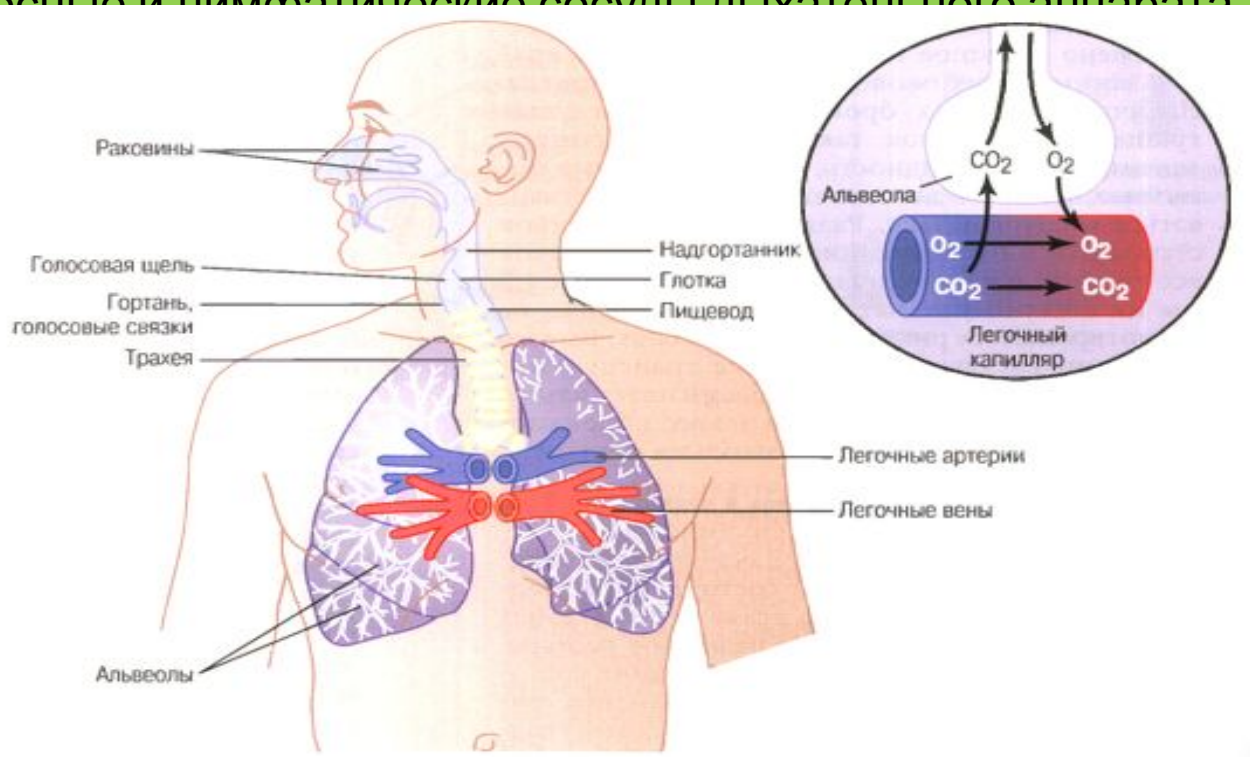


ФИЗИОЛОГИЯ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

1. Морфо-функциональная организация дыхательного аппарата

Функция дыхания осуществляется **дыхательным аппаратом**, к которому относят:

- грудную стенку, плевру и плевральную полость;
- дыхательные мышцы;
- дыхательную систему;
- нейрогуморальную систему регуляции дыхания;
- кровеносные и лимфатические сосуды дыхательного аппарата



Компоненты:

- верхние дыхательные пути (ротовая и носовая полости и глотка);
- нижние дыхательные пути (гортань, трахея, бронхиальное дерево и лёгочные альвеолы).

Функциональные компоненты:

- **проводящую часть** (ротовая и носовая полости, глотка, гортань, трахея, бронхи и бронхиолы).
 - **Основная функция** – проведение воздуха с низким сопротивлением его движению и распределение воздуха в лёгких.
 - Дополнительная функция - кондиционирование воздуха (увлажнение, согревание, фильтрацию и очищение).
- **дыхательную часть** (дыхательные бронхиолы и альвеолы лёгких).
 - **Основная функция** – обмен газов между лёгочным воздухом и кровью лёгочных капилляров.
 - Дополнительные функции - защитная, эндокринная, метаболическая, гомеостатическую и др.

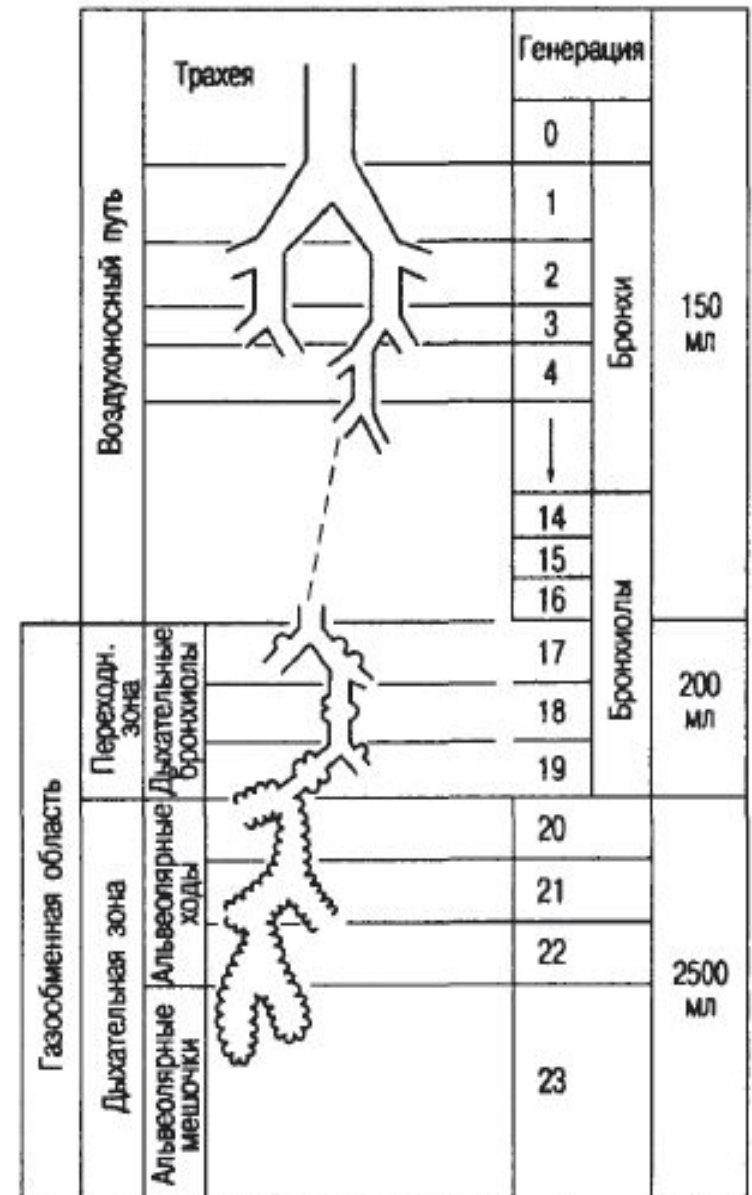
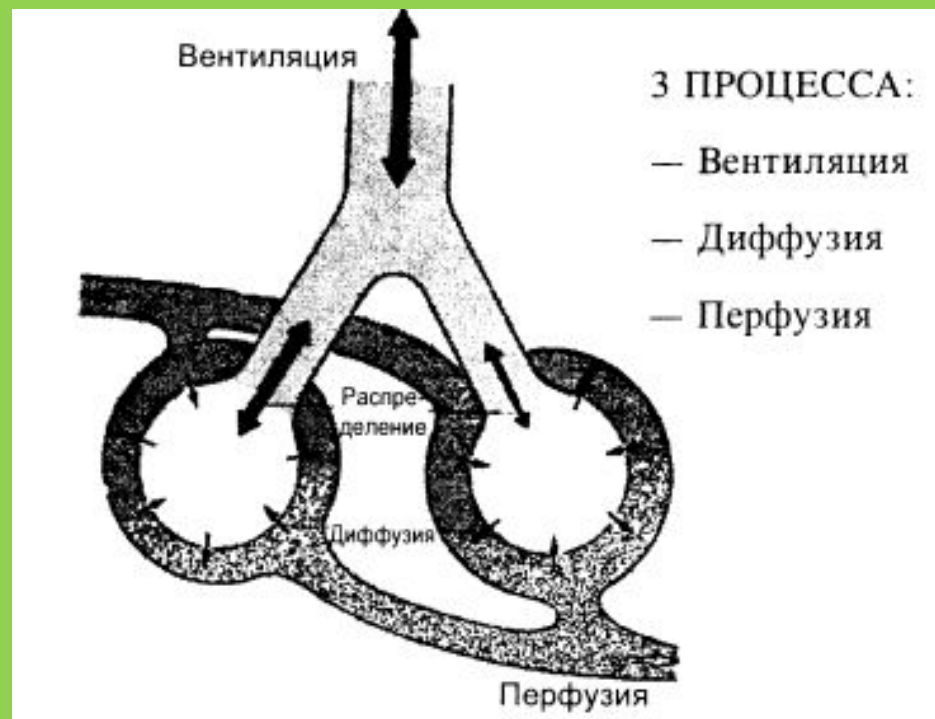


Рис. 12.1. Объемы воздухоносных путей и газообменной области после спокойного выдоха.

2. Этапы дыхания

- **Внешнее дыхание** включает:
 - **вентиляцию** – обмен газов между внешней средой и альвеолами лёгких.
 - **альвеолярную диффузию газов** - обмен газов между альвеолярным воздухом и кровью лёгочных капилляров через альвеолярно-капиллярную мембрану. Кислород поступает в лёгочные капилляры, а углекислый газ - в альвеолы.
 - **перфузию крови в лёгочных капиллярах** – прохождение крови через ткань лёгких



- **Транспорт газов кровью.**
 - Кислород в основном транспортируется эритроцитами в связанном с гемоглобином виде, а углекислый газ в химически связанном и физически растворённом видах.
- **Газообмен в тканях включает:**
 - **обмен газов** между кровью тканевых капилляров и тканями организма. Кислород поступает в ткани, а углекислый газ – в капиллярную кровь.
 - **клеточное (тканевое) дыхание.** Включает метаболические реакции в клетках в процессе которых происходит потребление кислорода и выделение углекислого газа.

3. Плевральная щель. Давления, связанные с лёгкими и плевральной щелью и объём лёгких

Плевральная щель

- узкое замкнутое пространство между висцеральной и париетальной листками плевры, заполненное серозной жидкостью, обеспечивающей прилегание двух листков плевры друг к другу и скольжение их относительно друг друга.

Внутриплевральное (плевральное) P – всегда ниже атмосферного (во время дыхательной паузы (-) 4 мм рт ст).

Альвеолярное P (внутриоёлочное) – в дыхательную паузу равно атмосферному (0 мм рт ст.).

Транспульмонарное P – разница между плевральным и альвеолярным P (в паузу равно 4 мм рт ст).

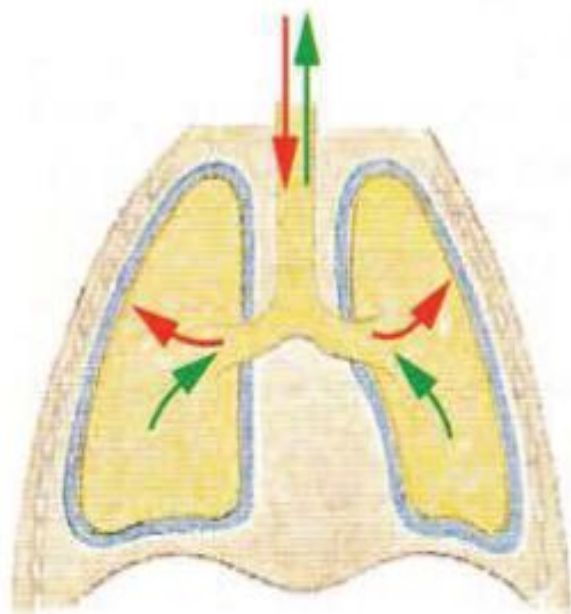
Объём лёгких определяется соотношением величин 2 противоположно направленных сил:

- **Транспульмонарное Р** – сила, стремящаяся растянуть лёгкие.
- **Эластическая тяга лёгких** – стремится уменьшить объём лёгких.

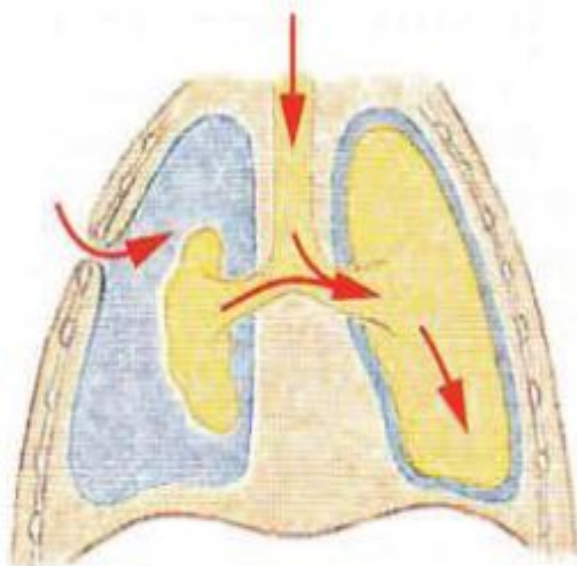


При равновесии величин 2-х сил лёгкие находятся в стабильном состоянии. При преобладании величины эластической тяги над транспульмонарным давлением объём лёгких уменьшается.

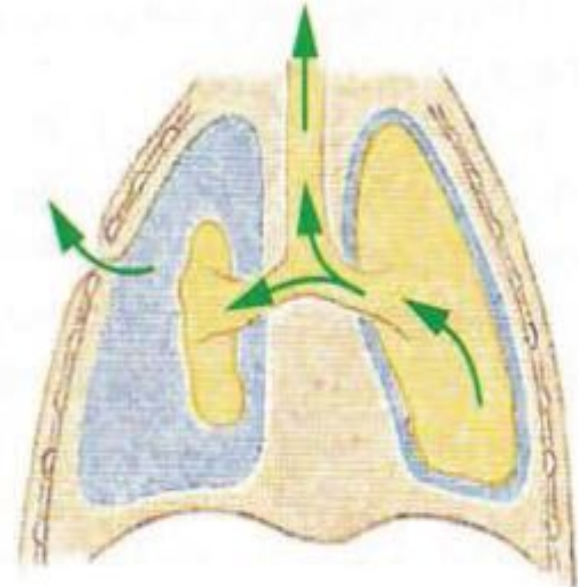
При нарушении герметичности плевральной щели Р в ней становится равным атмосферному и лёгкие спадаются (**пневмоторакс**) вследствие существенного превышения эластической тяги над величиной транспульмонарного Р.



1. Норма



2. Открытый пневмоторакс



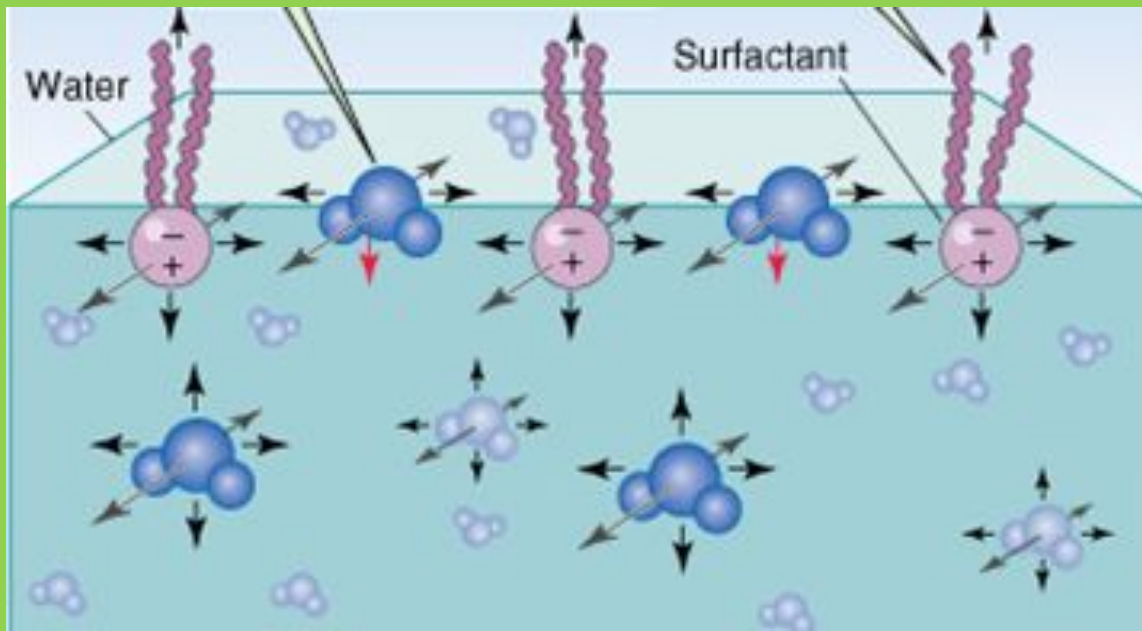
3. Клапанный пневмоторакс

перфорированная
ткань действует
как клапан

осложнения,
опасные для жизни

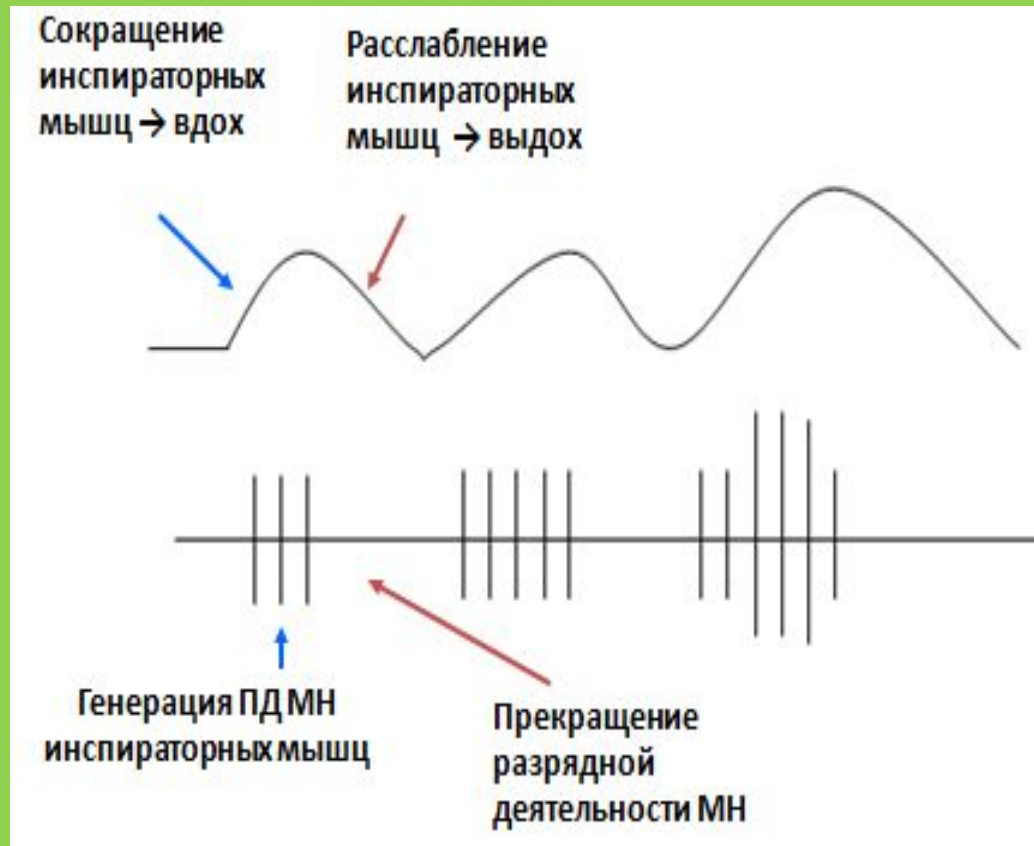
Сурфактант и эластическая тяга лёгких

- Эластическая тяга зависит от растяжимости лёгочной ткани и величины поверхностного натяжения жидкости, покрывающей поверхность альвеол (2/3 тяги).
- **Сурфактант**
 - секретируется особыми альвеолярными эпителиальными клетками
 - является смесью поверхностно активных веществ (фосфолипиды, белки, ионы), существенно уменьшающей поверхностное натяжение и эластическую тягу лёгких, что предохраняет лёгкие от спадения.



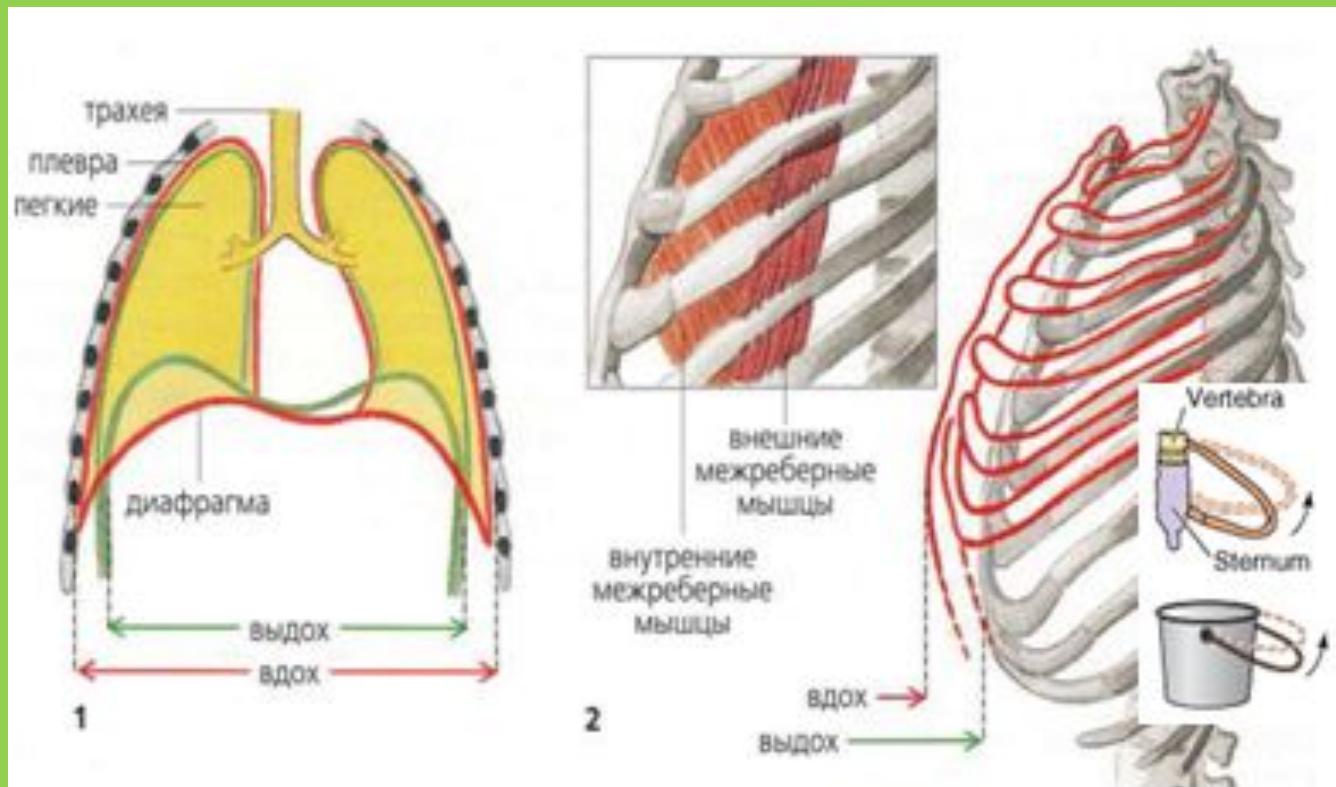
4. Лёгочная вентиляция

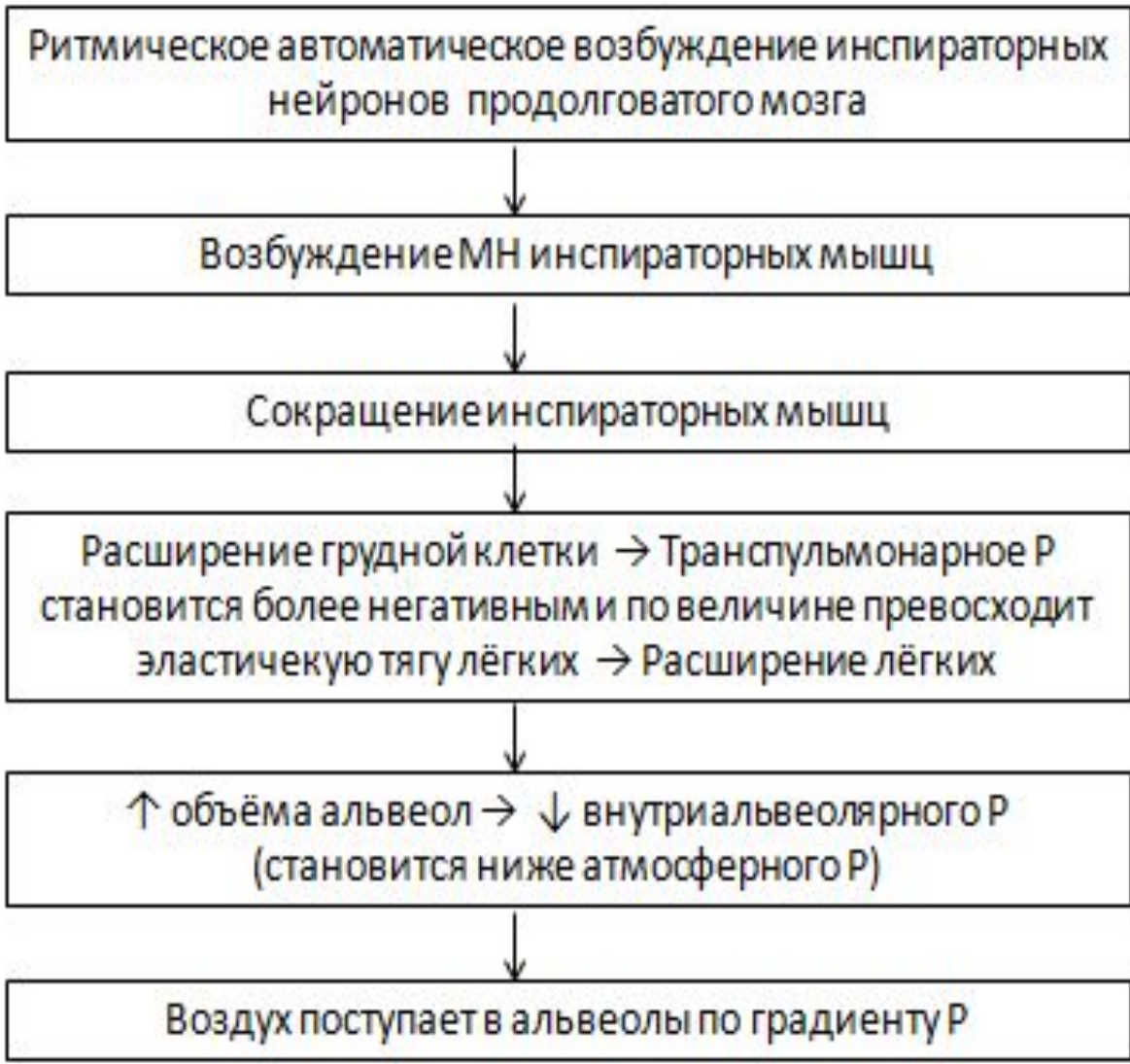
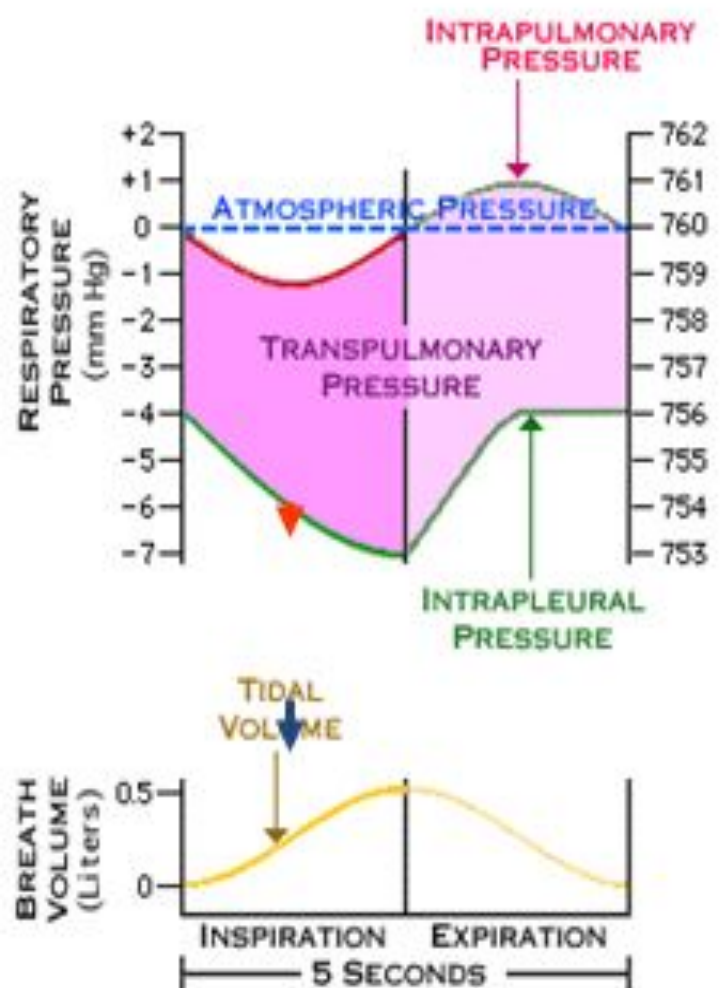
- Лёгочная вентиляция является **ритмичным автономным процессом**.
- Дыхательный ритм генерируется автоматически нейронами дыхательного центра продолговатого мозга.
- Активность дыхательного центра находится под произвольным контролем.
- Вентиляция лёгких обеспечивается за счёт ритмического сокращения и расслабления дыхательных мышц.



Механика вдоха

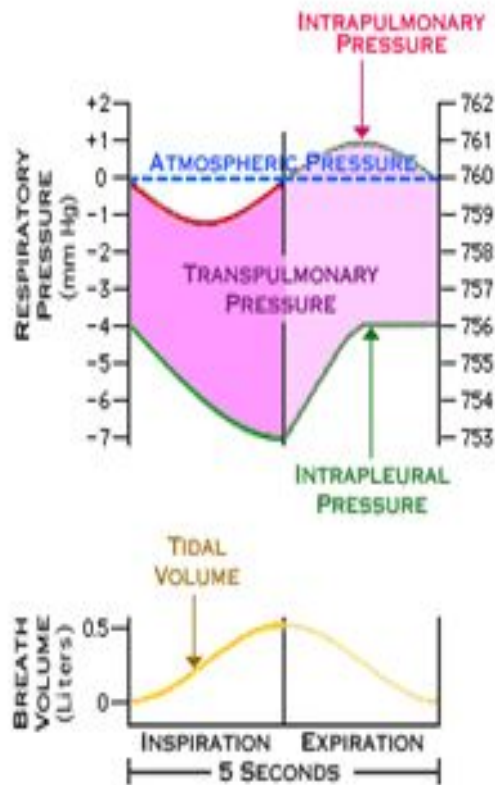
- Вдох считается **активным процессом** - происходит в результате сокращения инспираторных мышц.
 - **Основные инспираторные мышцы** - диафрагма, наружные косые межрёберные мышцы.
 - **Вспомогательные инспираторные мышцы** – участвуют только в форсированном (глубоком) вдохе (мышцы разгибатели позвоночника, грудино-ключично-сосцевидная, грудные мышцы, трапецевидная).





Механика выдоха

- Выдох считается **пассивным** процессом, так как при спокойном выдохе не участвуют экспираторные мышцы. В форсированном (глубоком) выдохе участвуют экспираторные мышцы (внутренние косые межрёберные мышцы, мышцы брюшной стенки, сгибатели позвоночника).
- Происходит при расслаблении инспираторных мышц.



Прекращение возбуждения инспираторных нейронов продолговатого мозга

Прекращение генерации ПД МН инспираторных мышц → расслабление инспираторных мышц

Грудная клетка и диафрагма возвращаются в исходное положение → Транспульмонарное Р становится менее негативным и по величине уступает эластичекой тяге лёгких → ↓ объёма лёгких

↑ внутриальвеолярного Р (становится выше атмосферного Р) → Воздух движется из альвеол по градиенту Р

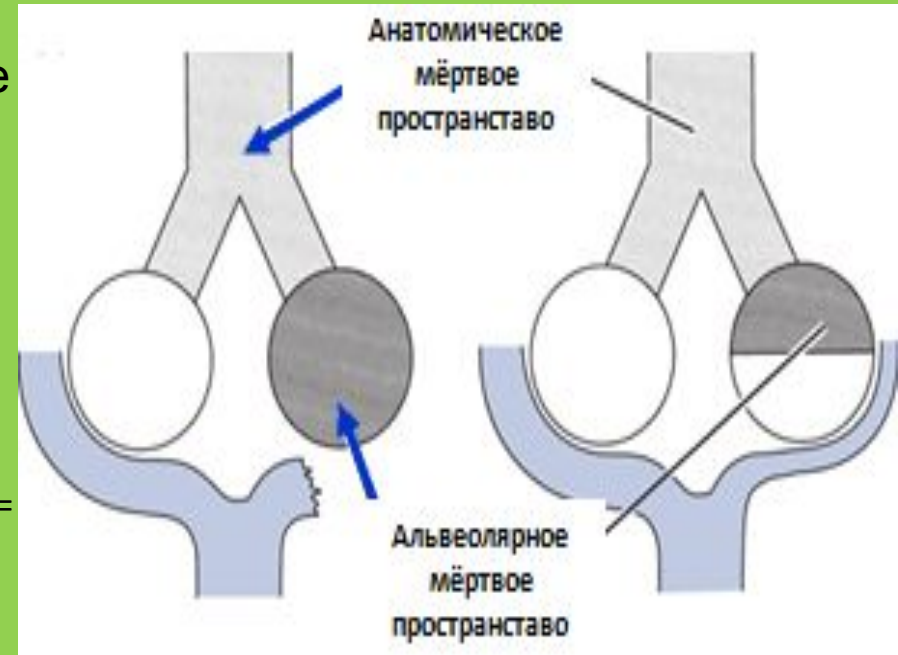
Типы дыхания

- **Брюшной тип** – вдох главным образом происходит за счёт сокращения диафрагмы. Характерен для мужчин и для женщин, занимающихся физической работой.
- **Грудной тип** – вдох в основном происходит за счёт сокращения межрёберных мышц. Характерен для женщин.
- **Смешанный тип** - присутствуют оба компонента.

5. Факторы, влияющие на лёгочную вентиляцию.

Сопротивление дыхательных путей

- **Минутный объем дыхания (МОД):** $МОД = ДО * ЧД$. ДО – дыхательный объём.
 - Норма у здоровых взрослых: 3500-8000 мл. У спортсменов до 12 л/мин.
- **Мёртвое пространство** - часть воздуха не участвующего в газообмене.
 - **Анатомическое мёртвое пространство** – объём воздуха в дыхательных путях, которые вентилируются, но не участвуют в газообмене (150 мл).
 - **Альвеолярное (функциональное) мёртвое пространство** – вентилируемые альвеолы, не принимающие участие в газообмене (0 мл).
 - **Физиологическое мёртвое пространство** = анатомическое мёртвое пространство + альвеолярное мёртвое пространство.
 - **Вентиляция мёртвого пространства** = $Объём\ мёртвого\ пространства \times ЧД = 150\text{ мл} \times 12 = 1.8\text{ л/мин}$
- **Альвеолярная вентиляция** = $(ДО - Объём\ мёртвого\ пространства) \times ЧД = 350\text{ мл} \times 12 = 4.2\text{ л/мин}$.

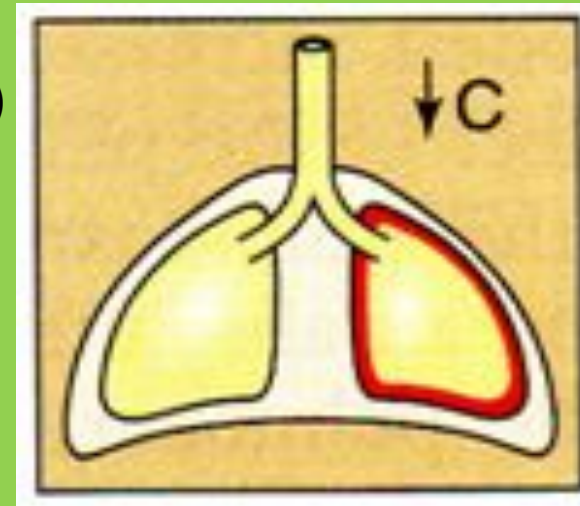
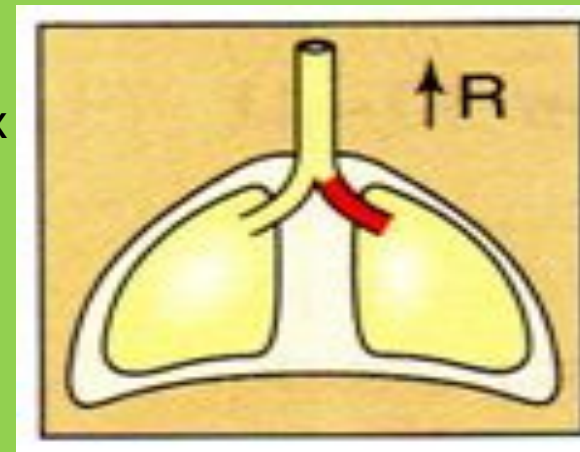


Сопротивление дыхательных путей

- **Небольшое по величине** → небольшой градиент P (менее 1 мм.рт. ст) приводит к перемещению значительных объёмов воздуха
- Зависит от длины проводящих путей, радиуса и взаимодействия между движущимися молекулами газа
 - $R = \frac{8 \eta l}{\pi r^4}$ η – динамическая вязкость воздуха
 r, l – радиус и длина трубки
 - ↑ линейной скорости движения → ↑ взаимодействие между молекулами воздуха и сопротивления току.
- **Факторы, влияющие на радиус дыхательных путей**
 - **Физические факторы**, расщиряющие дыхательные пути (транспульмонарное P , латеральная тракция)
 - **Вегетативный нервный контроль**
 - Активация of β_2 адренорецепторов → расслабление гладкомышечных волокон стенок дыхательных путей и их расширение → ↓ сопротивления току воздуха
 - Активация М-холинорецепторов → противоположные эффекты.
 - **Местные (паракринные) факторы**
 - ↓ CO_2 концентрации → сужение бронхов
 - Гистамин, простагландины, кинины и др. → сужение бронхов

6. Этиопатогенетические типы нарушений лёгочной вентиляции

- **Обструктивный тип.**
 - Снижение вентиляции в основном происходит за счёт уменьшения проходимости дыхательных путей (увеличения аэродинамического сопротивления) вследствие их сужения или окклюзии (бронхиальная астма, эмфизема, хронический бронхит, опухоли бронхиального дерева и др.).
- **Рестриктивный тип.**
 - Снижение вентиляции происходит вследствие уменьшения дыхательной экскурсии лёгких при уменьшении растяжимости лёгочной ткани (лёгочный фиброз, туберкулёз, отёк лёгких и др.) или при внелёгочных заболеваниях (сколиоз, ожирение, миастения).
- **Смешанный (обструктивно-рестриктивный) тип** - нарушение вентиляции вызвано комбинацией причин.



7. Лёгочные объёмы и ёмкости

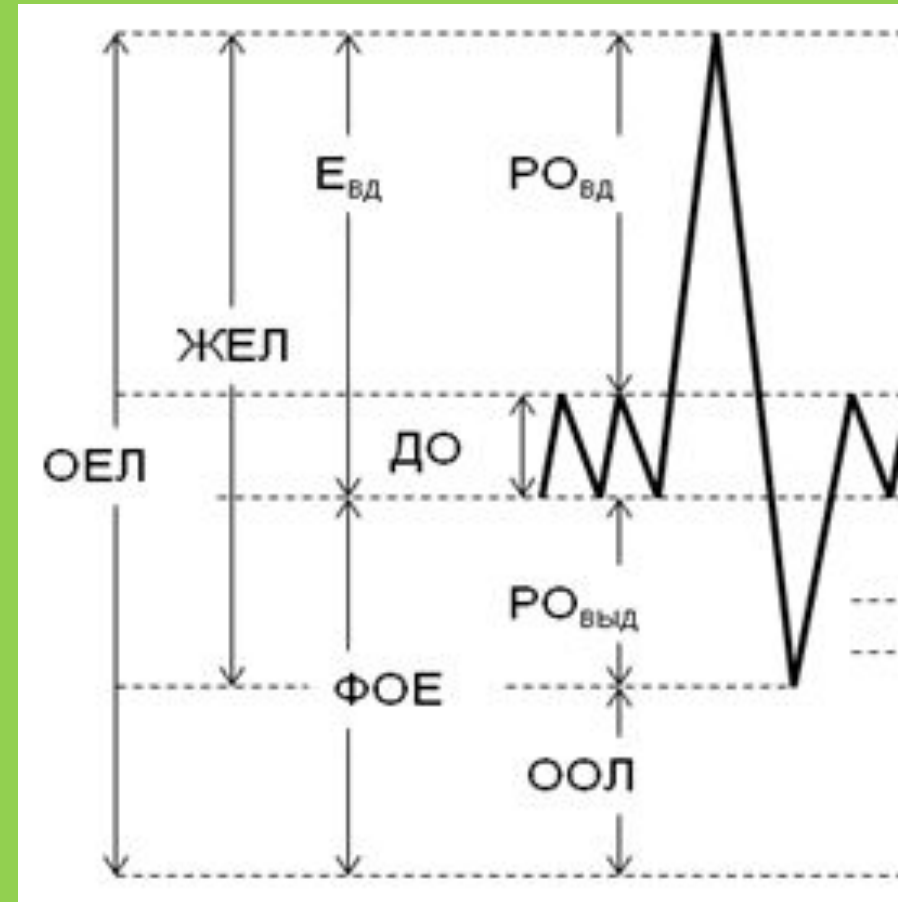
- Под **лёгочными объёмами** понимают объём воздуха, содержащегося в лёгких или перемещаемого из/в лёгкие в различные фазы дыхательного цикла.
- **Ёмкость** является суммой 2 или более объёмов.

2 вида лёгочных объёмов и ёмкостей

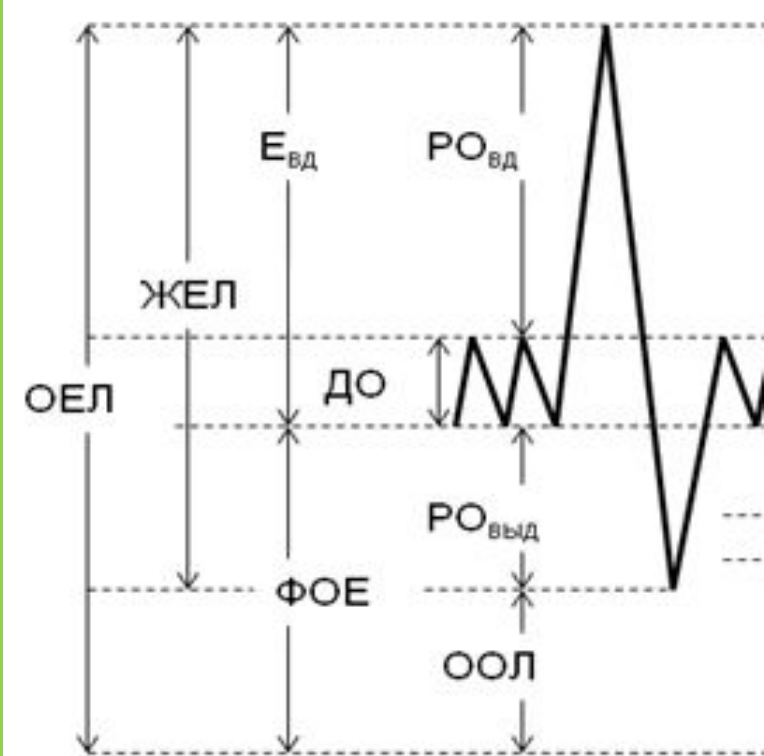
- **Статические** – определяются при спокойном дыхании или при максимальных усилиях, приложенных в начале и конце манёвра. При измерении статических лёгочных объёмов и ёмкостей фактор времени (скорость дыхательного манёвра) не имеет значение; главное – завершённость дыхательного манёвра.
- **Динамические** – определяются при форсированном дыхании, когда во время респираторного манёвра прикладывается максимальное усилие. При этом важна не только завершённость дыхательного манёвра, но и его скорость.

Статические лёгочные объёмы

- **Дыхательный объем (ДО, TV) или глубина дыхания**
 - Объём воздуха, который человек вдыхает или выдыхает при спокойном дыхании.
 - В норме у взрослого здорового человека ДО - 300-800 мл (500 мл в среднем).
- **Резервный объём вдоха ($PO_{вд'}$, IRV)**
 - Максимальный объём воздуха, который можно дополнительно вдохнуть после спокойного вдоха.
 - В норме у взрослых - 1500-2500 мл.
- **Резервный объём выдоха ($PO_{выд'}$, ERV)**
 - Максимальный объём воздуха, который можно дополнительно выдохнуть после спокойного выдоха.
 - В норме у взрослых - 1000-1500 мл.



- **Жизненная емкость легких (ЖЕЛ, VC)**
 - Максимальный объем воздуха, который можно выдохнуть после максимального вдоха.
 - $ЖЕЛ = ДО + РО_{вд} + РО_{выд}$
 - Составляет в среднем у женщин 3000-4500 мл, а у мужчин - 4000-5500 мл. У хорошо тренированных спортсменов она достигает 8000 мл.
- **Остаточный объем лёгких (ООЛ, RV)**
 - Объем воздуха, остающийся в лёгких после максимального выдоха.
 - В норме у взрослых составляет 1000-1500 мл.
- **Ёмкость вдоха ($E_{вд}$, IRV)**
 - Максимальный объем воздуха, который можно вдохнуть после спокойного выдоха.
 - $E_{вд} = ДО + РО_{вд}$
- **Функциональная остаточная ёмкость (ФОЕ, FRC)**
 - Объем воздуха, остающийся в лёгких после спокойного выдоха.
 - $ФОЕ = ООЛ + РО_{выд}$
- **Общая емкость легких (ОЕЛ, TLC)**
 - Объем воздуха, находящийся в лёгких на высоте максимального вдоха.
 - В норме у взрослых составляет 4000-6000 мл. Снижается с возрастом.



Должные величины лёгочных объёмов

Абсолютные значения лёгочных объёмов сравниваются не с возрастно-половой нормой, а с **должными величинами** – теоретически рассчитанными нормативными значениями у здорового человека того же возраста, пола, роста и веса.

Характеристика и оценка ЖЕЛ

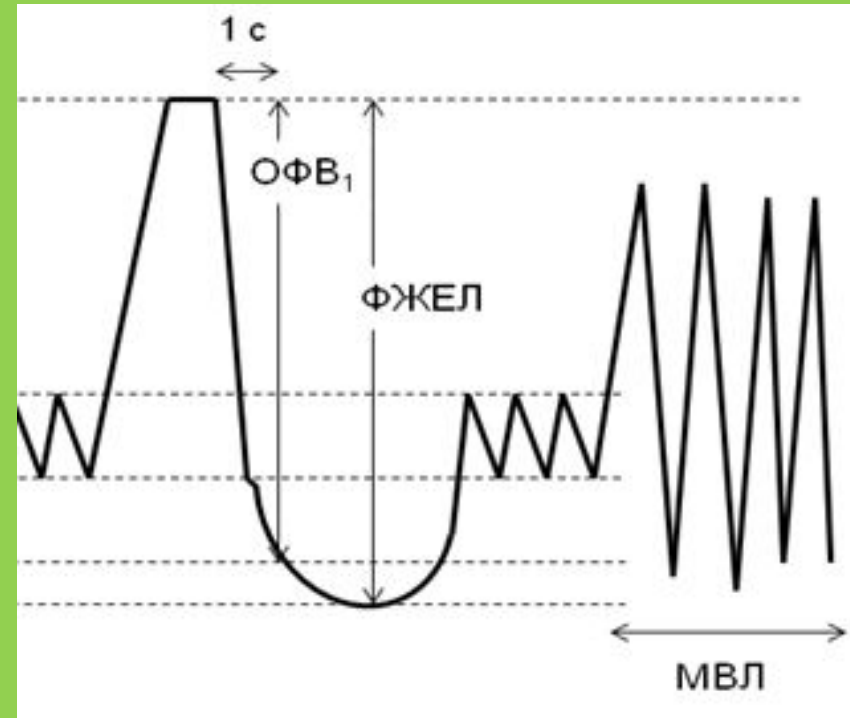
- ЖЕЛ является одним из важнейших показателей функционального состояния аппарата внешнего дыхания, а также физического развития и здоровья человека в целом.
- ЖЕЛ зависит от размера грудной клетки, ее подвижности и силы дыхательной мускулатуры; от роста, веса, возраста, пола, а также положения тела (лёжа ниже, чем сидя и стоя).
- ЖЕЛ измеряется в литрах или мл и в процентах от **должной величины (ДЖЕЛ)** - $\text{ЖЕЛ} = (\text{ЖЕЛ фактическая} / \text{ДЖЕЛ}) * 100\%$.

Жизненный показатель

- Нормированный показатель ЖЕЛ, отнесенной к массе тела, называется **жизненным показателем**.
- Является показателем физического развития и здоровья человека.
- Средняя величина для мужчин составляет 50-65 мл/кг, для женщин - 40-56 мл/кг.

Динамические лёгочные объёмы и ёмкости

- **Форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ, FVC)**
 - ФЖЕЛ - это максимальный объем воздуха, выдыхаемого при форсированном выдохе (настолько быстрым и полным, насколько это возможно) после максимального вдоха.
 - Отражает проходимость проксимальных отделов дыхательных путей.
 - Выражается в мл или в % от должной величины. В норме ФЖЕЛ меньше ЖЕЛ на 200-400 мл.
- **Объём форсированного выдоха за 1 с (ОФВ₁, FEV₁)**
 - ОФВ₁ - это максимальный объем воздуха, выдыхаемый за первую секунду после начала дыхательного маневра по определению форсированной ЖЕЛ.
 - Является показателем обструкции проксимальных отделов дыхательных путей.



- **Индекс (проба) Тиффно**

- Индекс Тиффно: $\text{ОФВ}_1 (\%) = (\text{ОФВ}_1, \text{мл} / \text{ЖЕЛ}, \text{мл}) * 100\%$.
- Отражает проходимость проксимальных отделов.
- Норма: у здоровых лиц - 70-85%. Величина ФЖЕЛ ниже 70% указывает на нарушение проходимости дыхательных путей.

- **Индекс Генслера**

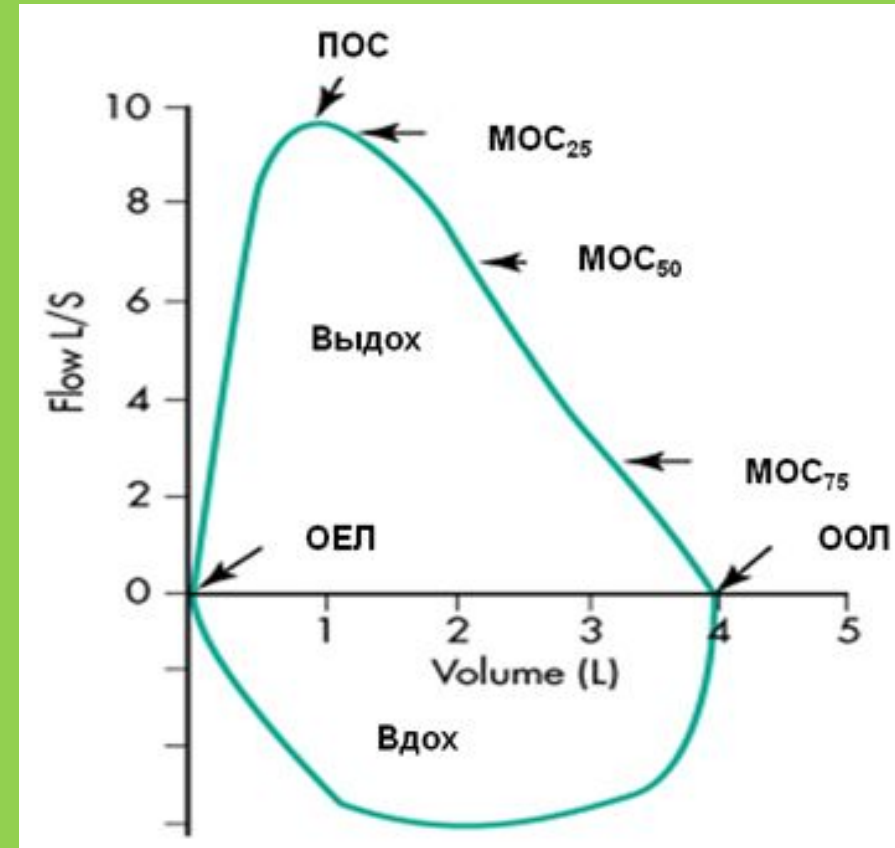
- $\text{ОФВ}_1 (\%) = (\text{ОФВ}_1, \text{мл} / \text{ЖЕЛ}, \text{мл}) * 100\%$.
- У здорового человека составляет не менее 85-90%.

8. Объёмные скорости воздушного потока

Пиковая объёмная скорость выдоха (ПОС)

или пиковая скорость выдоха (ПСВ, peak expiratory flow, PEF)

- Это максимальный экспираторный воздушный поток во время измерения ФЖЕЛ.
- Отражает проходимость проксимальных отделов дыхательных путей и силу, развиваемую дыхательными мышцами.
- Норма - более 80% от должной величины.

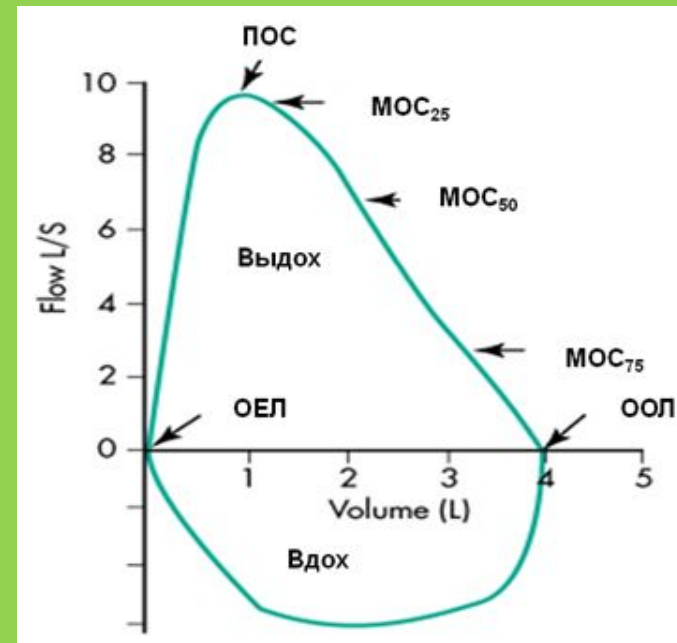


Мгновенные объёмные скорости выдоха (МОС)

- МОС отражают объёмную скорость движения воздуха в различные моменты экспираторного манёвра.
- $МОС_{25}$ измеряется при выдохе 25% ФЖЕЛ с начала выдоха (осталось 75%); $МОС_{50}$ – выдохнуто 50% ФЖЕЛ; $МОС_{75}$ – 75% ФЖЕЛ. $МОС_{25}$ отражает проходимость проксимального отдела дыхательных путей, а – $МОС_{50}$ и $МОС_{75}$ - дистального отдела.
- Норма МОС - более 80% от должной;

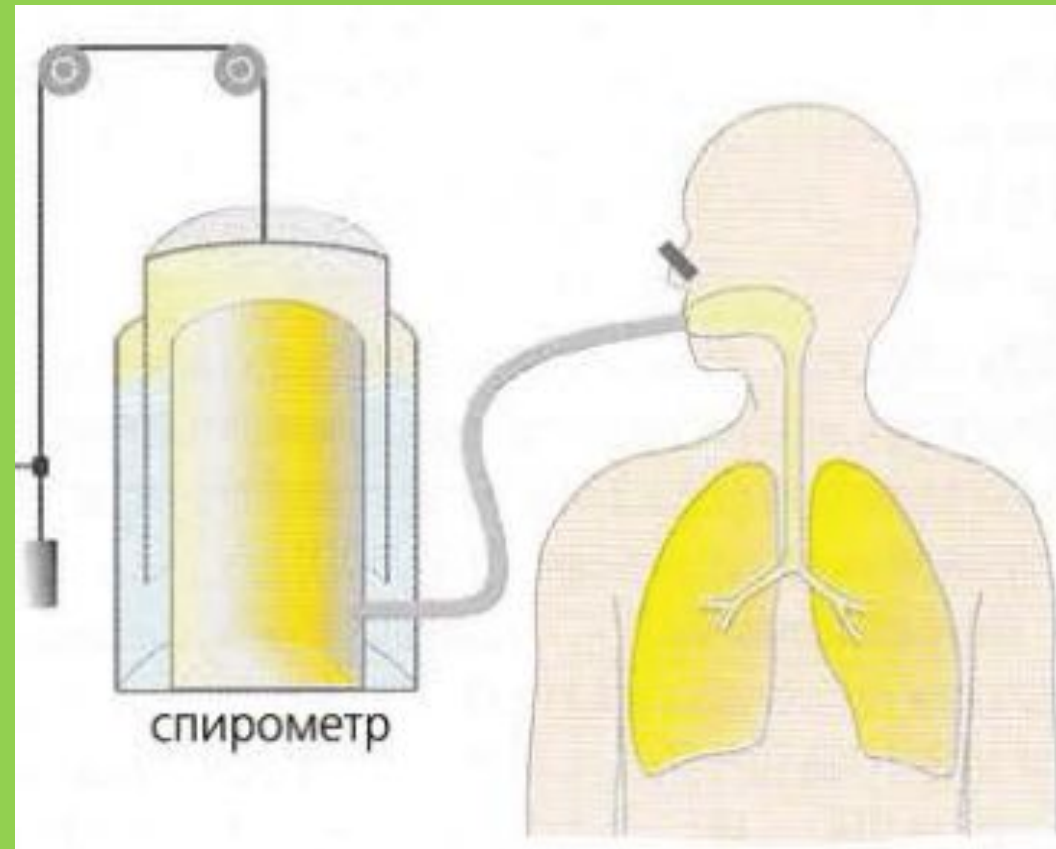
Средние объёмные скорости выдоха (СОС)

- Включают среднюю объёмную скорость на участке 25-75% от выдыхаемой ФЖЕЛ ($СОС_{25-75}$) и другие.
- $СОС_{25-75}$ является наиболее ранним и чувствительным маркером нарушения проходимости дистальных отделов дыхательных путей.
- Величина $СОС_{25-75}$ в норме – более 80% от должного значения.



9. Методика проведения спирометрического и пневмотахометрического исследования

- При обычном спирометрическом исследовании **не возможно измерить остаточный объём лёгких, функциональную остаточную емкость и общую ёмкость лёгких.**



10. Показатели интенсивности легочной вентиляции

Максимальная вентиляция легких (МВЛ) или «предел дыхания»

- МВЛ – это количество воздуха, которое может провентилироваться легкими при максимальном напряжении дыхательной системой – увеличении частоты и глубины дыхания: $МВЛ = ДО_{\text{макс}} * ЧД_{\text{макс}}$.
- МВЛ характеризует функциональную способность аппарата внешнего дыхания. На величину МВЛ влияют ЖЕЛ, сила и выносливость дыхательной мускулатуры, проходимость дыхательных путей. Кроме того, МВЛ зависит от возраста, пола, физического развития, состояния здоровья.
- Норма для здоровых взрослых: 80-200 л/мин.

Резерв дыхания (РД)

- Показывает, насколько человек может увеличить вентиляцию, является одним из ценных показателей внешнего дыхания и физического развития человека.
- Рассчитывается по формуле: $РД = МВЛ - МОД$.
- Норма у взрослых - 85-90% от величины МВЛ.

Коэффициент резервных возможностей дыхания (КРД)

- Характеризует резервные возможности системы внешнего дыхания.
- Расчёт: $КРД = ((МВЛ - МОД) / МВЛ) * 100\%$.
- Оценка. КРД ниже 70% указывает на значительную степень снижения функциональных возможностей системы дыхания.

11. Физические основы газообмена.

Парциальное давление и напряжение газов

Содержание газов в воздухе

- Вдыхаемый, альвеолярный и выдыхаемый воздух являются смесями газов: кислорода, углекислого газа, азота (и других инертных газов) и паров воды.
- Процентный состав сухого атмосферного воздуха не зависит от долготы, широты, высоты над уровнем моря и составляет “N₂” – 79%, O₂ – 21%, CO₂ – 0.03%

Парциальное P газов смеси

- Часть общего давление газовой смеси, приходящаяся на долю определённого газа.
- Величина парциального P = Фракционная концентрация x общее давление газовой смеси.
- Парциальное P дыхательных газов в сухом воздухе
 - $P_{O_2} = 0.21 \times 760 \text{ мм рт ст} = 159.6 \text{ мм рт ст}$
 - $P_{CO_2} = 0.03 \times 760 \text{ мм рт ст} = 2.3 \text{ мм рт ст}$
 - $P_{N_2} = 0.79 \times 760 \text{ мм рт ст} = 600.4 \text{ мм рт ст}$

Парциальное P дыхательных газов в увлажнённом воздухе

- $P_{O_2} = 0.21 \times (760-47) \text{ мм рт ст} = 149.7 \text{ мм рт ст}$
- $P_{CO_2} = 0.03 \times (760-47) \text{ мм рт ст} = 2.1 \text{ мм рт ст}$
- $P_{N_2} = 0.79 \times (760-47) \text{ мм рт ст} = 563.3 \text{ мм рт ст}$

Напряжение растворённого газа в жидкости

- Напряжение растворённого газа в жидкости равно парциальному P этого газа в воздухе в состоянии равновесия между жидкостью и воздухом.
- Закон Генри: напряжение растворённого газа = парциальное P * коэффициент растворимости (CO_2 – 0.49, O_2 – 0.024, N_2 – 0.012).

Газы в жидкости

- Растворённые
- Связанные газы (например, с гемоглобином или протеинами плазмы).
- Химически модифицированные (например, H_2CO_3)

Парциальные давления дыхательных газов при входе в легкие и выходе из них (на уровне моря)

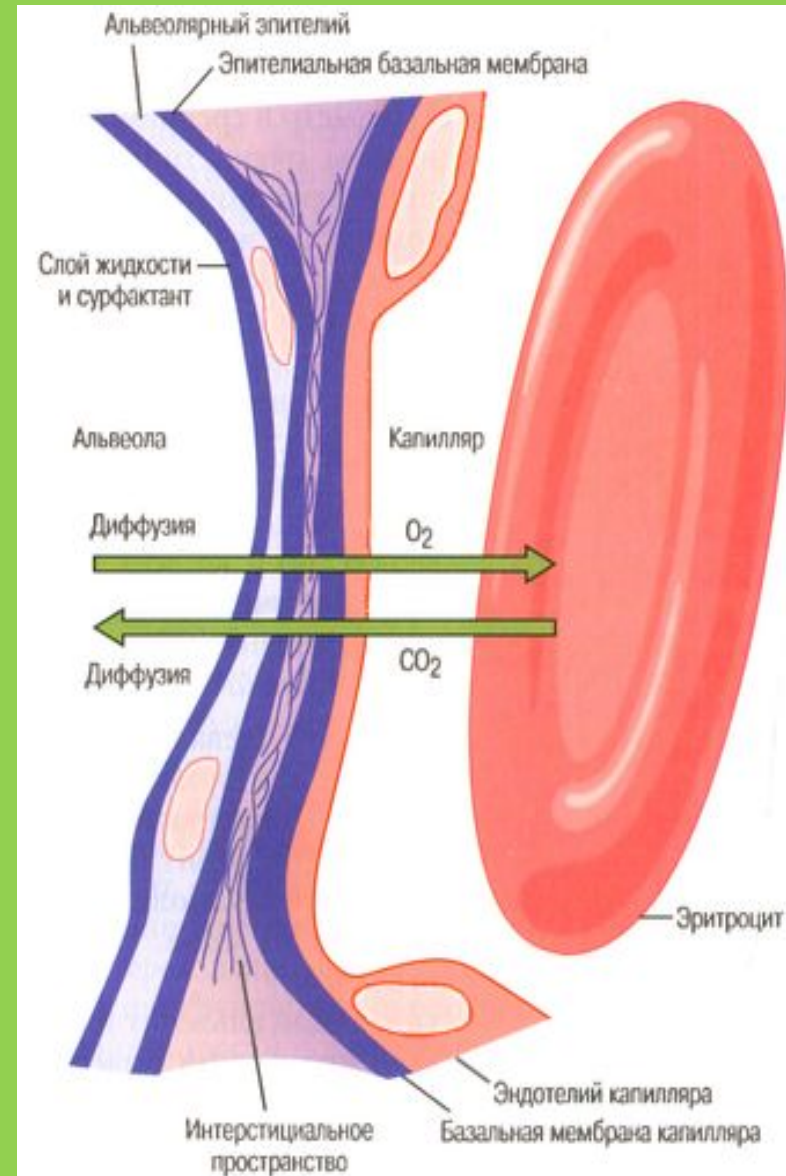
	Атмосферный воздух* (мм рт. ст.)		Увлажненный воздух (мм рт. ст.)		Альвеолярный воздух (мм рт. ст.)		Выдыхаемый воздух (мм рт. ст.)	
N_2	597,0	(78,62%)	563,4	(74,09%)	569,0	(74,9%)	566,0	(74,5%)
O_2	159,0	(20,84%)	149,3	(19,67%)	104,0	(13,6%)	120,0	(15,7%)
CO_2	0,3	(0,04%)	0,3	(0,04%)	40,0	(5,3%)	27,0	(3,6%)
H_2O	3,7	(0,50%)	47,0	(6,20%)	47,0	(6,2%)	47,0	(6,2%)
ОБЩЕЕ	760,0	(100,0%)	760,0	(100,0%)	760,0	(100,0%)	760,0	(100,0%)

12. Обмен газов в лёгких

- Обмен газов между кровью лёгочных капилляров происходит через тонкую **дыхательную мембрану (аэрогематический барьер)** – процесс простой диффузии.
- Движущей силой диффузии газа, определяющей направление и скорость диффузии, является градиент парциальных P данного газа.
- Факторы, определяющие скорость диффузии (D)

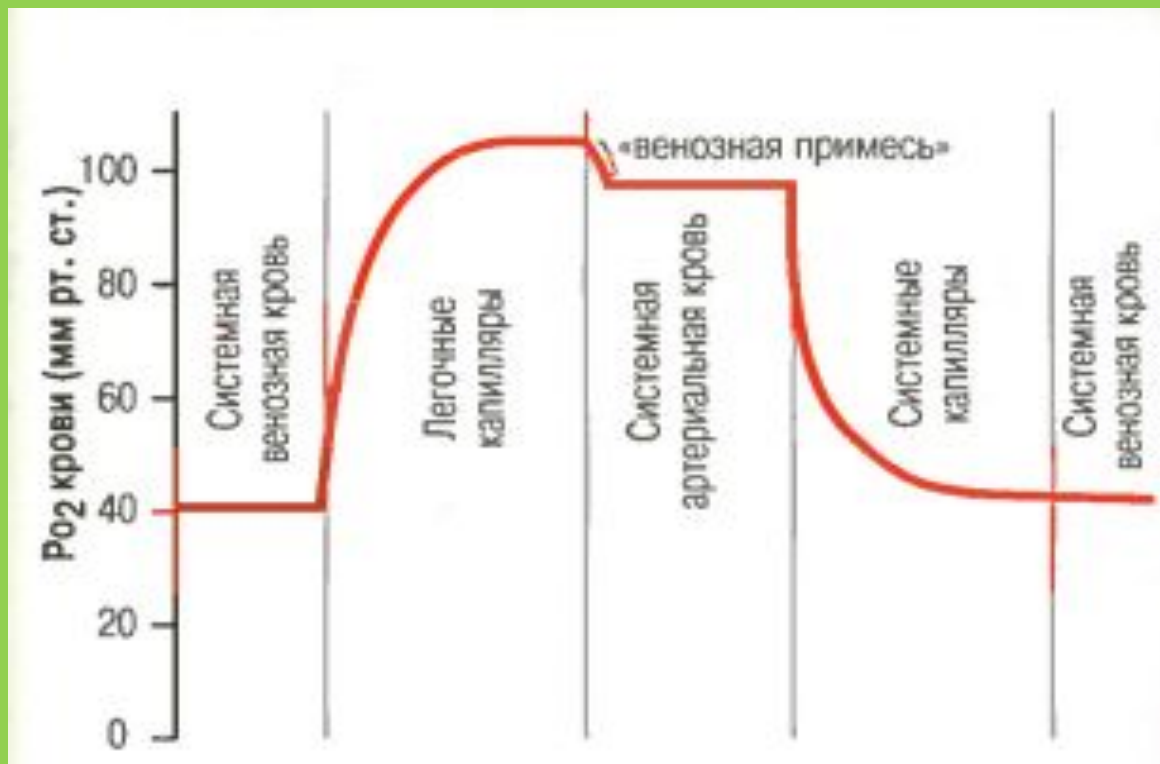
$$D \propto \frac{\Delta P \times A \times S}{d \times \sqrt{MW}},$$

ΔP – градиент парциальных P , A – площадь поперечного сечения диффузионного пути, S – растворимость газа, d – диффузионная дистанция, MW – молекулярная масса газа.



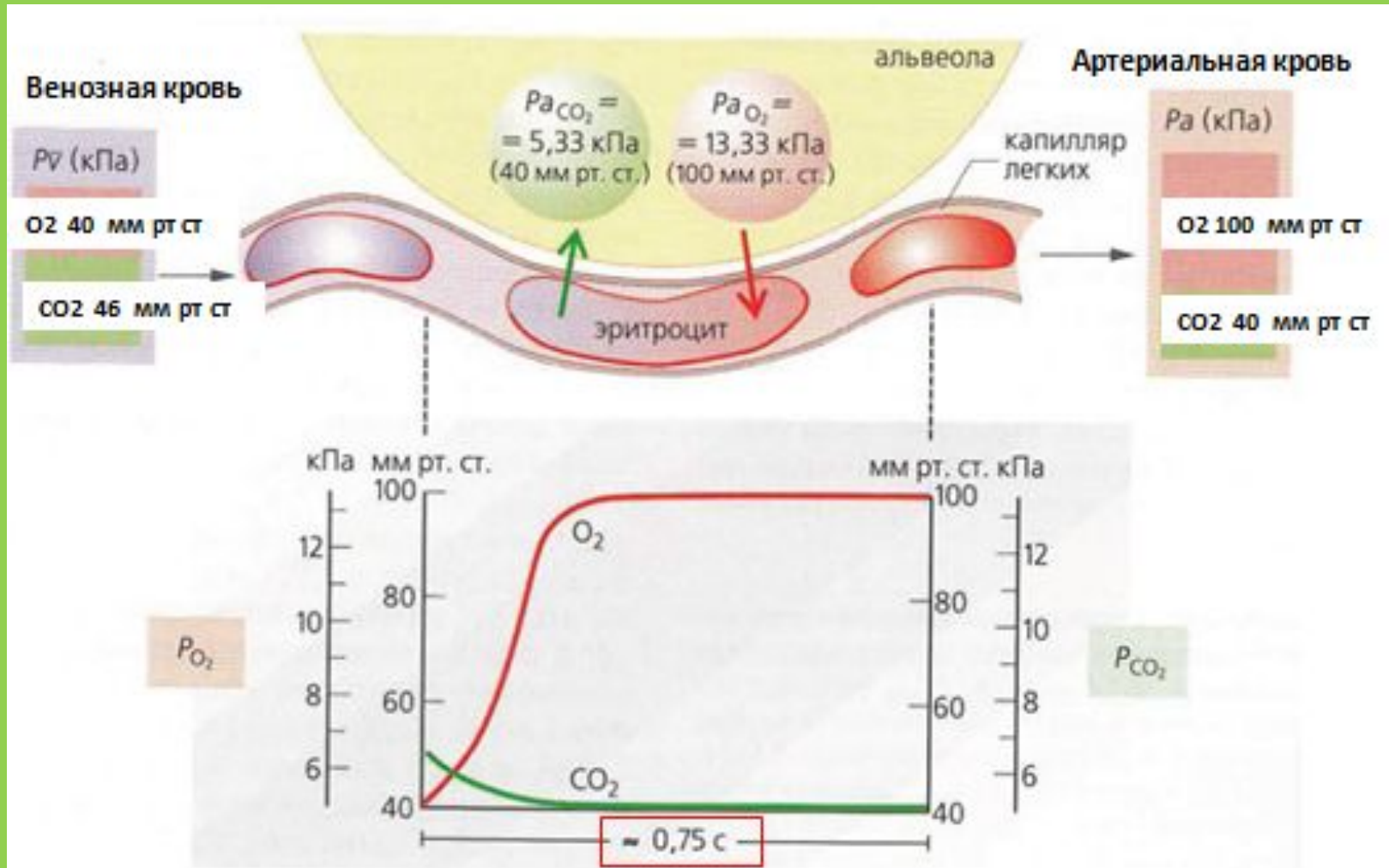
Обмен кислорода в лёгких

- $\Delta P = 100 - 60 = 40$ мм рт ст
- P_{O_2} в нормальной артериальной крови ниже 100 мм рт ст (97 мм рт ст).



Обмен углекислого газа в лёгких

- $\Delta P = 46 - 40 = 6$ мм рт ст
- Высокая растворимость углекислого газа позволяет достичь равновесия с альвеолярным воздухом даже при небольшой разнице давлений.



13. Транспорт дыхательных газов кровью

Транспорт кислорода

- **Содержание O_2 в системной артериальной крови ($P_{O_2} = 100$ мм рт ст)**
 - O_2 растворённый - 3 мл/л (1.5%)
 - O_2 связанный с гемоглобином (Hb) - 197 мл/л (98.5%)
200 мл/л (20 vol%)
- **Содержание O_2 в системной венозной крови ($P_{O_2} = 40$ мм рт ст)**
 - O_2 растворённый - 1.2 мл/л
 - O_2 связанный с гемоглобином (Hb) - 151 мл/л
152.2 мл/л

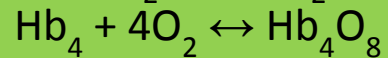
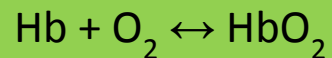


Кислородная ёмкость крови

- Максимальное количество O_2 в крови при полном насыщении Hb.
 - 1 г Hb при полном насыщении переносит 1,34 мл O_2
 - 14-15 г Hb переносят 18 – 20 мл O_2 (20 об. %)
- В основном определяется содержанием Hb в крови.
- Гипервентиляция или вдыхание чистого кислорода увеличивают количество растворённого кислорода, но практически не изменяют кислородную ёмкость крови.

Транспорт кислорода гемоглобином.

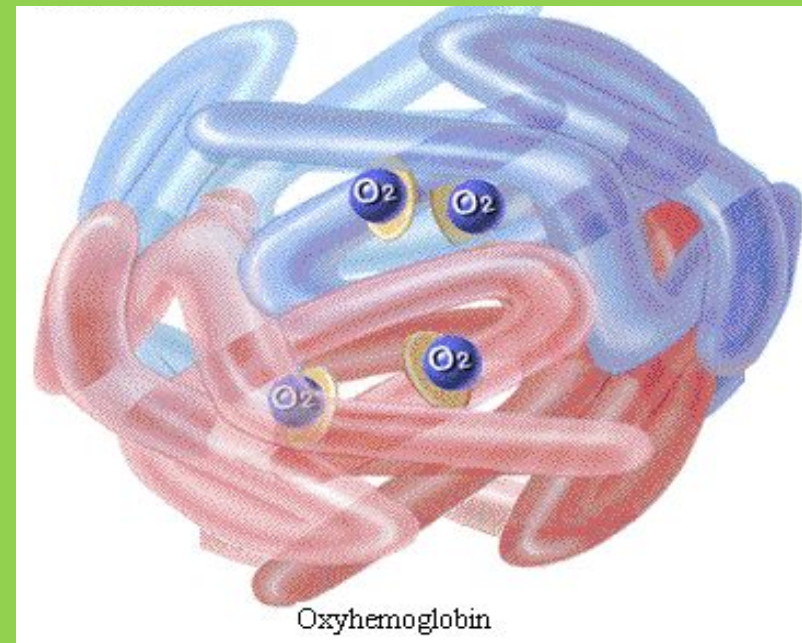
- Гемоглобин содержится в эритроцитах крови
- Состоит из протеиновой части – **глобина** (4 полипептидные цепочки) и небелковой части – **гема** (пигмент, содержащий двухвалентное железо; прикреплен к каждой протеиновой цепочке.)
- Каждая цепочка полипептид-гема способна присоединять 1 молекулу кислорода.
- 4 цепочки одной молекулы присоединяют 4 молекулы гемоглобина



Hb_4O_8 – оксигемоглобин

Hb_4 – дезокси- (редуцированный) гемоглобин

- Направление реакции определяется величиной P_{O_2} в крови: при высоком P_{O_2} реакция смещается в сторону оксигенации диссоциации Hb , а при низком – в сторону диссоциации HbO



Формы гемоглобина

- **Физиологические**
 - Оксигемоглобин (HbO_2)
 - Карбоксигемоглобин (HbCO_2)
 - Дезоксигемоглобин (HbH)
- **Патологические**
 - карбгемоглобин (HbCO)
 - мет гемоглобин - образуется под действием нитритов, нитратов и некоторых лекарственных препаратов происходит переход двухвалентного железа в трехвалентное с образованием мет гемоглобина- HbMet .

Насыщение Hb (крови) кислородом

- Является фракцией от общего количества молекул Hb, находящейся в форме оксиHb.

$$\% \text{ насыщения} = \frac{\text{O}_2 \text{ связанный с Hb}}{\text{Кислородная ёмкость крови}} \times 100\%$$

- Артериальной крови - 97% (менее 100% вследствие «венозной примеси»).
- Венозной крови - 75%
- Артерио-венозная разница в насыщении крови O₂ показывает потребление кислорода тканями. В покое – 22-25%, при физической нагрузке – до 80%.

Коэффициент утилизации кислорода в тканях

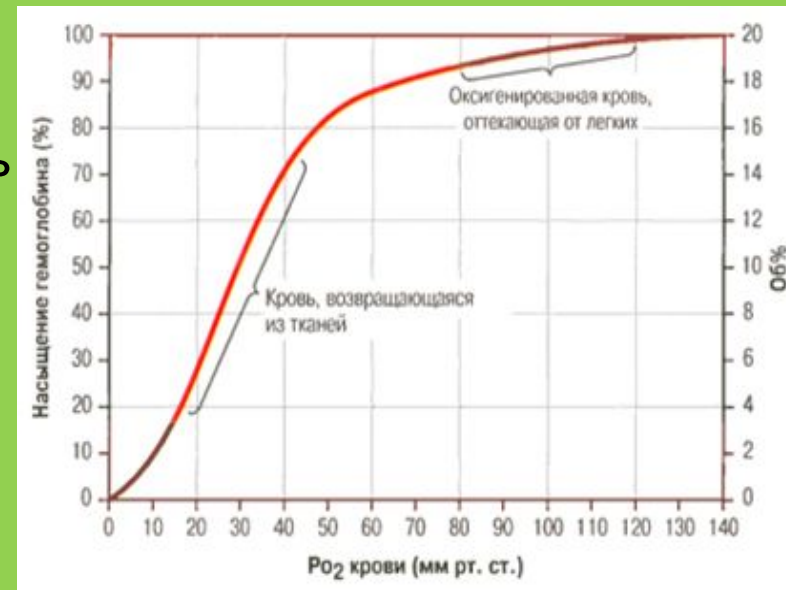
- Отражает объём кислорода поглощённого тканями.

$$\frac{\text{Артерио-венозная разница в содержании O}_2}{\text{Содержание O}_2 \text{ в артериальной крови}} = \frac{50 \text{ мл/л}}{200 \text{ мл/л}} \times 100\% = 25\%$$

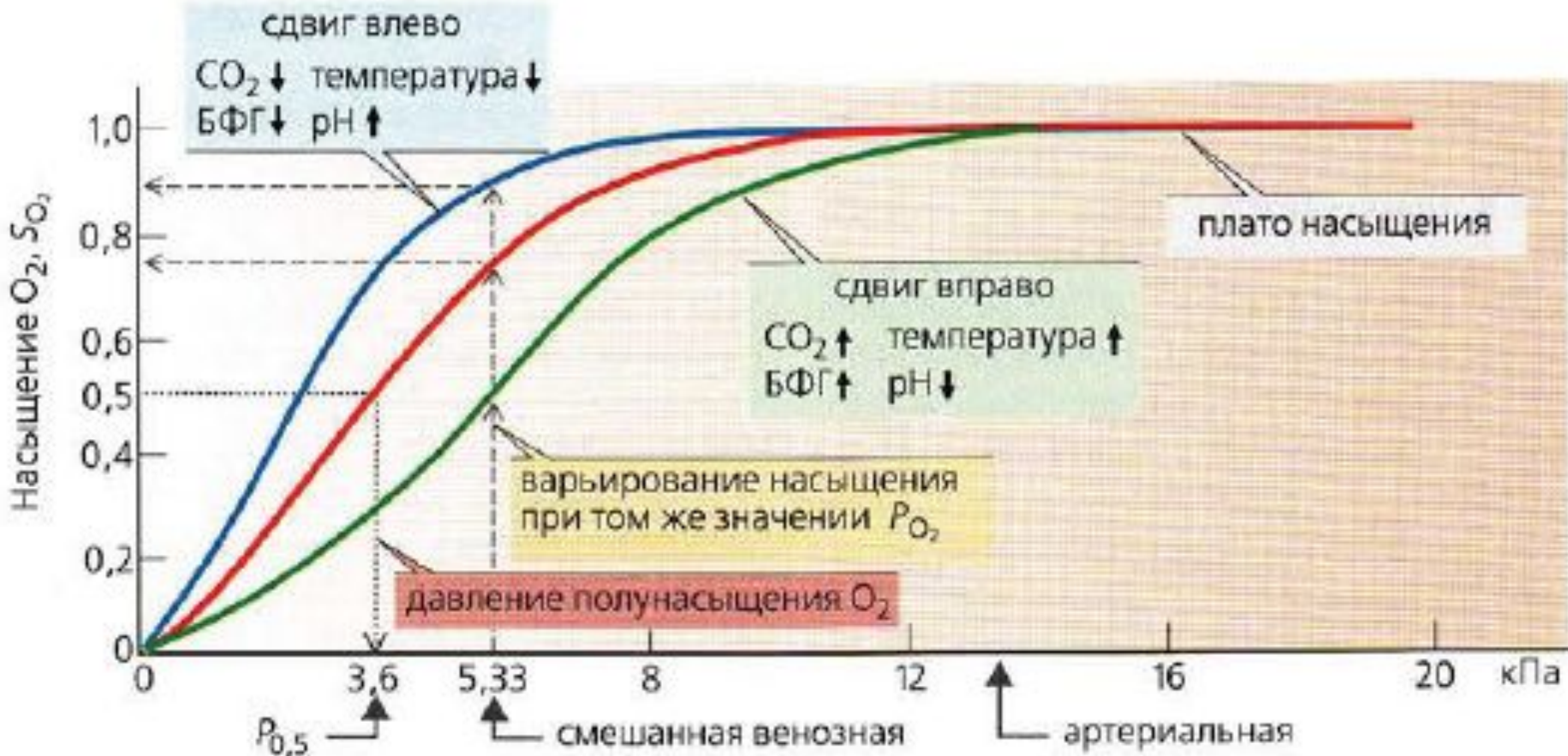
Содержание O₂ в артериальной крови 200 мл/л

Кривая диссоциации/оксигенации гемоглобина

- Показывает насыщения гемоглобина кислородом от напряжения кислорода в крови.
- Имеет сигмовидную форму
 - **Нижняя часть кривой** – крутая часть (P_{aO_2} ниже 60-70 мм рт ст) – небольшое снижение артериального P_{aO_2} приводит к существенной диссоциации оксигемоглобина и снижению его содержания, что позволяет тканям получать достаточное количество кислорода.
 - **Верхняя часть кривой** (относительно пологая) – обеспечивает относительно постоянное насыщение крови кислородом и содержание кислорода в крови в диапазоне P_{O_2} от 70 до 100 мм рт ст. (Важно для адекватного насыщения крови кислородом в лёгких при снижении P_{O_2} в атмосферном и/или альвеолярном воздухе).



- **Сродство гемоглобина к O₂** и положение кривой диссоциации оксигемоглобина изменяется рядом факторов
 - Уменьшение сродства Hb к кислороду (смещение кривой вправо) – увеличение диссоциации оксигемоглобина, что облегчает поступление кислорода в ткани.
 - Увеличение сродства Hb к кислороду (смещение кривой влево) снижение диссоциации оксигемоглобина, увеличение содержания кислорода в крови.



Миоглобин

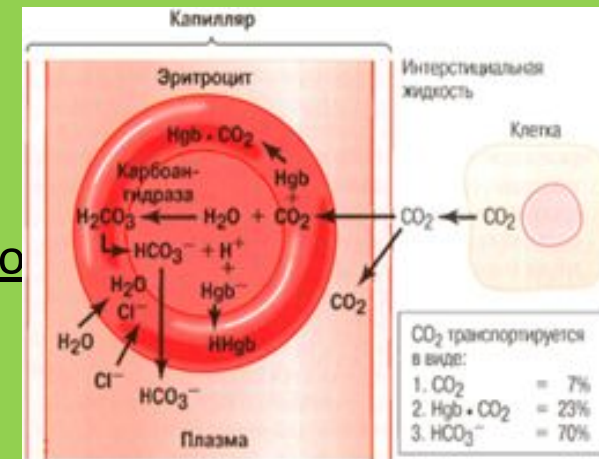
- Содержится в скелетной и сердечной мышцах.
- Имеет 1 гем – присоединяет 1 молекулу кислорода.
- Больше сродство к кислороду, чем у гемоглобина.
- Функция – внутриклеточные запасы кислорода

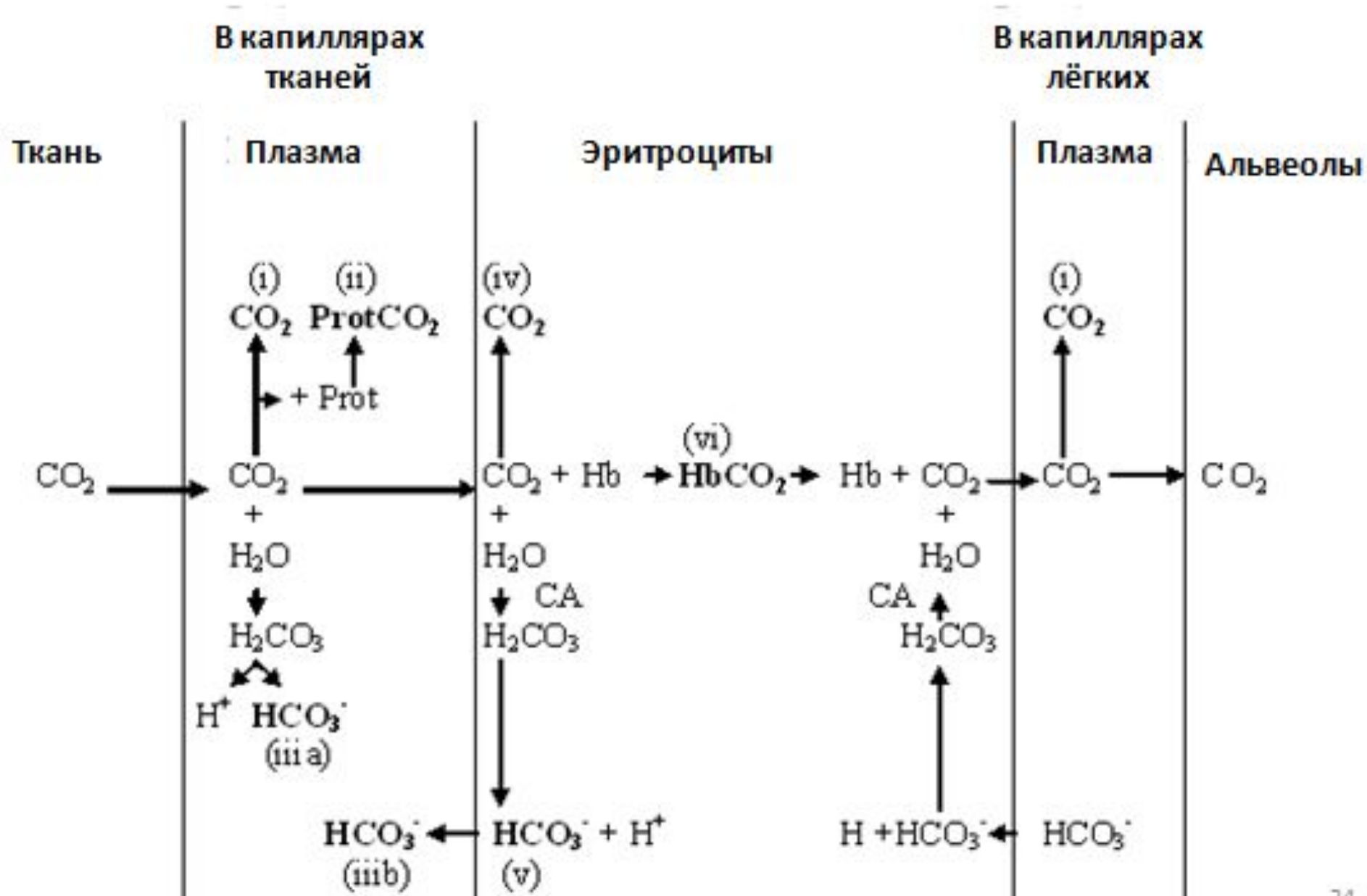
Транспорт углекислого газа

- **Содержание CO₂ в крови**
- Артериальная кровь ($P_{CO_2} = 40$ мм рт ст) - 480 мл/л (48 об %)
- Капилляры - около 40 мл/л CO₂ поступает в кровь из тканей
- Венозная кровь ($P_{CO_2} = 46$ мм рт ст) - 520 мл/л CO₂ (480 мл/л + 40 мл/л).

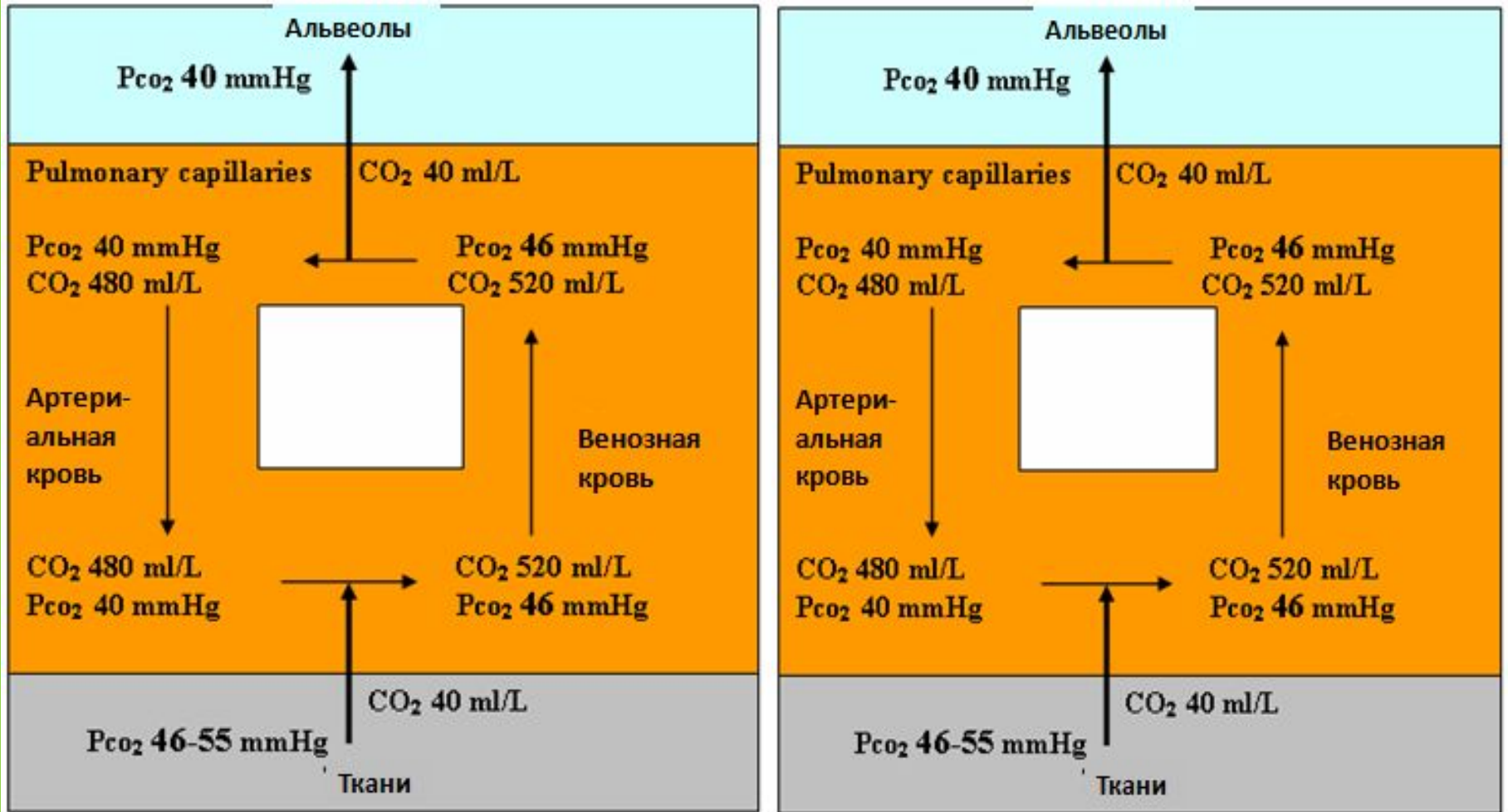
Формы транспорта углекислого газа в крови

- **В плазме (70%):**
 - (i) Растворённый (< 5%) – пропорционально P_{CO_2}
 - (ii) связанный с белками плазмы (< 1%)
 - (iii) Бикарбонат:
 - (a) Медленно образованный в плазме (5%)
 - (b) Быстро образованный в эритроцитах и диффундированный в плазму (60%)
- **В эритроцитах (30%):**
 - (iv) Растворённый (5%)
 - (v) Быстро образованный бикарбонат (20%) - с участием фермента **карбоангидразы**
 - (vi) Карбокси-гемоглобин (5%)





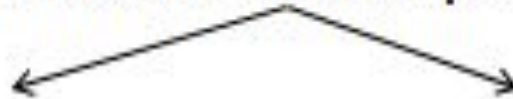
14. Газообмен в тканях: обмен газов между кровью тканевых капилляров и тканями организма



15. Регуляция дыхания

- **Паттерн дыхания** – продолжительность фаз дыхательного цикла, глубина дыхания, динамика движения воздуха и давления.
- **Функции регуляции дыхания**
 - Контроль PO_2 , CO_2 , $[H^+]$
 - Модуляция дыхания во время речи, глотания, кашля и др.

Компоненты системы контроля дыхания



Хеморегуляция

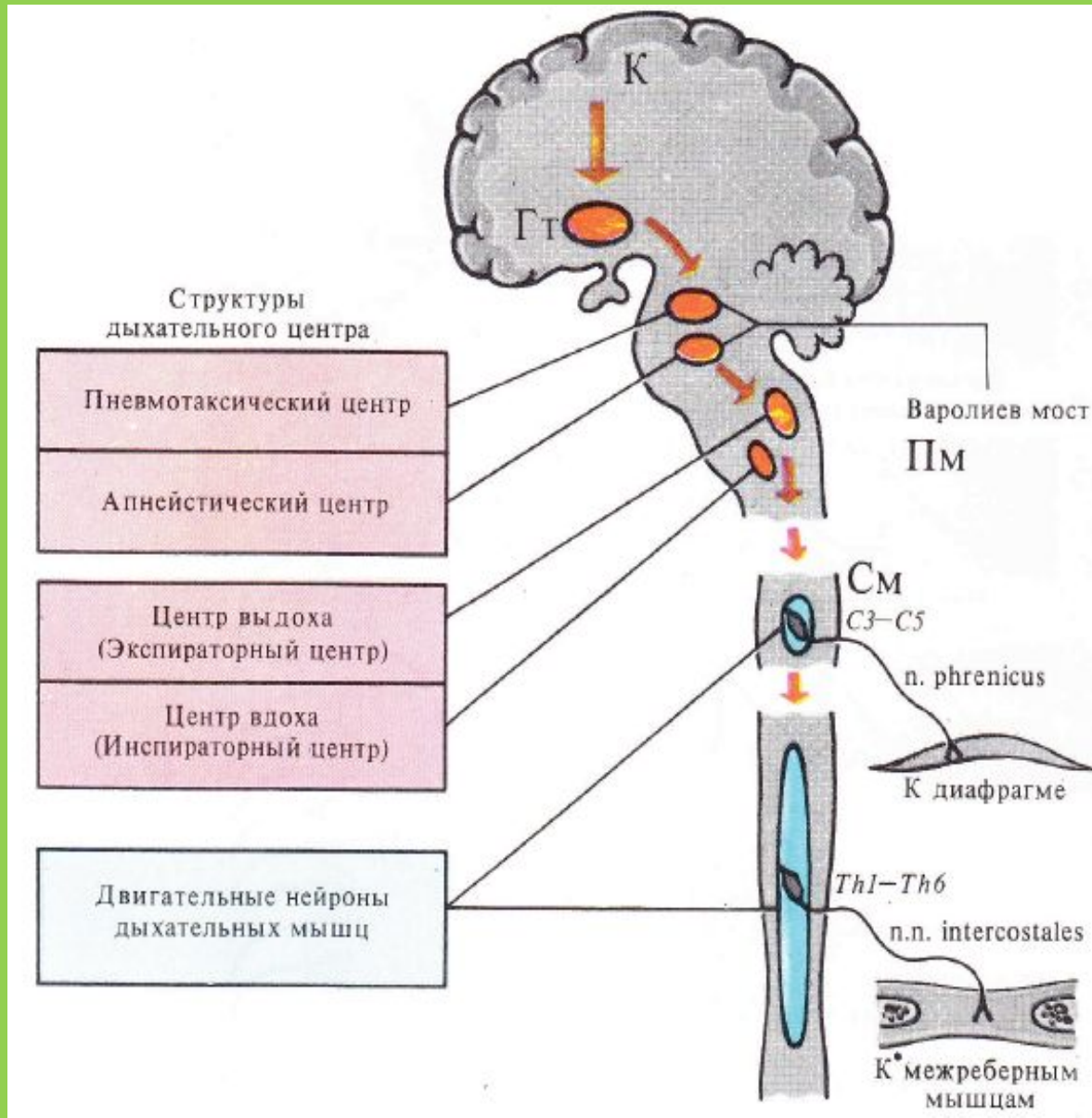
- Контролирует дыхание для обеспечения гомеостаза O_2 , CO_2 и pH
- Медленные механизмы

Нейрорегуляция

- Контролирует паттерн дыхания
- Быстрые механизмы (возможность контроля отдельного дыхательного цикла).

Дыхательный центр

- Совокупность нейронов, диффузно расположенных на различных этажах ЦНС, но интегрированных функционально для контроля дыхания.



Респиаторные нейроны

- **Нижние мотонейроны** (непосредственно иннервируют дыхательные мышцы)
 - Расположены в спинном мозге:
 - Шейные сегменты → диафрагмальный нерв → диафрагма
 - Грудные сегменты → межрёберные нервы → межрёберные мышцы
- **Верхние МН**
 - Расположение: ствол мозга, лимбическая система, гипоталамус, мозжечок, КБП.
 - Непосредственно не иннервируют респиаторные мышцы, но модулируют их активность; обеспечивают генерацию респиаторного ритма (центральный генератор ритма) и модуляцию паттерна дыхания.

Компоненты дыхательного центра

Продолговатый мозг – инспираторный и экспираторный центры

- **Инспираторный центр** (дорсолатеральная группа): генерация базового дыхательного ритма (функция пейсмекера); генерация инспираторного сигнала, передаваемого к МН инспираторных мышц; реципрокное торможение экспираторных нейронов.
- **Экспираторный центр** (вентральная респираторная группа) – в основном состоит из экспираторных нейронов, вносящих вклад в окончание вдоха; облегчающее влияние на МН экспираторных мышц; инспираторные нейроны модулируют активность дополнительных инспираторных мышц.



- **Апнейстический центр – нижний мост**

- Контролирует глубину дыхания (вместе с пневтаксическим центром)
- Возбуждение вызывает глубокий и длительный вдох с резким выдохом.

- **Пневмотаксический центр – верхняя часть моста**

- Тормозной эффект на инспирацию, на апнейстический центр.
- Ограничение объёма дыхания и увеличение частоты.

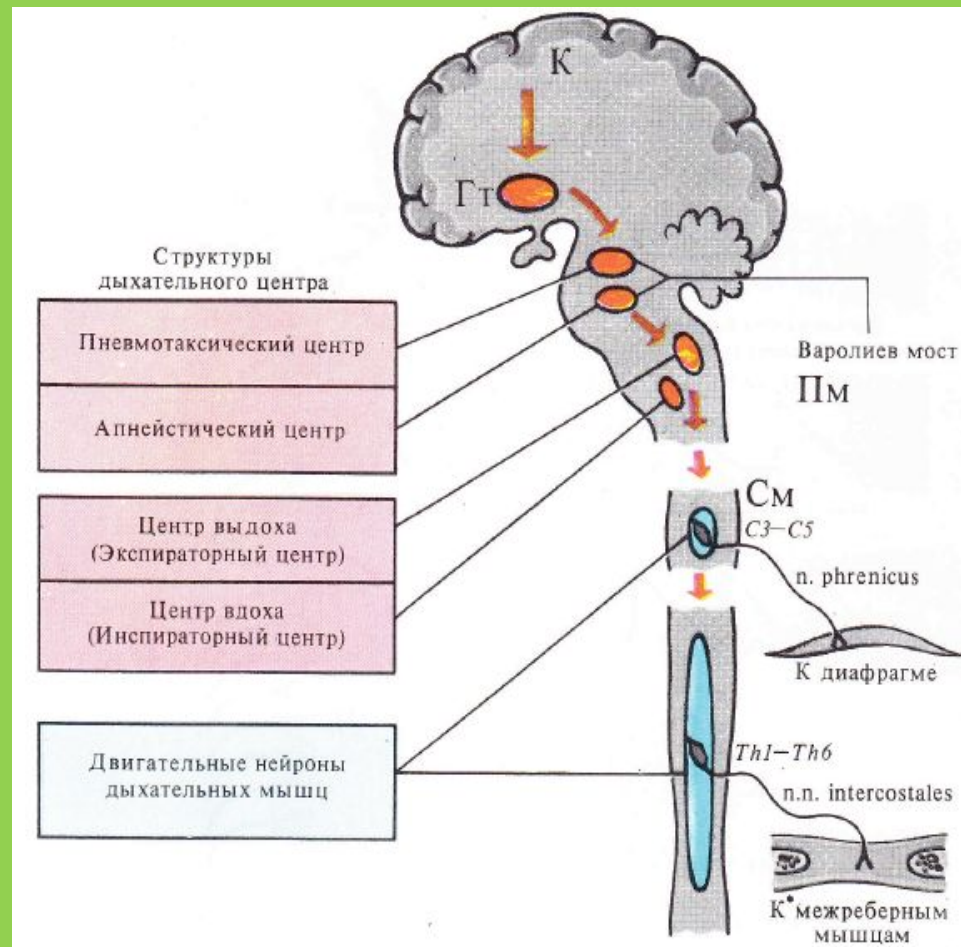
- **Ретикулярная активирующая система**

- Стимулирует дыхание; ↓ активность (сон) → ↓ вентиляция.

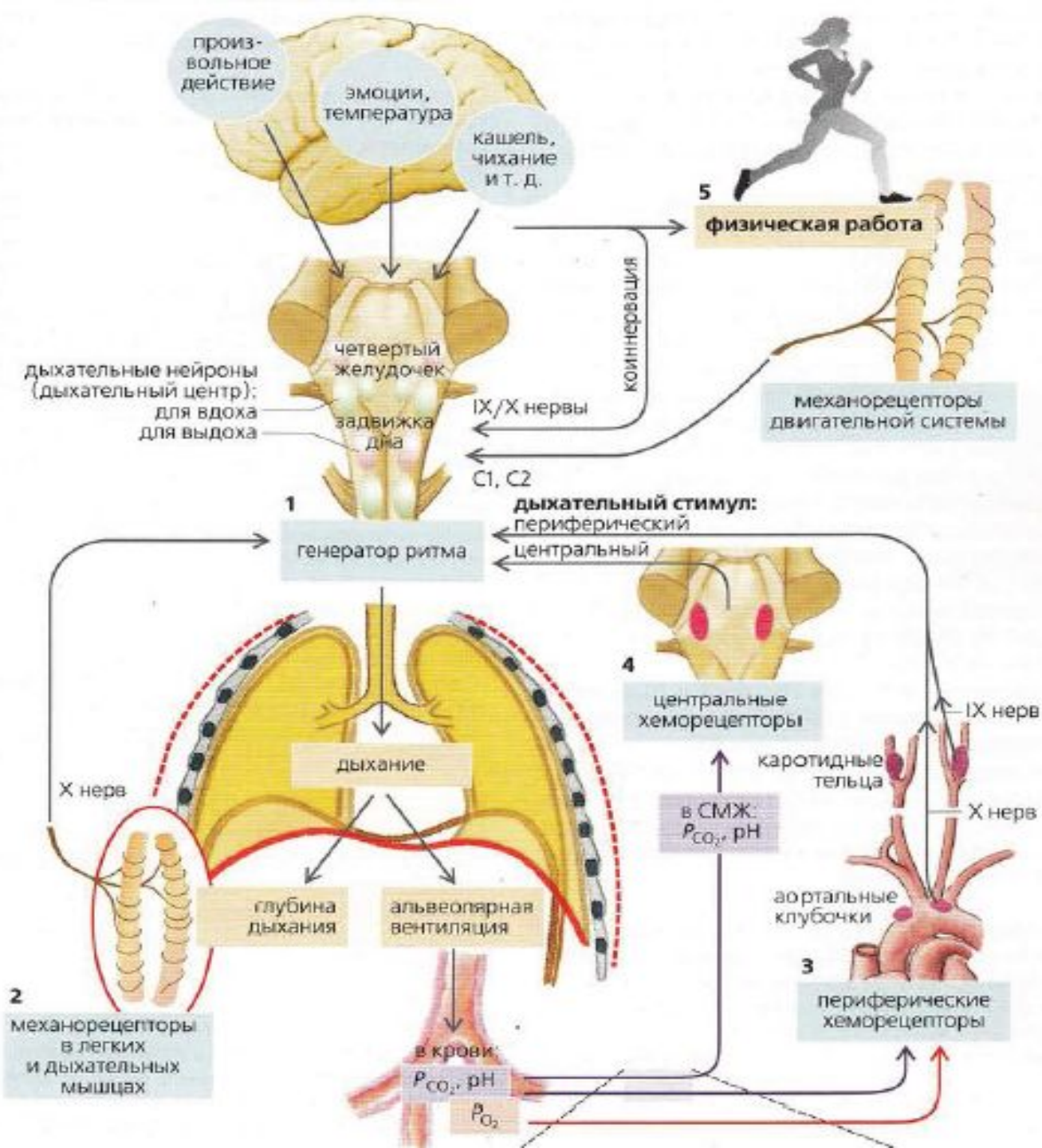
- **Высшие центры**

- Гипоталамус (+ лимбическая система) – возбуждающие сигналы к инспираторному центру; стимуляция дыхания во время мотиваций, эмоций, лихорадки и др.

- Мозжечок – стимуляция



Рефлекторная регуляция дыхания



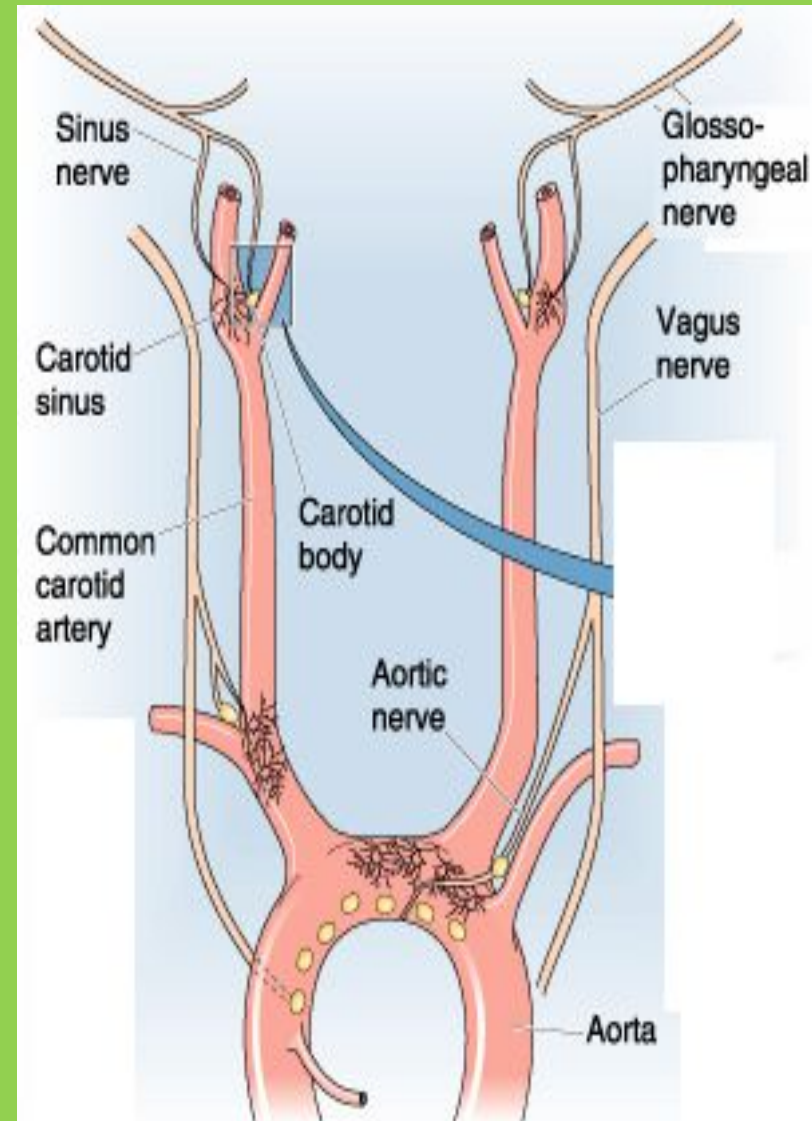
- **Рефлекс Геринга-Брейера**
 - Перерастяжение дыхательных путей и висцеральной плевры во время вдоха (увеличение ДО до 1,5 л) → активация рецепторов растяжения гладкой мускулатуры трахеи и бронхов → блуждающий нерв → прекращение вдоха, укорочение дыхательного цикла, ↑частоты дыхания.
- Растяжение лёгочных сосудов → активация джей (J) - рецепторов (юкстакапиллярных) → частое поверхностное дыхание, отдышка.
- Контроль по принципу обратной связи с проприорецепторов инспираторных мышц и грудной клетки (информация о длине инспираторных мышц и положении грудной клетки)
- **Защитные рефлексy**
 - Активация ирритантных рецепторов (хемо- и механочувствительных) → кашель, чихание, чувство першения, отдышка.
- Проприорецепторы скелетных мышц и суставов
 - Активация вызывает раннюю стимуляцию дыхания при физической активности.

Гуморальная регуляция дыхания

- Импульсы от хеморецепторов модулируют дыхательный паттерн для поддержания оптимального уровня $[H^+]$, P_{CO_2} и P_{O_2} .
- Рефлексы с центральных и периферических хеморецепторов.
 - **Центральные хеморецепторы**
 - чувствительны к $\uparrow[H^+]$ и P_{CO_2}
 - Расположены в продолговатом мозге, синаптически связаны с респираторным центром.
 - Опосредованно мониторируют P_{CO_2} крови через ассоциированные изменения $[H^+]$ и P_{CO_2} в ликворе.
 - Возбуждение стимулирует дыхание.



- **Периферические хеморецепторы** – чувствительны к $\downarrow P_{O_2}$ (в диапазоне 30-60 мм рт ст); менее чувствительны к $\uparrow [H^+]$, чем центральные хеморецепторы.
 - Расположены в каротидных и аортальных тельцах.
 - Возбуждение стимулирует дыхание.

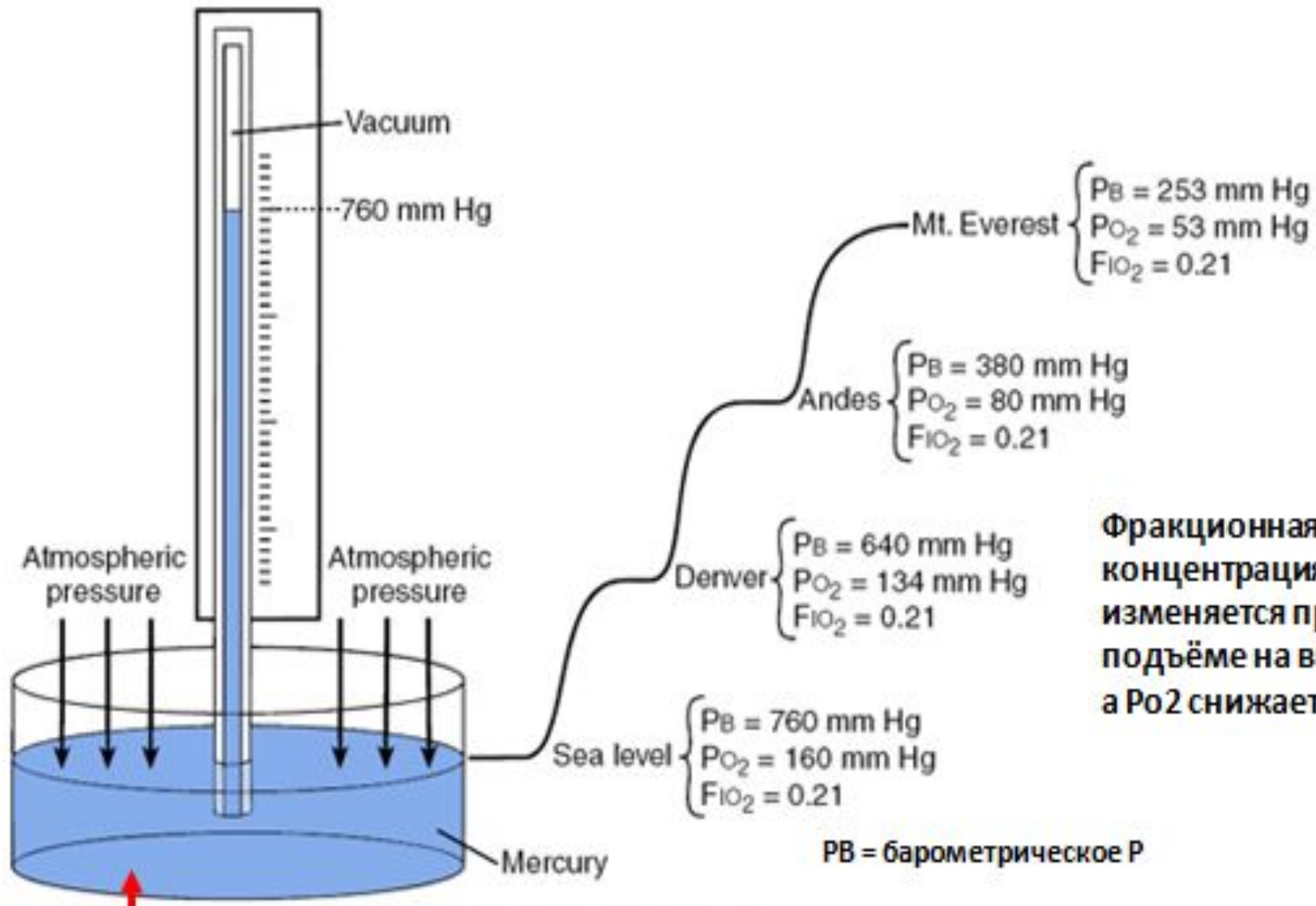


16. Дыхание в особых условиях

Недостаток кислорода в организме

- **Гипоксия** - ↓ PO_2 в периферических тканях (клеточная или тканевая гипоксия)
- **Гипоксемия** – низкий уровень O_2 в крови
- **Аноксия** – экстремально выраженная гипоксия
 - Эффекты
 - Зависят от вида ткани
 - Нервная ткань мозга наиболее чувствительна
 - Потеря сознания через 15 с
 - Необратимое повреждение через 2 мин
 - Гибель нейронов - через 4-5 мин

Эффекты повышенного и пониженного барометрического P



Фракционная концентрация O₂ не изменяется при подъёме на высоту, а P_{O₂} снижается

Изменение P под водой – 1 дополнительная атмосфера на каждые 10 м глубины

Эффекты низкого атмосферного P_{O_2} (подъём на высоту): острый период



Острая горная болезнь:

Отёк мозга (вследствие гипоксической вазодилатации в мозге)

Отёк лёгких.

Акклиматизация к низкому атмосферному P_{O_2} : Хронические эффекты

- ↑ диффузии газов в лёгких
 - Открытие лёгочных капилляров
 - ↑ объёма крови в лёгочных капиллярах
 - ↑ поверхности альвеол
- ↑ капилляров в тканях, ↑ концентрации цитохромных ферментов в тканях → ↑ O_2 перенос и утилизация кислорода в тканях
- ↑ содержания миоглобина в мышцах
- Сдвиг кривой диссоциации HbO_2 вправо (↑ диссоциации HbO_2)
- ↑ секреция эритропоэтина → ↑ образования эритроцитов → ↑ концентрации Hb
- Суммарные эффекты: ↑ **содержание O_2 в артериальной крови; $P_{A_{O_2}}$ и $P_{a_{O_2}}$ могут оставаться низкими; pH системной крови уменьшается за счёт почечных механизмов.**

Последствия увеличения барометрического Р

- **Нитрогенный наркоз**
- На уровне моря азот физиологически инертен.
- При повышении барометрического Р азот медленно растворяется в плазме крови, оказывает эффект на нейрональные мембраны – изменяет трансмембранную ионную проводимость и снижает возбудимость нейронов → эффекты схожие с алкогольной интоксикацией.

- **Кесонная болезнь**
- **↓ растворимость N₂ при подъёме из глубины**
- Слишком быстрый подъём → образование пузырьков азота в крови и тканях.
- Блокировка мелких сосудов → гипоксия и некроз тканей
- Тканевые пузырьки оказывают неблагоприятные эффекты на структуры и функции организма
 - Боль в суставах и мышцах
 - Дисфункции мозга

Эффекты высокого барометрического P: отравление кислородом

- $\uparrow P_{O_2}$ выше 2 атм. \rightarrow \uparrow образование свободных радикалов кислорода \rightarrow Окисление липидов мембраны и клеточных ферментов \rightarrow Дисфункции органов.

16. Методы исследования системы дыхания

- Функциональные пробы системы внешнего дыхания
- **Проба Розенталя**
- Направлена на оценку функциональных возможностей дыхательной мускулатуры, что, в свою очередь, может свидетельствовать о функциональных возможностях других скелетных мышц.
- Проба проводится на спирометре, где у обследуемого 5 раз подряд с интервалом в 15 с определяют ЖЕЛ. Такое многократное определение ЖЕЛ является определённой физической нагрузкой.
- Оценка результатов: увеличение ЖЕЛ от 1-го к 5-му измерению - отличное состояние дыхательного аппарата.
- **Проба Шафранского**
- Оценивает функциональное состояние системы внешнего дыхания и кровообращения и их адаптацию к нагрузке.
- После измерения ЖЕЛ в покое после отдыха, обследуемый выполняет дозированную физическую нагрузку: 3-х минутный (для мужчин) или 2-х минутный (для женщин) бег на месте. Повторно измеряют ЖЕЛ сразу же после нагрузки и каждую минуту во время восстановительного периода.

- **Проба Серкина**
- Состоит из трех фаз:
 - первая фаза - определение времени задержки дыхания на вдохе в положении сидя.
 - вторая фаза - определение времени задержки дыхания на вдохе непосредственно после 20 глубоких приседаний в течение 30 с.
 - третья фаза - определение времени задержки дыхания на вдохе через 1 мин отдыха.
- **Гипоксические пробы (Пробы Штанге и Генчи)**
- Дают возможность оценить адаптацию человека к гипоксии и гипоксемии.
- Время произвольной задержки дыхания зависит от функционального состояния дыхательной системы, ССС и ЦНС, от уровня обменных процессов, от функционального состояния и мощности дыхательных мышц.
- Лица, имеющие высокие показатели гипоксемических проб, лучше переносят физические нагрузки.
- **Проба Штанге (проба с произвольной задержкой дыхания на вдохе)**
- Измеряется максимальное время задержки дыхания после глубокого (но не максимального) вдоха.
- Норма у здоровых мужчин - 50-60 с, у женщин – 40-50 с.

Проба Штанге с гипервентиляцией

- После гипервентиляции (для женщин - 30 с, для мужчин - 45 с) производится задержка дыхания на глубоком вдохе.
- Время произвольной задержки дыхания после гипервентиляции в норме возрастает в 1,5-2,0 раза по сравнению с обычной пробой Штанге.

Проба Штанге с физической нагрузкой

- После выполнения пробы Штанге в покое выполняется нагрузка - 20 глубоких приседаний за 30 с. После окончания физической нагрузки сразу проводится повторная проба Штанге. Время задержки дыхания при повторной пробе сокращается в 1,5-2,0 раза.

Проба Генчи (проба с произвольной задержкой дыхания на выдохе)

- Производится по аналогии с пробой Штанге, но дыхание задерживается после максимально выдоха, который производится после спокойного вдоха.
- Норма у взрослых 30-40 с (на 40-50% меньше показателей пробы Штанге)с.

Проба Генчи после гипервентиляции

- Продолжительность задержки дыхания на выдохе определяется после 45 с глубокого дыхания.
- В норме происходит возрастание продолжительности задержки дыхания на выдохе в 1,5-2 раза.