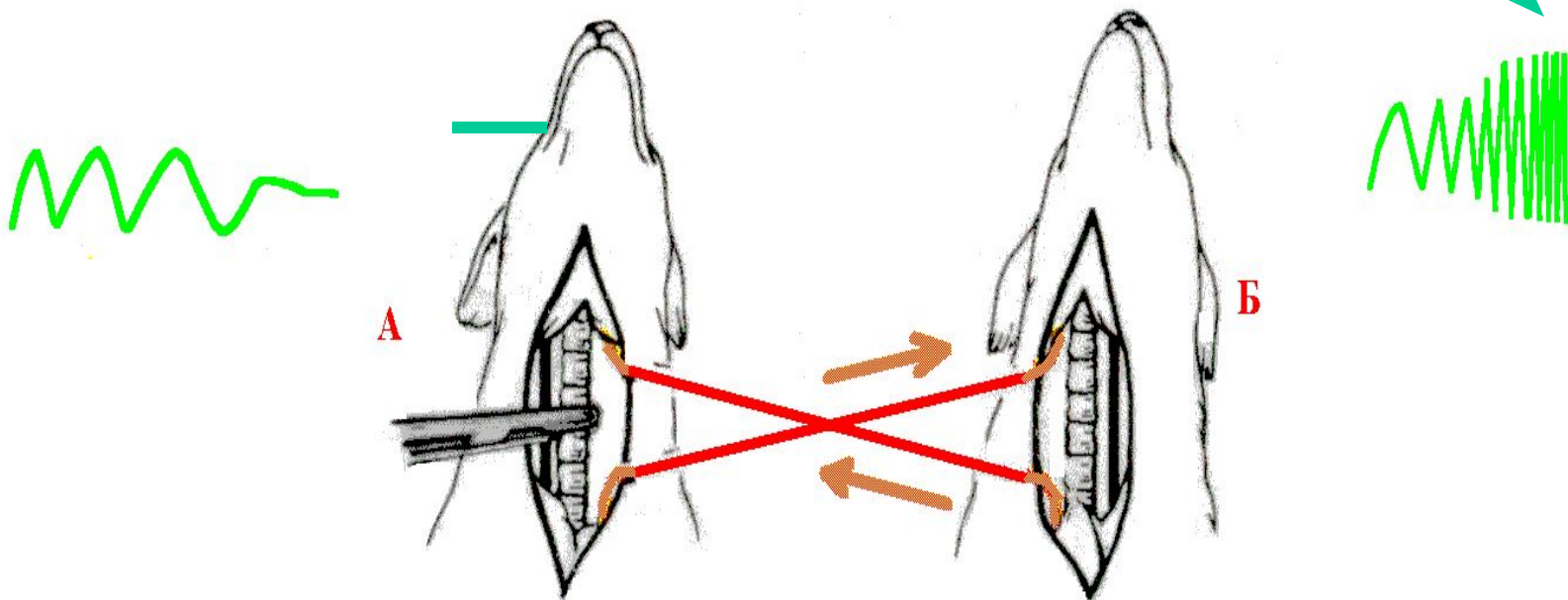


Изменение дыхания при двусторонней ваготомии



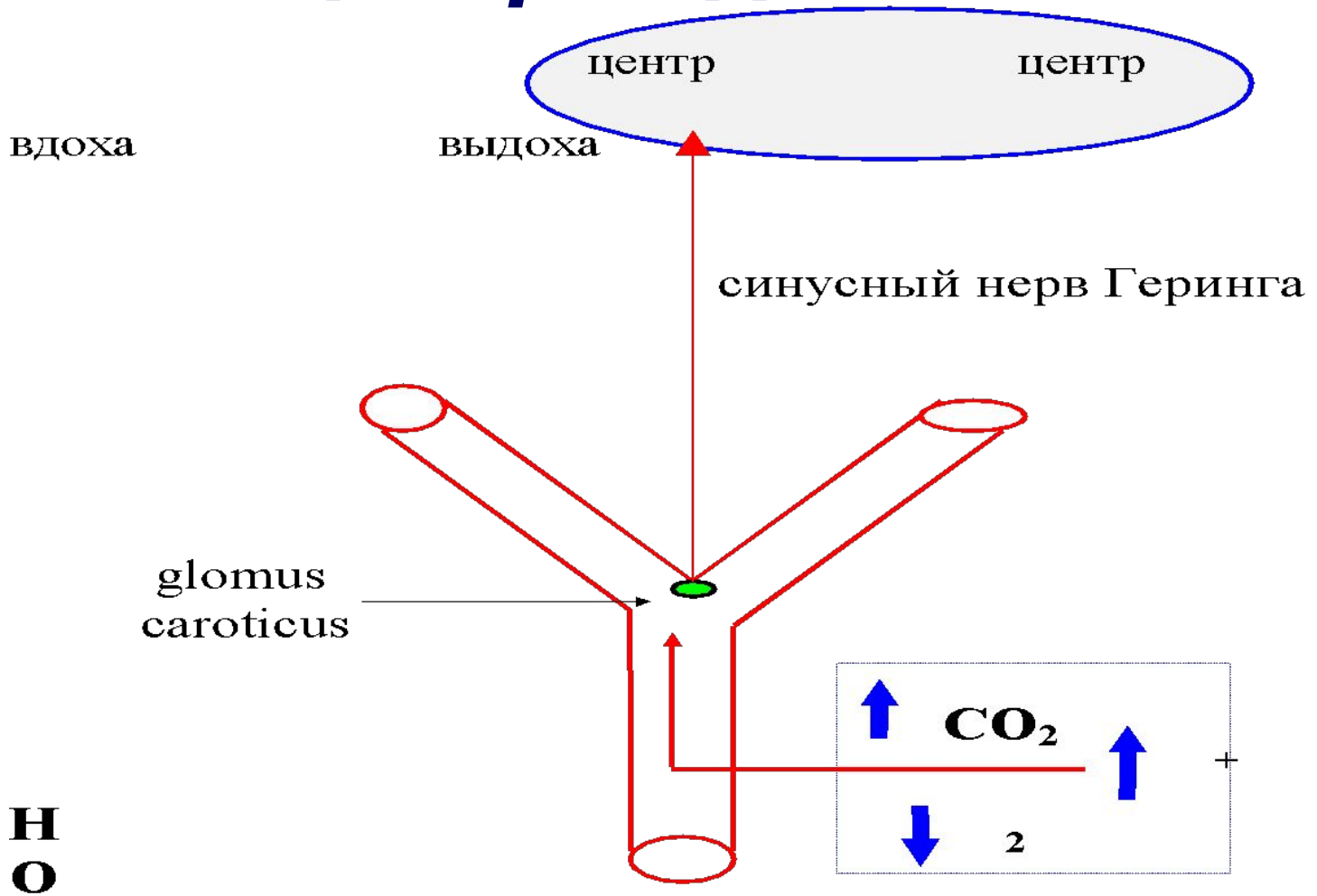
ОПЫТ ФРЕДЕРИКА с перекрестным кровообращением

Пневмограммы

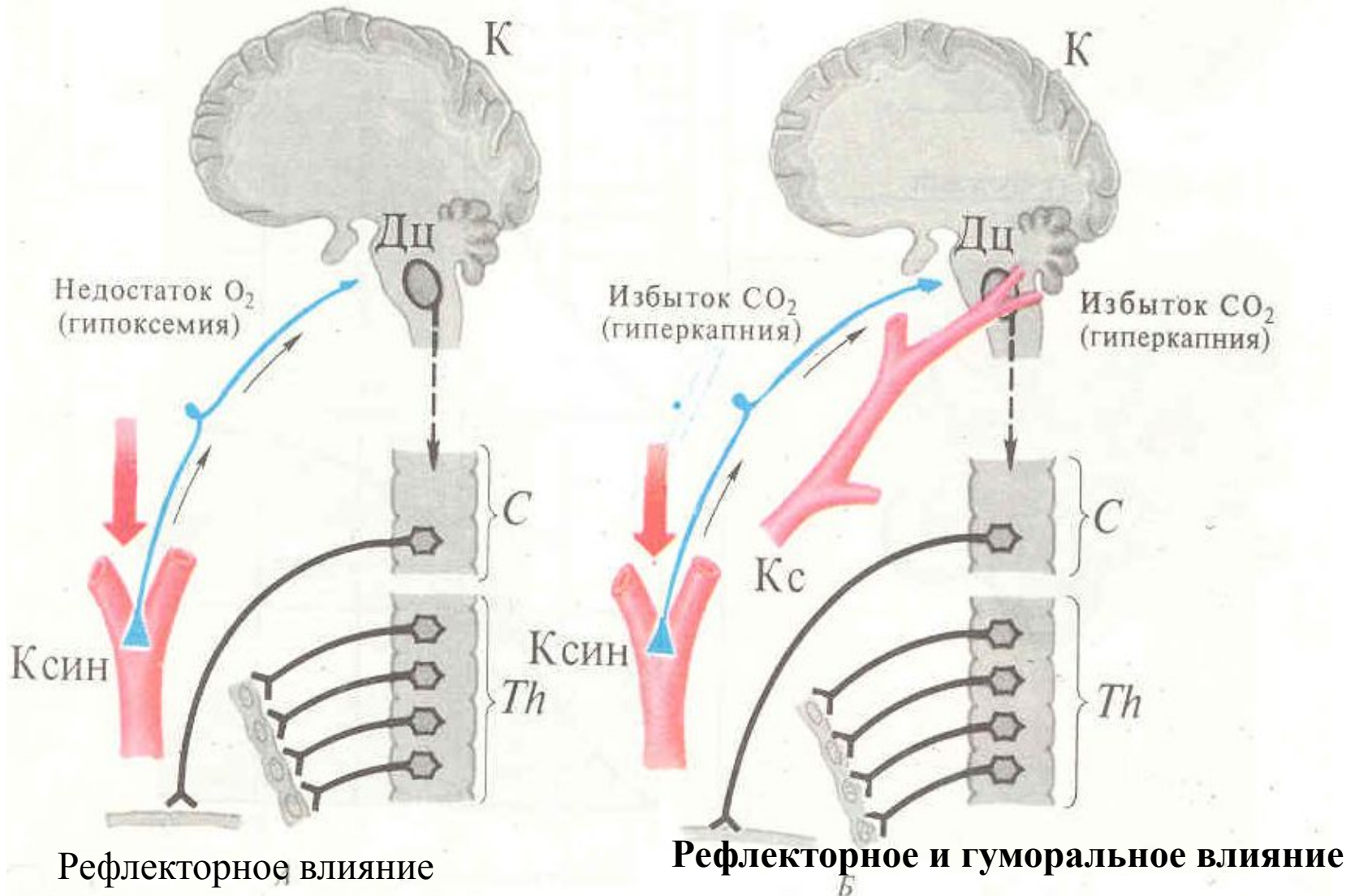


Пережатие трахеи у собаки А вызывает одышку у собаки Б; одышка собаки Б вызывает замедление и остановку дыхания у собаки А.

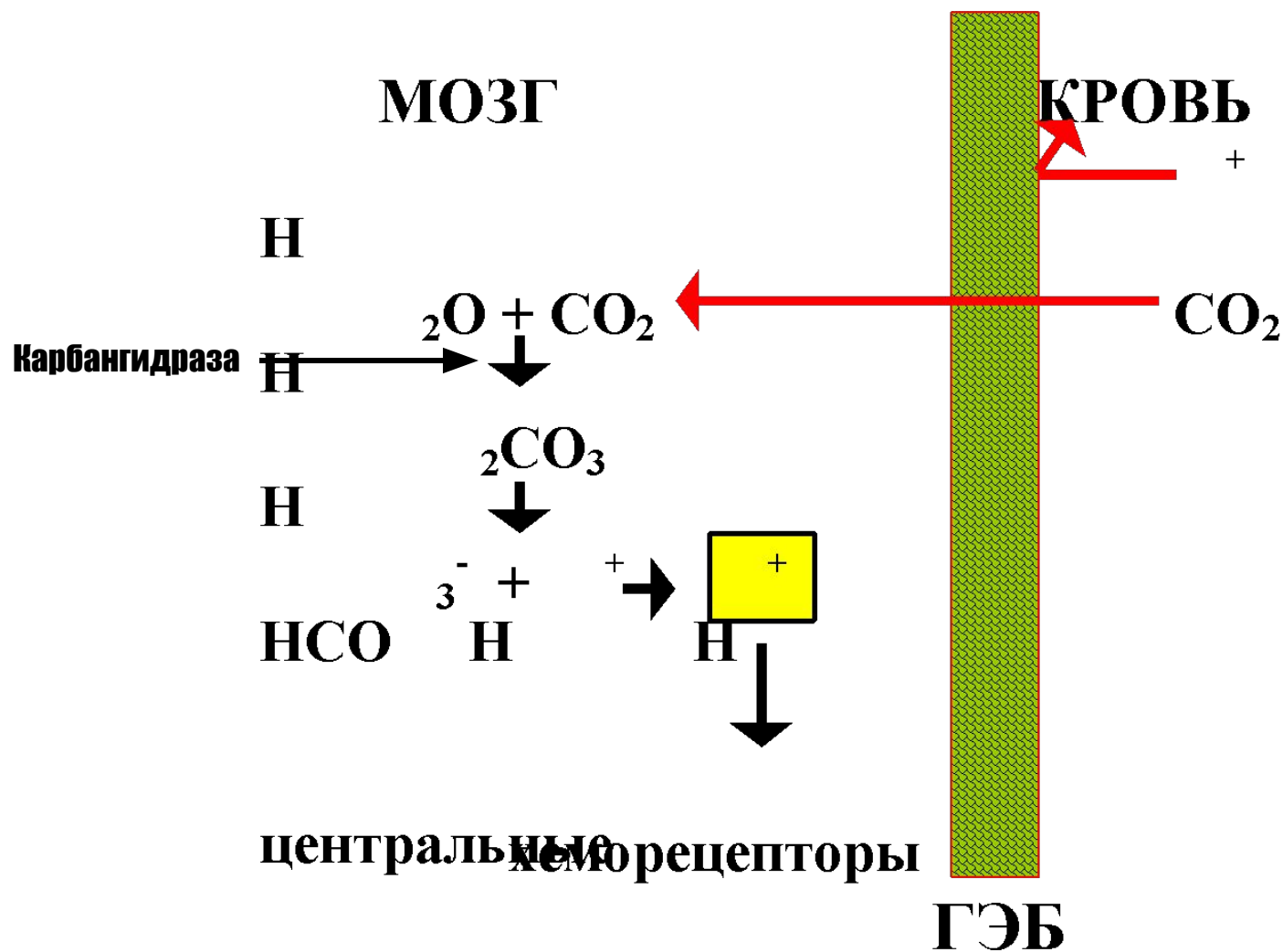
Рефлекторная активация центра вдоха



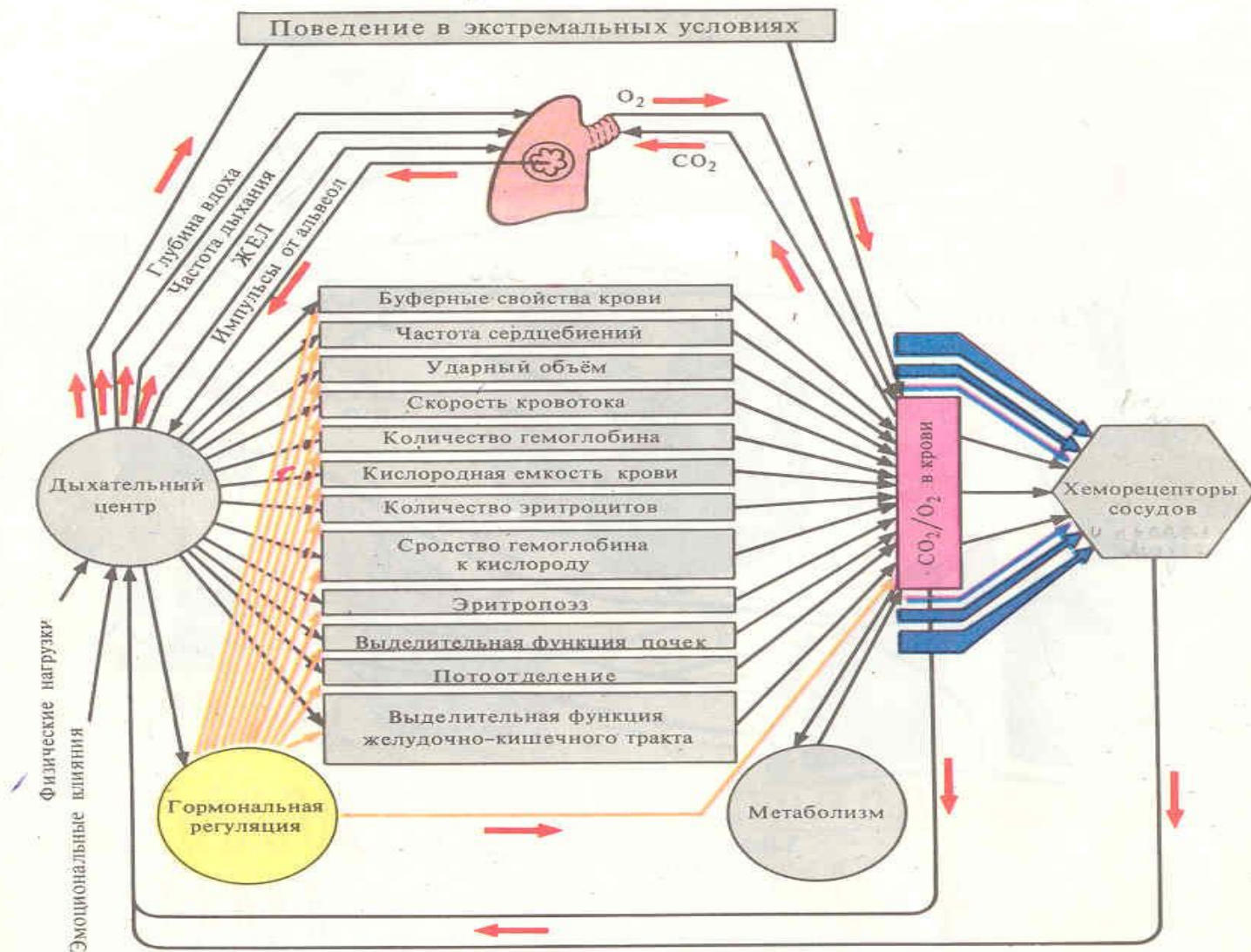
Влияние углекислого газа на дыхательный центр



Прямая (гуморальная) активация центра вдоха



Функциональная система, поддерживающая газовый состав внутренней среды





Благодарю за внимание!