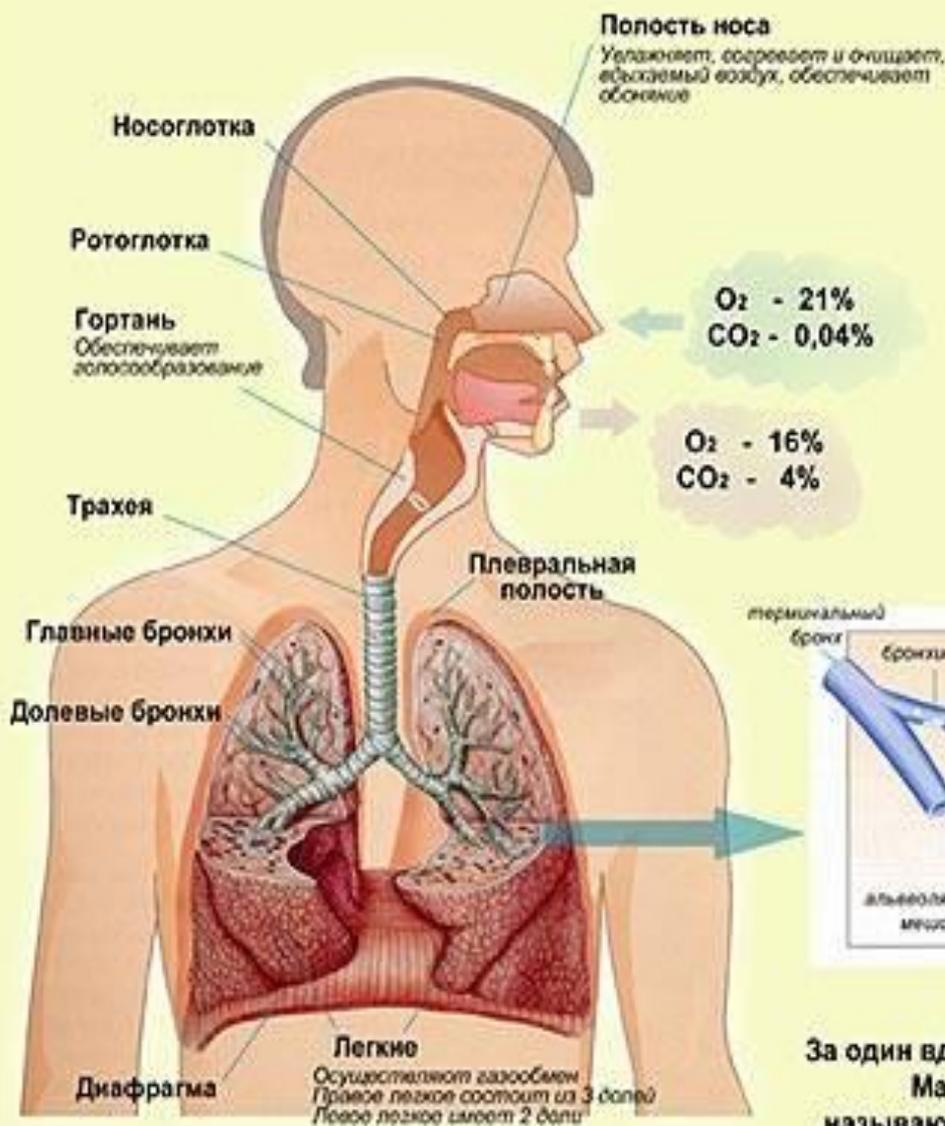


# **ФИЗИОЛОГИЯ ДЫХАНИЯ**

**АФК. ЛЕКЦИЯ № 5.3**

# ДЫХАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

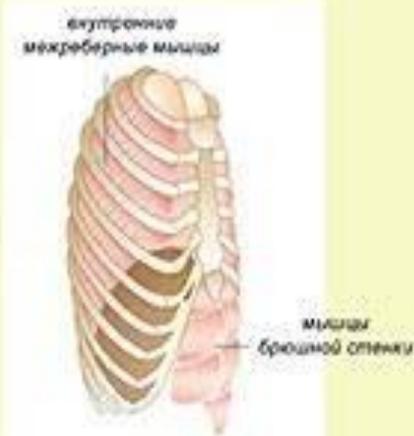


$O_2$  - 21%  
 $CO_2$  - 0,04%

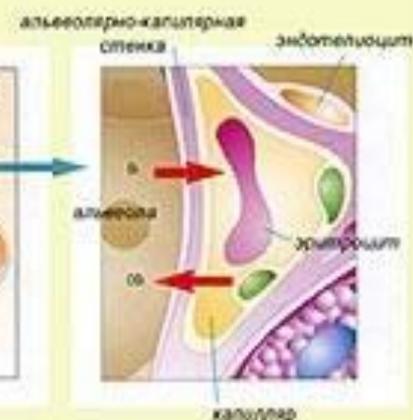
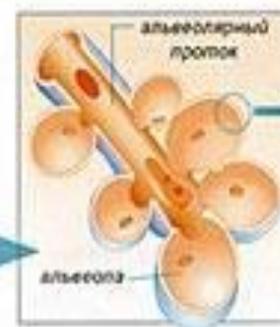
$O_2$  - 16%  
 $CO_2$  - 4%



**Вдох**  
Купол диафрагмы опускается, Ребра поднимаются



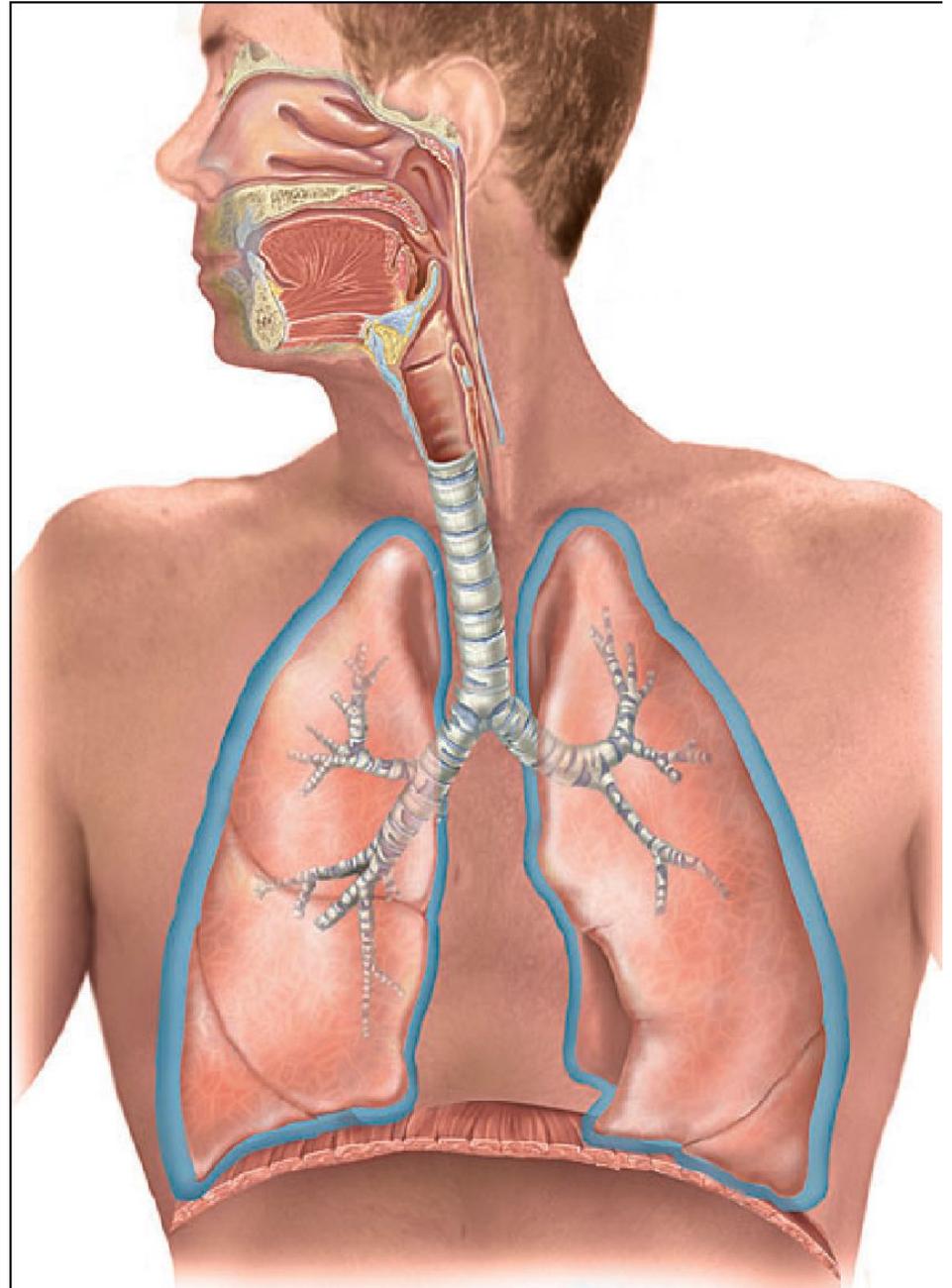
**Выдох**  
Мышцы живота поднимают диафрагму, ребра опускаются



Частота дыхания в покое составляет 16 раз в минуту  
За один вдох в легкие попадает около 500 мл воздуха (дыхательный объем)  
Максимальное количество воздуха, которое можно вдохнуть называют жизненной емкостью легких. Она составляет от 3,5 до 5 литров

# Дыхание-

- обмен дыхательными газами ( $O_2$  и  $CO_2$ ) между атмосферным воздухом и клеткой.



# Основные этапы дыхания:

1. Внешнее дыхание или вентиляция легких – обмен газов между альвеолами легких и атмосферным воздухом;
2. Обмен газов в легких - между альвеолами и кровью легочных капилляров.
3. Транспорт газов кровью - перенос  $O_2$  от легких к тканям и  $CO_2$  от тканей к легким.
4. Обмен газов в тканях - между кровью капилляров большого круга кровообращения и клетками тканей;
5. Внутреннее дыхание - потребление клетками  $O_2$  и выделение  $CO_2$  (биологическое окисление в митохондриях).

# 1. Внешнее дыхание

- происходит в результате циклических изменений объема легких в течение фаз дыхательного цикла.

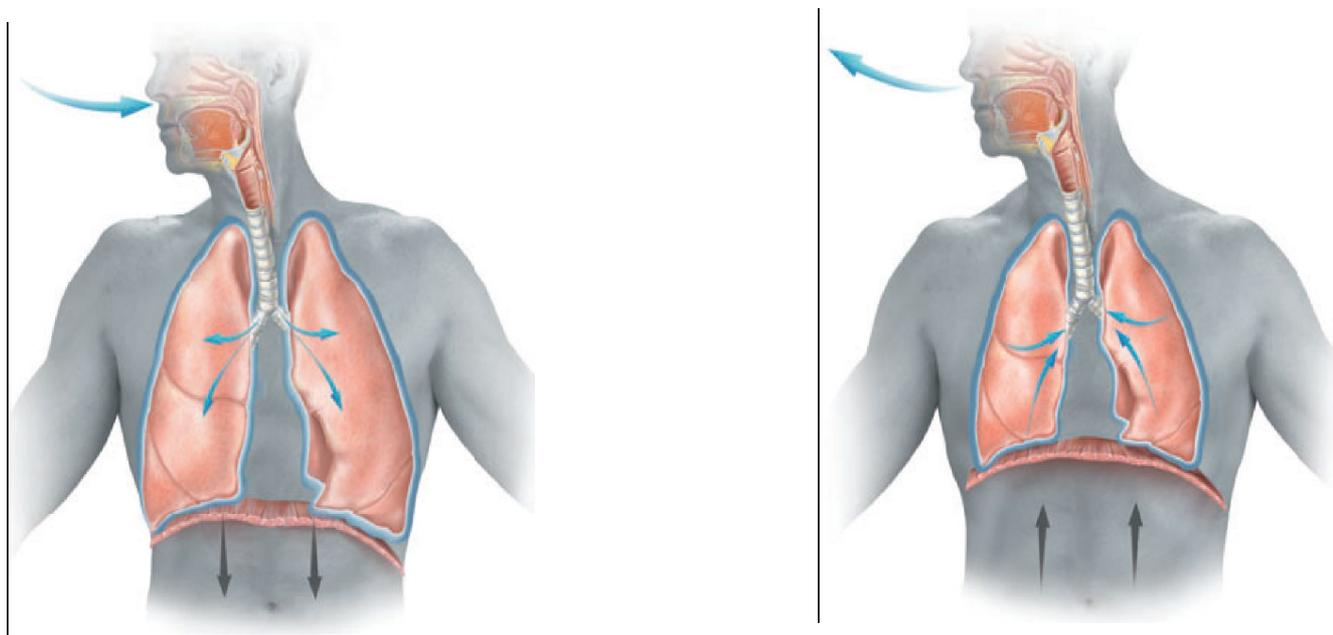
В зависимости от участия в акте вдоха мышц грудной клетки или диафрагмы различают **грудной** и **брюшной** тип дыхания.

# БИОМЕХАНИКА ВДОХА и ВЫДОХА

	<b>вдох (инспирация) - активный процесс</b>	<b>выдох (экспирация) - пассивный процесс</b>
<b>1. диафрагма – главная мышца (70% ДО)</b>	<b>сокращается, купол уплощается</b>	<b>расслабляется, купол поднимается</b>
<b>2. наружные межреберные м.</b>	<b>сокращаются</b>	<b>расслабляются</b>
<b>3. внутренние межреберные м.</b>	<b>расслабляются</b>	<b>сокращаются (при глубоком дыхании)*</b>
<b>4. ребра</b>	<b>поднимаются</b>	<b>опускаются</b>
<b>5. грудина</b>	<b>поднимается</b>	<b>опускается</b>
<b>6. объем грудной клетки</b>	<b>увеличивается</b>	<b>уменьшается</b>
<b>7. давление в легких</b>	<b>ниже атм на 2 мм рт ст</b>	<b>выше атм на 3-4 мм рт ст</b>
<b>8.внутриплевральное давление</b>	<b>ниже атм на 6 мм рт ст</b>	<b>ниже атм. на 3 мм рт ст.</b>

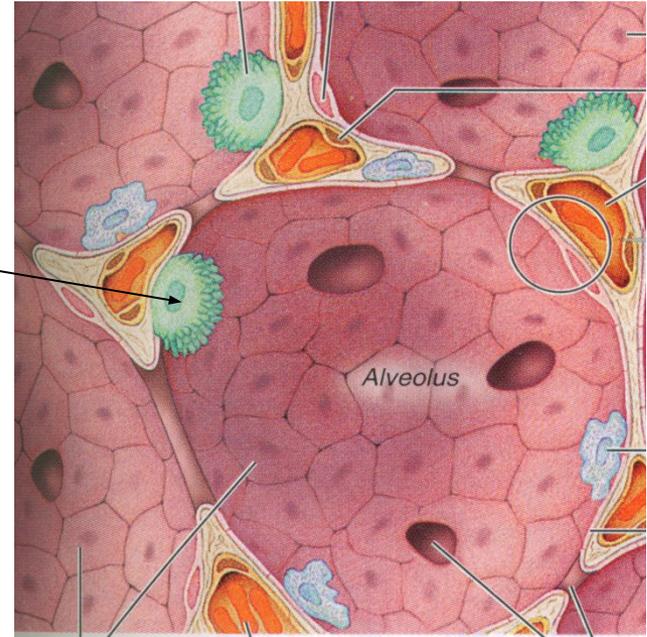
\*При глубоком, форсированном дыхании участвуют вспомогательные мышцы: большие и малые грудные, лестничные, грудино-ключично-сосцевидные, мышцы живота.

# Дыхательная мускулатура нужна для создания градиента давления между атмосферным и альвеолярным воздухом.



Во время дыхания мышцы преодолевают эластическое сопротивление легких, которое обусловлено силой, направленной на уменьшение поверхности и объема лёгких, создаваемое **сурфактантом и эластической тягой легких**

**Сурфактант -  
липопротеид,  
вырабатываемый  
альвеолоцитами II типа  
из компонентов плазмы  
крови.**



Сурфактант выстилает внутреннюю поверхность альвеол, в виде водной пленки. Его молекулы с одного конца гидрофобны, с другого гидрофильны. При вдохе сурфактант увеличивает силы поверхностного натяжения, что предохраняет альвеолы от растяжения. При выдохе, благодаря более плотному примыканию молекул, сурфактант увеличивает силы межмолекулярного отталкивания, что уменьшает поверхностное натяжение и предотвращает спадение альвеол.

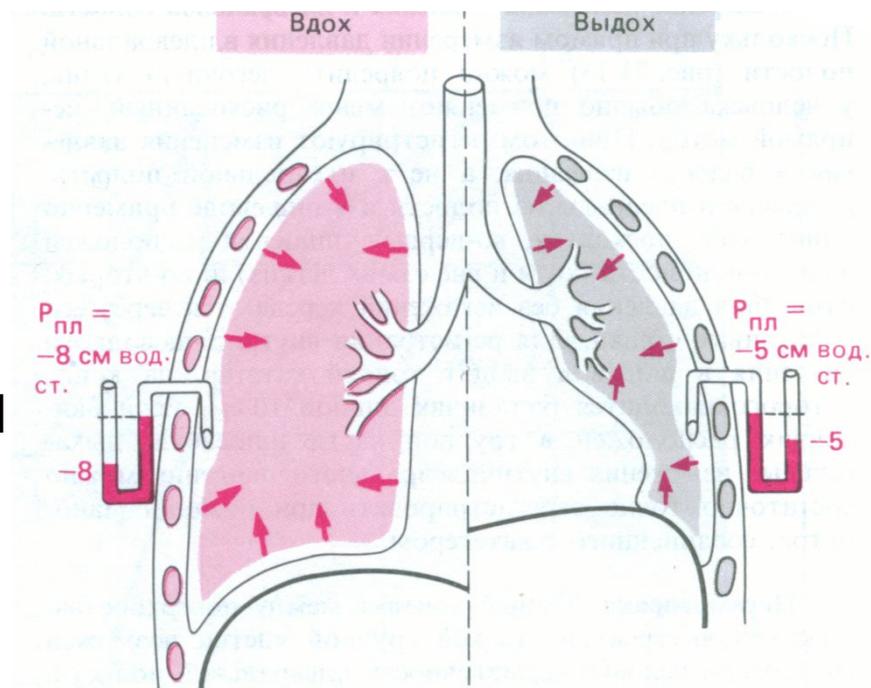
# Давление в плевральной полости всегда ниже атмосферного, его называют **отрицательным давлением.**

**Происхождение отрицательного давления обусловлено:**

- наличием эластической тяги легких - сила, с которой легкие постоянно стремятся уменьшить свой объем.

Эластическая тяга обусловлена наличием:

- **сурфактанта,**
- эластическими волокнами



На вдохе: ниже атм. на 8 мм рт.ст.  
На выдохе ниже атм. на 5 мм рт.ст.

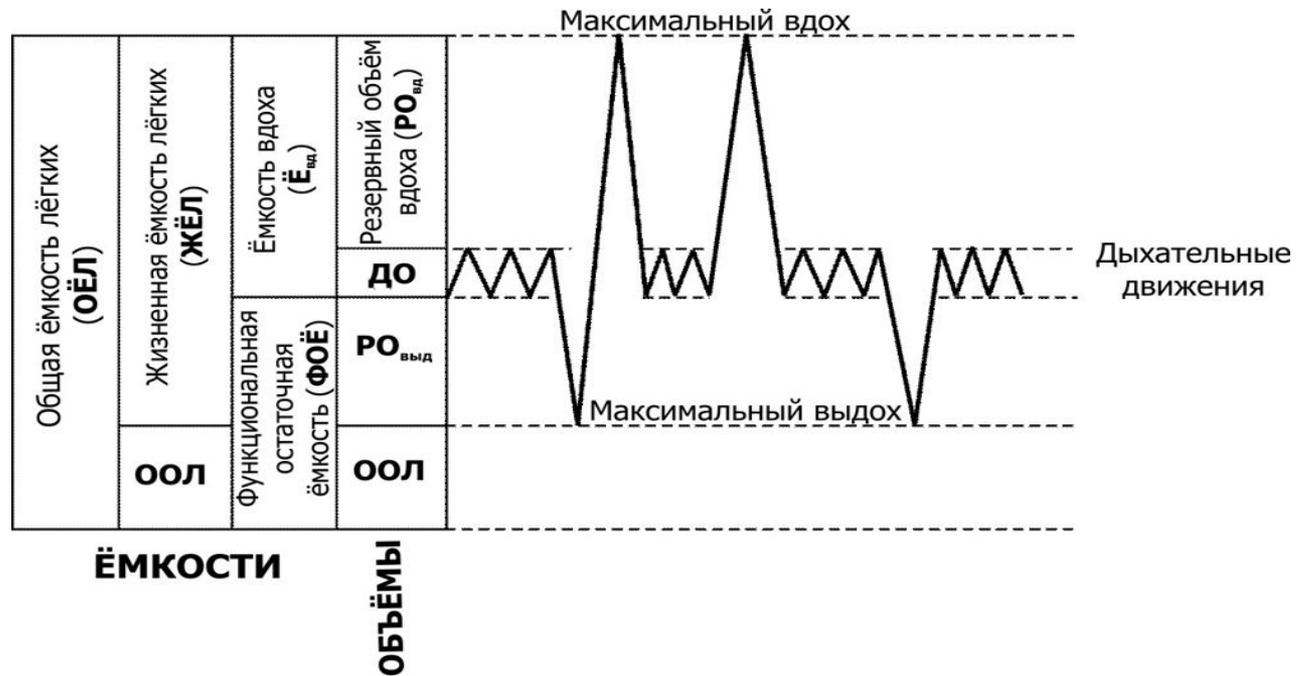
# Значение отрицательного внутриплеврального давления

- альвеолы всегда находятся в расправленном состоянии, что увеличивает дыхательную поверхность легких.
- в гемодинамике - венозный возврат крови к сердцу,
- способствует продвижению пищевого комка по пищеводу, в нижнем отделе которого давление на 3,5 мм рт. ст. ниже атмосферного.

# Спирометрия – метод оценки

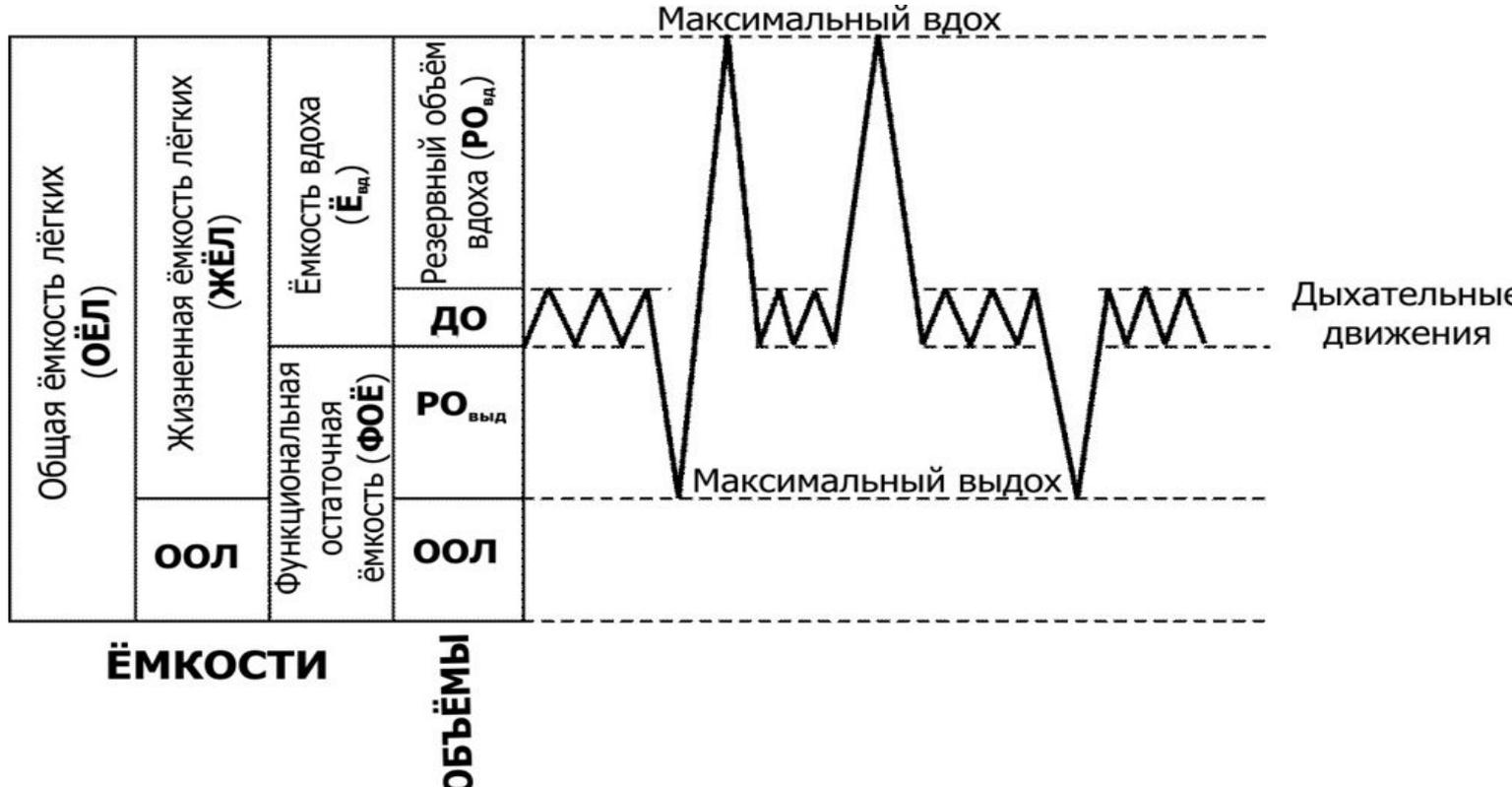
- **Легочной вентиляции:**

1. Частота дыхания (ЧД=12-18 в 1мин)
2. Дыхательный объем (ДО= около 500 мл)- это объем вдыхаемого или выдыхаемого воздуха при спокойном дыхании.



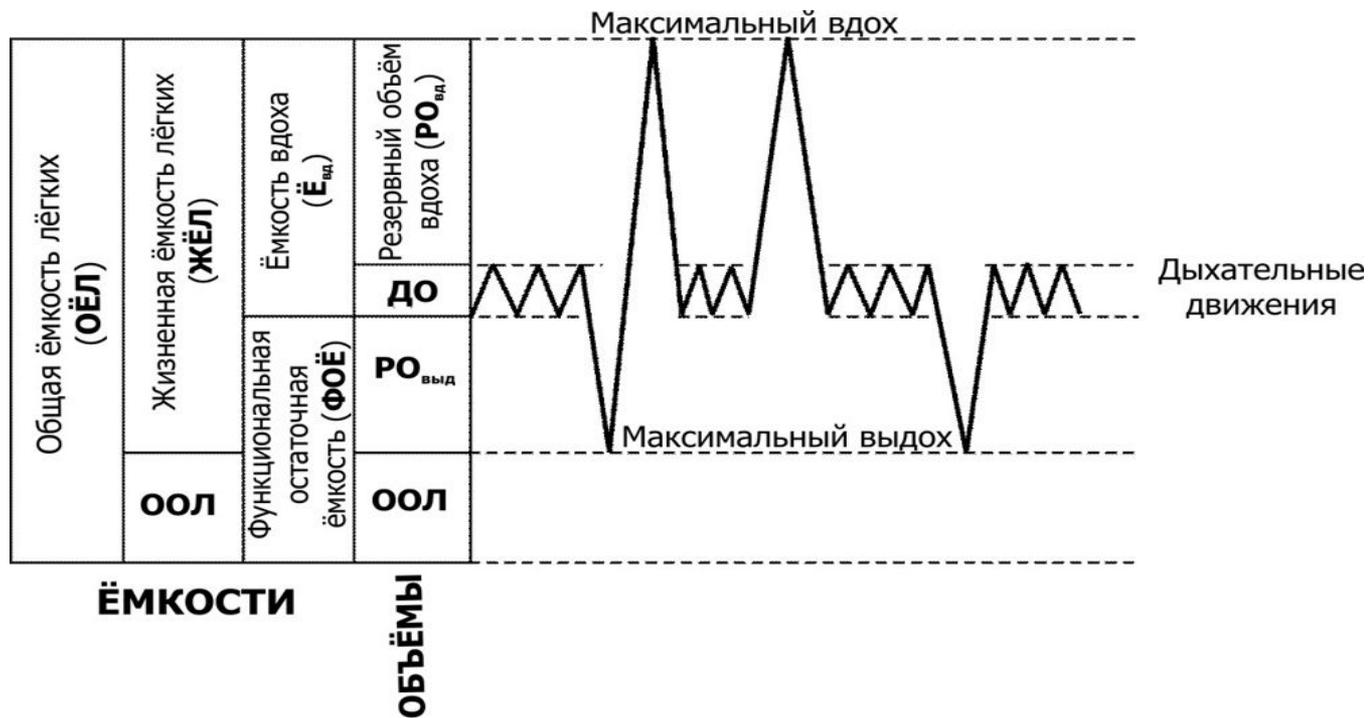
3. Резервный объем вдоха ( $P_{овд}=2,5$  л)- это количество воздуха, который можно максимально вдохнуть после спокойного вдоха.

4. Резервный объем выдоха ( $P_{овыд}=1,5$  л)- это количество воздуха, который можно максимально выдохнуть после спокойного выдоха.



5. Остаточный объем ( $OO=1,0$  л)- это объем воздуха, который остается в легких после максимального глубокого выдоха.

6. Жизненная ёмкость легких ( $ЖЁЛ=$  около 4,2л у мужчин; 3,3л у женщин) - это количество воздуха, которое человек может максимально выдохнуть после самого глубокого вдоха.  
 $ЖЕЛ = DO + PO_{вд} + PO_{выд}$ .



6. Общая емкость легких ( $ОЕЛ = ЖЕЛ + ОО = 5,5 \text{ л}$ ) - это воздух, имеющийся в легких после максимального вдоха.
7. Функциональная остаточная емкость ( $ФОЕ = ОО + РО_{\text{выд}} = 2,4 \text{ л}$ ) - это воздух, имеющийся в легких после спокойного выдоха, составляет 30 % ЖЕЛ.



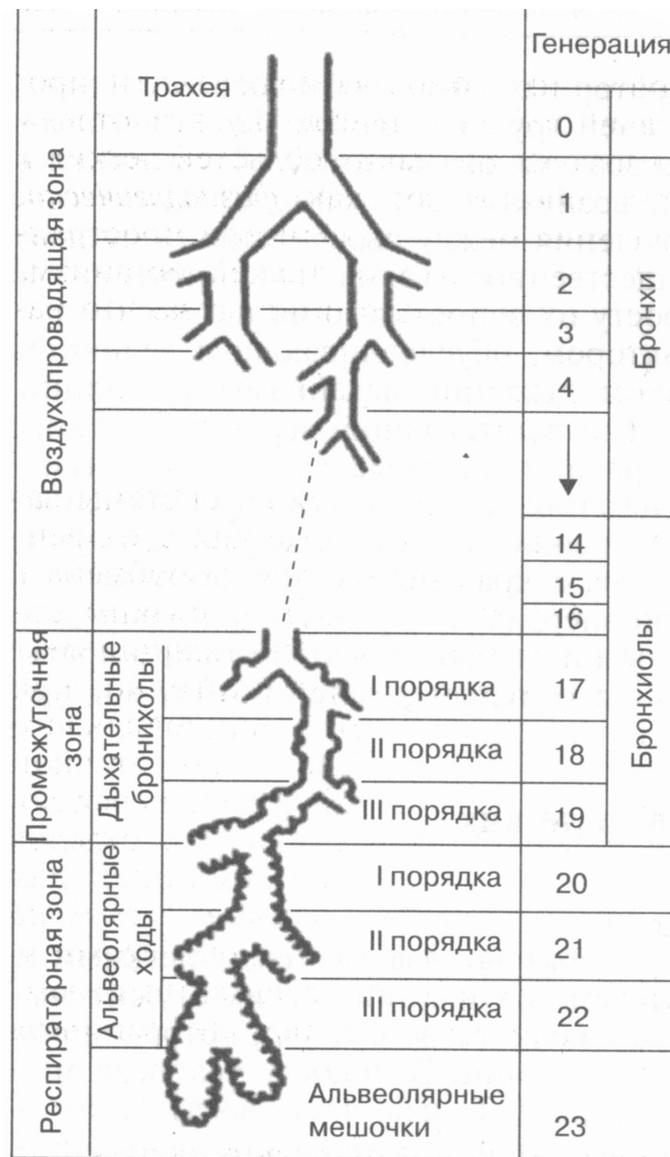
# **Физиология дыхательных путей:**

**Выделяют 3 зоны:**

- **1. Воздухопроводящая зона;**
- **2. Промежуточная зона;**
- **3. Дыхательная зона;**

# 1. Воздухопроводящая зона

- включает крупные воздухоносные пути от трахеи до бронхов 16 порядка (в которых не происходит газообмена):
  - а) обеспечивает подведение воздуха к газообменной поверхности
  - б) является анатомически мертвым пространством



# Функции анатомически мертвого пространства (150 мл):

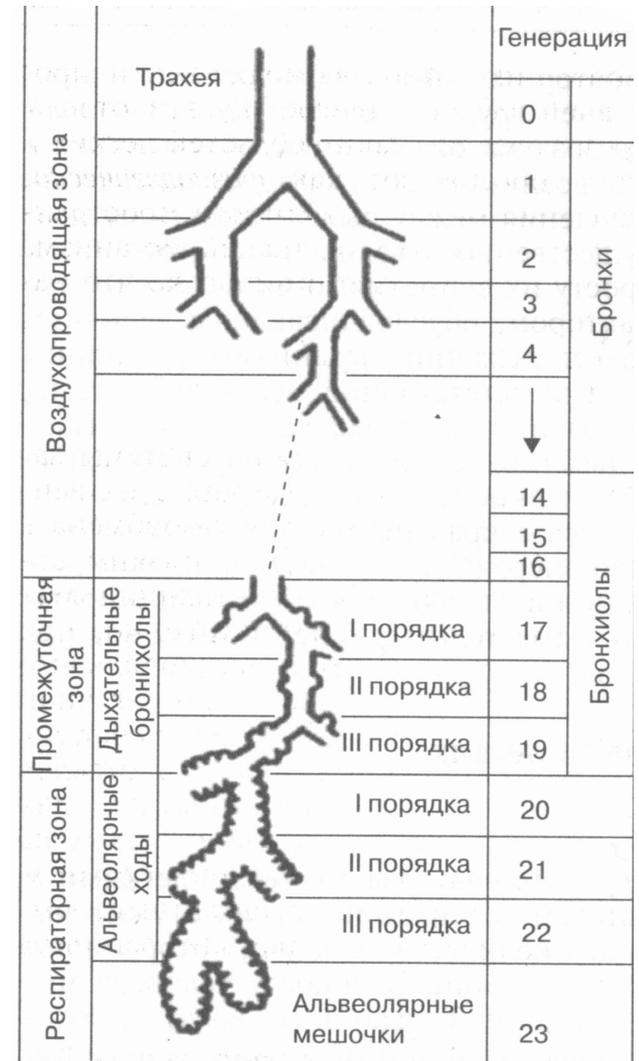
- Увлажнение, согревание воздуха
- очищение воздуха от пылевых частиц, микроорганизмов,
- реснитчатый эпителий выделяет слизь, содержащей БАВ,
- регуляция потока воздуха в воздухоносные пути, путем изменения просвета

**Физиологическое мертвое пространство** - все те участки дыхательной системы, в которых не происходит газообмен, включает не только воздухоносные пути, но и альвеолы



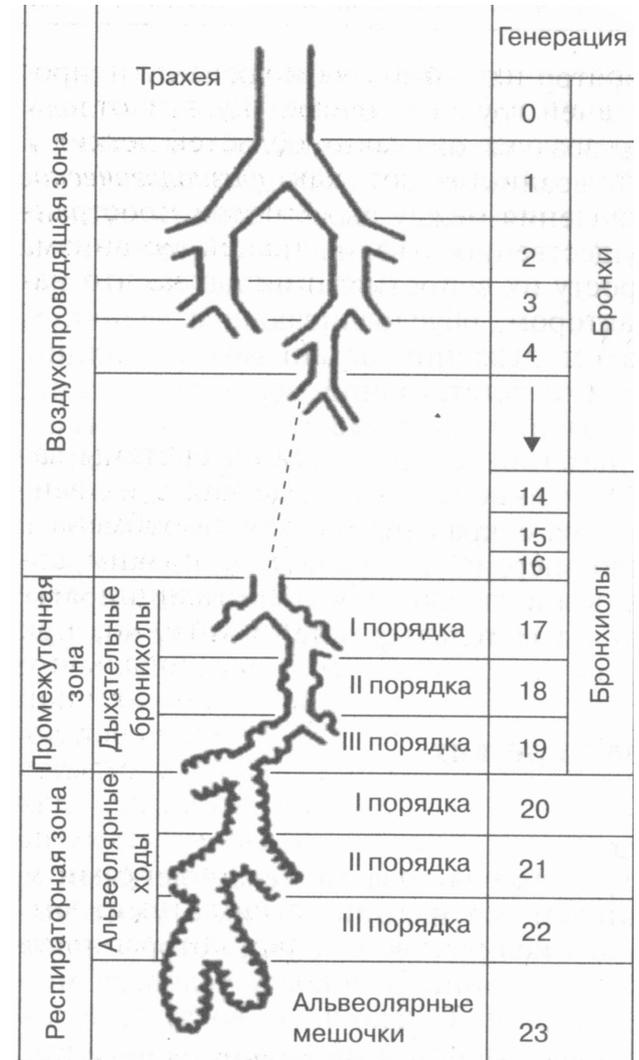
# 2. Промежуточная зона

- включает 17-19 генераций дыхательных бронхиол, в которых имеются потоки воздуха, изменение тонуса гладкой мускулатуры этого отдела может значительно изменять величину вентиляции.



# 3. Дыхательная зона

- включает альвеолярные ходы (20-22-я генерации бронхов) и альвеолярные мешочки (23 генерация), где осуществляется диффузия газов.



# Регуляция просвета дыхательных путей

- **1. Нервная регуляция**
- Парасимпатические влияния: через АХ и М-хры вызывают сужение бронхов
- Симпатические влияния: через НА и  $\beta 2$ - ар вызывают расширение бронхов
- **2. Гуморальная регуляция**
- Бронходилатацию вызывают: адреналин через  $\beta 2$ - ар; глюкокортикоиды увеличивают синтез  $\beta 2$ - ар в миоцитах бронхов
- Бронхоконстрикцию вызывают: гистамин; брадикинин

## 2 этап - ОБМЕН ГАЗОВ В ЛЕГКИХ.

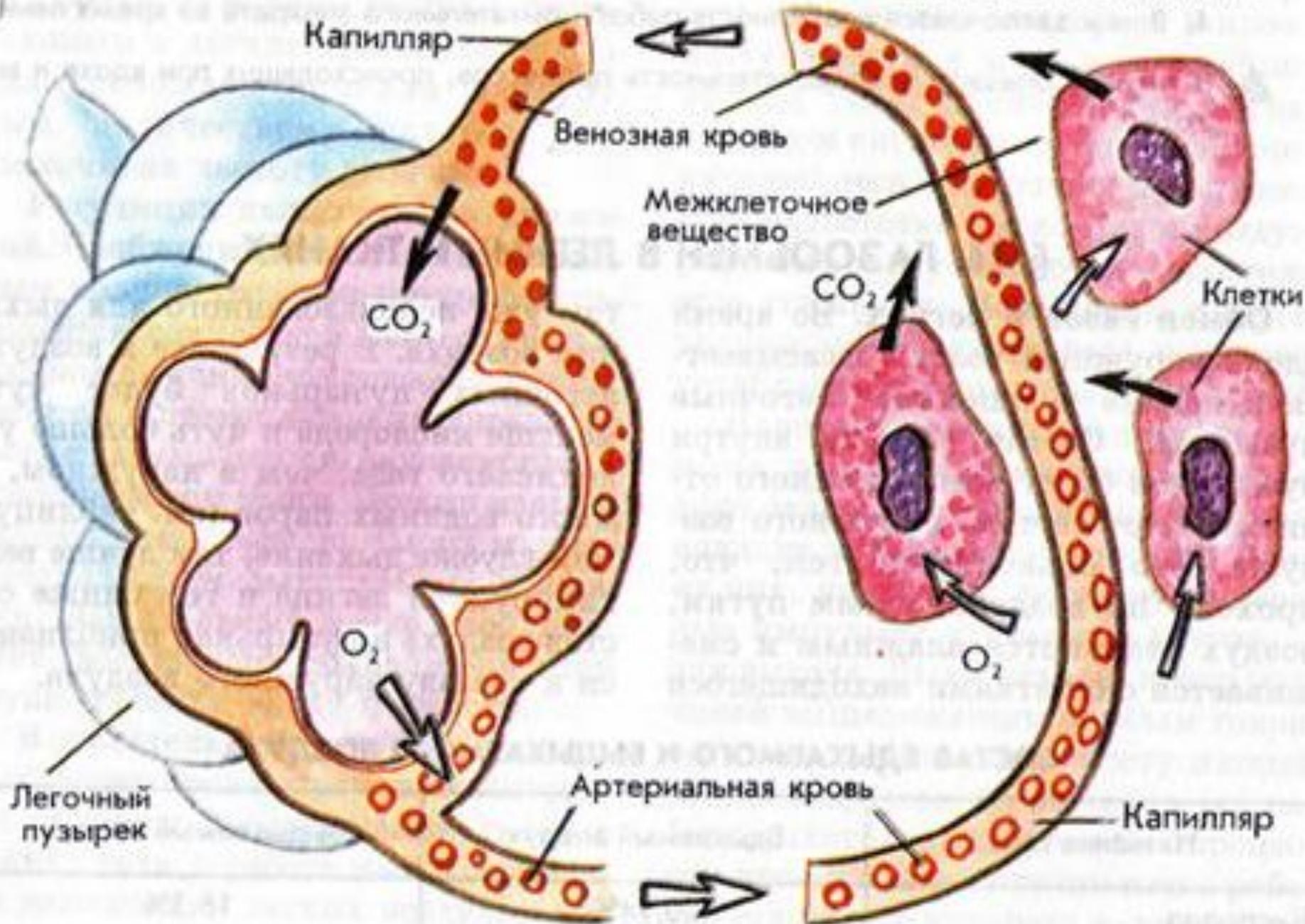
- Вид транспорта - диффузия через легочную мембрану.

**Движущая сила, обеспечивающая газообмен в альвеолах**, - разность парциальных давлений (напряжений)  $PO_2$  и  $PCO_2$  ( газ движется из области высокого давления в область низкого)

- Диффузионная способность легких - это количество миллилитров газа, проходящего через суммарную поверхность легочной мембраны всех вентилируемых альвеол обоих легких за 1 мин при градиенте парциального давления газа 1мм рт.ст.

# ОБМЕН ГАЗОВ В ЛЕГКИХ

# ОБМЕН ГАЗОВ В ТКАНЯХ

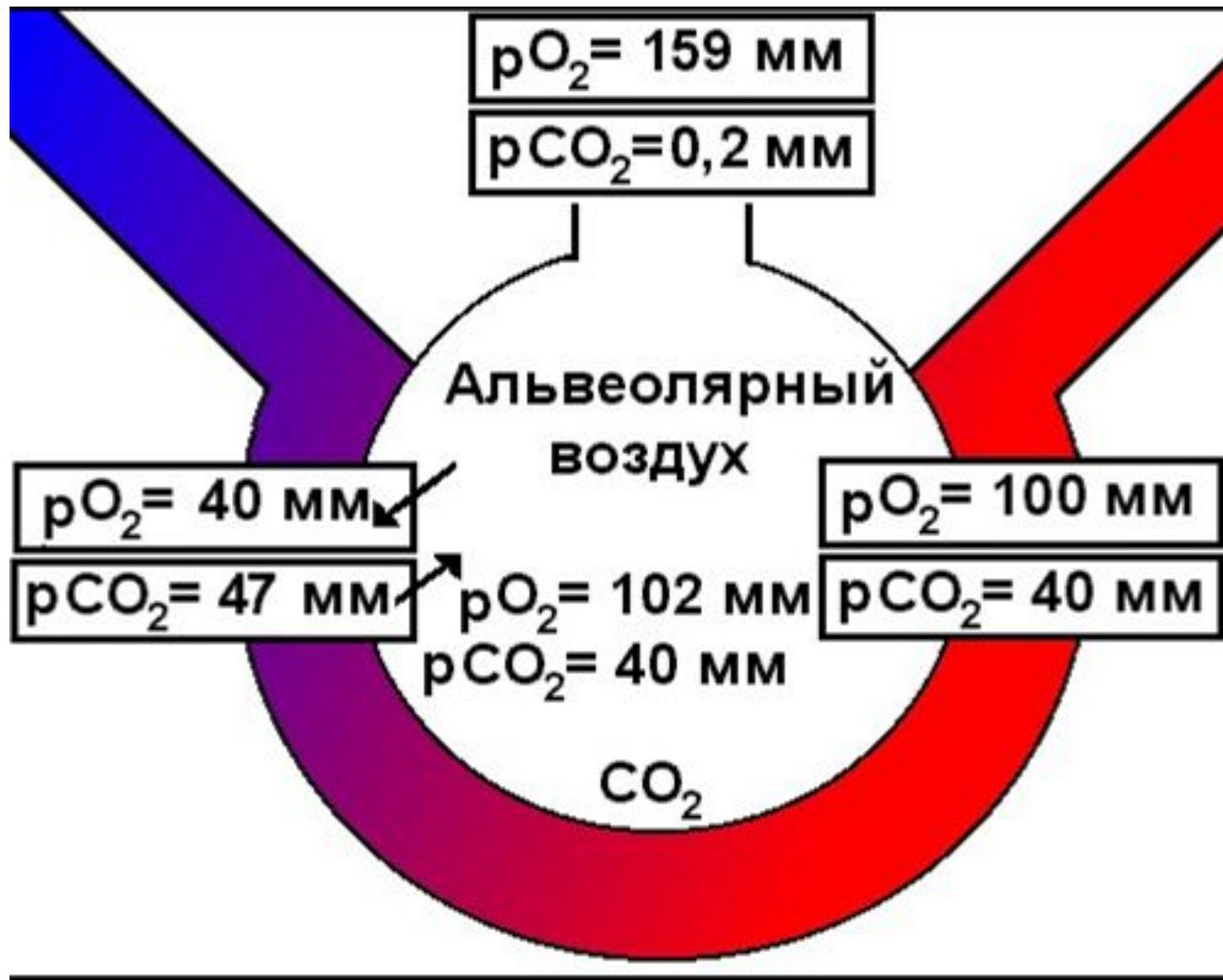


## Парциальное давление, напряжение и % газов

среда	Кислород		Углекислый газ	
	мм рт. ст.	%	мм рт. ст.	%
<b>Атмосферный воздух</b>	<b>159</b>	<b>20,93</b>	<b>0,2</b>	<b>0,03</b>
<b>Выдыхаемый воздух</b>	<b>121</b>	<b>16</b>	<b>34</b>	<b>4,5</b>
<b>Альвеолярный воздух</b>	<b>102-110</b>	<b>14,0</b>	<b>40</b>	<b>5,5</b>
<b>Артериальная кровь большого круга кровообр.</b>	<b>100-96</b>	<b>-</b>	<b>40</b>	<b>-</b>
<b>Венозная кровь, притекающая к легким</b>	<b>40</b>	<b>-</b>	<b>46</b>	<b>-</b>
<b>Межклеточная жидкость</b>	<b>46</b>	<b>-</b>	<b>40</b>	<b>-</b>
<b>Клетка</b>	<b>0-20</b>	<b>-</b>	<b>60</b>	<b>-</b>

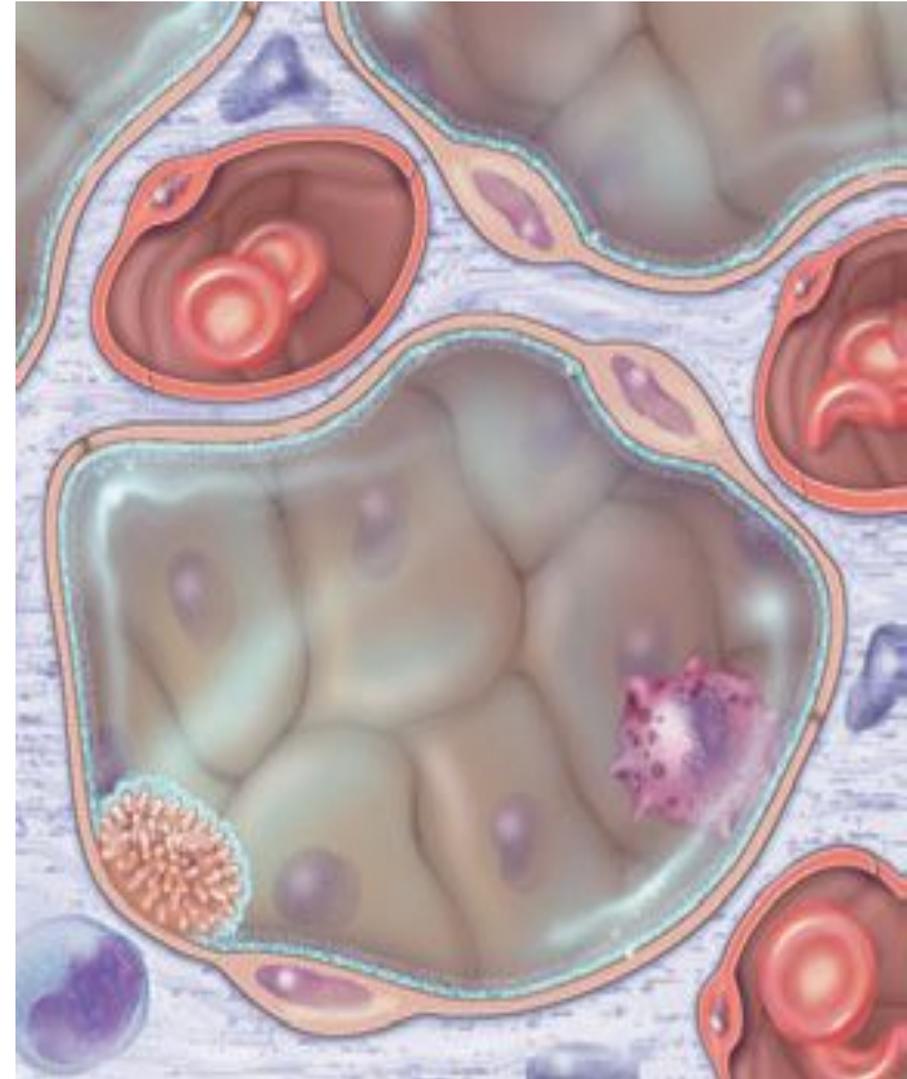
- **Запомните!** Процессы в воздухе называют парциальным давлением, в жидкости парциальным напряжением.

Движение  $O_2$  из альвеолярного воздуха к капиллярам малого круга кровообращения:



# Аэрогематический барьер -это многослойный “пирог”, представленный

- пленкой сурфактанта,
- эпителием альвеолы,
- 2 основными мембранами,
- интерстиций
- эндотелием капилляра,
- слоем плазмы,
- мембраной эритроцита



### 3 этап дыхания -ТРАНСПОРТ ГАЗОВ КРОВЬЮ.

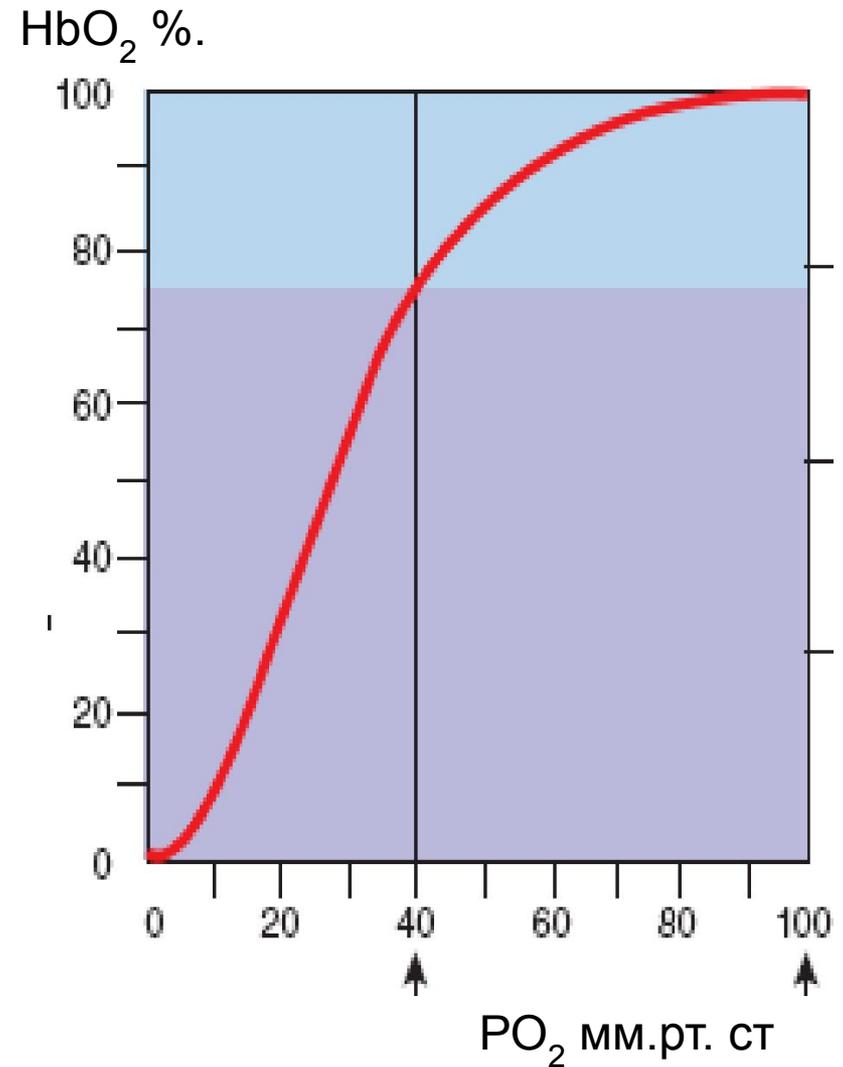
(главный вид транспорта - конвекция)

- **1) Транспорт кислорода кровью от легких к тканям.**
- $O_2$  находится в крови в двух состояниях: физически растворенном и химически связанном.  
В 100 мл крови растворяется 0,003 мл  $O_2$ .  
Остальная часть кислорода сразу же диффундирует в эритроциты, связываясь с гемоглобином, образуя оксигемоглобин -  $HbO_2$ .

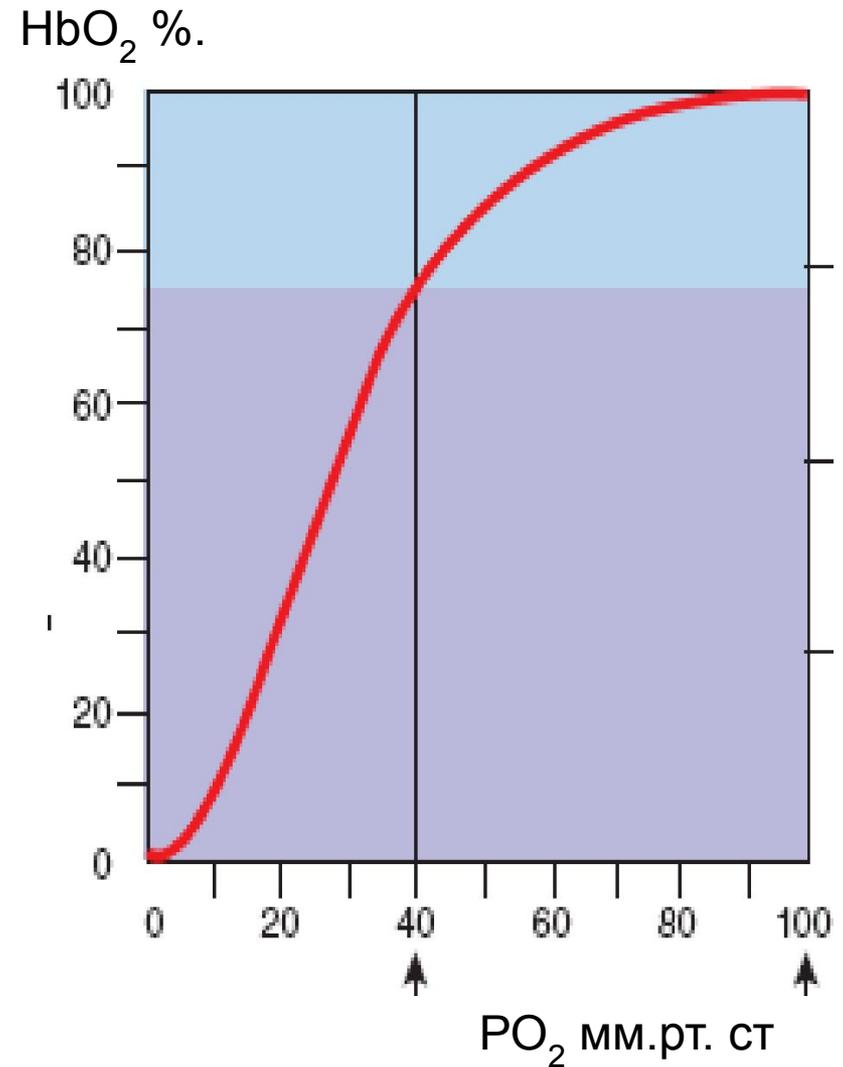
- **1 г гемоглобина может связать 1,34 мл** кислорода. Следовательно, при содержании гемоглобина 140-150г/л, в каждом литре крови максимально возможное содержание кислорода в химически связанной форме составит 190-200 мл  $O_{2/л}$ . Это так называемая **кислородная емкость крови** - величина, отражающая количество кислорода, которое может связаться с гемоглобином.

Превращение Hb в HbO<sub>2</sub> зависит от pO<sub>2</sub>.

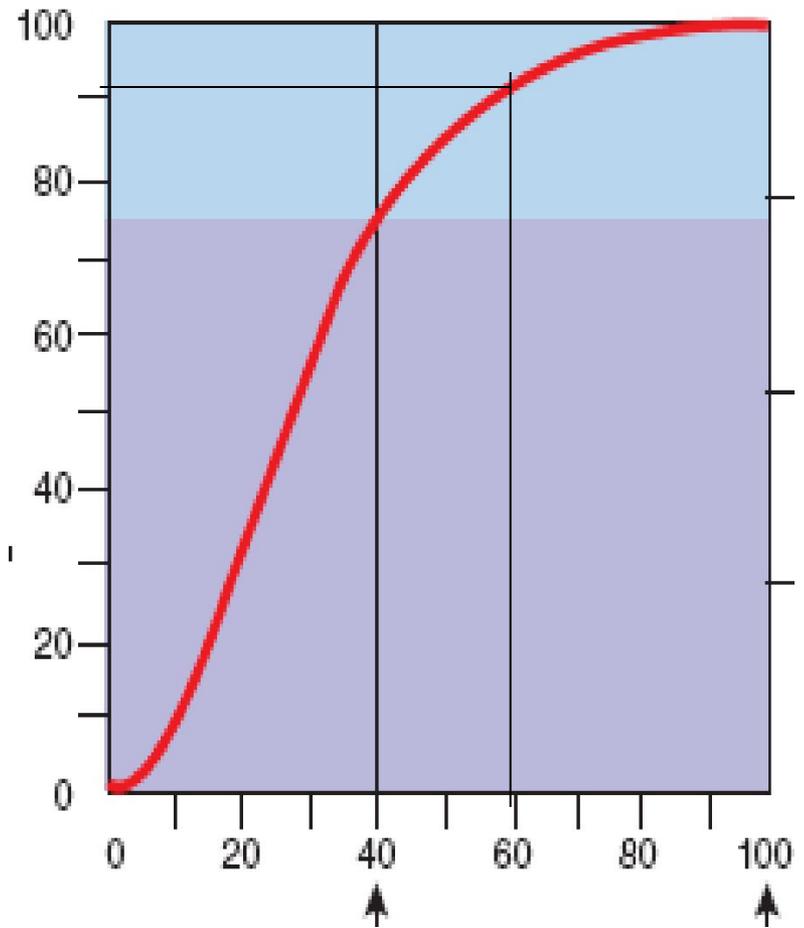
Графически эта запись выражается *кривой диссоциации оксигемоглобина* и имеет S-образную форму, где по оси абсцисс откладывается pO<sub>2</sub> мм рт. ст. в крови, по ординате - насыщение гемоглобина кислородом (**HbO<sub>2</sub>**) в %.



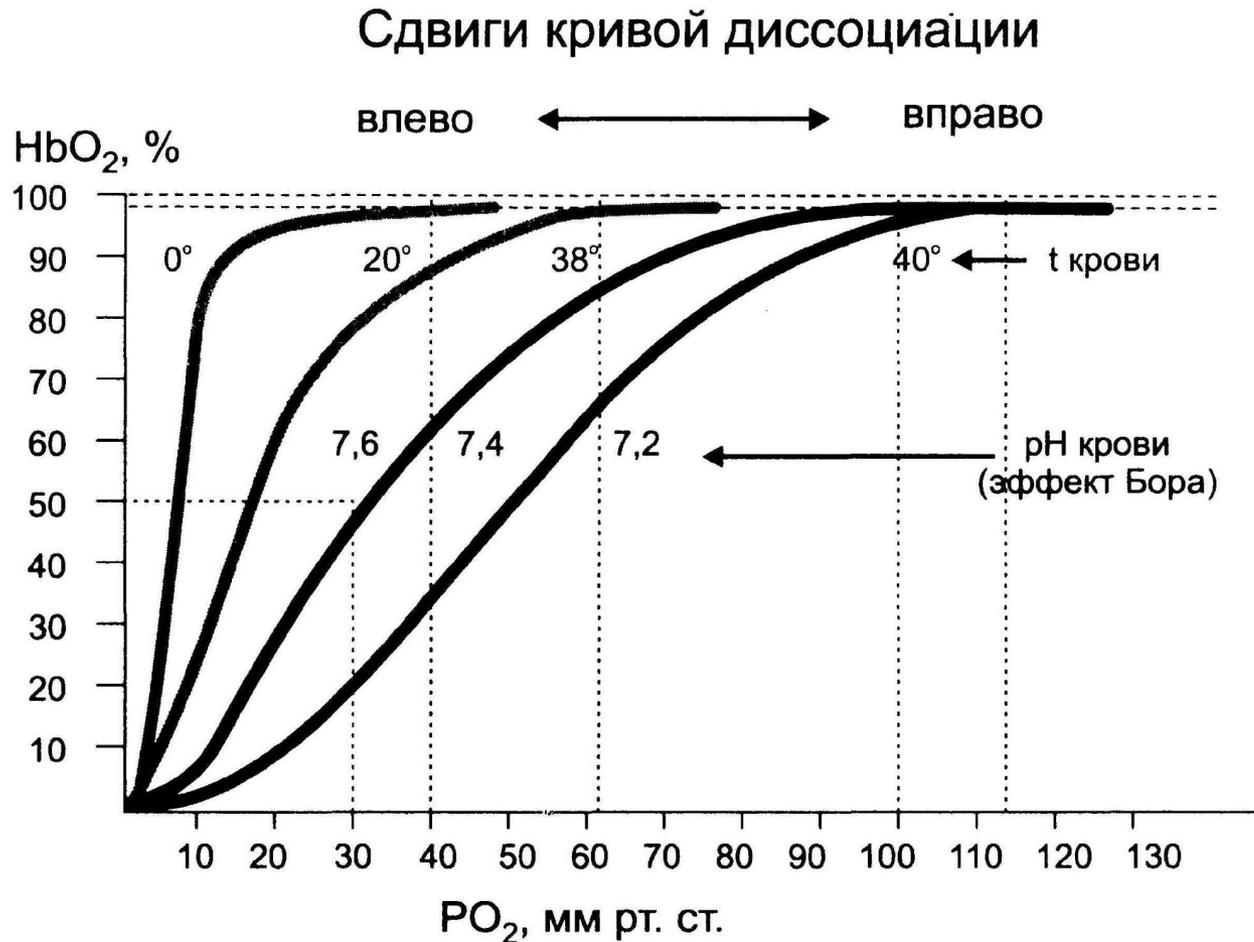
- Когда  $pO_2=0$  , то в крови находится только Hb. Повышение  $pO_2$  приводит к увеличению HbO<sub>2</sub>. Особенно быстро уровень оксигемоглобина возрастает при напряжении от 10-40 мм рт.ст. - до 75%.



- при  $pO_2$  60 мм рт.ст. насыщение гемоглобина кислородом составляет 90%. При дальнейшем повышении  $pO_2$  насыщение гемоглобина идет очень медленно. Плато кривой характерно для насыщенной  $O_2$  артериальной крови, а крутая нисходящая часть кривой - для венозной.



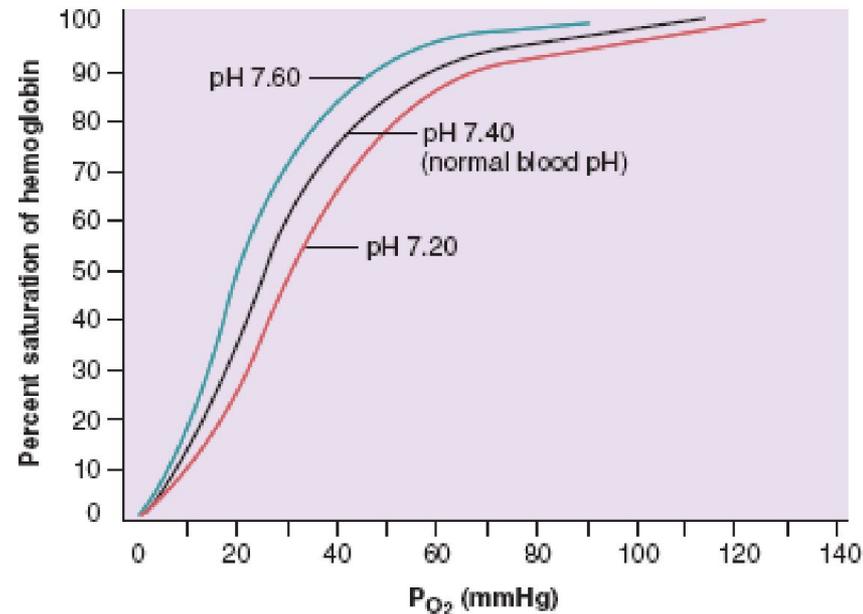
# На диссоциацию оксигемоглобина влияют следующие факторы крови:



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

# На диссоциацию оксигемоглобина влияют следующие факторы крови:

- Сдвиг графика вправо
- Сдвиг графика влево



# На диссоциацию оксигемоглобина влияют следующие факторы крови:

**Сдвиг графика вправо происходит при повышении:**

- $PCO_2$ ;
- $t^0$ ,
- 2,3-дифосфоглицерат,
- $H^+$  (снижении pH).

Это значительно увеличивает скорость распада оксигемоглобина, улучшая отдачу  $O_2$  в тканях (немного затрудняя его присоединение в легких), и уменьшает сродство гемоглобина к  $O_2$ .

# На диссоциацию оксигемоглобина влияют следующие факторы крови:

**Сдвиг графика влево происходит при снижении:**

- $\text{PCO}_2$ ;
- $t^0$ ,
- 2,3-дифосфоглицерат,
- $\text{H}^+$  (повышении pH).

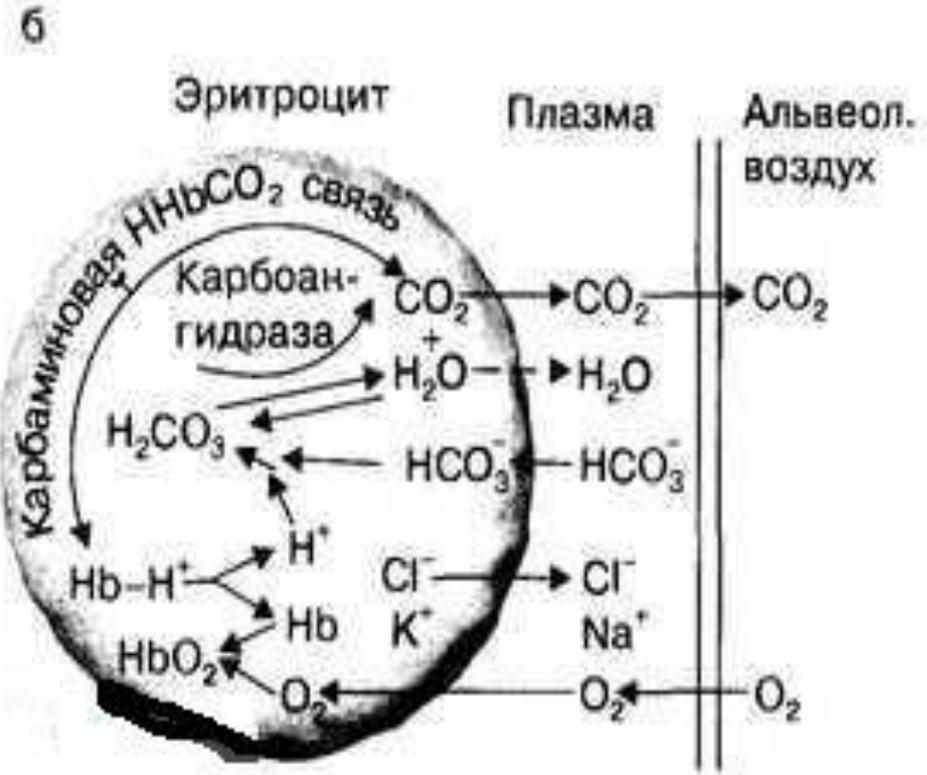
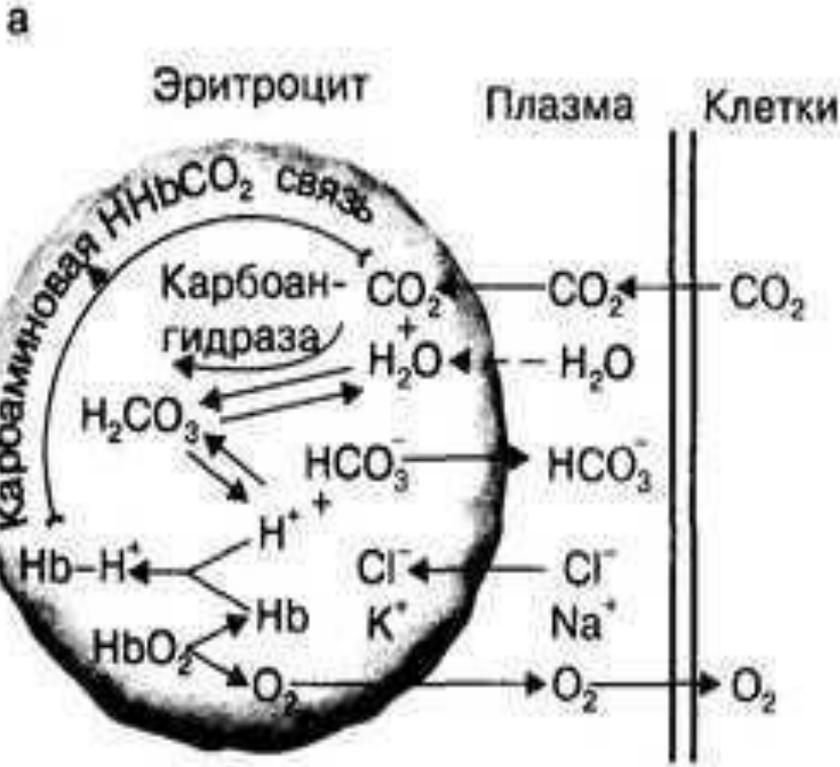
Это увеличивает сродство гемоглобина к  $\text{O}_2$ , ухудшая его отдачу в тканях (немного улучшая его присоединение в легких).

Транспорт  $\text{O}_2$  обеспечивается, в основном, за счет химической связи его с гемоглобином.

## 2) Транспорт углекислого газа.

- Углекислый газ находится в крови в 3 фракциях.
- из венозной крови можно извлечь 58%  $\text{CO}_2$
- 3% -  $\text{CO}_2$ ,
- 5%  $\text{HbCO}_2$  (в виде карбгемоглобина),
- 50% - солей угольной кислоты (**бикарбонаты**): в плазме  $\text{NaHCO}_3$  34%, в эритроцитах  $\text{KHCO}_3$  17%.

- $\text{CO}_2$ , согласно градиенту напряжения, переходит из клетки в эритроциты и соединяется там с водой. В результате образуется угольная кислота.
- В плазме также образуется небольшое количество углекислоты, но эта реакция идет очень медленно, т.к в плазме нет фермента **карбоангидразы**, катализирующего образование углекислоты.
- В эритроцитах под влиянием этого фермента - карбоангидразы - она резко ускоряется (в десятки тысяч раз).



- Углекислотная кислота диссоциирует на  $\text{H}^+$  и  $\text{HCO}_3^-$ , который выходит в плазму и соединяется там с  $\text{Na}^+$ , а взамен ему входит в эритроцит  $\text{Cl}^-$ .
- $\text{H}^+$  соединяется с  $\text{Hb}$ , который отходит от  $\text{O}_2$
- $\text{O}_2$  идет в клетку

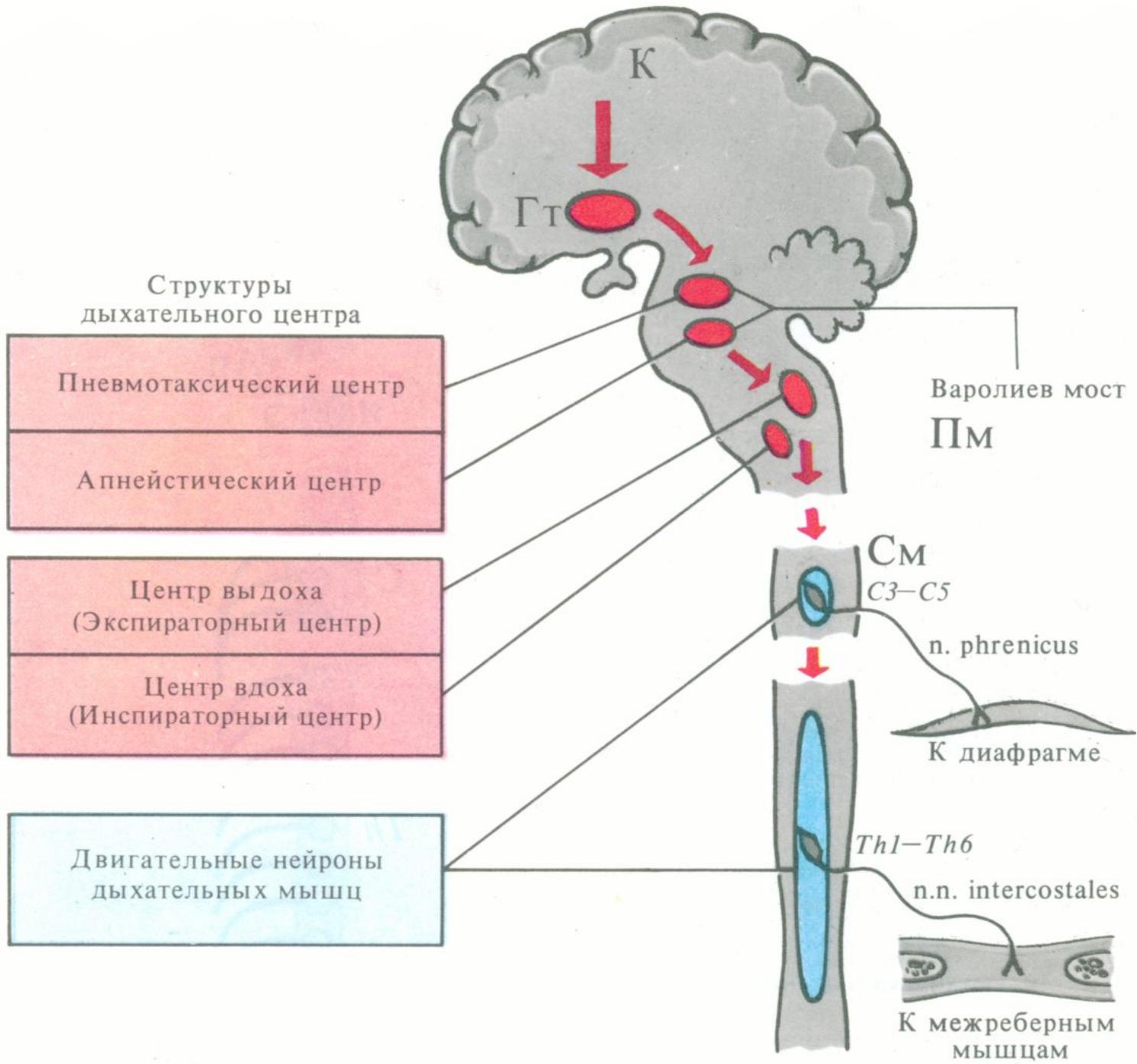
# РЕГУЛЯЦИЯ ДЫХАНИЯ

# ДЫХАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР

- сеть многочисленных нейронов расположенных на разных уровнях ЦНС, обеспечивающие газообмен между организмом и окружающей средой

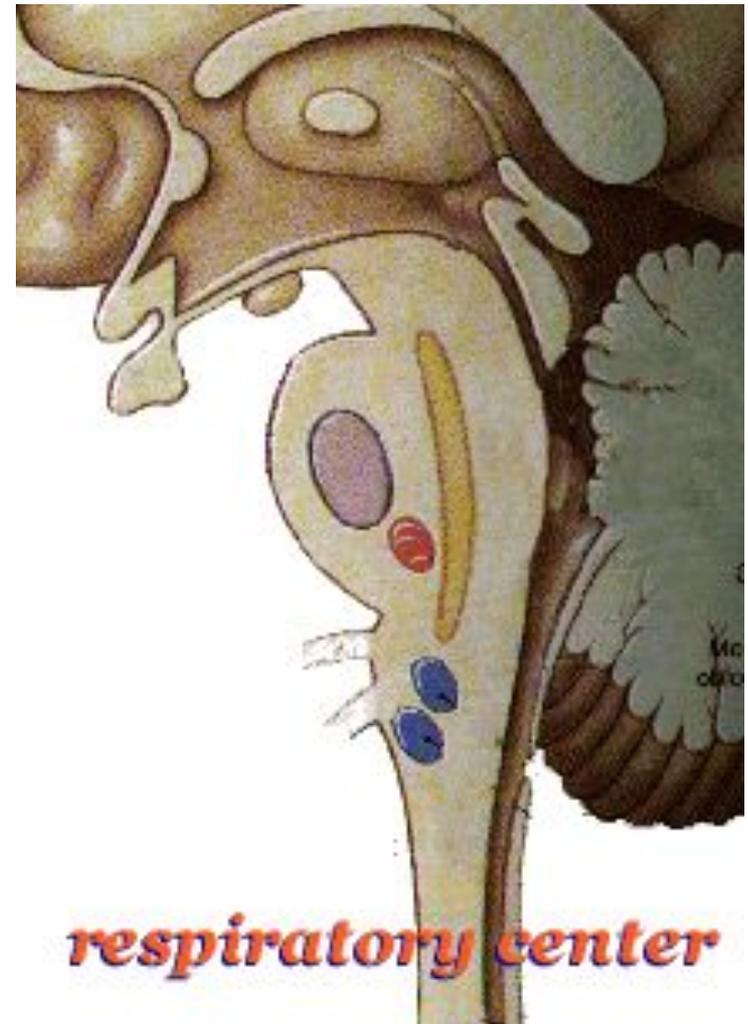
# УРОВНИ:

1. Спинной (С3-5, Th1-6)
2. Продолговатый
3. Подкорковые структуры: варолиев мост, ГТ, ЛС, КГМ.



# Главный дыхательный центр

- - совокупность специфических дыхательных ядер продолговатого мозга и варолиева моста.
- Структуры, необходимые для возникновения дыхательного ритма, были обнаружены в продолговатом мозге (Миславский Н.А. 1885г.).



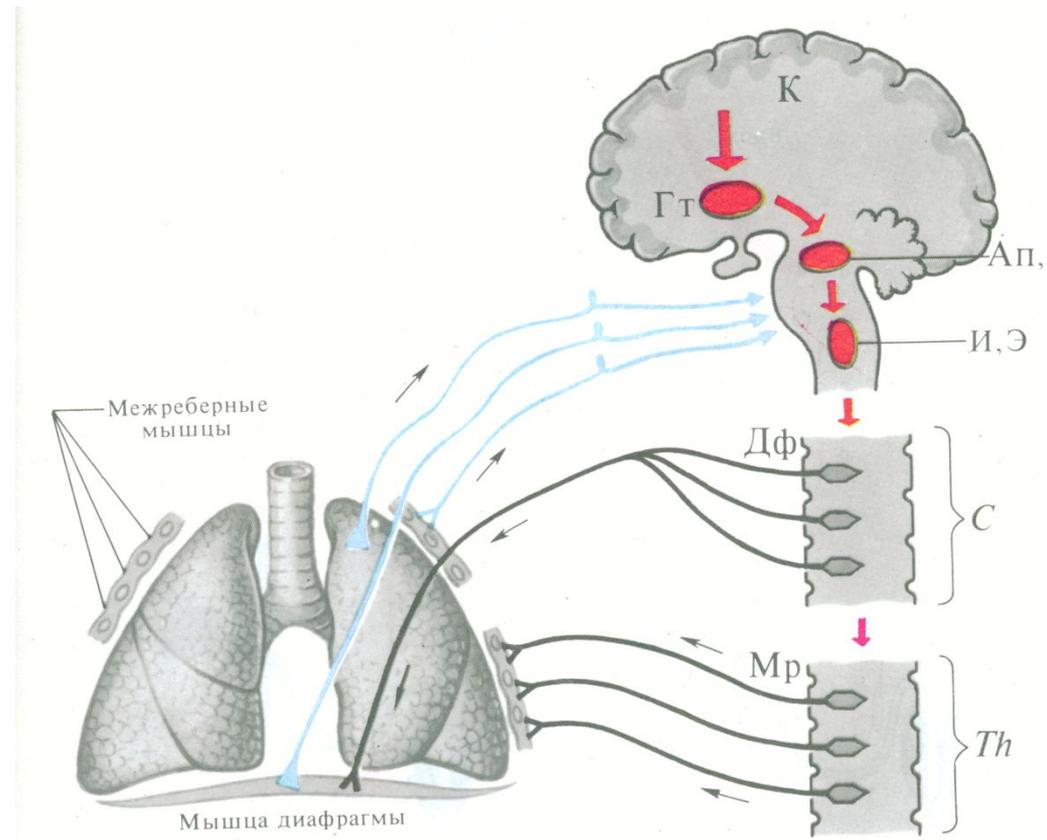
# Рефлекторная регуляция дыхания.

Механорецепторы **легких** информируют ДЦ о вентиляции лёгких.

- **Рецепторы растяжения лёгких** (медленно адаптируются) расположены в гладких мышцах трахеи и бронхах, реагируют на увеличение объёма лёгких при вдохе; с них возникает инспираторно-тормозящий рефлекс Геринга - Брейера.
- **Ирритантные рецепторы** расположены в эпителии бронхов, реагируют на быстрое изменение объёма лёгких, на механические воздействия (пыль) и на пары химических веществ: это быстро адаптирующиеся рецепторы. С них формируются рефлекс кашля.
- **Юкстаальвеолярные рецепторы** (J-рецепторы) локализируются в интерстиции альвеол у капилляров, реагируют на давление жидкости в межклеточном пространстве лёгких, с них формируется одышка.

# Рефлекс Геринга-Брейера.

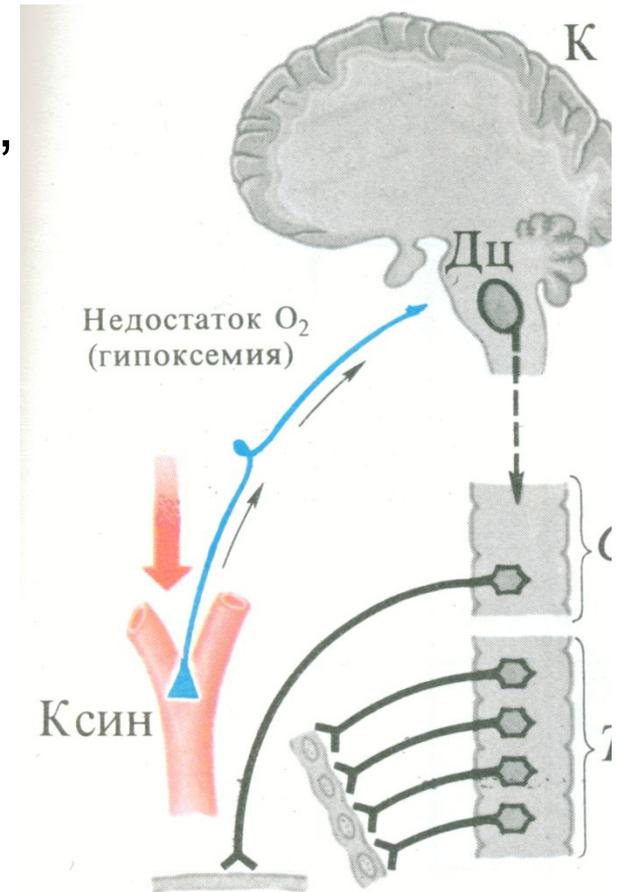
- Дуга этого рефлекса начинается от рецепторов растяжения легких.
- Афферентные волокна от рецепторов идут в составе n. vagus в ДЦ.
- От ДЦ импульсы идут в спинной мозг к мотонейронам, иннервирующим дыхательные мышцы (C<sub>3-5</sub> диафрагму, Th1-6 межреберные мышцы)



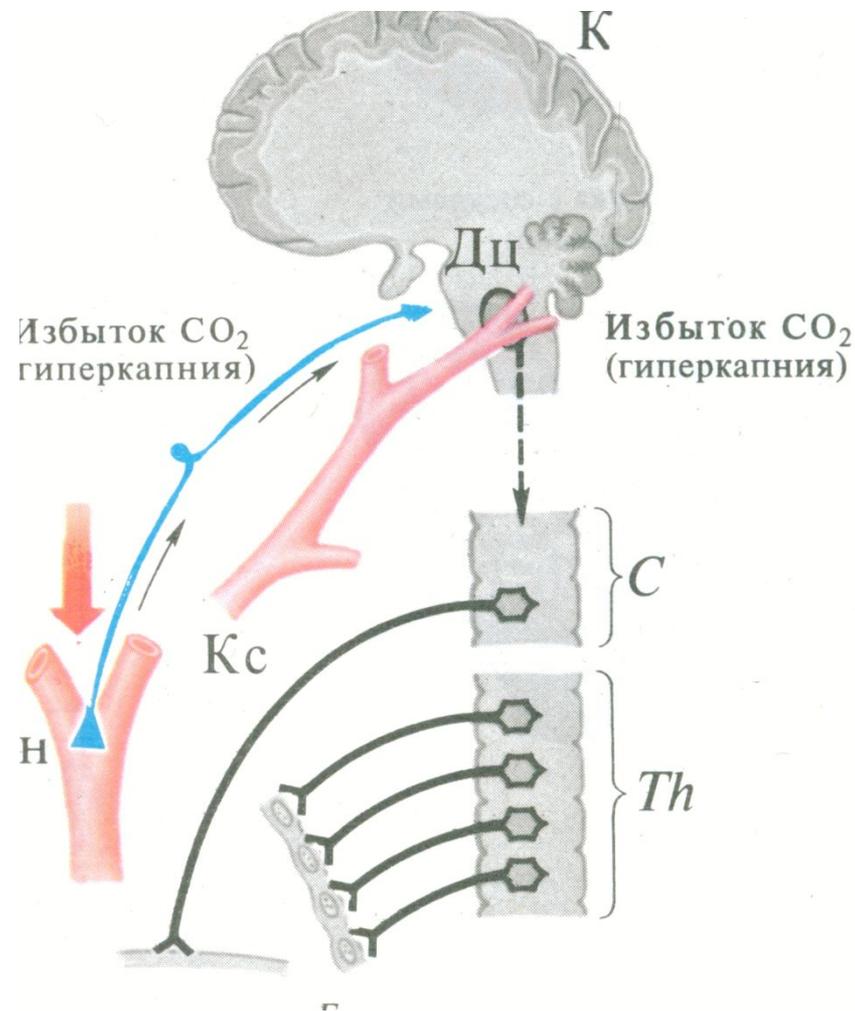
# Гуморальная регуляция дыхания

## *Периферические хеморецепторы:*

- локализуются в сосудах (особенно в артериях), тканях внутренних органов, их концентрация максимальна в синокаротидной и аортальной зонах;
- афферентная импульсация от них проводится по блуждающему нерву;
- имеют высокую чувствительность к изменению  $P_{O_2}$  в артериальной крови (особенно к его снижению) – гипоксемии.



- Центральные хеморецепторы:**  
локализуются на переднебоковой поверхности продолговатого мозга и моста в виде трех пар скопления нейронов;
- отличаются высокой чувствительностью к изменению  $pH$  и  $P_{CO_2}$  - гиперкапния;



- **Эупноэ** – нормальная вентиляция в покое, сопровождающаяся субъективным чувством комфорта.
- **Гиперпноэ** – увеличение глубины дыхания, независимо от того, повышена или снижена частота дыхания.
- **Тахипноэ** – увеличение частоты дыхания.
- **Брадипноэ** – снижение частоты дыхания.
- **Апноэ** – остановка дыхания, обусловленная отсутствием стимуляции дыхательного центра (например: при гипокапнии).
- **Диспноэ** – неприятное субъективное ощущение недостаточности дыхания или затрудненного дыхания (одышка).
- **Ортопноэ** – выраженная одышка, связанная с застоем крови в легочных капиллярах в результате сердечной недостаточности. В горизонтальном положении это состояние усугубляется и поэтому лежать таким больным тяжело.
- **Асфиксия** – остановка или угнетение дыхания, связанные главным образом с параличом дыхательного центра. Газообмен при этом резко нарушен: наблюдается гипоксия и гиперкапния.

**Спасибо за внимание!**