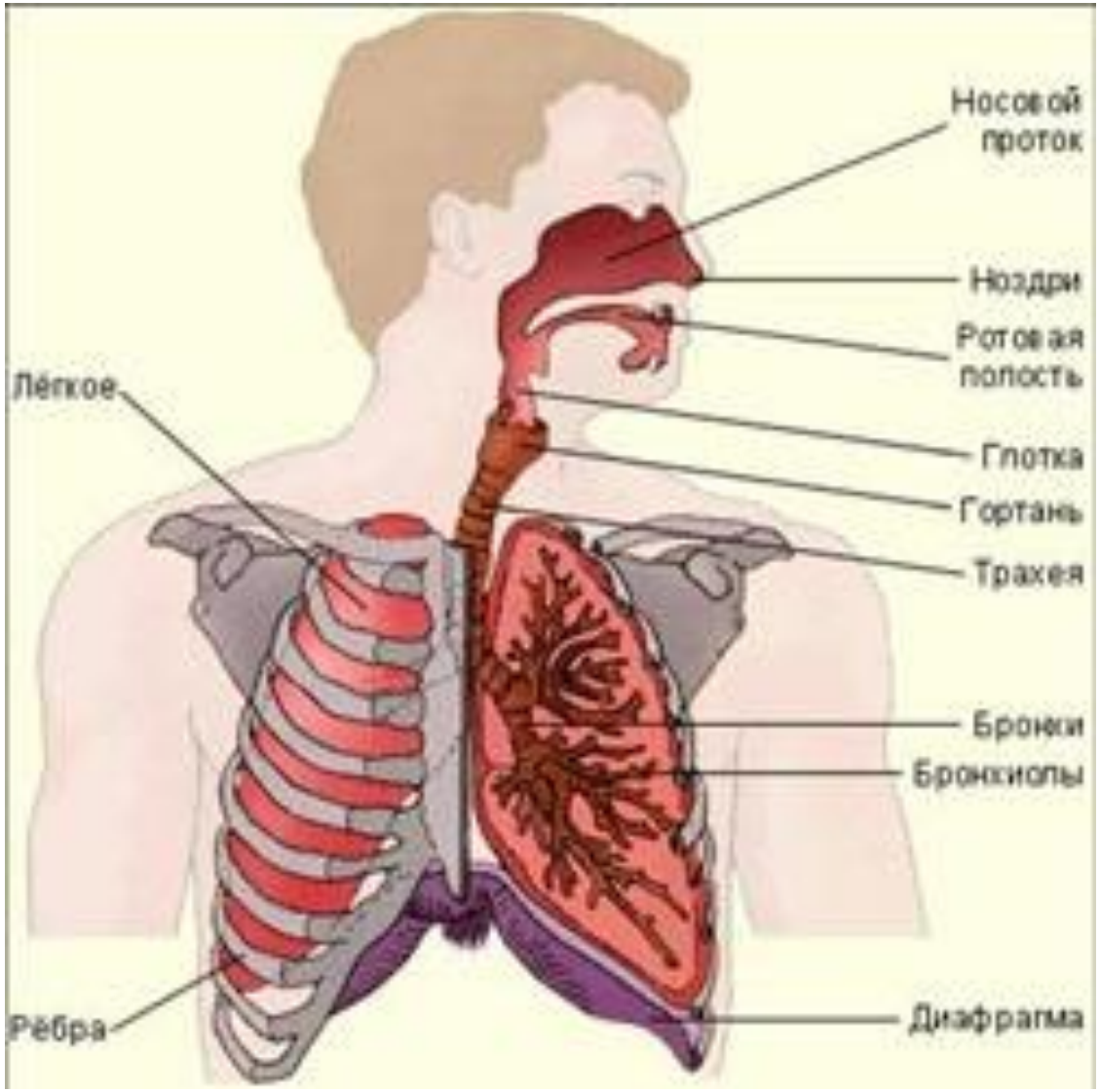
# Физиология дыхательной системы

**Дыхание – это совокупность процессов , обеспечивающих поступление в организм кислорода, использование его в биологическом окислении органических веществ и удаление из организма углекислого газа.**

# Функциональная дыхательная система слагается из следующих элементов:

- Внешнее или легочное дыхание, осуществляющее газообмен между внешней средой организма и альвеолами легких
- Диффузия газов в легких (обмен газов между альвеолярным воздухом и кровью)
- Транспорт газов кровью
- Диффузия газов в ткани (обмен газов между кровью и тканью)
- Внутреннее или тканевое дыхание (потребление кислорода и выделение углекислого газа клетками организма)

# Органы дыхания



**Дыхательная система человека** состоит из тканей и органов, обеспечивающих легочную вентиляцию и легочное дыхание. К воздухоносным путям относятся: нос, полость носа, носоглотка, гортань, трахея, бронхи и бронхиолы. Легкие состоят из бронхиол и альвеолярных мешочков, а также из артерий, капилляров и вен легочного круга кровообращения. К элементам костно-мышечной системы, связанным с дыханием, относятся ребра, межреберные мышцы, диафрагма и вспомогательные дыхательные мышцы.

# 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

# Воздухоносные пути

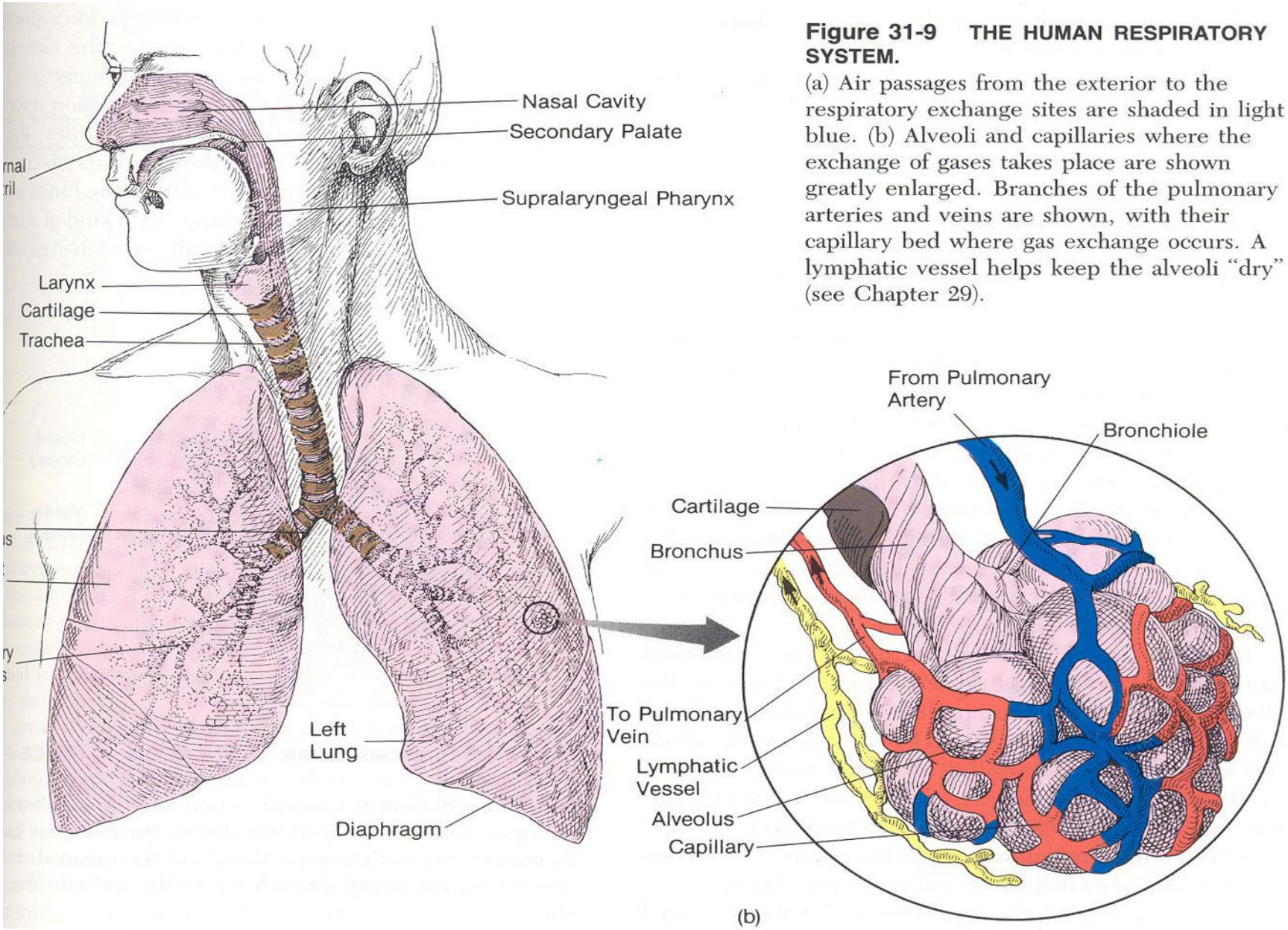
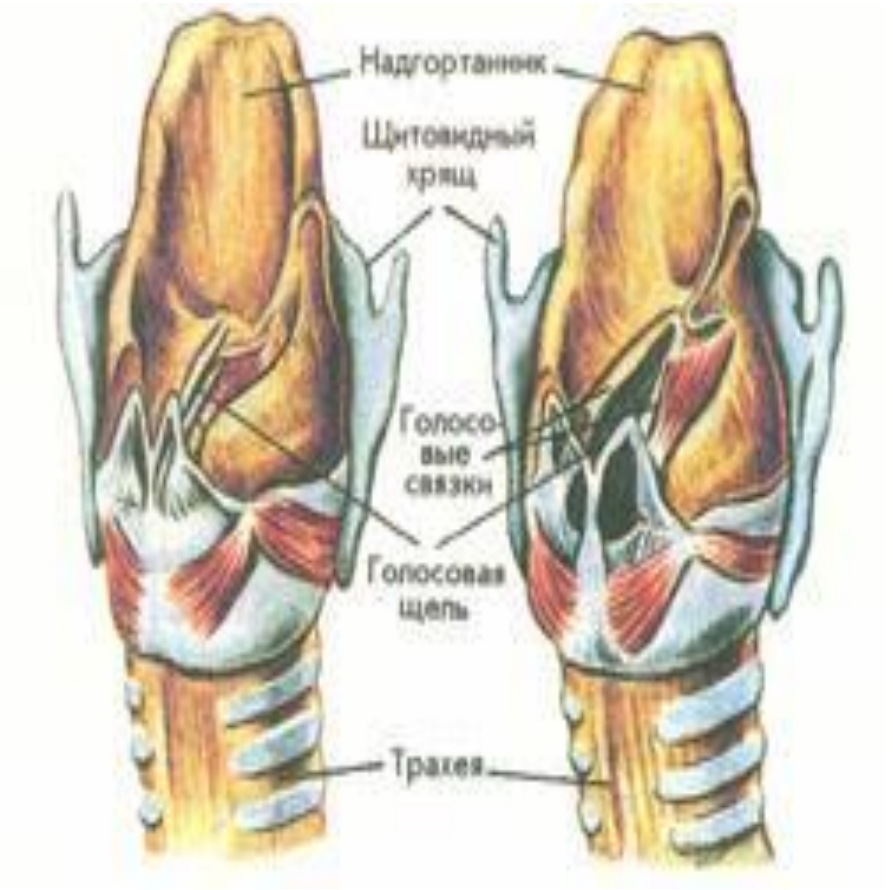


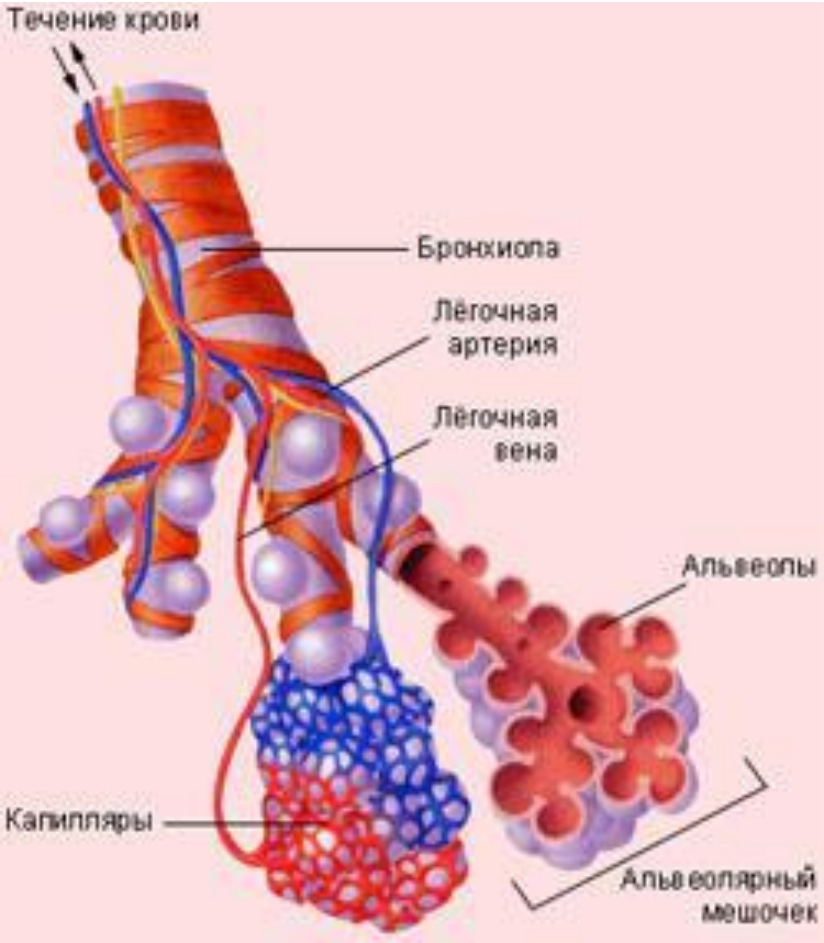

**Figure 31-9 THE HUMAN RESPIRATORY SYSTEM.**
(a) Air passages from the exterior to the respiratory exchange sites are shaded in light blue. (b) Alveoli and capillaries where the exchange of gases takes place are shown greatly enlarged. Branches of the pulmonary arteries and veins are shown, with their capillary bed where gas exchange occurs. A lymphatic vessel helps keep the alveoli "dry" (see Chapter 29).

**Носовая полость**, образованная костями лицевой части черепа и хрящами, выстлана слизистой оболочкой, которую образуют многочисленные волоски и клетки, покрывающие полость носа. Волоски задерживают частички пыли из воздуха, а слизь предотвращает проникновение микробов. Благодаря кровеносным сосудам, пронизывающим слизистую оболочку, воздух, проходя через носовую полость, очищается, увлажняется и согревается.




Через носоглотку воздух поступает в **гортань**, образованную хрящами, которые соединены между собой связками и мышцами. Здесь расположены голосовые связки, вибрация которых при прохождении воздуха вызывает образование звуков.

Далее воздух поступает в **трахею**, имеющую форму трубки длиной 10–14 см. Хрящевые кольца, составляющие её стенки, не позволяют задерживаться воздуху при любых движениях шеи.




Внизу трахея разделяется на два **бронха**, которые входят в правое и левое лёгкие. Здесь они ветвятся на **бронхиолы** и заканчиваются лёгочными пузырьками (альвеолами). Бронхиолы и альвеолы образуют два лёгких. В лёгких насчитывается более 300 миллионов **альвеол**.

# Разветвление дыхательных путей

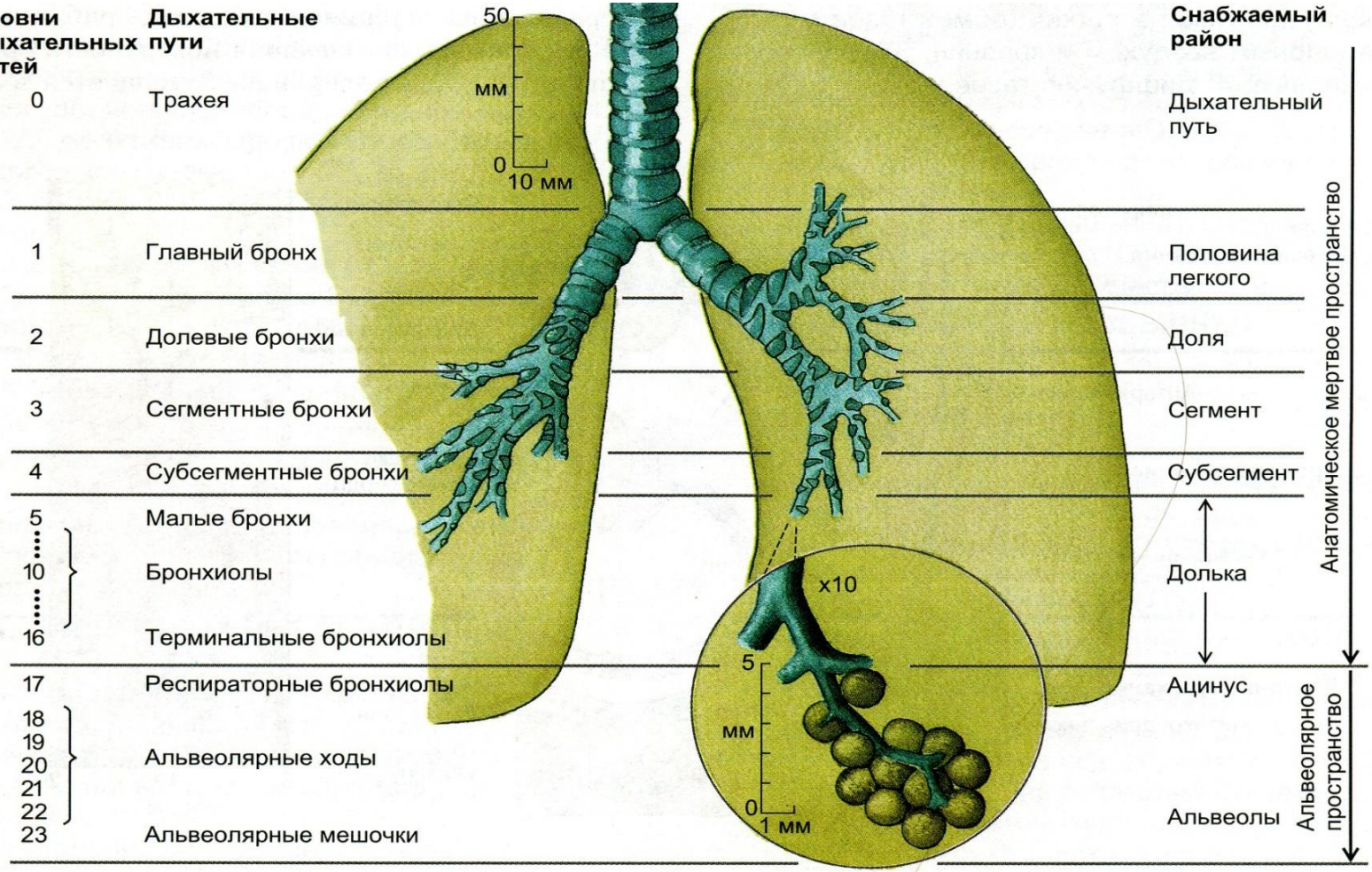
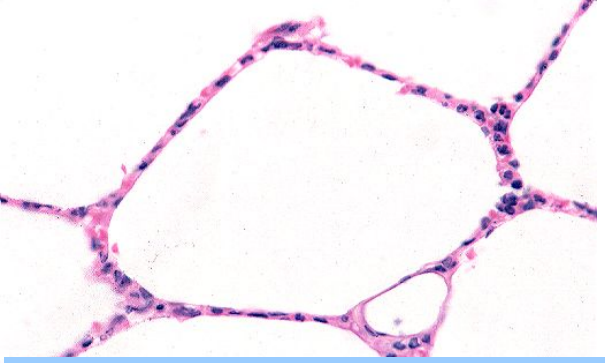
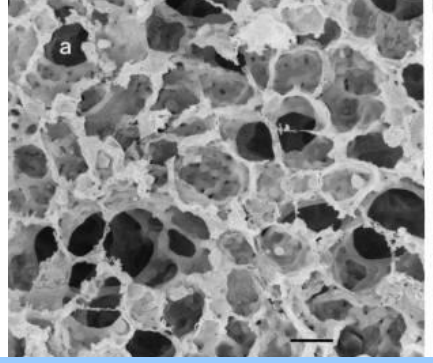
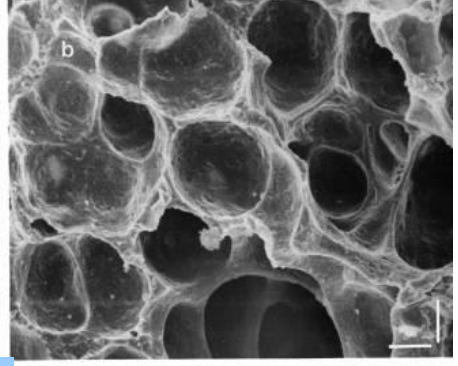
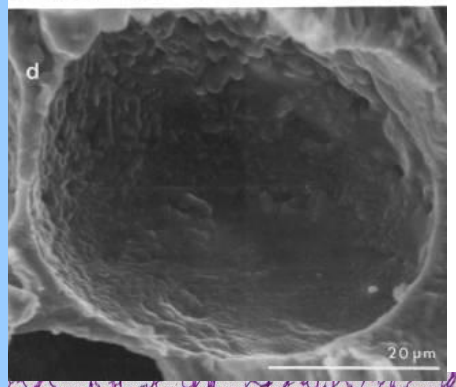



Рис. 63.3. Разветвление дыхательных путей. Ацинус — область дыхательных путей, состоящая из терминальных бронхиол, которые несут альвеолы. Проксимально лежащие дыхательные пути выполняют воздухопроводящую функцию (анатомическое мертвое пространство). Следует обратить внимание на десятикратно увеличенный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






Общая поверхность альвеол – 50-100 м$^2$ (80 м$^2$)
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)

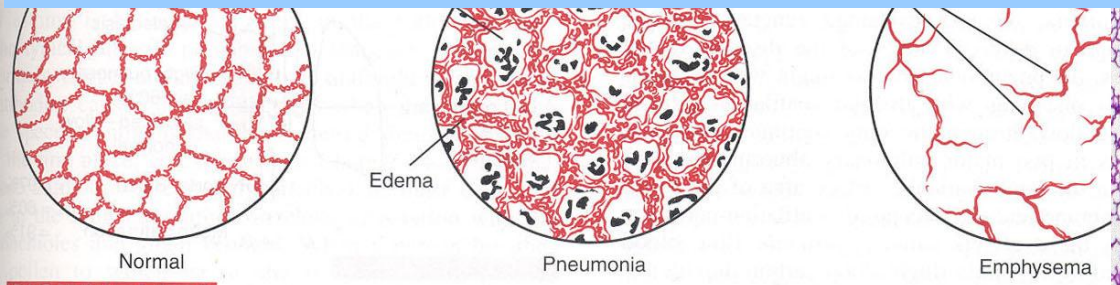
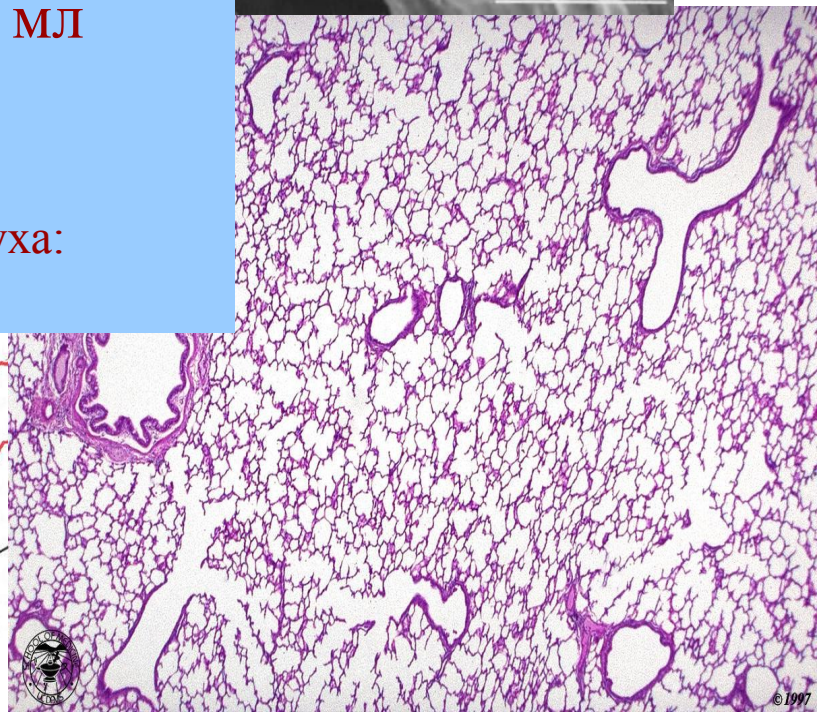



FIGURE 42–5
Pulmonary changes in pneumonia and emphysema.



# Транспортная система дыхания

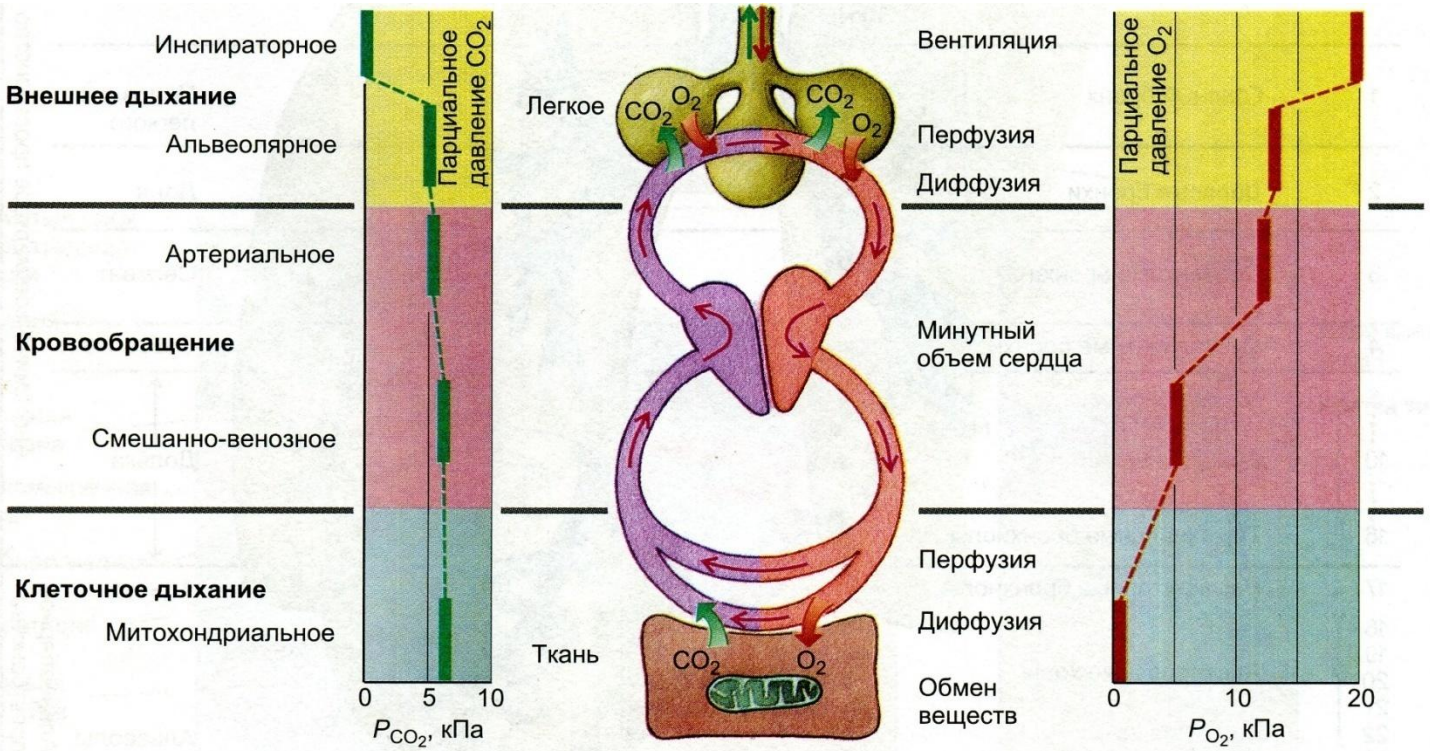



Рис. 63.1. Транспортная система дыхания, включающая системы внешнего дыхания, кровообращения и клеточного дыхания. Важнейшими составляющими транспортной системы для внешнего дыхания являются вентиляция, диффузия и перфузия; для кровообращения — сердечно-временной (минутный) объем (и транспортные свойства 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

| парциальное давление, мм Hg / область | $O_2$ | $CO_2$ |
|---|---|---|
| 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 |

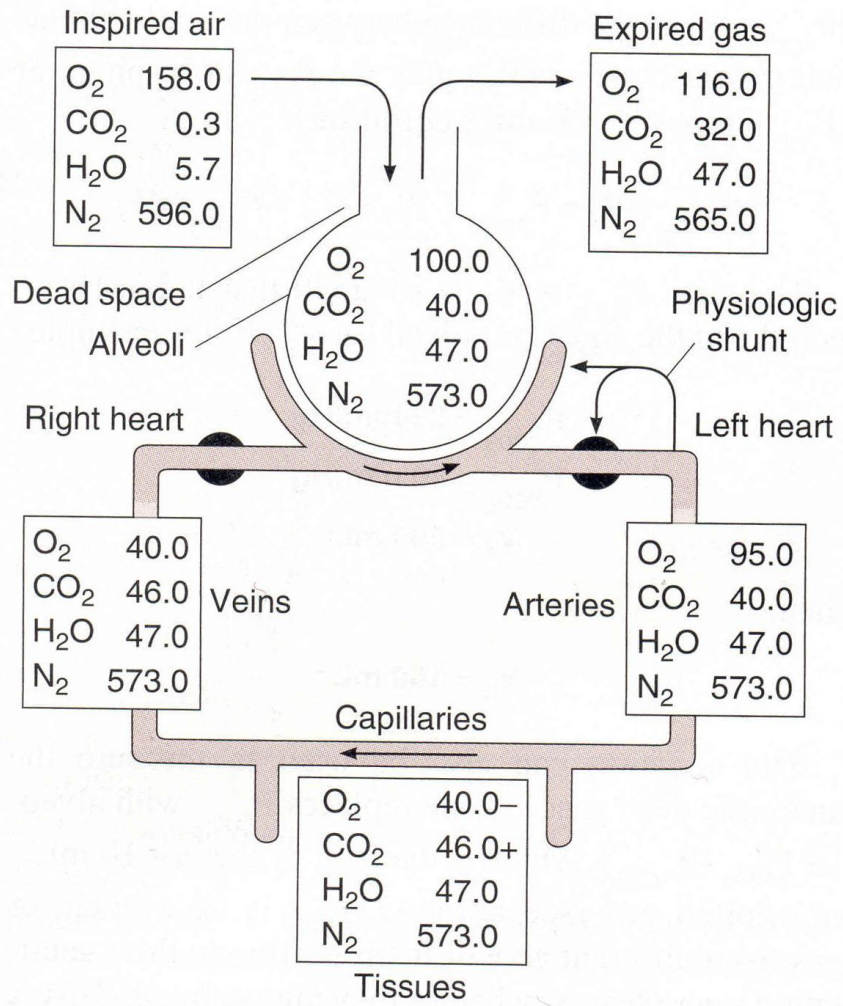
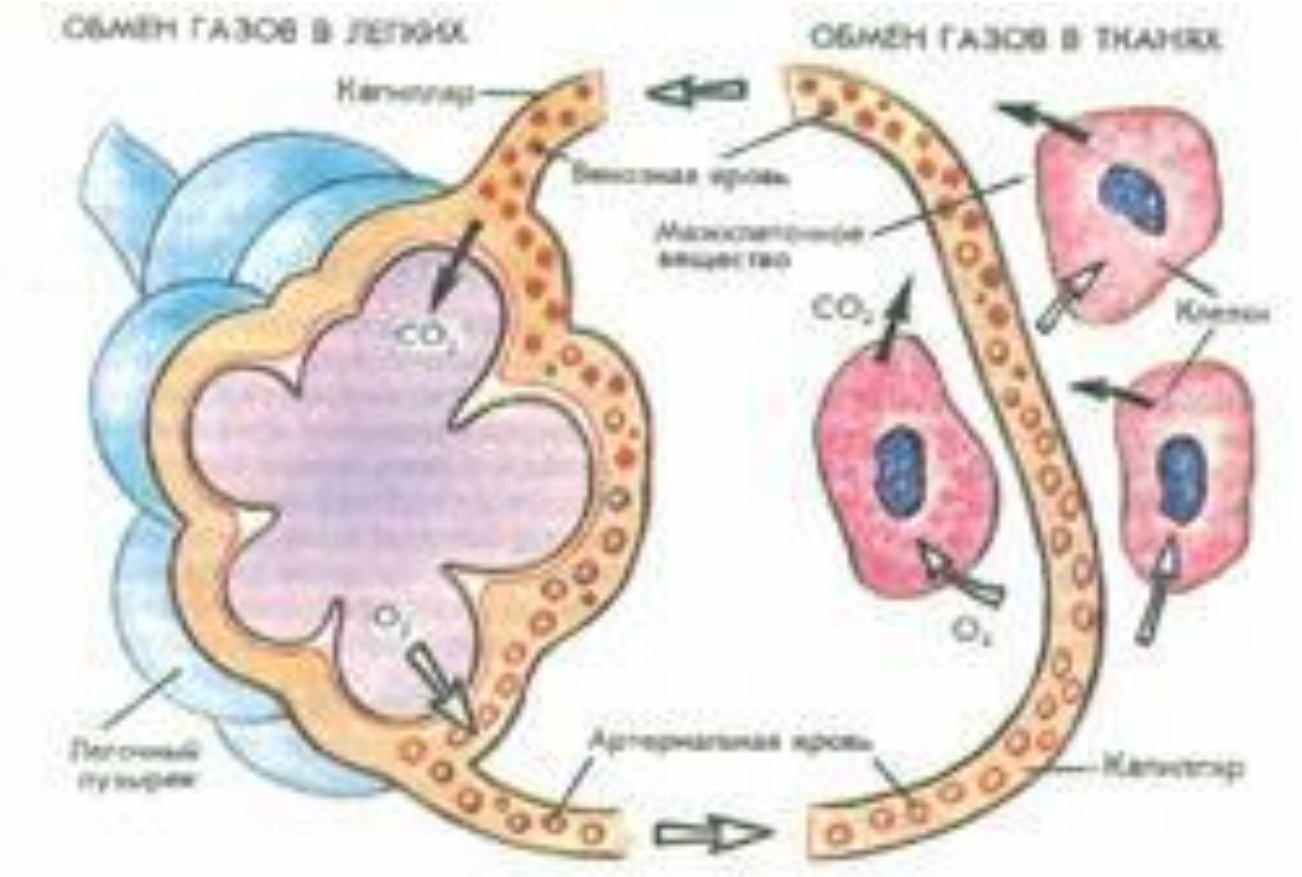



**Figure 34–18.** Partial pressures of gases (mm Hg) in various parts of the respiratory system and in the circulatory system.

# Газообмен в лёгких и тканях



# газообмен

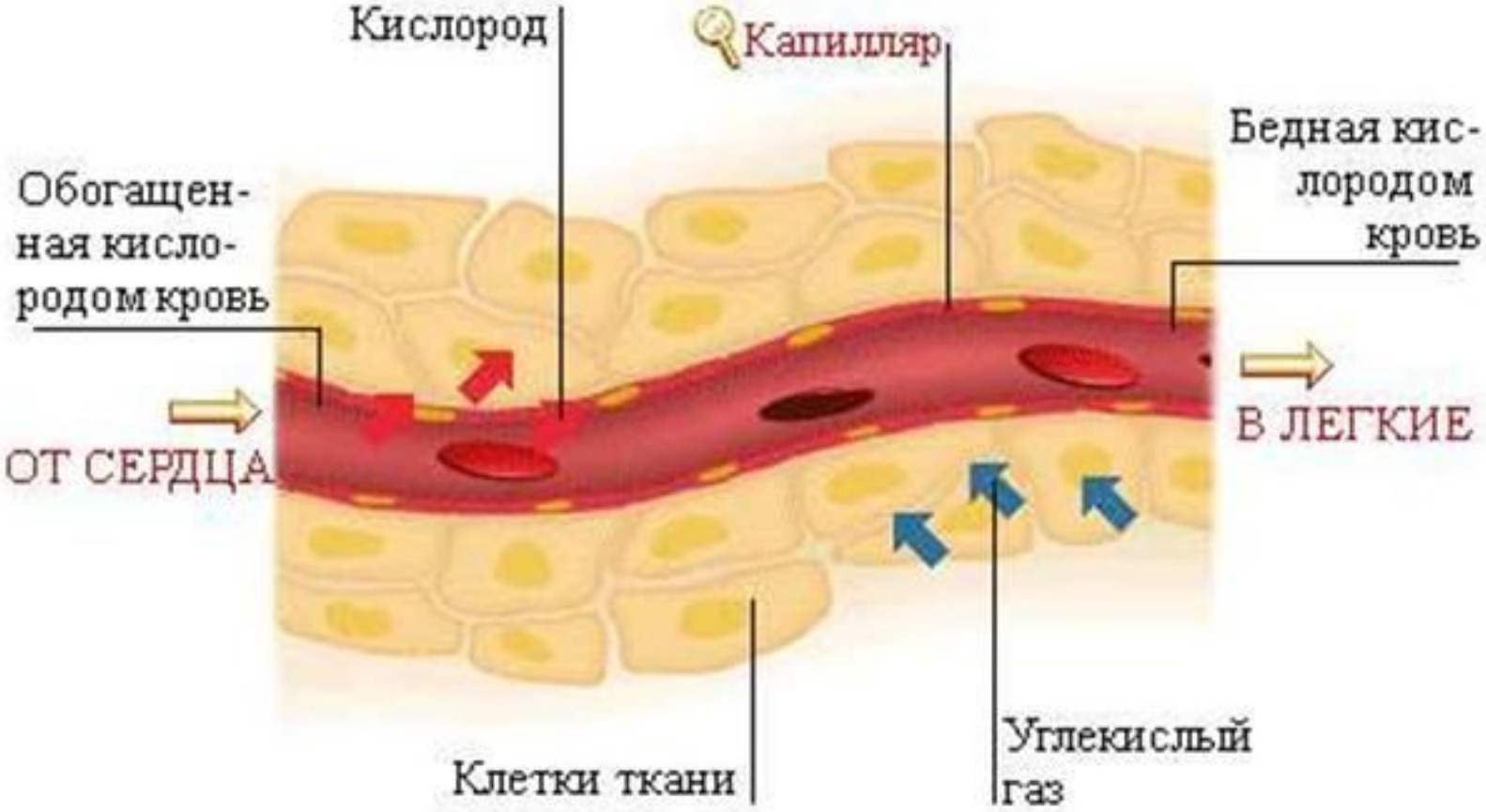
Все ткани и клетки тела нуждаются в постоянном снабжении кислородом. При каждом вдохе кислород с воздухом попадает в легкие, в которых он впитывается в кровь и разносится по всему телу. В то же время, углекислый газ с кровью выносится из клеток и тканей в легкие, где он "впрыскивается" в воздух и удаляется из организма при выдохе.

Газообмен в легких

Газообмен в тканях

# газообмен в тканях

В тканях тела происходит обмен углекислого газа на кислород. Кислород проникает через стенки капилляров в клетки ткани. Углекислый газ перемещается в обратном направлении - из клеток тканей в кровь, затем он переносится в легкие и удаляется из организма при выдохе.



# Транспорт газов кровью

- Кислород и углекислый газ частично переносятся в крови в физически растворенном виде.
- Большая часть кислорода в эритроцитах обратимо связана с гемоглобином до оксигемоглобина.
- Химически связанный углекислый газ транспортируется в крови в форме бикарбоната и карбамата.

# Клеточное дыхание

- Клеточным (тканевым) дыханием называют процесс, при котором окисление органических веществ ведет к выделению химической энергии. Не следует путать тканевое дыхание с газообменом в тканях. Газообмен (внешнее дыхание) – процесс поглощения из окружающей среды (в том числе тканевой жидкости) кислорода и выделение в среду углекислого газа.

Газ является таким состоянием вещества, при котором оно равномерно распределяется по ограниченному объему. В газовой фазе взаимодействие молекул между собой незначительно.

Когда они сталкиваются со стенками замкнутого пространства, их движение создает определенную силу; эта сила, приложенная к единице площади, называется давлением газа и выражается в миллиметрах ртутного столба, или торрах; давление газа пропорционально числу молекул и их средней скорости. При комнатной температуре давление какого-либо вида молекул; например, $O_2$ или $N_2$, не зависит от присутствия молекул другого газа. Общее измеряемое давление газа равно сумме давлений отдельных видов молекул (так называемых парциальных давлений) или $P_B = P_{N_2} + P_{O_2} + P_{H_2O} + P_B$, где $P_B$ - барометрическое давление.

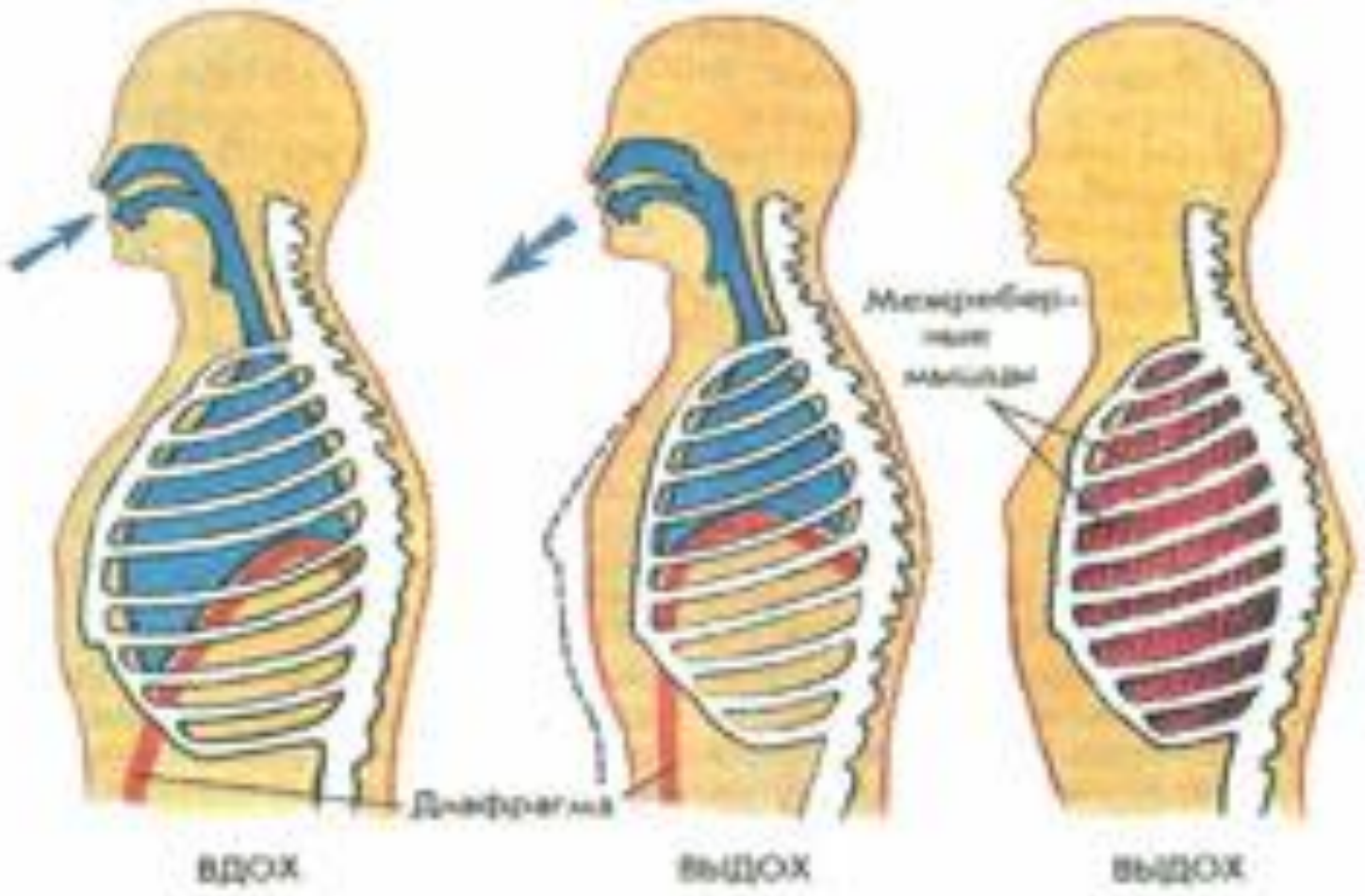
Долю (F) данного газа (x) в сухой газовой смеси мощно вычислить по следующему уравнению:

$$F_x = P_x / P_B - P_{H_2O}$$

И наоборот, парциальное давление давнего газа (x) можно вычислить из его доли: $P_x F_x (P_B - P_{H_2O})$. Сухой атмосферный воздух содержит 20,94% $O_2 * P_{O_2} = 20{,}94/100 * 760$ торр. (на уровне моря) =159,1 торр.

Газообмен в легких между альвеолами и кровью происходит путем диффузии. Диффузия возникает в силу постоянного движения молекул газа к обеспечивает перенос молекул из области более высокой их концентрации в область, где их концентрация ниже.

# Дыхательные движения



# Органы, участвующие в дыхательных движениях

**межрёберные мышцы**

**диафрагма**

**ЛЁГКИЕ ВЫПОЛНЯЮТ ПАССИВНУЮ РОЛЬ**

# Дыхательные движения.

Расслабление всех связанных с дыханием мышц придает грудной клетке положение пассивного выдоха. Соответствующая мышечная активность может перевести это положение во вдох или же усилить выдох.

Вдох создается расширением грудной полости и всегда является активным процессом. Благодаря своему сочленению с позвонками ребра движутся вверх и наружу, увеличивая расстояние от позвоночника до грудины, а также боковые размеры грудной полости (реберный или грудной тип дыхания).

Сокращение диафрагмы меняет ее форму из куполообразной в более плоскую, что увеличивает размеры грудной полости в продольном направлении (диафрагмальный или брюшной тип дыхания). Обычно главную роль во вдохе играет диафрагмальное дыхание. Поскольку люди-существа двуногие, при каждом движении ребер и грудины меняется центр тяжести тела и возникает необходимость приспособить к этому разные мышцы.

При спокойном дыхании у человека обычно достаточно эластических свойств и веса переместившихся тканей, чтобы вернуть их в положение, предшествующее вдоху.

Таким образом, выдох в покое происходит пассивно вследствие постепенного снижения активности мышц, создающих условие для вдоха. Активный выдох может возникнуть вследствие сокращения внутренних межреберных мышц в дополнение к другим мышечным группам, которые опускают ребра, уменьшают поперечные размеры грудной полости и расстояние между грудиной и позвоночником. Активный выдох может также произойти вследствие сокращения брюшных мышц, которое прижимает внутренности к расслабленной диафрагме и уменьшает продольный размер грудной полости.

Расширение легкого снижает (на время) общее внутрилегочное (альвеолярное) давление. Оно равно атмосферному, когда воздух не движется, а голосовая щель открыта. Оно ниже атмосферного, пока легкие не наполнятся при вдохе, и выше атмосферного при выдохе. Внутриплевральное давление тоже меняется на протяжении дыхательного движения; но оно всегда ниже атмосферного (т. е. всегда отрицательное).

# Регуляция дыхания

В соответствии с метаболическими потребностями дыхательная система обеспечивает газообмен $O_2$ и $CO_2$ между окружающей средой и организмом. Эту функцию регулирует сеть многочисленных взаимосвязанных нейронов ЦНС, расположенных в нескольких отделах мозга и объединяемых в комплексное понятие "дыхательный центр". При воздействии на его структуры нервных и гуморальных стимулов происходит приспособление функции дыхания к меняющимся условиям внешней среды. Структуры, необходимые для возникновения дыхательного ритма, впервые были обнаружены в продолговатом мозге. Перерезка продолговатого мозга в области дна IV желудочка приводит к прекращению дыхания. Поэтому под главным дыхательным центром понимают совокупность нейронов специфических дыхательных ядер продолговатого мозга.

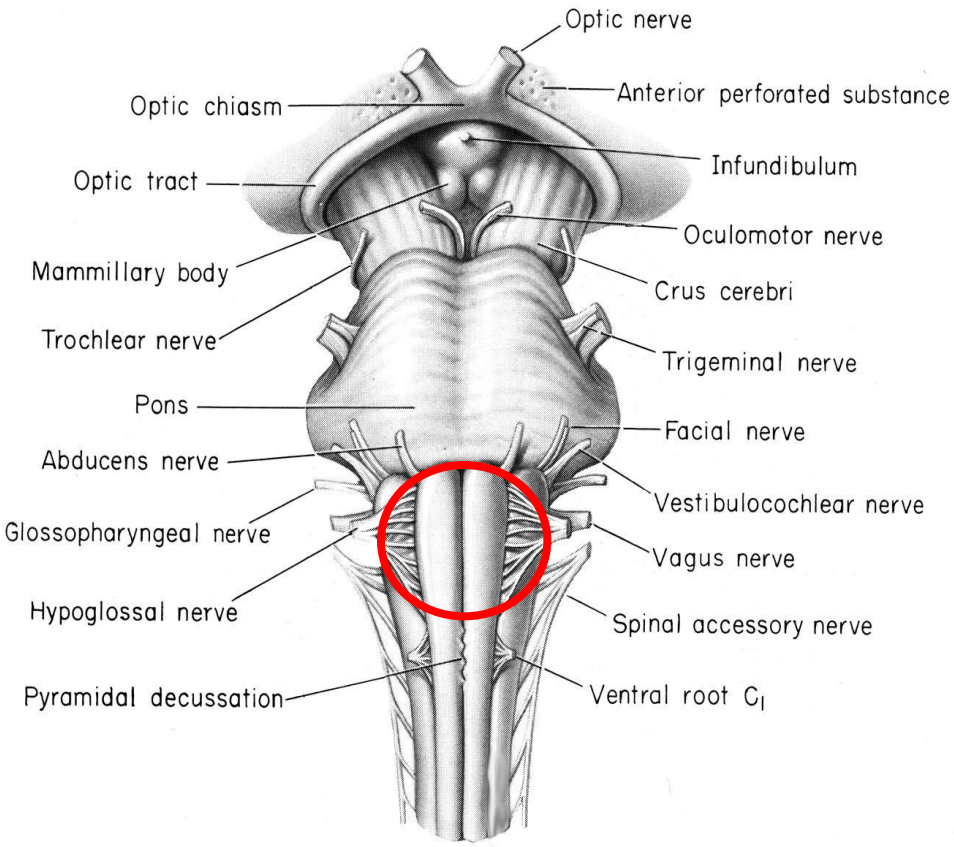
Дыхательный центр управляет двумя основными функциями: двигательной, которая проявляется в виде сокращения дыхательных мышц, и гомеостатической, связанной с поддержанием постоянства внутренней среды организма при сдвигах в ней содержания $O_2$ и $CO_2$. Двигательная, или моторная, функция дыхательного центра заключается в генерации дыхательного ритма и его паттерна. Благодаря этой функции осуществляется интеграция дыхания с другими функциями. Под паттерном дыхания следует иметь в виду длительность вдоха и выдоха, величину дыхательного объема, минутного объема дыхания. Гомеостатическая функция дыхательного центра поддерживает стабильные величины дыхательных газов в крови и внеклеточной жидкости мозга, адаптирует дыхательную функцию к условиям измененной газовой среды и другим факторам среды обитания.

## Дыхательная система включает два основных контура регулирования: хеморецепторный и механорецепторный

- Различают центральные и периферические хеморецепторы. 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.

# Центральные хеморецепторы располагаются на вентральной поверхности продолговатого мозга. Выделяют зоны M, L и S.



**Артериальные хеморецепторы** являются уникальными рецепторными образованиями, на которые гипоксия оказывает стимулирующее влияние. Афферентные влияния каротидных телец усиливаются также при повышении в артериальной крови напряжения двуокиси углерода и концентрации водородных ионов. Стимулирующее действие гипоксии и гиперкапнии на хеморецепторы взаимно усиливается, тогда как в условиях гипероксии чувствительность хеморецепторов к двуокиси углерода резко снижается. Артериальные хеморецепторы информируют дыхательный центр о напряжении 02 и СО2 в крови, направляющейся к мозгу.

После перерезки артериальных (периферических) хеморецепторов у подопытных животных исчезает чувствительность дыхательного центра к гипоксии, но полностью сохраняется реакция дыхания на гиперкапнию и ацидоз.

Центральные хеморецепторы расположены в продолговатом мозге латеральнее пирамид. Перфузия этой области мозга раствором со сниженным рН резко усиливает дыхание, а при высоком рН дыхание ослабевает, вплоть до апноэ. То же происходит при охлаждении или обработке этой поверхности продолговатого мозга анестетиками. Центральные хеморецепторы, оказывая сильное влияние на деятельность дыхательного центра, существенно изменяют вентиляцию легких. Установлено, что снижение рН спинномозговой жидкости всего на 0,01 сопровождается увеличением легочной вентиляции на 4 л/мин.

Центральные хеморецепторы реагируют на изменение напряжения СО2 в артериальной крови позже, чем периферические хеморецепторы, так как для диффузии СО^ из крови в спинномозговую жидкость и далее в ткань мозга необходимо больше времени. Гиперкапния и ацидоз стимулируют, а гипокапния и алкалоз - тормозят центральные хеморецепторы.

Для определения чувствительности центральных хеморецепторов к изменению рН внеклеточной жидкости мозга, изучения синергизма и антагонизма дыхательных газов, взаимодействия системы дыхания и сердечно-сосудистой системы используют метод возвратного дыхания. При дыхании в замкнутой системе выдыхаемый СОд вызывает линейное увеличение концентрации СО^ и одновременно повышается концентрация водородных ионов в крови, а также во внеклеточной жидкости мозга.

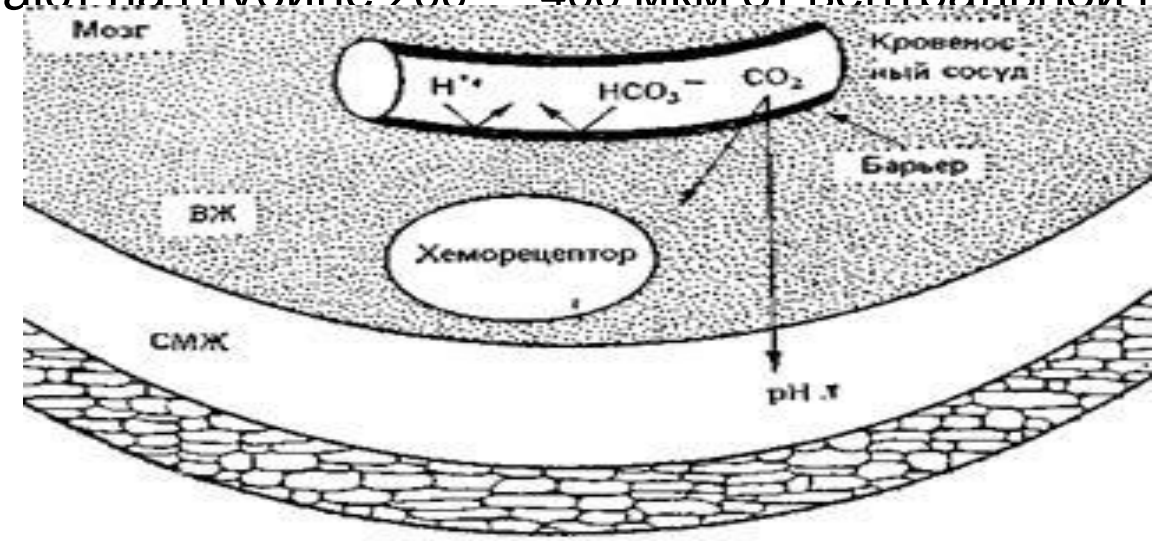
Совокупность дыхательных нейронов следовало бы рассматривать как созвездие структур, осуществляющих центральный механизм дыхания. Таким образом, вместо термина "дыхательный центр" правильнее говорить о системе центральной регуляции дыхания, которая включает в себя структуры коры головного мозга, определенные зоны и ядра промежуточного, среднего, продолговатого мозга, варолиева моста, нейроны шейного и грудного отделов спинного мозга, центральные и периферические хеморецепторы, а также

# Хеморецепторы

Хеморецепторы — рецепторы, воспринимающие химические раздражения; выделяют вкусовые и обонятельные, центральные хеморецепторы, хеморецепторы внутренних органов и кровеносных сосудов (каротидный клубочек, дуга аорты); артериальные хеморецепторы реагируют на изменения концентрации в крови кислорода, углекислоты, водородных ионов, питательных веществ и гормонов, уровня осмотического давления; благодаря хеморецепторам поддерживается гомеостаз.

Хеморецепторами называются рецепторы, реагирующие на изменение химического состава омывающей их крови или иной жидкости. Важнейшие из них, участвующие в постоянном контроле вентиляции, расположены у вентральной поверхности продолговатого мозга около выходов IX и X черепно-мозговых нервов. Местная обработка H+ или растворенным CO2 этой области через несколько секунд вызывает у животных усиление дыхания.

Когда-то считалось, что CO2 действует непосредственно на медуллярные дыхательные центры, однако сейчас принято рассматривать хеморецепторы как отдельные образования. По некоторым данным, они залегают на глубине 200 — 400 мкм от вентральной поверхности




Они омываются внеклеточной жидкостью (ВЖ) головного мозга, через которую CO2 легко диффундирует от кровеносных сосудов к СМЖ. Ионы H+ и HCO2 не могут так легко пересекать гематоэнцефалический барьер.

## Центральные хеморецепторы

омываются внеклеточной жидкостью головного мозга и реагируют на изменения в ней концентрации ионов $H^+$: увеличение концентрации приводит к усилению дыхания и наоборот. Состав жидкости, омывающей эти рецепторы, зависит от состава спинномозговой жидкости (СМЖ), местного кровотока и местного метаболизма.

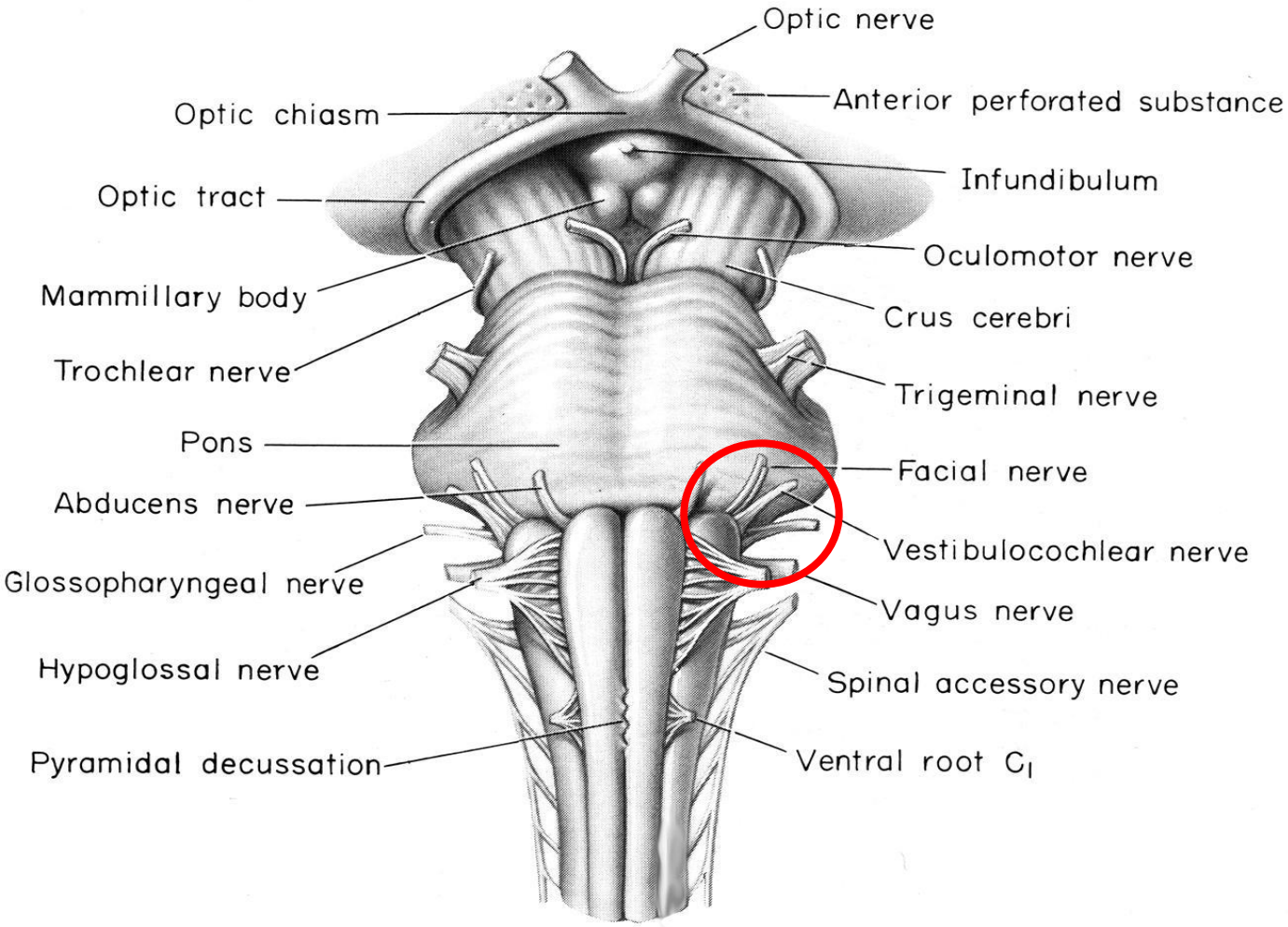
Из всех этих факторов наибольшую роль, по-видимому, играет состав СМЖ. Эта жидкость отделена от крови гематоэнцефалическим барьером, относительно непроницаемым для ионов $H^+$ и $HCO_2$ но свободно пропускающим молекулярный $CO_2$. При повышении $P_{CO_2}$ в крови $CO_2$ диффундирует в СМЖ из кровеносных сосудов головного мозга, в результате чего в СМЖ накапливаются ионы $H^+$, стимулирующие хеморецепторы.

Таким образом, уровень $CO_2$ в крови влияет на вентиляцию главным образом путем изменения pH СМЖ. Раздражение хеморецепторов приводит к гипервентиляции, понижающей $P_{CO_2}$ в крови и, следовательно, в СМЖ. При повышении $P_{CO_2}$ в артериальной крови расширяются сосуды головного мозга, что способствует диффузии $CO_2$ в СМЖ и внеклеточную жидкость мозга.

В норме pH СМЖ = 7,32. Поскольку содержание белков в этой жидкости намного меньше, чем в крови, ее буферная емкость также существенно ниже. Благодаря этому pH СМЖ в ответ на изменения $P_{CO_2}$ сдвигается гораздо больше, чем pH крови. Если такой сдвиг pH СМЖ сохраняется длительное время, то бикарбонаты переходят через гематоэнцефалический барьер, т. е. происходит компенсаторное изменение концентрации $HCO_3$ в СМЖ.

В результате pH СМЖ через 24— 48 ч возвращается к норме. Таким образом, изменения pH СМЖ устраняются быстрее, чем в артериальной крови, где они компенсируются почками в течение двух-трех суток. Более быстрое возвращение к норме pH СМЖ по сравнению с pH крови приводит к тому, что именно pH СМЖ оказывает преимущественное влияние на вентиляцию и $P_{CO_2}$ в артериальной

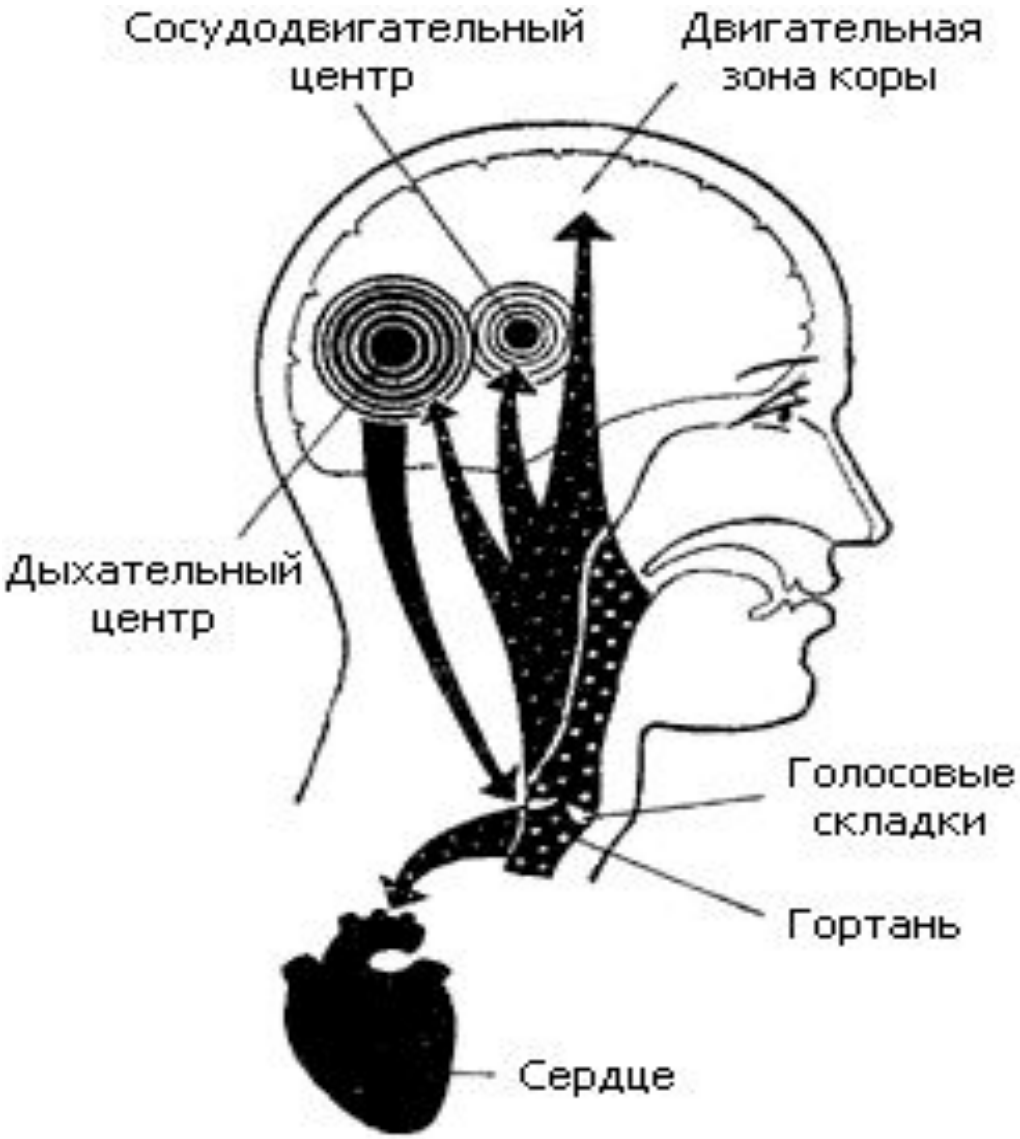
# Центральные хеморецепторы располагаются на вентральной поверхности продолговатого мозга. Выделяют зоны M, L и S.



Центральные хеморецепторы. Окончательно не установлено местоположение центральных хеморецепторов. Исследователи считают, что такие хеморецепторы находятся в ростральных отделах продолговатого мозга вблизи его вентральной поверхности, а также в различных зонах дорсального дыхательного ядра.

Наличие центральных хеморецепторов доказывается достаточно просто: после перерезки синокаротидных и аортальных нервов у подопытных животных исчезает чувствительность дыхательного центра к гипоксии, но полностью сохраняется реакция дыхания на гиперкапнию и ацидоз. Перерезка ствола мозга непосредственно выше продолговатого мозга не влияет на характер этой реакции.

Под дыхательным центром следует понимать совокупность нейронов специфических (дыхательных) ядер продолговатого мозга, способных генерировать дыхательный ритм.



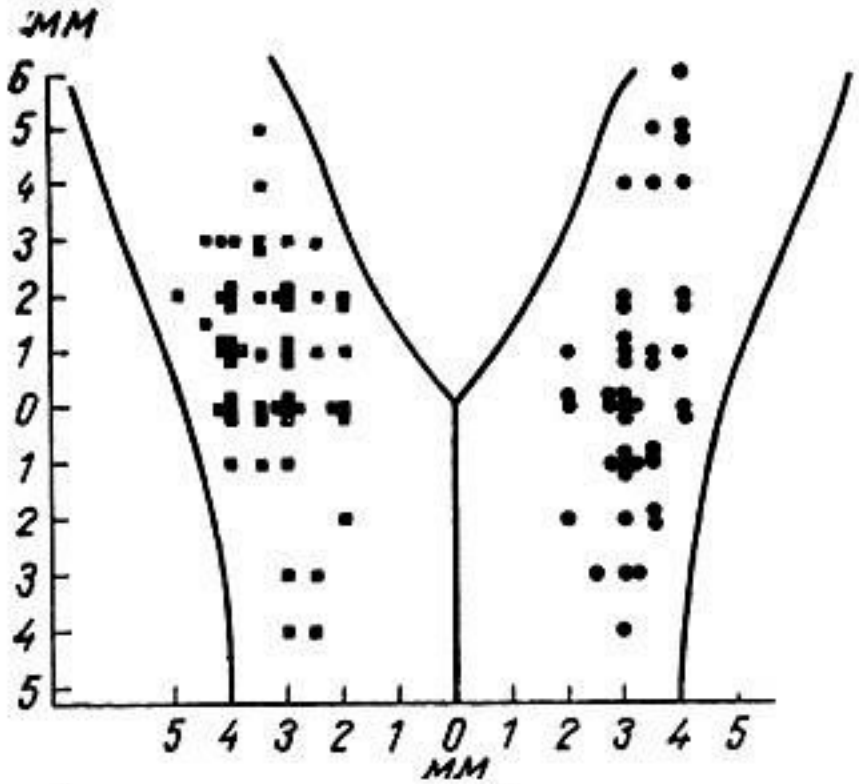
- Дыхательный центр расположен в продолговатом мозге как парное симметричное образование.
- Дыхательный центр представляет собой совокупность нейронов, обладающих сложными сетевыми взаимодействиями.
- Основным свойством дыхательного центра является автоматизм.
- Дыхательный центр координирует ритмическую активность мышц, обеспечивающих вдох и выдох.

**Двигательная функция** дыхательного центра заключается в генерации дыхательного ритма и его паттерна. Под генерацией дыхательного ритма понимают генерацию дыхательным центром вдоха и его прекращение (переход в экспирацию). Под паттерном дыхания следует понимать длительность вдоха и выдоха, величину дыхательного объема, минутного объема дыхания. Моторная функция дыхательного центра адаптирует дыхание к метаболическим потребностям организма, приспосабливает дыхание в поведенческих реакциях (поза, бег и др.), а также осуществляет интеграцию дыхания с другими функциями ЦНС.

**Гомеостатическая функция** дыхательного центра поддерживает нормальные величины дыхательных газов (O2, CO2) и pH в крови и внеклеточной жидкости мозга, регулирует дыхание при изменении температуры тела, адаптирует дыхательную функцию к условиям измененной газовой среды, например при пониженном и повышенном барометрическом давлении.

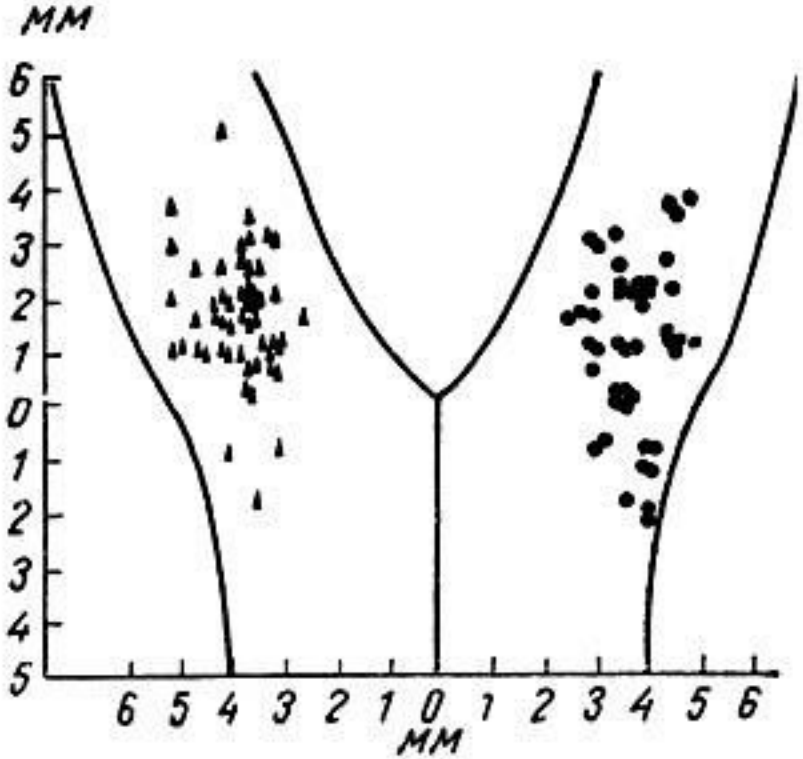
- По локализации в стволе мозга выделяют вентральную (область двойного ядра)и дорсальную (область ядра одиночного пути) группы дыхательных нейронов, комплекс Бетцингера и др.
- По фазе активности дыхательные нейроны делятся на инспираторные (нейроны вдоха), экспираторные (нейроны выдоха) и различные типы фазово-переходных нейронов.
- По функции нейроны подразделяют на нейроны, генерирующие дыхательный ритм и нейроны, формирующие дыхательный паттерн.

Дыхательные нейроны, активность которых вызывает инспирацию или экспирацию, называются соответственно инспираторными и экспираторными нейронами. Инспираторные и экспираторные нейроны иннервируют дыхательные мышцы. В дорсальной и вентральной дыхательной группах продолговатого мозга обнаружены следующие основные типы дыхательных нейронов: **1)** ранние инспираторные, которые разряжаются с максимальной частотой в начале фазы вдоха




Инспираторные нейроны

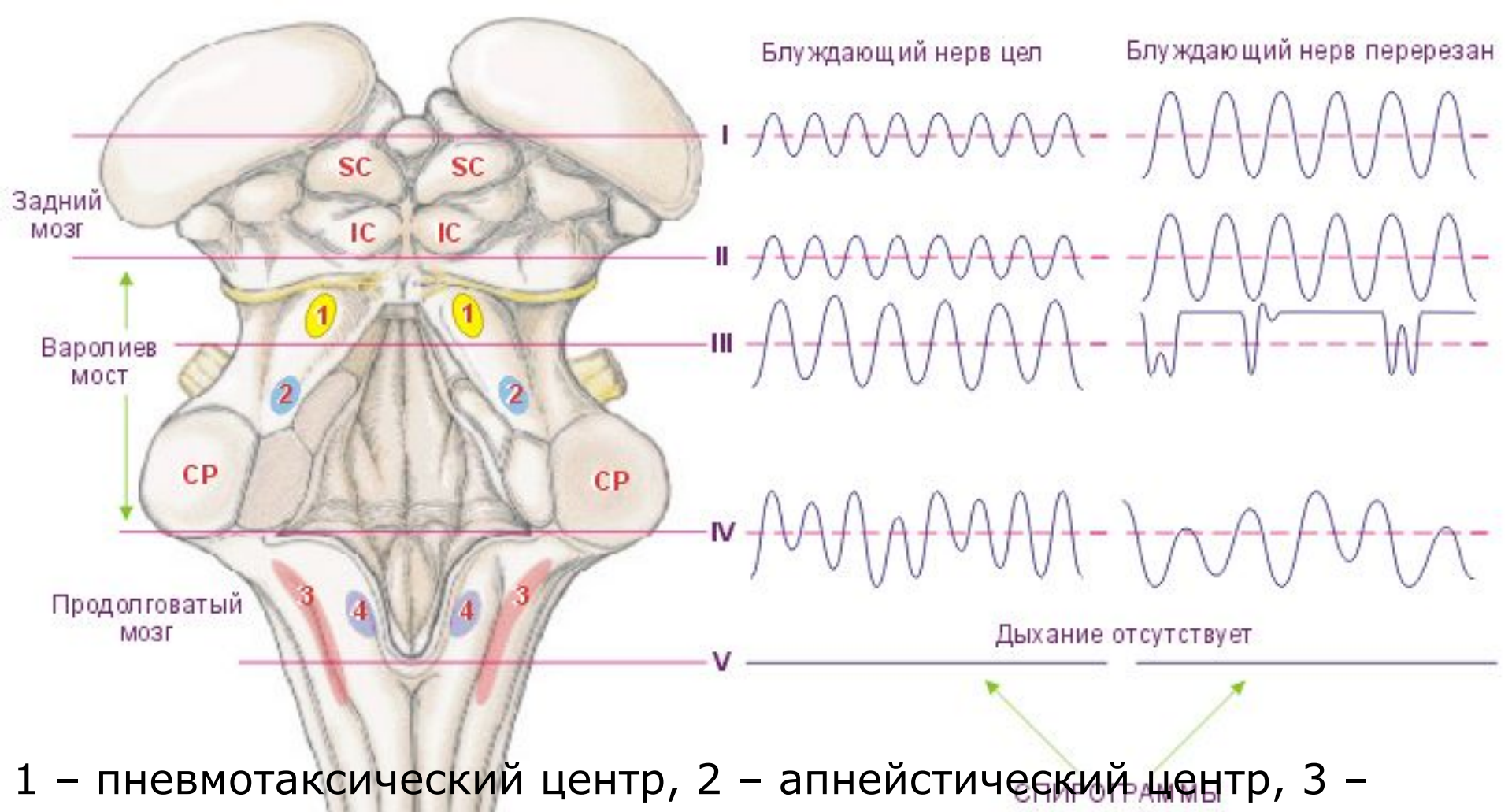
Экспираторные




Инспираторные нейроны

Экспираторные

Схемы расположения дыхательных нейронов в продолговатом мозге

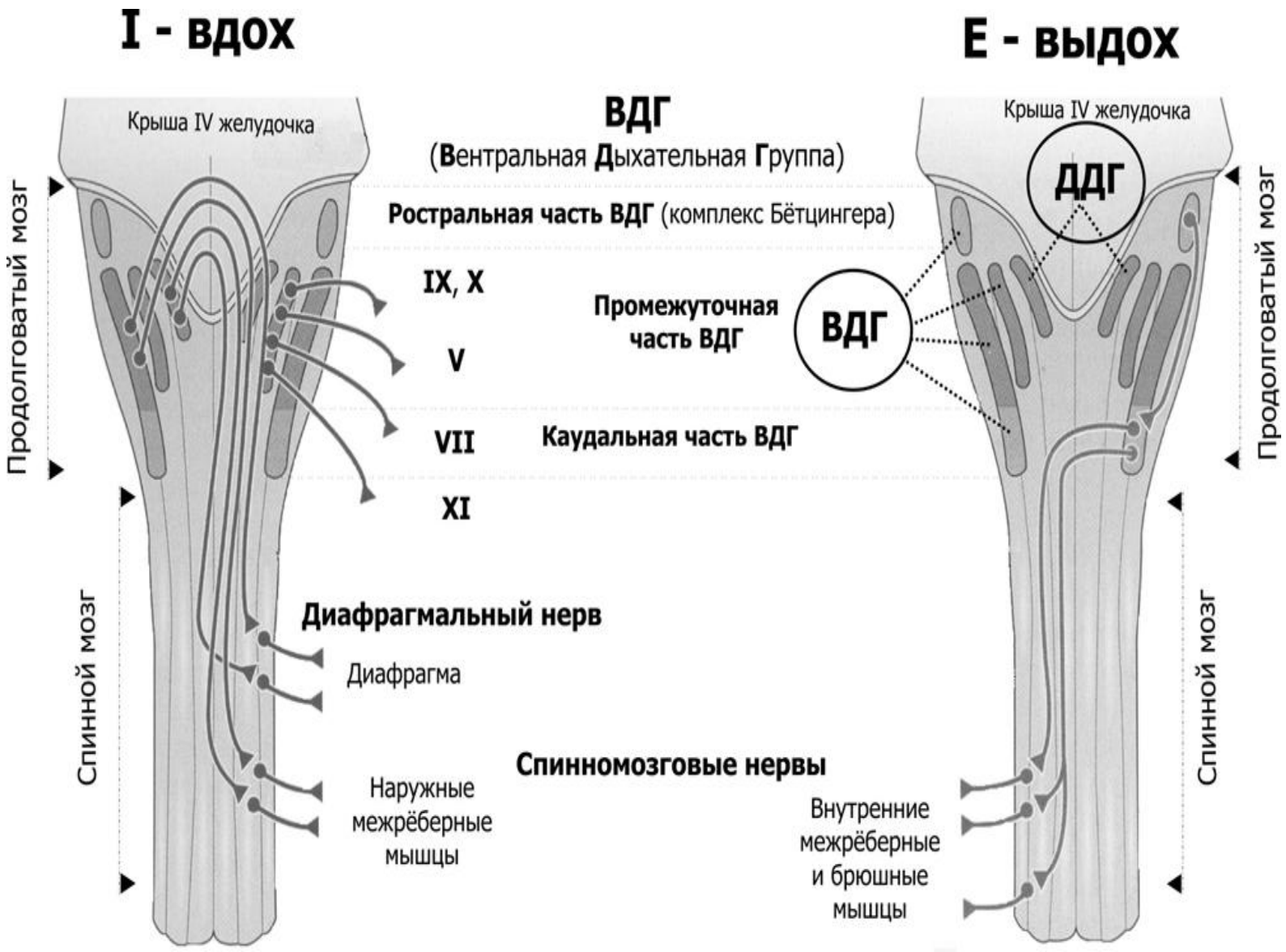



1 – пневмотаксический центр, 2 – апнейстический центр, 3 – вентральная группа дыхательных нейронов, 4 – дорзальная группа дыхательных нейронов, SC – верхние холмики четверохолмия, IC – нижние холмики четверохолмия, CP – средние мозжечковые ножки (перерезаны). Римскими цифрами обозначены последовательные поперечные полные перерезки ствола мозга.

- Дыхательный центр посылает импульсы к мотонейронам спинного мозга, иннервирующим дыхательные мышцы.
- Диафрагма иннервируется мотонейронами III- IV шейных сегментов спинного мозга.
- Межреберные мышцы иннервируются мотонейронами III-XII грудных сегментов спинного мозга.

Дыхательные нейроны, активность которых вызывает инспирацию или экспирацию, называются соответственно инспираторными и экспираторными нейронами. Инспираторные и экспираторные нейроны иннервируют дыхательные мышцы. В дорсальной и вентральной дыхательной группах продолговатого мозга обнаружены следующие основные типы дыхательных нейронов: **1)** ранние инспираторные, которые разряжаются с максимальной частотой в начале фазы вдоха

**2)** поздние инспираторные, максимальная частота разрядов которых приходится на конец инспирации; **3)** полные инспираторные с постоянной или с постепенно нарастающей активностью в течение фазы вдоха; **4)** постинспираторные, которые имеют максимальный разряд в начале фазы выдоха; **5)** экспираторные с постоянной или постепенно нарастающей активностью, которую они проявляют во вторую часть фазы выдоха; **6)** преинспираторные, которые имеют максимальный пик активности непосредственно перед началом вдоха. Тип нейронов определяется по проявлению его активности относительно фазы вдоха и выдоха.


I - вдох
E - выдох
ВДГ
(Вентральная Дыхательная Группа)
Ростральная часть ВДГ (комплекс Бётцингера)
Промежуточная часть ВДГ
Каудальная часть ВДГ
Крыша IV желудочка
Крыша IV желудочка
ДДГ
ВДГ
IX, X
V
VII
XI
Диафрагмальный нерв
Диафрагма
Спинномозговые нервы
Наружные межрёберные мышцы
Внутренние межрёберные и брюшные мышцы
Продолговатый мозг
Спинной мозг
Продолговатый мозг
Спинной мозг

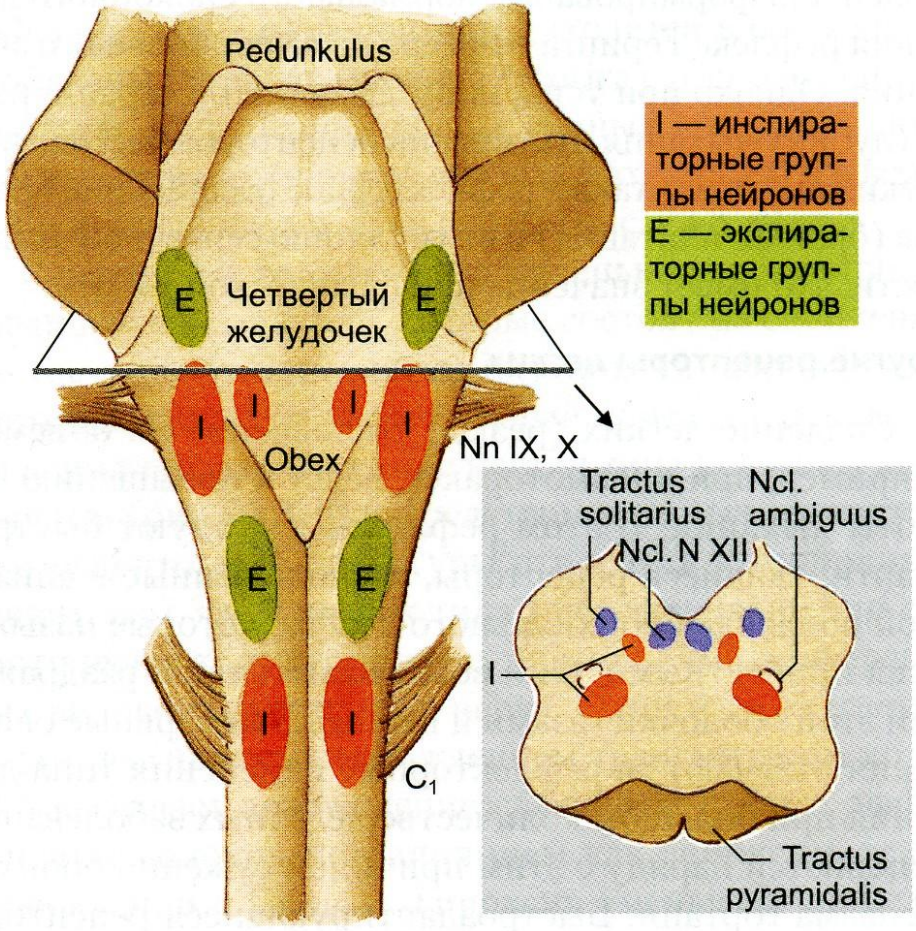



Рис. 73.1. Распределение респираторных нейронов в стволе мозга. Слева: вид на medulla oblongata после отделения малого мозга. Инспираторные (I, оранжевые) и экспираторные (E, зеленые) нейронные группы и их приблизительное расположение. В действительности они находятся внутри ретикулярной формации и их трудно отграничить. Справа: поперечный срез на данном уровне с инспираторными нейронными группами. Nn. IX, X — места выхода nn. Glossopharyngeus и Vagus. Ncl. N XII — ядра подъязычного нерва

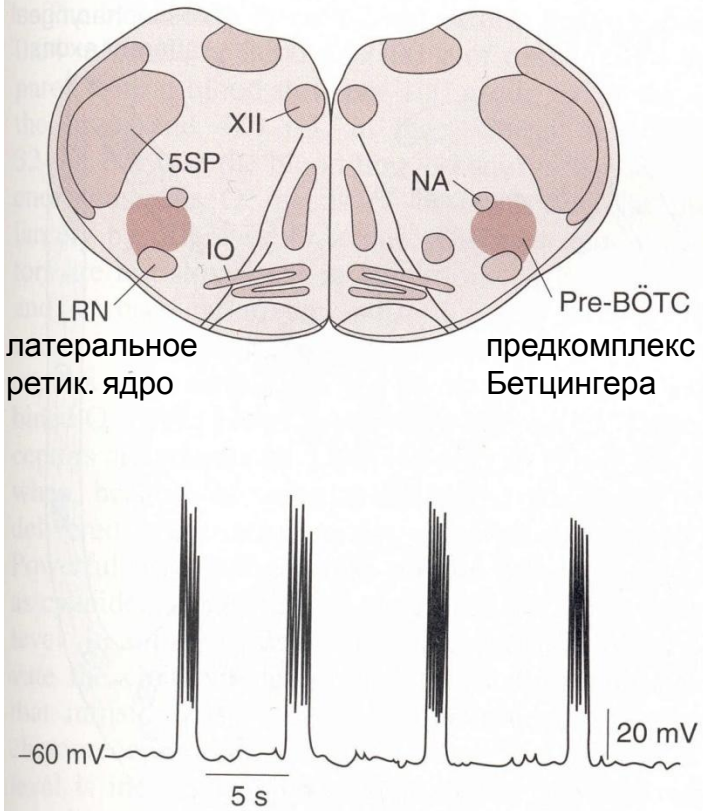
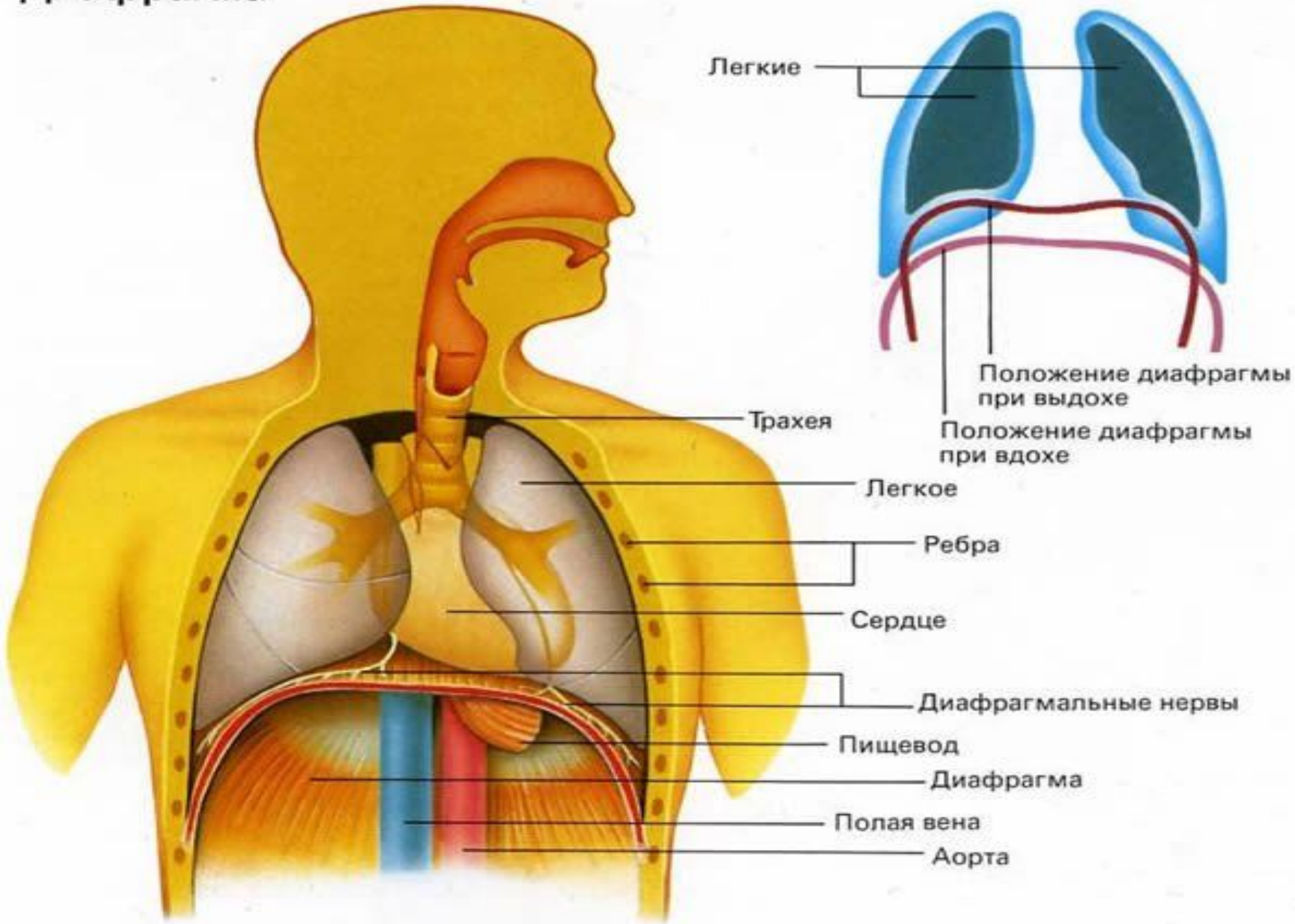


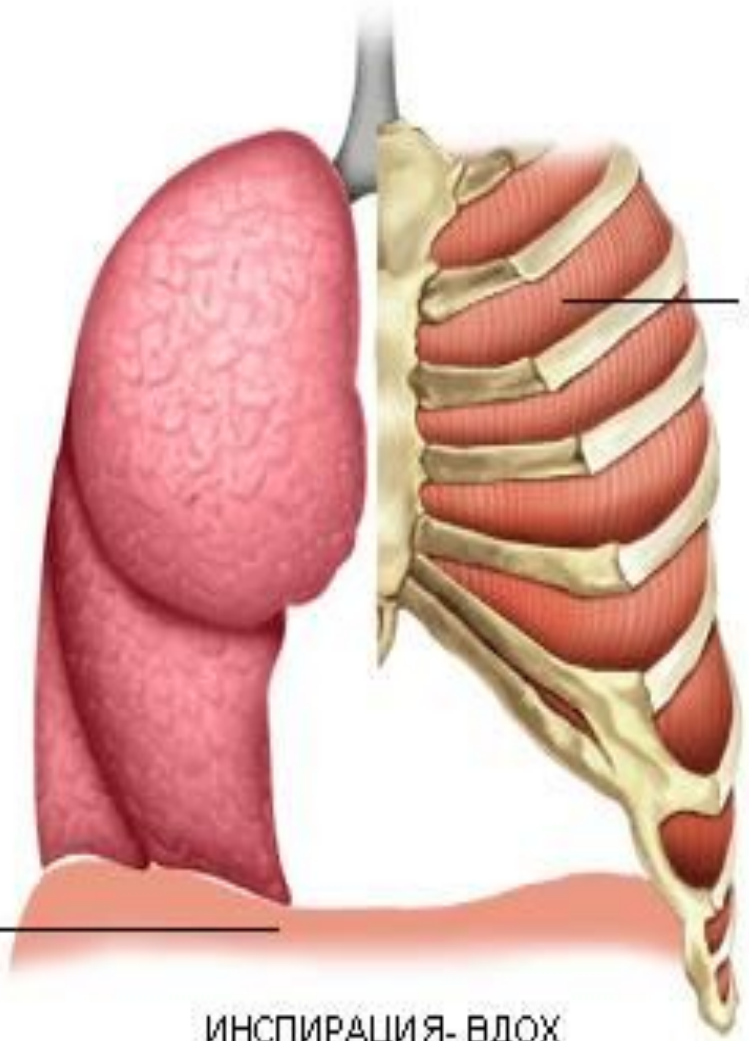

**Figure 36–2.** Rhythmic discharge (tracing below) of neurons in the pre-Böttzinger complex (shaded area, pre-BÖTC) in a brain slice from a neonatal rat. IO, inferior olive; LRN, lateral reticular nucleus; NA, nucleus ambiguus; XII, nucleus of 12th cranial nerve; 5SP, spinal nucleus of trigeminal nerve. (Modified from Smith JC et al: Pre-Böttzinger complex: A brainstem region that may generate respiratory rhythm in mammals. Science 1991;254:726.)

# Диафрагма


Легкие
Положение диафрагмы при выдохе
Положение диафрагмы при вдохе
Трахея
Легкое
Ребра
Сердце
Диафрагмальные нервы
Пищевод
Диафрагма
Полая вена
Аорта

Благодаря согласованной деятельности диафрагмы и межреберных мышц легкие наполняются воздухом.

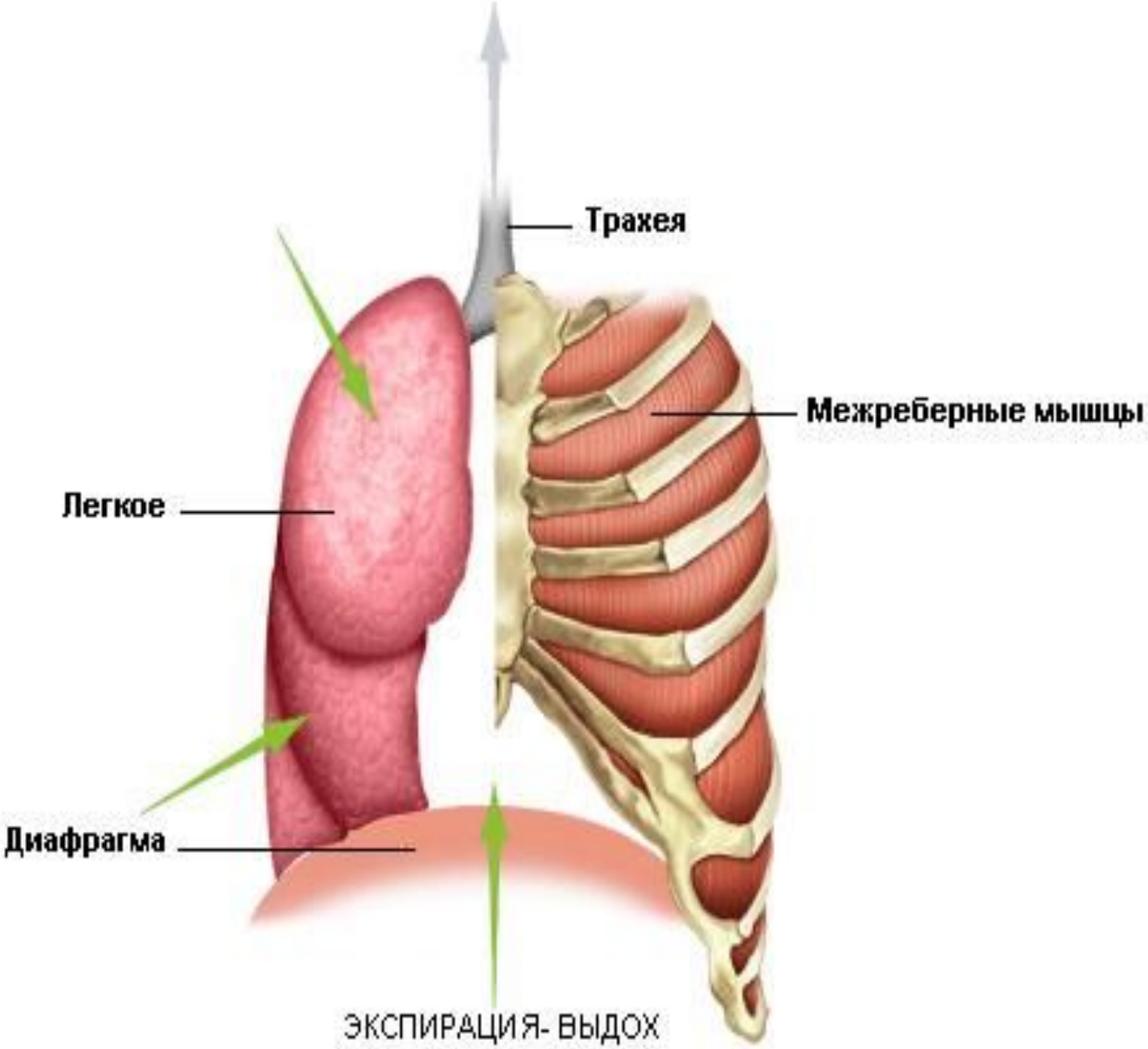
Во время вдоха диафрагма и межреберные мышцы сжимаются.




**Диафрагма** - это мышечно-сухожильная перегородка, которая разделяет грудную клетку и брюшную полость.

ИНСПИРАЦИЯ- ВДОХ

С другой стороны, экспирация выдох - это, по сути, пассивное действие, которое происходит за счет расслабления гибкой грудной клетки, диафрагмы и межреберных мышц.



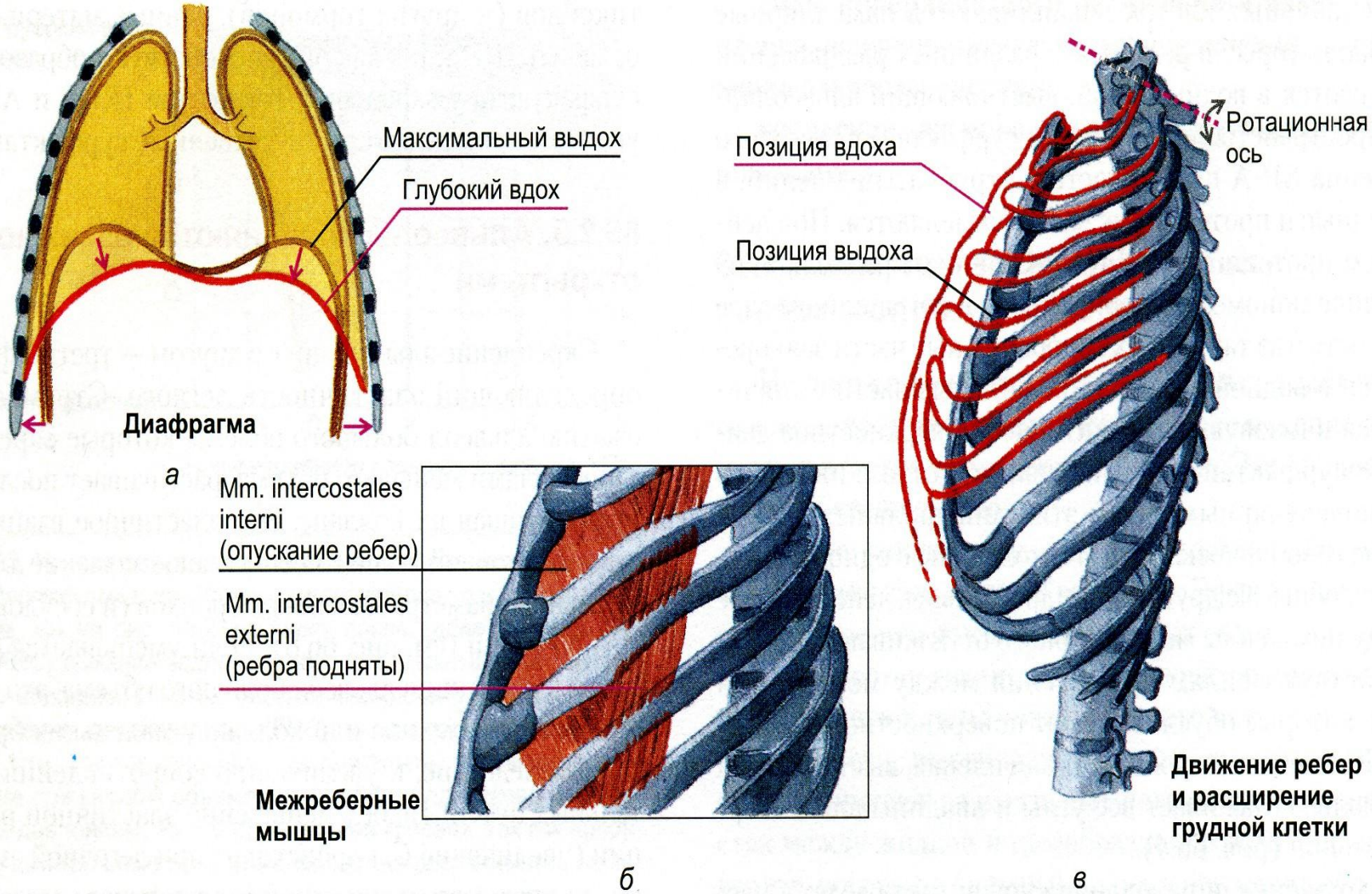



Рис. 66.5. Действие дыхательных мышц. (*а*) При движении вниз диафрагмы грудная клетка увеличивает свой объем. Одновременно это движение вниз вызывает поднятие нижних краев ребер, что существенно расширяет пространство грудной клетки. (*б*) Под влиянием импульсов из ЦНС наружные межреберные мышцы (mm. intercostales externi) сокращаются и поднимают ребра. Одновременно на основе косой ротационной оси ребер на позвонках как сагиттальный, так и трансверсальный диаметры грудной клетки увеличиваются (*в*), следовательно, эти мышцы служат инспирации. Внутренние межреберные мышцы (mm. intercostales interni) способствуют выдоху

# Дыхательные мышцы как двигатель вентиляции

**Сокращение диафрагмы и наружных межреберных мышц**

↓

**Подъем концов ребер, выдвижение грудины вперед, опускание купола диафрагмы**

↓

**Растяжение легких**

↓

**ВДОХ**
**(активный)**

**Расслабление диафрагмы и наружных межреберных мышц**

↓

**Опускание концов ребер и грудины, подъем купола диафрагмы**

↓

**Сокращение грудной клетки и объема легких**

↓

**ВЫДОХ**
**(пассивный в норме)**

**Дорсальная дыхательная группа (ДДГ)** включает в себя симметричные области продолговатого мозга, расположенные вентролатеральнее ядра одиночного пучка. Дыхательные нейроны этой группы относятся только к инспираторному типу нейронов и представлены поздними и полными инспираторными нейронами.

**Нейроны ДДГ** получают афферентные сигналы от легочных рецепторов растяжения по волокнам блуждающего нерва, нейроны которого имеют обширные синаптические связи с другими отделами дыхательного центра и с различными отделами ЦНС. Только часть инспираторных нейронов ДДГ связана аксонами с дыхательными мотонейронами спинного мозга, преимущественно с контралатеральной стороны.
**Вентральная дыхательная группа (ВДГ)** расположена латеральнее обоюдного ядра продолговатого мозга, или ядра блуждающего нерва. ВДГ подразделяется на ростральную и каудальную части относительно уровня задвижки (obex) продолговатого мозга.

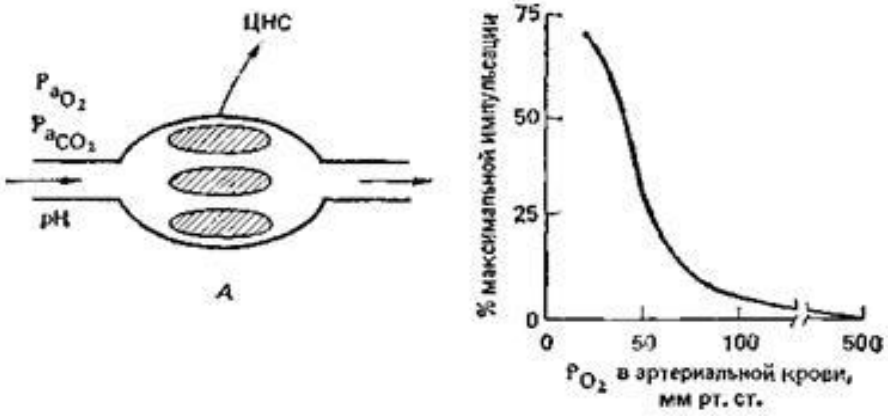
**Ростральная часть ВДГ** состоит из инспираторных нейронов разных типов: ранних, полных, поздних инспираторных и постинспираторных. Ранние инспираторные и постинспираторные нейроны ВДГ называются проприобульбарными нейронами, так как они не направляют свои аксоны за пределы дыхательного центра продолговатого мозга и контактируют только с другими типами дыхательных нейронов. Часть полных и поздних инспираторных нейронов направляют свои аксоны к дыхательным мотонейронам спинного мозга, а следовательно, управляют мышцами вдоха.

# Периферические хеморецепторы

находятся в каротидных тельцах, расположенных в области бифуркации общих сонных артерий, и в аортальных тельцах, залегающих на верхней и нижней поверхностях дуги аорты. У человека наибольшую роль играют каротидные тельца. В них содержатся две или несколько разновидностей гломерулярных клеток, интенсивно флюоресцирующих при специальной обработке благодаря содержанию допамина.

Когда-то считалось, что именно эти клетки служат хеморецепторами, однако, согласно, последним данным, они являются тормозными интернейронами, а импульсы генерируются в афферентных окончаниях синокаротидных нервов. Удельный кровоток в каротидных тельцах чрезвычайно высок (20 мл/мин), поэтому, несмотря на высокую скорость обменных процессов, артериовенозная разница по $O_2$ в их сосудах очень мала.

Периферические хеморецепторы реагируют на снижение $P_{O_2}$ и pH и на увеличение $P_{CO_2}$ артериальной крови. По сравнению с другими клетками организма они обладают уникальной способностью «чувствовать» изменения $P_{O_2}$ в артериальной крови, начиная примерно с 500 мм рт. ст.




Видно, что наибольшая чувствительность хеморецепторов приходится на $P_{O_2}$ ниже 50 мм рт. Ст.

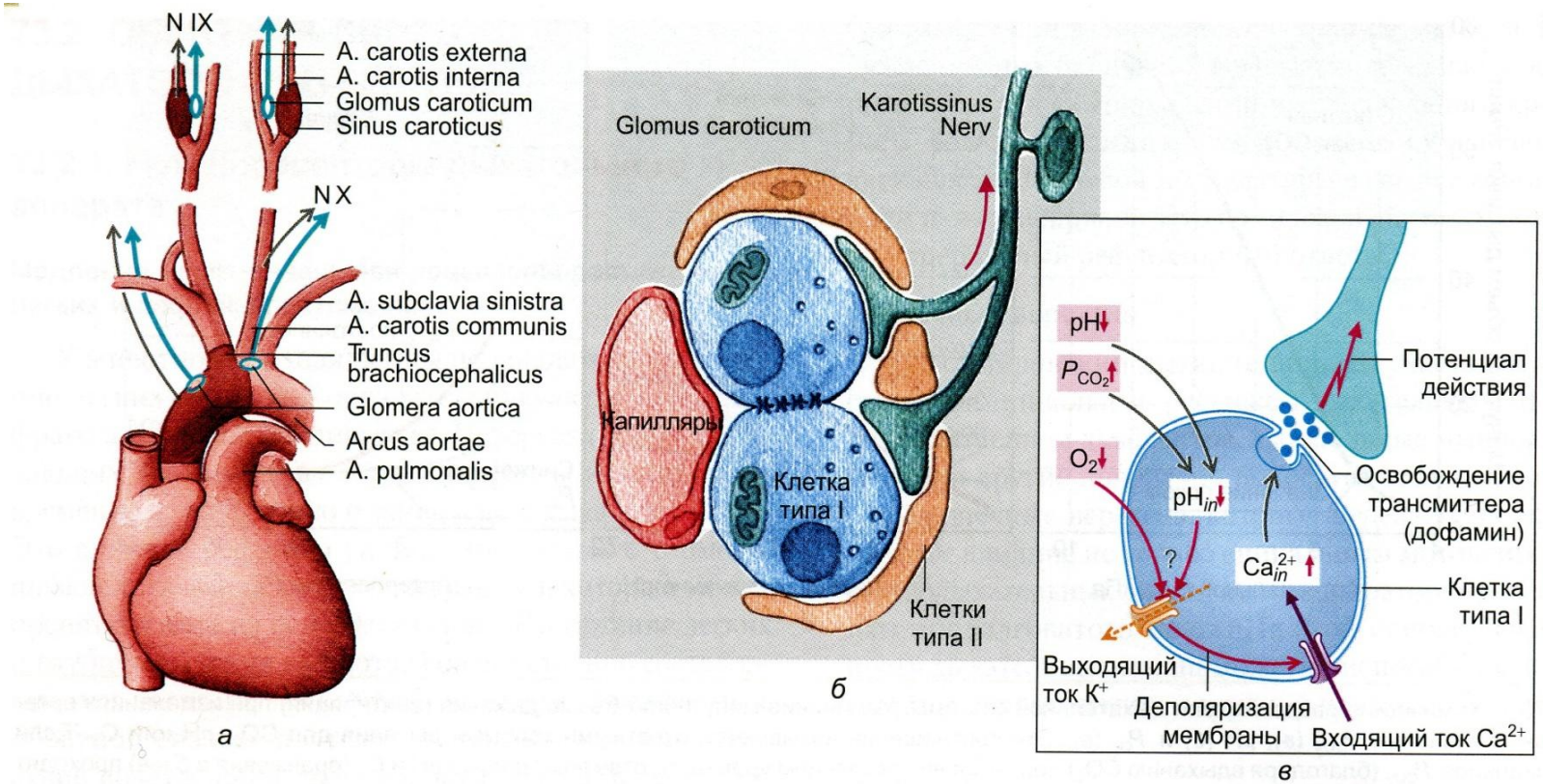



Рис. 73.3. Периферические хеморецепторы. (*а*) Каротидные тельца (glomera carotica) в месте разветвления сонной артерии получают кровь из наружной сонной артерии (a. carotis externa) и иннервируются языкоглоточным нервом (IX пара) (n. glossopharyngeus — N IX). По аортальным тельцам (glomera aortica) циркулирует кровь из аорты, и они иннервируются ветвями n. vagus (N X). Прессорецепторные области в области сонной артерии (sinus caroticus) и дуге аорты обозначены темно-коричневым цветом. (*б*) Показаны две клетки типа I с их синапсами на афферентных волокнах синусного нерва сонной артерии, причем обе окутаны глиаподобными клетками типа II и имеют тесный контакт с открытыми капиллярами. (*в*) Схематически представлены механизмы передачи сигнала с помощью трансмиттера (подробнее в тексте)

# хеморецепторы

Реакция этих хеморецепторов бывает чрезвычайно быстрой: частота импульсации от них может изменяться даже в ходе дыхательного цикла в результате небольших колебаний концентраций дыхательных газов в крови. Именно активностью периферических хеморецепторов объясняется увеличение вентиляции, наступающее у человека при артериальной гипоксемии. И напротив, в их отсутствие при тяжелой гипоксемии происходит угнетение дыхания, очевидно, вследствие непосредственного влияния на дыхательные центры. У больных с двусторонним удалением каротидных телец гипоксия совершенно не влияет на дыхание.

В количественном отношении гораздо большую роль играет реакция на изменение $P_{CO_2}$ артериальной крови центральных, а не периферических хеморецепторов. Так, если здоровый человек вдыхает газовую смесь, содержащую $CO_2$, активизация периферических хеморецепторов обусловливает изменение дыхания менее чем на 20 %. Однако скорость реагирования их выше, и они, по-видимому, важны для приспособления вентиляции к внезапным изменениям $P_{CO_2}$.

У человека на снижение pH артериальной крови реагируют именно каротидные, а не аортальные тельца.

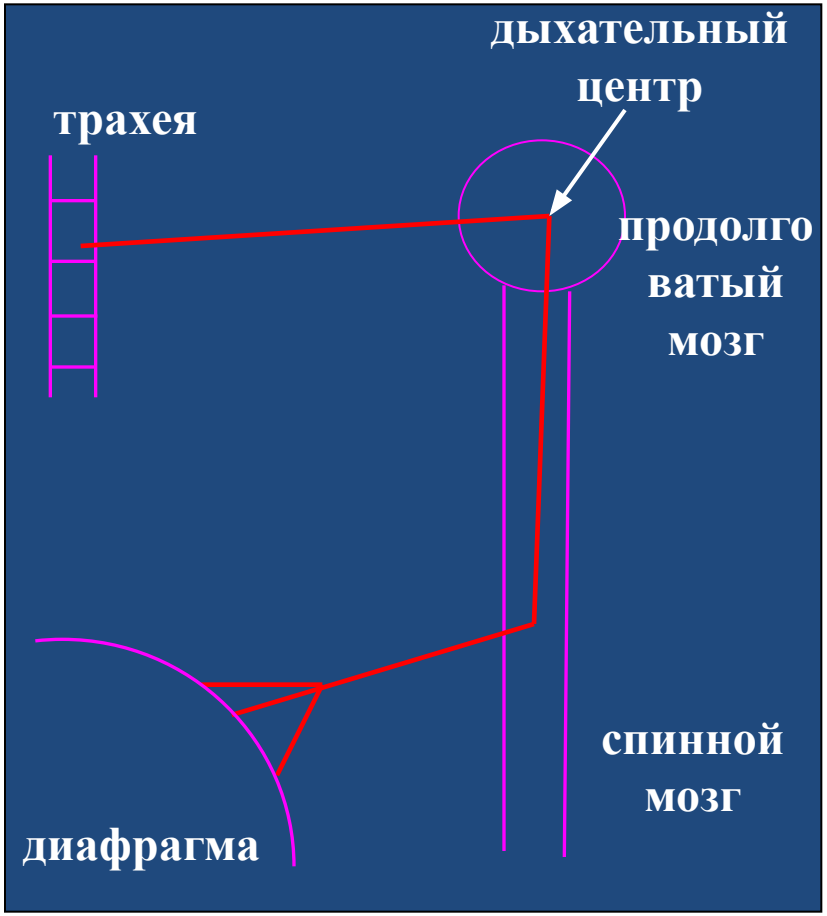
Такая реакция не зависит от того, в результате каких — дыхательных или метаболических — процессов изменился pH. Наблюдается взаимодействие различных раздражителей, стимулирующих хеморецепторы. Так, активизация их в ответ на снижение $P_{O_2}$ артериальной крови усиливается при повышении $P_{CO_2}$, а в случае каротидных телец — и при понижении pH.

# Особенности регуляции дыхательной функции

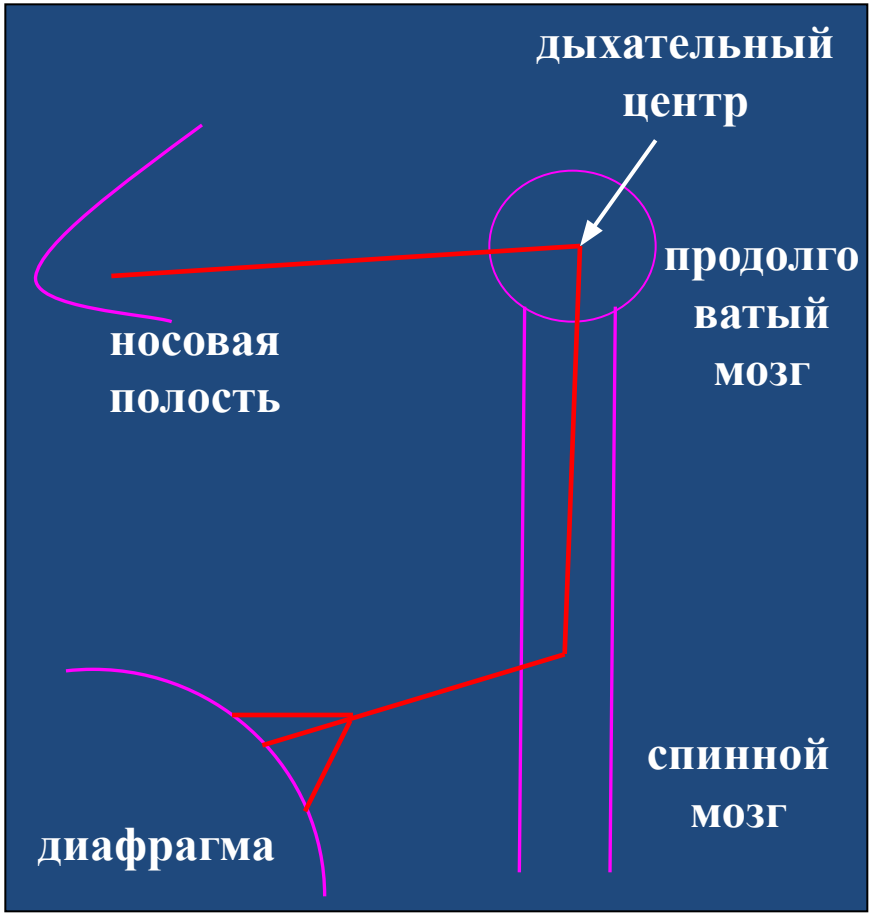
- На работу дыхательного центра кроме импульсов от хемо- и механорецепторов оказывают влияние термические, зрительные, слуховые и др. соматические раздражители.
- Дыхательные нейроны чувствительны к действию нейромедиаторов и гормонов.
- Дыхание – это автономная вегетативная функция, которая может поддаваться произвольному управлению.
- Центральная нервная система может изменять параметры дыхательного ритма при реализации других функций организма: физическая нагрузка, глотание, жевание, голосообразование и т.д.
- Дыхание меняет параметры при осуществлении защитных рефлексов: рвота, кашель.
- Высшие отделы мозга позволяют регулировать дыхание при эмоциональной, психической и интеллектуальной нагрузках.

# Дыхательные рефлексы

## КАШЕЛЬ




## ЧИХАНИЕ



# Кашель.

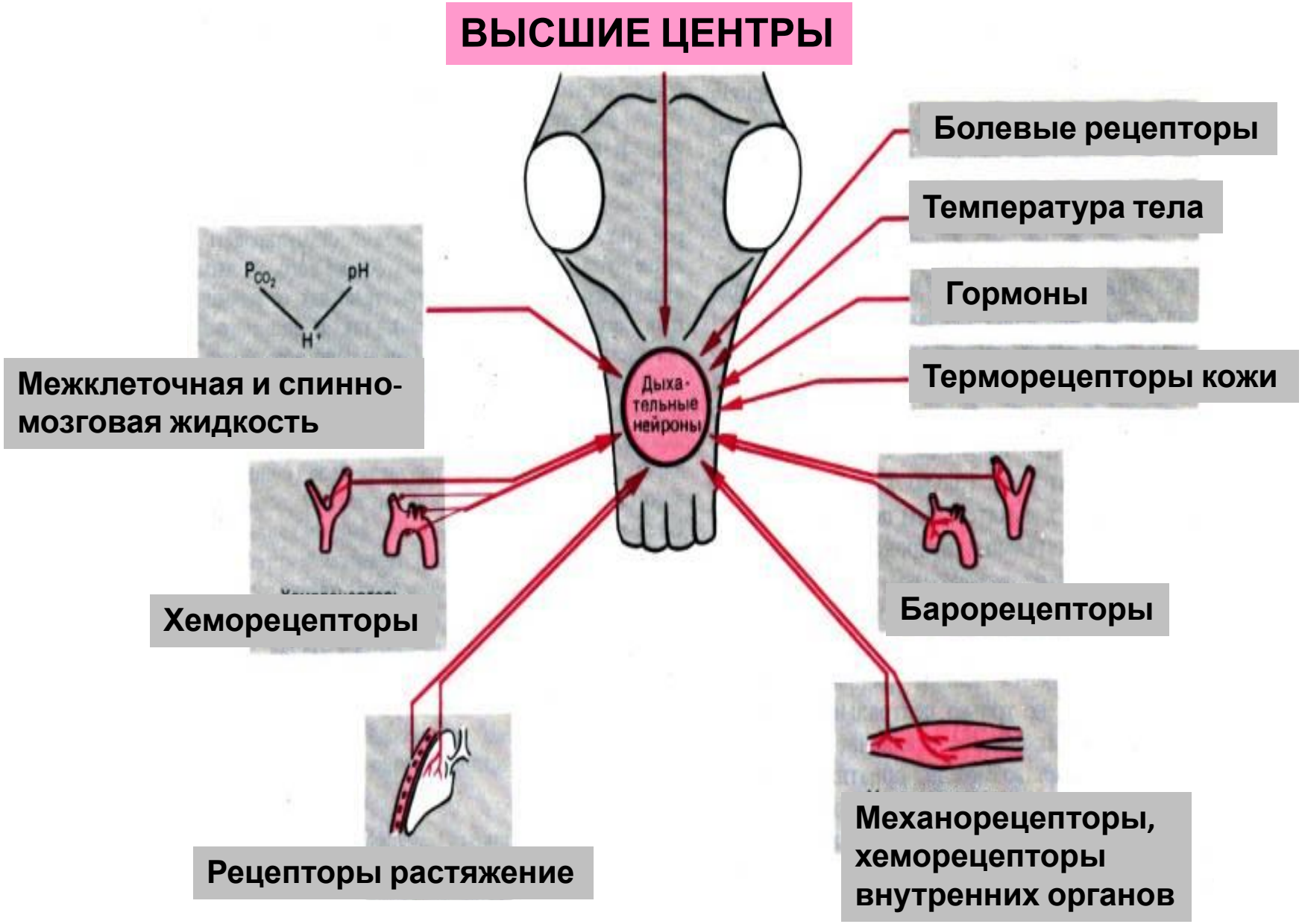
Кашель  представляет собой сложнорефлекторный акт, в котором участвует ряд механизмов (повышение внутригрудного давления за счет напряжения дыхательной мускулатуры, изменения просвета голосовой щели т.д.) и который при заболеваниях органов дыхания обусловлен обычно раздражением рецепторов дыхательных путей и плевры. Кашель встречается при различных заболеваниях дыхательной системы - ларингитах, трахеитах, острых и хронических бронхитах, пневмониях и др. Он может быть связан также с застоем крови в малом кругу кровообращения (при пороках сердца), а иногда имеет центральное происхождение.

Кашель бывает сухим или влажным и выполняет часто защитную роль, способствуя удалению содержимого из бронхов (например, мокроты). Однако сухой, особенной мучительный кашель, утомляет больных и требует применения отхаркивающих (препараты термопсиса, и пекакуаны) и противокашлевых средств (либексин, глауцин и др.). В таких случаях больным целесообразно рекомендовать теплое щелочное тепло (горячее молоко с боржомом или с добавлением ? чайной ложки соды), банки, горчичники).

Нередко кашель сопровождается выделением мокроты: слизистой, бесцветной, вязкой (например, при бронхиальной астме), слизисто-гнойной (при бронхопневмонии), гнойной (при прорыве абсцесса легкого в просвет бронха).

Лимбическая система мозга
Обонятельная луковица
Полость носа
Аромат
Обонятельные нейроны

Деятельность всей совокупности нейронов, образующих дыхательный центр, необходима для сохранения нормального дыхания. Однако в процессах регуляции дыхания принимают участие также вышележащие отделы центральной нервной системы, которые обеспечивают тонкие приспособительные изменения дыхания при различных видах деятельности организма. Важная роль в регуляции дыхания принадлежит большим полушариям головного мозга и их коре, благодаря которой осуществляется приспособление дыхательных движений при разговоре, пении, спорте и трудовой деятельности.


ВЫСШИЕ ЦЕНТРЫ
Болевые рецепторы
Температура тела
Гормоны
Терморецепторы кожи
Дыха-
тельные
нейроны
Межклеточная и спинно-
мозговая жидкость
Хеморецепторы
Барорецепторы
Рецепторы растяжение
Механорецепторы,
хеморецепторы
внутренних органов

# 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 $см^3$.
- 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 $см^3$.
- 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 $см^3$.

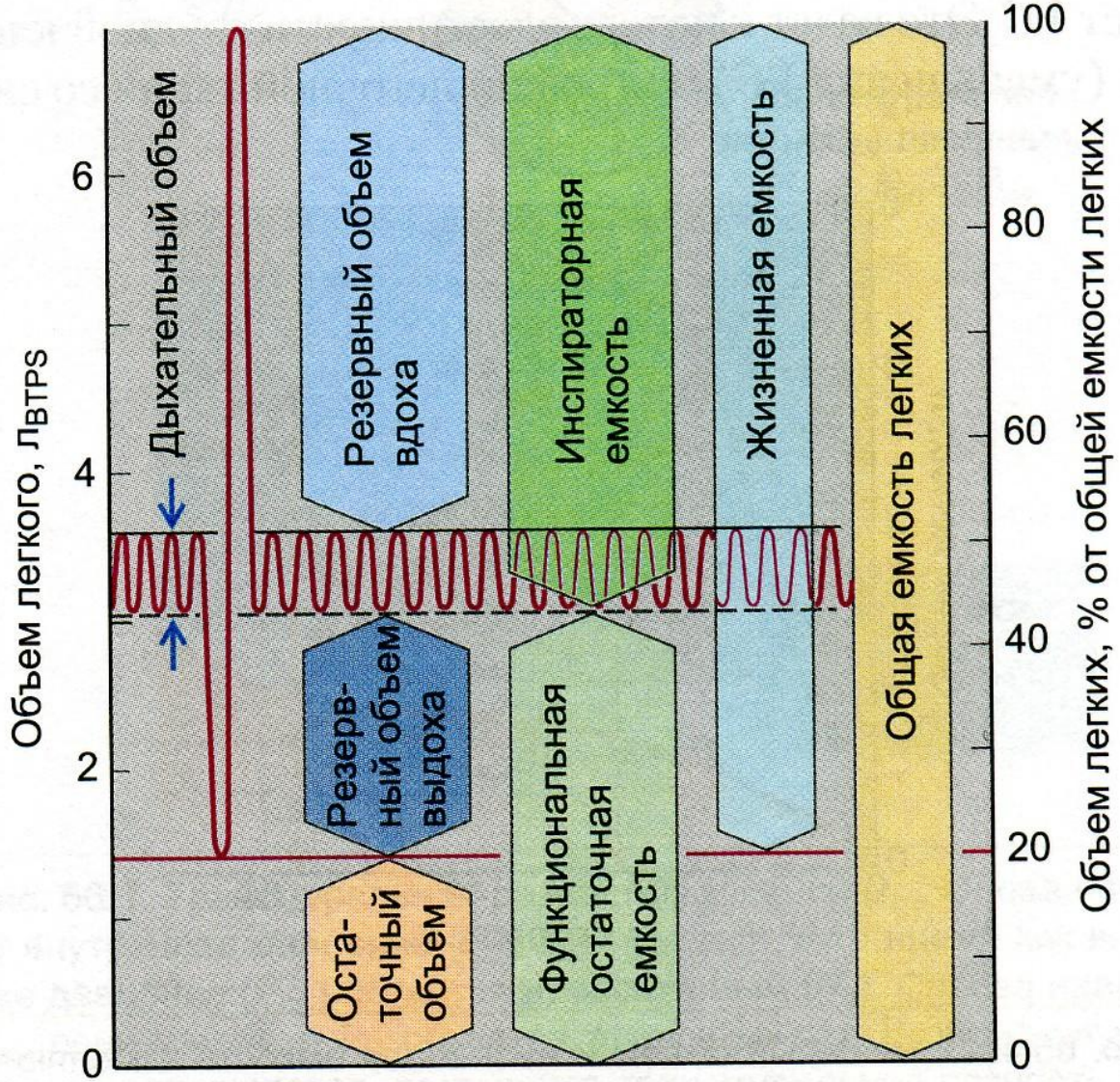


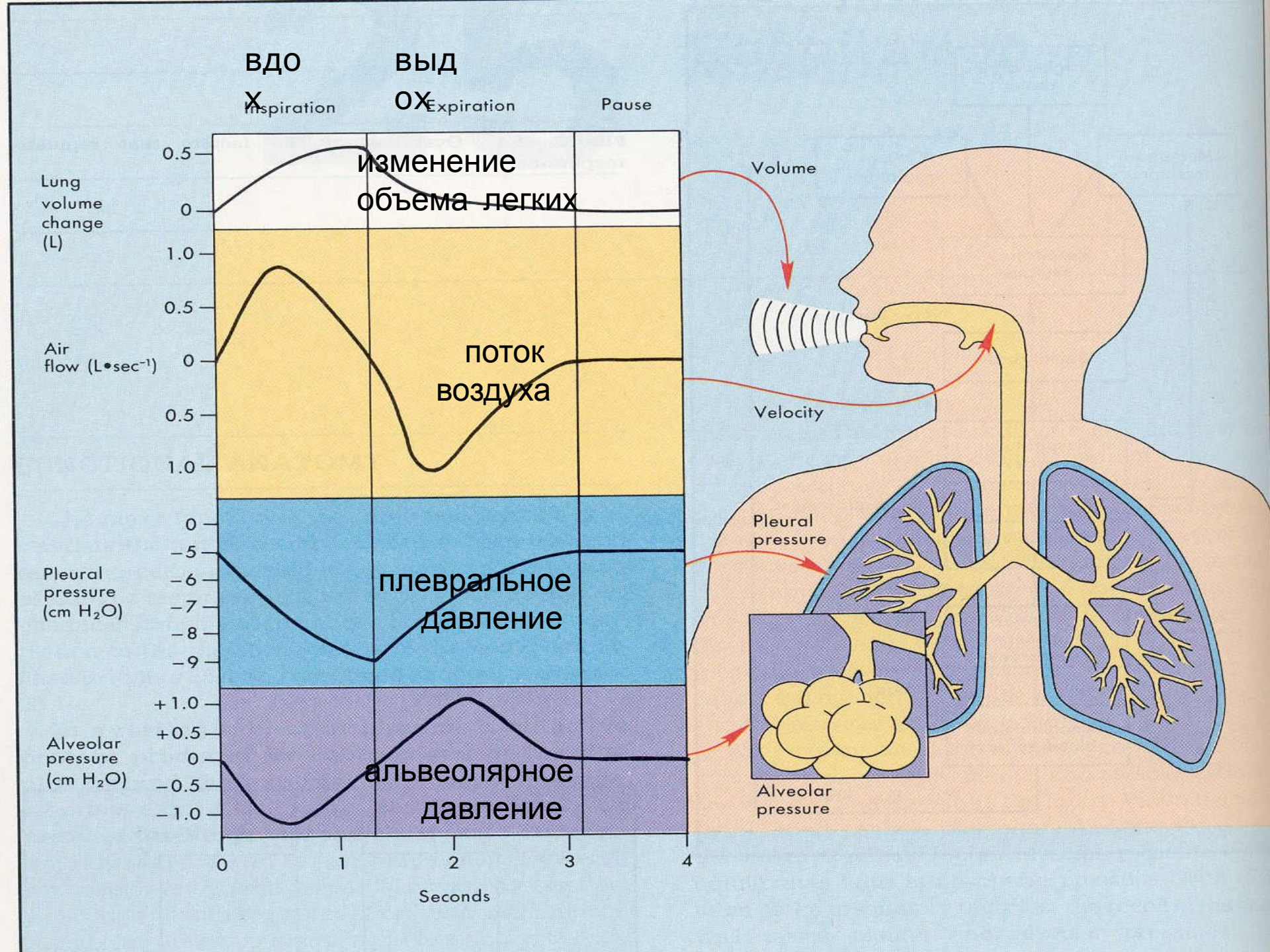

Рис. 65.3. Легочные объемы. Из спирометрических измерений (см. рис. 65.1) и измерения остаточного объема (см. рис. 65.2) получаются легочные объемы. Левая ордината: абсолютное значение для здорового легкого молодого мужчины; правая ордината: объемы легкого в процентах общей емкости легкого (см. также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


вдох
выдох
Inspiration
Expiration
Pause
Lung volume change (L)
0.5
0
изменение объема легких
Air flow (L•sec⁻¹)
1.0
0.5
0
0.5
1.0
поток воздуха
Pleural pressure (cm H₂O)
0
−5
−6
−7
−8
−9
плевральное давление
Alveolar pressure (cm H₂O)
+1.0
+0.5
0
−0.5
−1.0
альвеолярное давление
0
1
2
3
4
Seconds
Volume
Velocity
Pleural pressure
Alveolar pressure

- **Все многообразие приспособительных изменений параметров дыхания (частоты, глубины, ритма и паттерна) осуществляется единой дыхательной нейронной сетью ствола мозга и обусловлено переработкой поступающих в нее сигналов различных модальностей из центра и периферии, их интеграцией и формированием адекватной команды к исполнительным органам дыхательной системы.**