Физиология Дыхательной Системы

Лаборатория полисистемных исследований

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)

Транспортная система дыхания

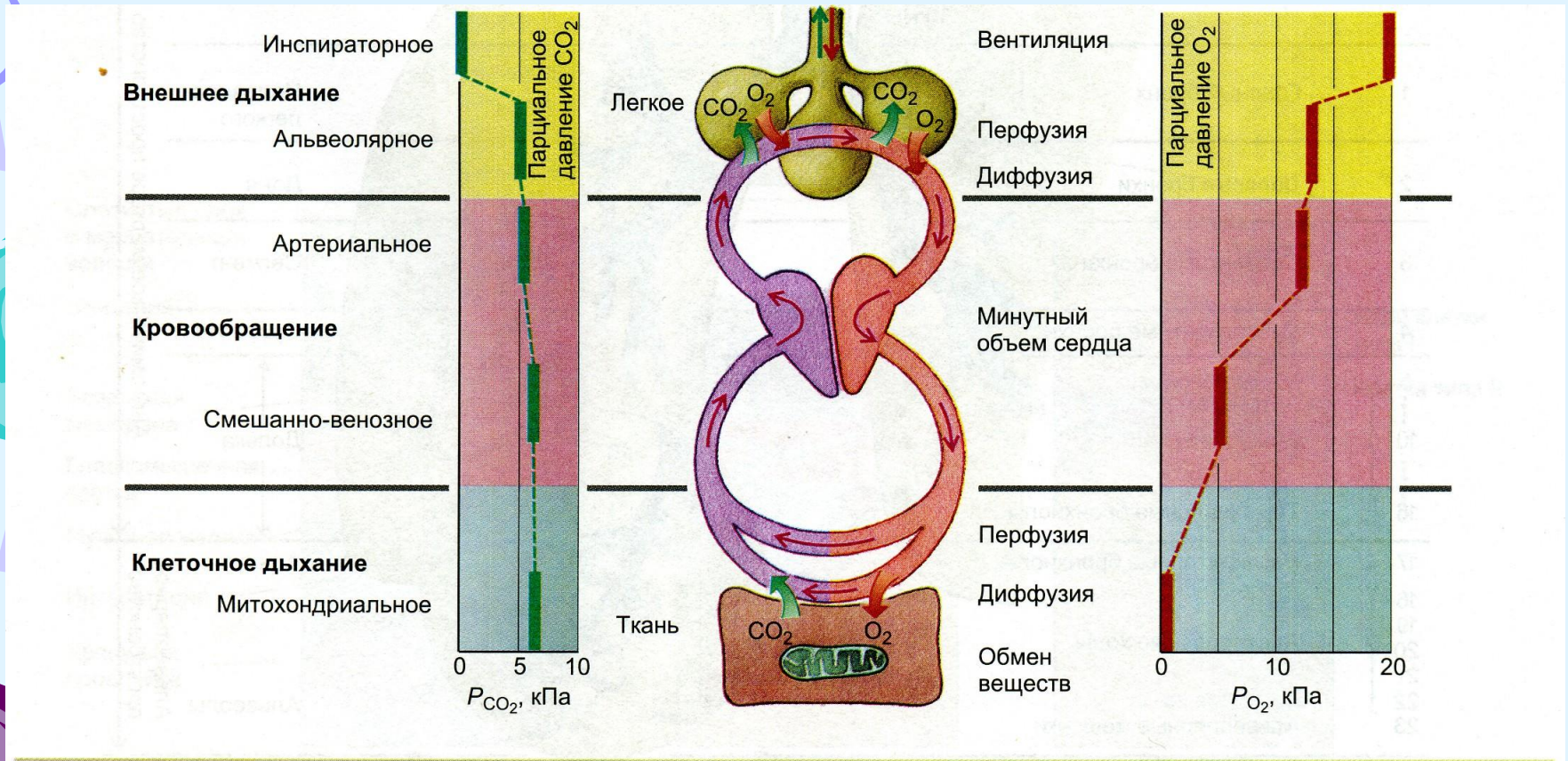


Рис. 63.1. Транспортная система дыхания, включающая системы внешнего дыхания, кровообращения и клеточного дыхания. Важнейшими составляющими транспортной системы для внешнего дыхания являются вентиляция, диффузия и перфузия; для кровообращения — сердечно-временной (минутный) объем (и транспортные свойства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

Главная функция внешнего дыхания заключается в поддержании оптимального газового состава артериальной крови. Эта функция выполняется не только в обычных условиях окружающей среды, но и в широком диапазоне изменений жизнедеятельности организма.

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

- Носовая полость
- Носоглотка
- Гортань
- Трахея
- Бронхи (2 главных; бронхи 2,3-19 порядков; самые тонкие бронхи - бронхиолы переходят в анциусы-грозди)
- Легкие - парные органы (правое – 3 дольки, левое - 2) образованы бронхиолами и альвеолами

Воздухоносные пути

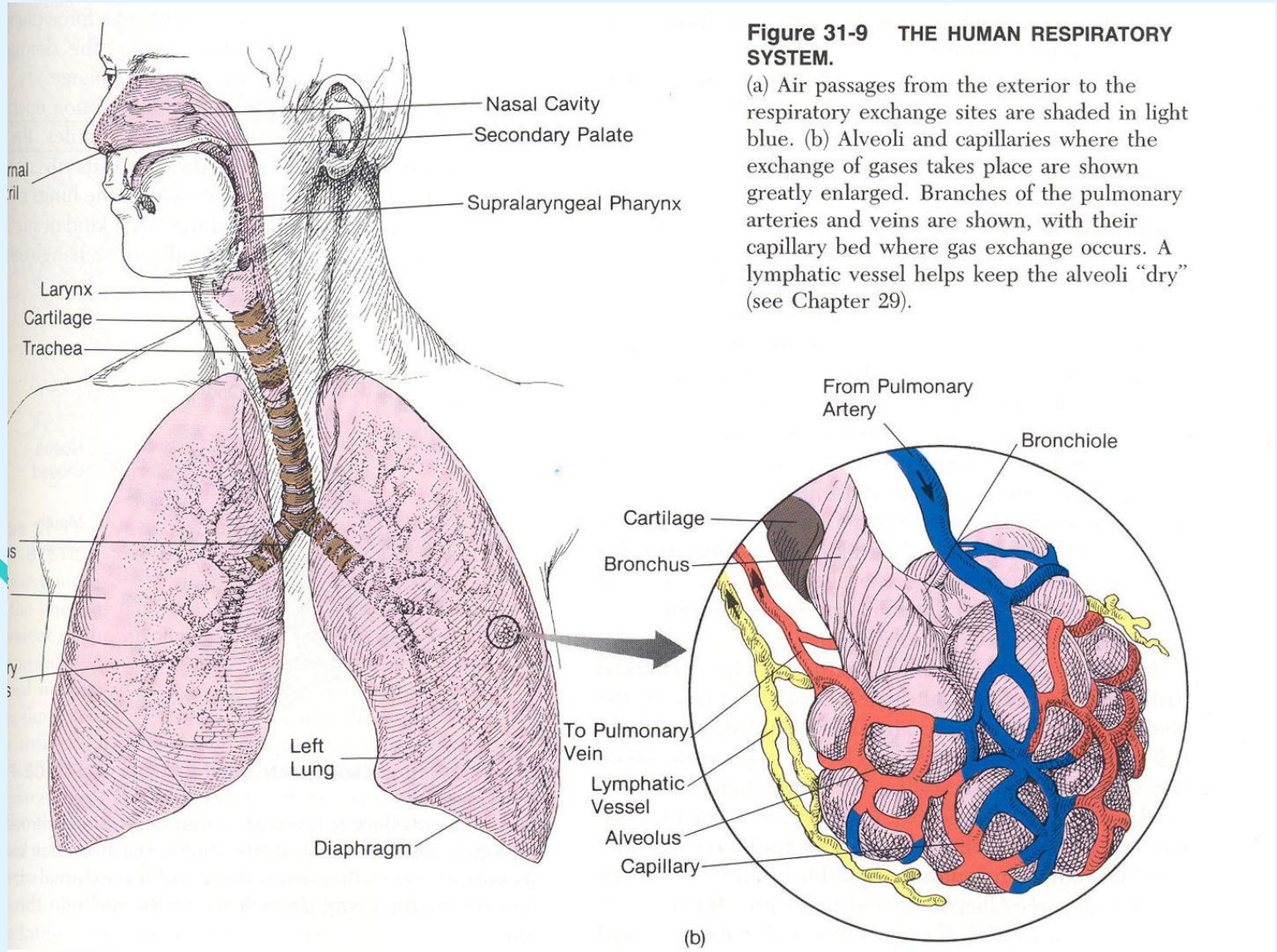


Figure 31-9 THE HUMAN RESPIRATORY SYSTEM.
(a) Air passages from the exterior to the respiratory exchange sites are shaded in light blue. (b) Alveoli and capillaries where the exchange of gases takes place are shown greatly enlarged. Branches of the pulmonary arteries and veins are shown, with their capillary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

Разветвление дыхательных путей

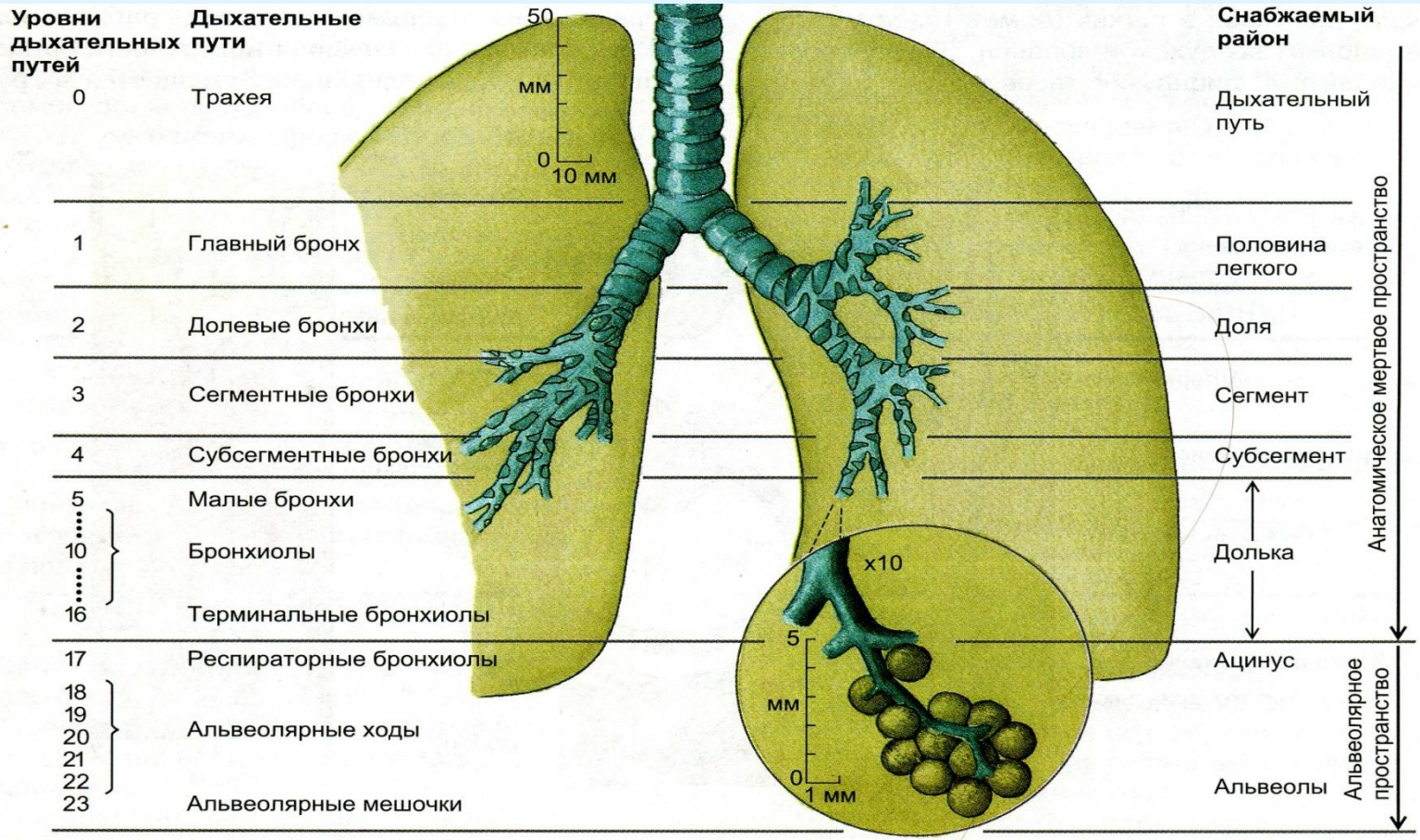
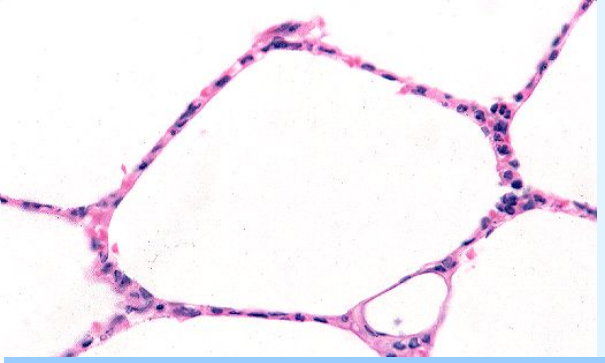
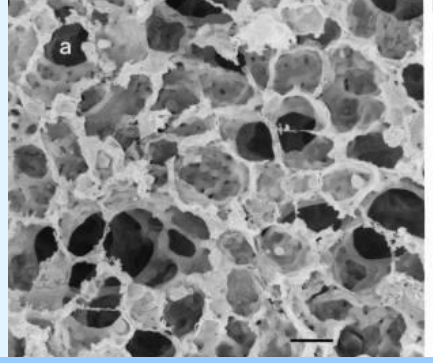
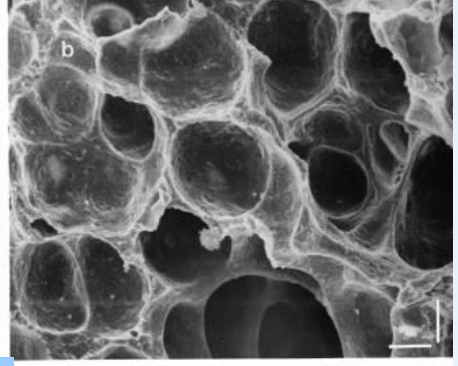
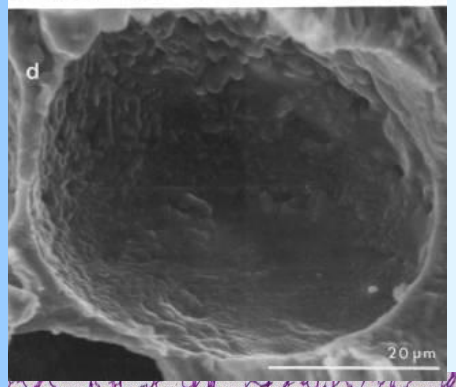


Рис. 63.3. Разветвление дыхательных путей. Ацинус — область дыхательных путей, состоящая из терминальных бронхиол, которые несут альвеолы. Проксимально лежащие дыхательные пути выполняют воздухопроводящую функцию (анатомическое мертвое пространство). Следует обратить внимание на десятикратно увеличенный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

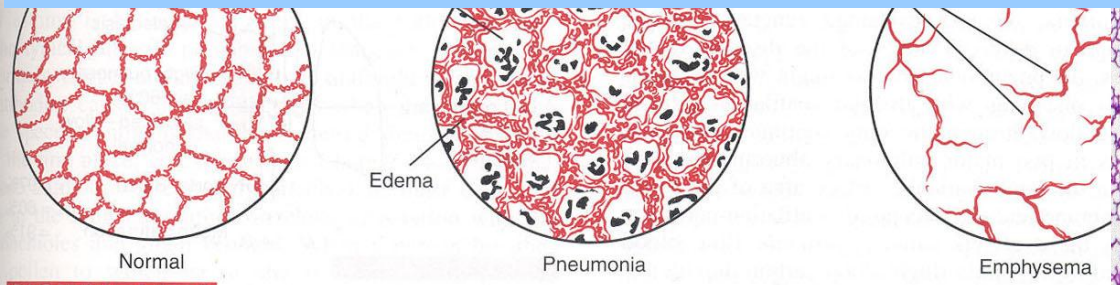
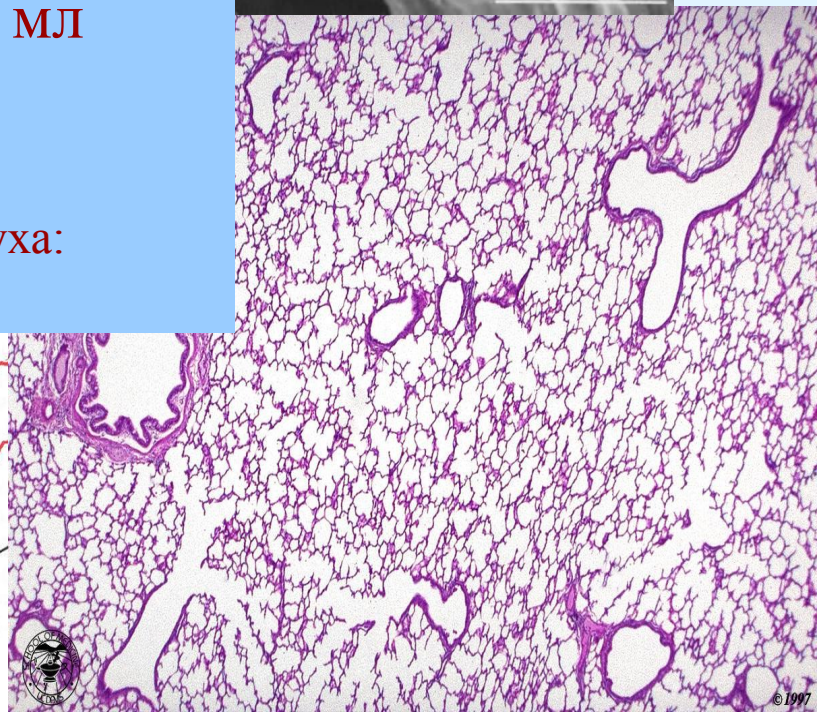


FIGURE 42–5

Pulmonary changes in pneumonia and emphysema.



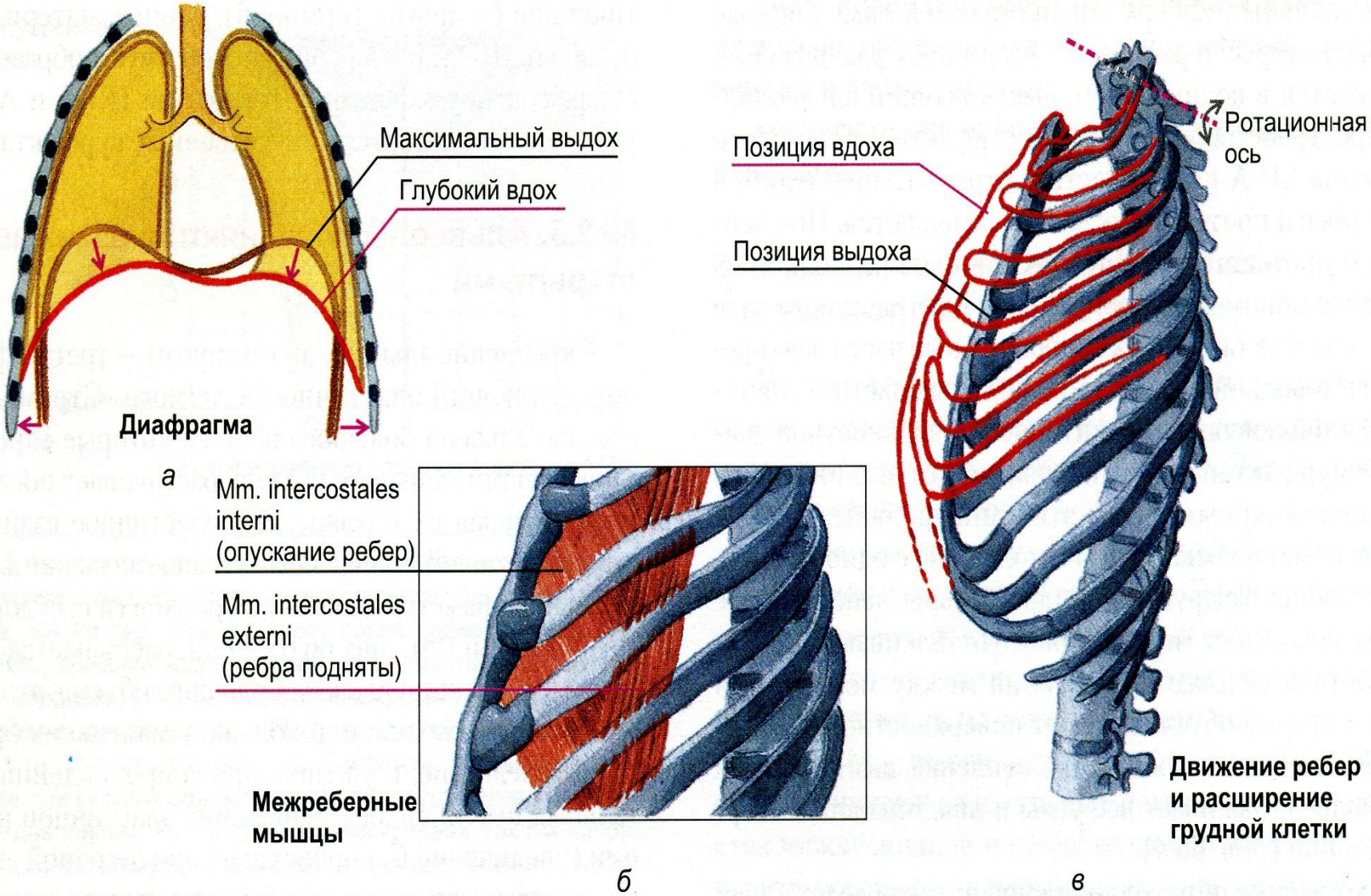


Рис. 66.5. Действие дыхательных мышц. (*а*) При движении вниз диафрагмы грудная клетка увеличивает свой объем. Одновременно это движение вниз вызывает поднятие нижних краев ребер, что существенно расширяет пространство грудной клетки. (*б*) Под влиянием импульсов из ЦНС наружные межреберные мышцы (mm. 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

Данная копия предназначена для ознакомления с материалом

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

↓

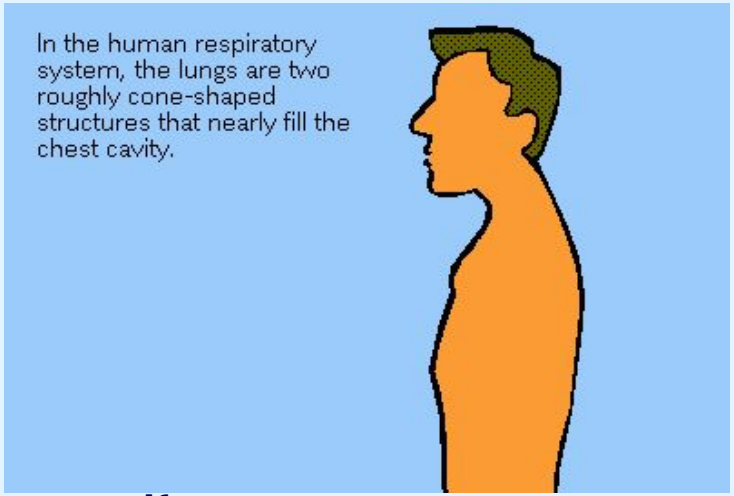
Опускание концов ребер и грудины, подъем купола диафрагмы

↓

Сокращение грудной клетки и объема легких

↓

ВЫДОХ (пассивный в норме)



Кликнуть по картинке

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 $см^3$.

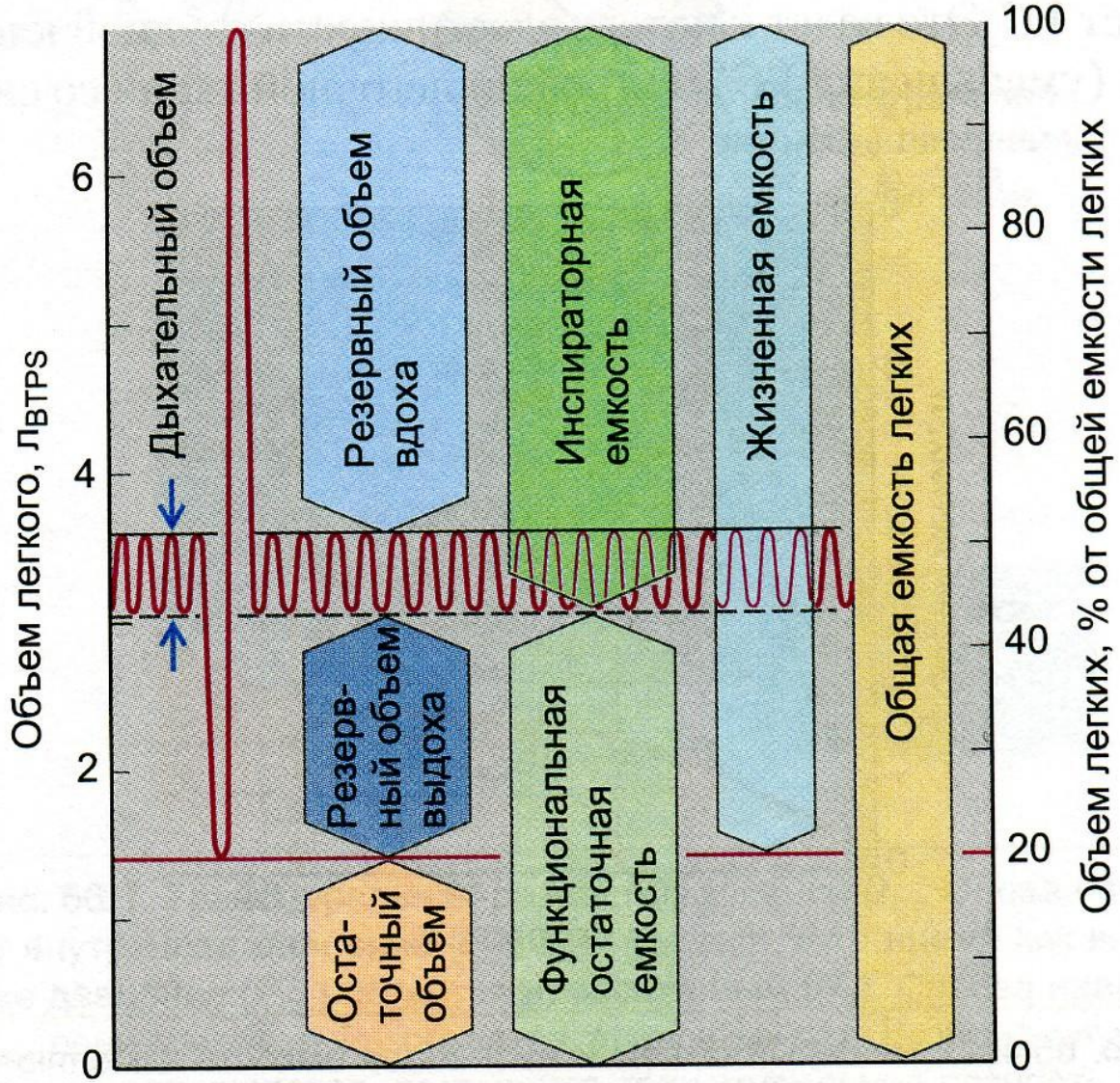


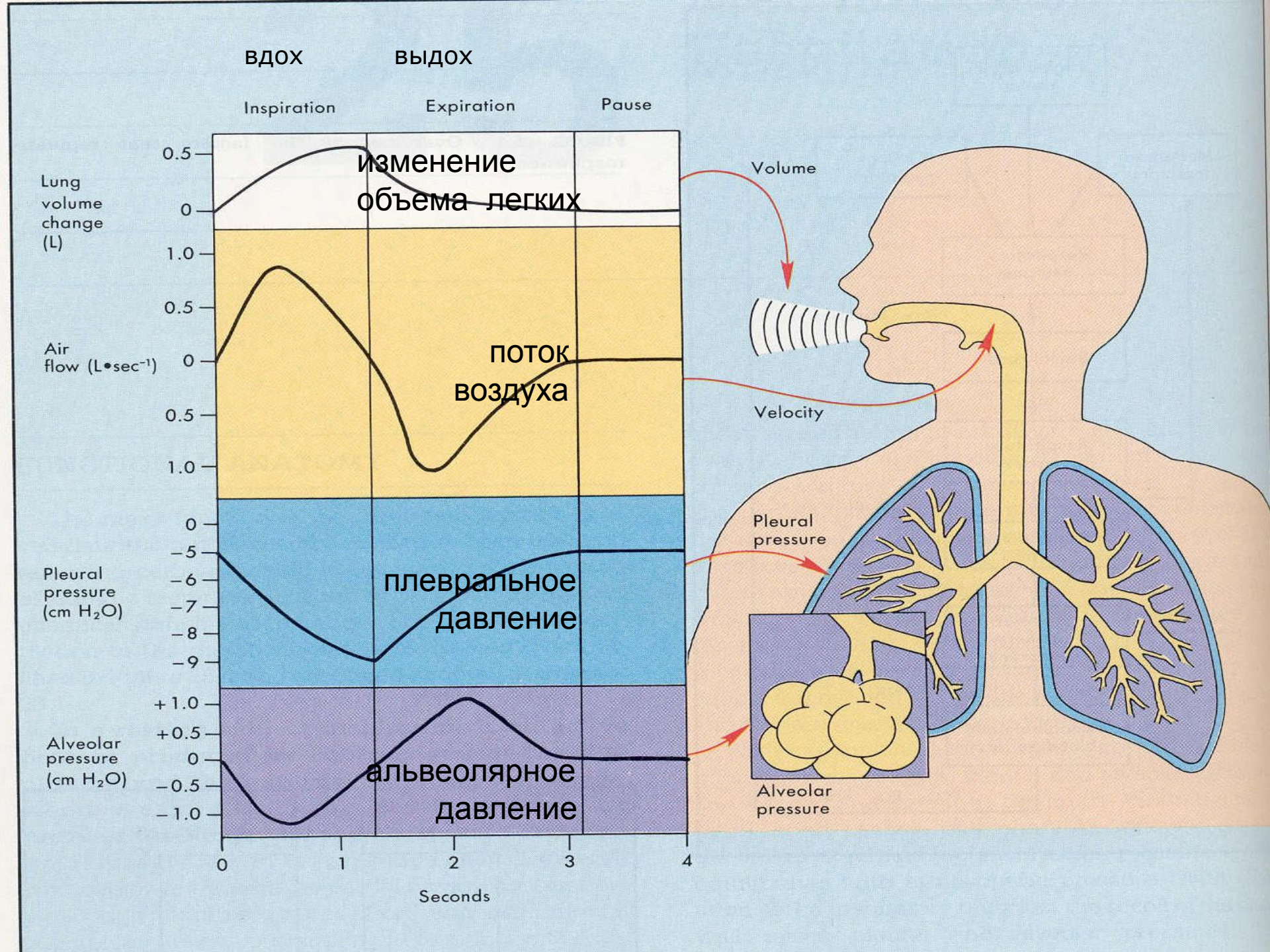
Рис. 65.3. Легочные объемы. Из спирометрических измерений (см. рис. 65.1) и измерения остаточного объема (см. рис. 65.2) получаются легочные объемы. Левая ордината: абсолютное значение для здорового легкого молодого мужчины; правая ордината: объемы легкого в процентах общей емкости легкого (см. также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

ГАЗООБМЕН

- Обмен газов между воздухом и кровью происходит путем диффузии через альвеоло-капиллярный барьер под влиянием разницы парциальных давлений между альвеолярным воздухом и кровью, поступающей в легочные капилляры.
- Кислород и углекислый газ далее транспортируются по всему большому кругу кровообращения.
- В мышцах или внутренних органах сосудистое русло вновь разделяется на капилляры, и происходит обратный процесс – диффузия кислорода и углекислого газа в обратном направлении, по градиенту парциальных давления. Из тканей выводится избыточное количество углекислого газа, а из эритроцитов крови в ткани поступает необходимое количество кислорода

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**

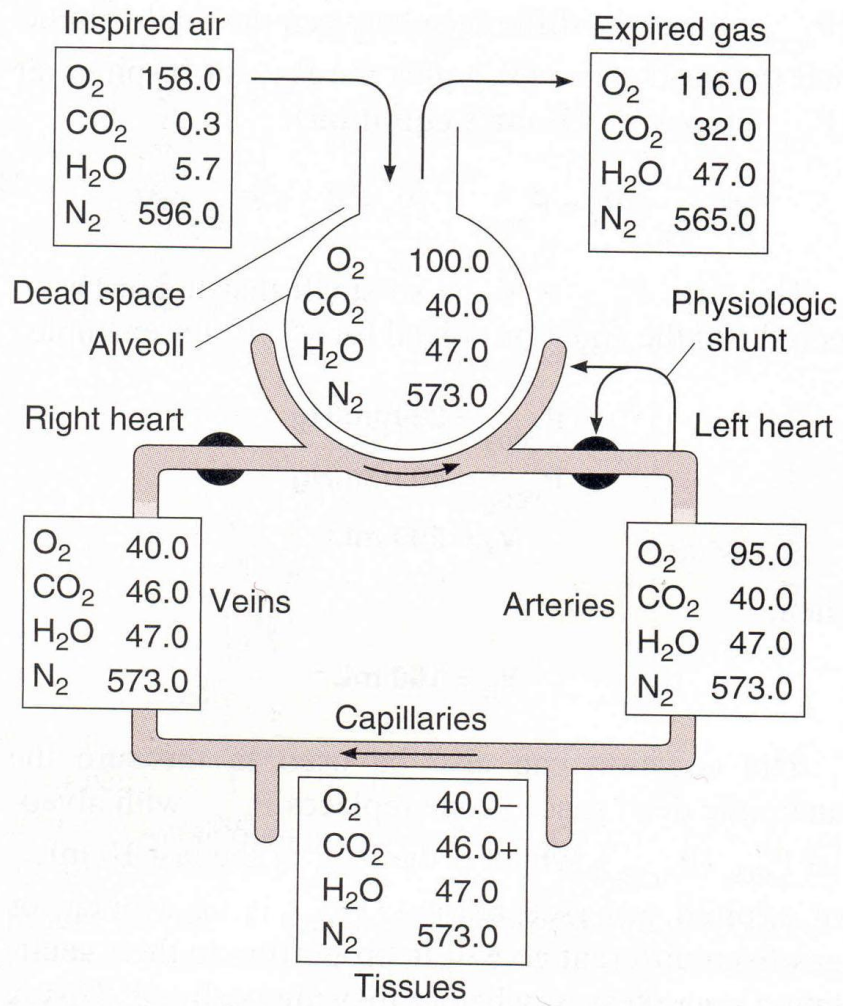


Figure 34–18. Partial pressures of gases (mm Hg) in various parts of the respiratory system and in the circulatory system.

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

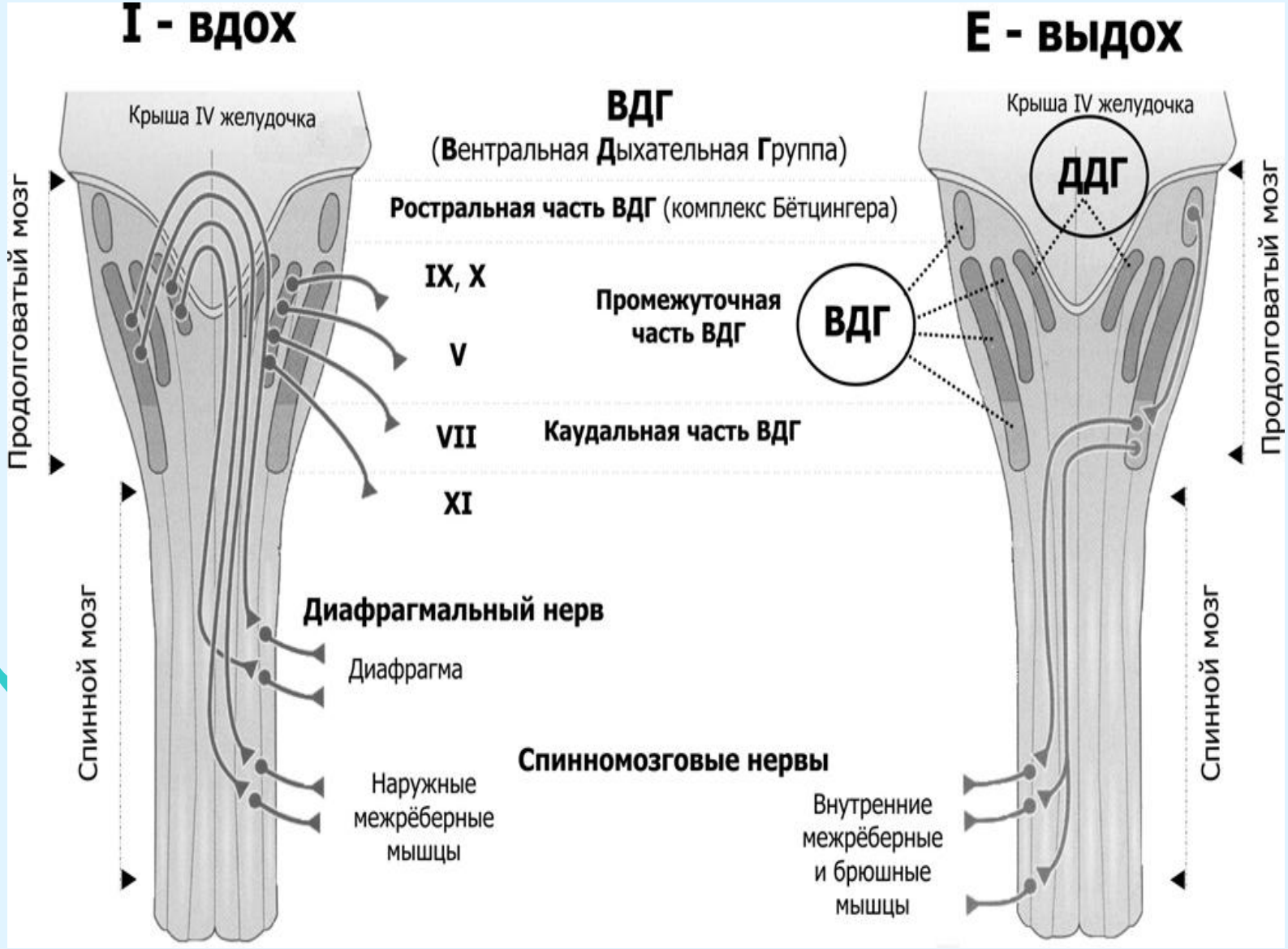
- Клеточным (тканевым) дыханием называют процесс, при котором окисление органических веществ ведет к выделению химической энергии. Не следует путать тканевое дыхание с газообменом в тканях. Газообмен (внешнее дыхание) – процесс поглощения из окружающей среды (в том числе тканевой жидкости) кислорода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

Центральным регулятором деятельности системы дыхания является дыхательный центр

- Понятие дыхательный центр включает в себя:
- Функциональный признак – способность регулировать работу дыхательной системы при разных условиях жизнедеятельности организма.
- Анатомический признак – структуры продолговатого мозга, формирующие дыхательный ритм.

Дыхательный центр

- 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.


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
Продолговатый мозг
Продолговатый мозг
Спинной мозг
Спинной мозг
Диафрагмальный нерв
Диафрагма
Спинномозговые нервы
Наружные межрёберные мышцы
Внутренние межрёберные и брюшные мышцы

Нейронный состав дыхательного центра

- 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.

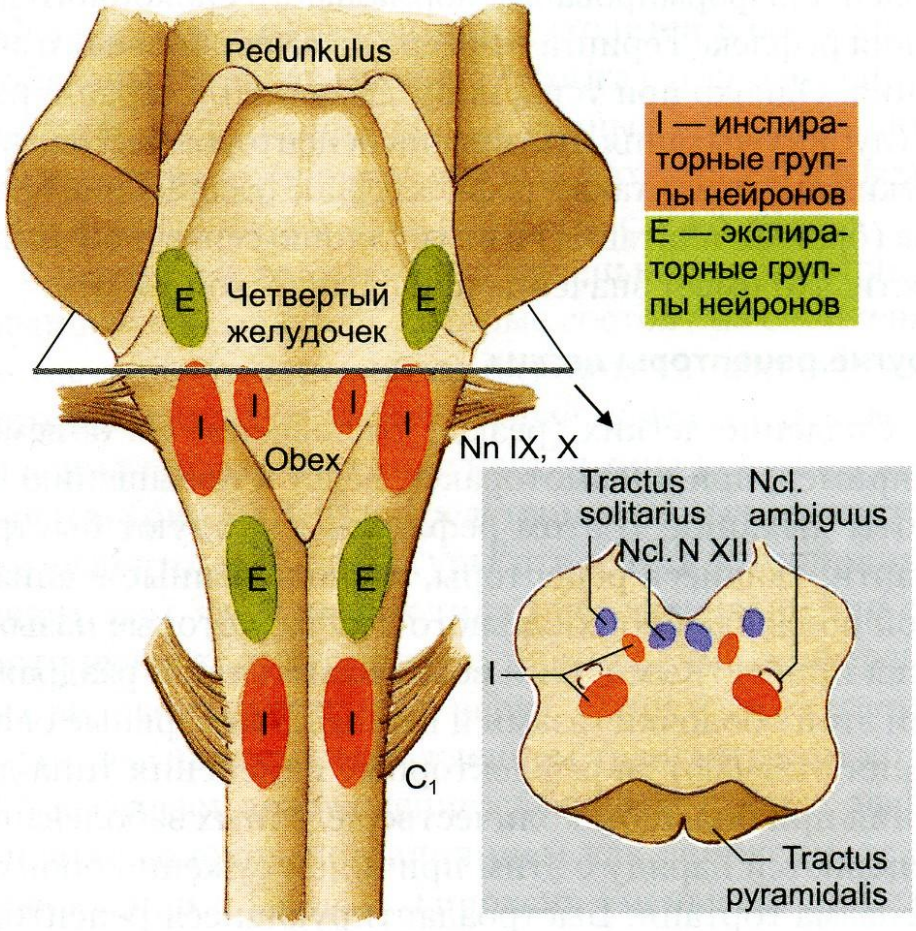


Рис. 73.1. Распределение респираторных нейронов в стволе мозга. Слева: вид на medulla oblongata после отделения малого мозга. Инспираторные (I, оранжевые) и экспираторные (E, зеленые) нейронные группы и их приблизительное расположение. В действительности они находятся внутри ретикулярной формации и их 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

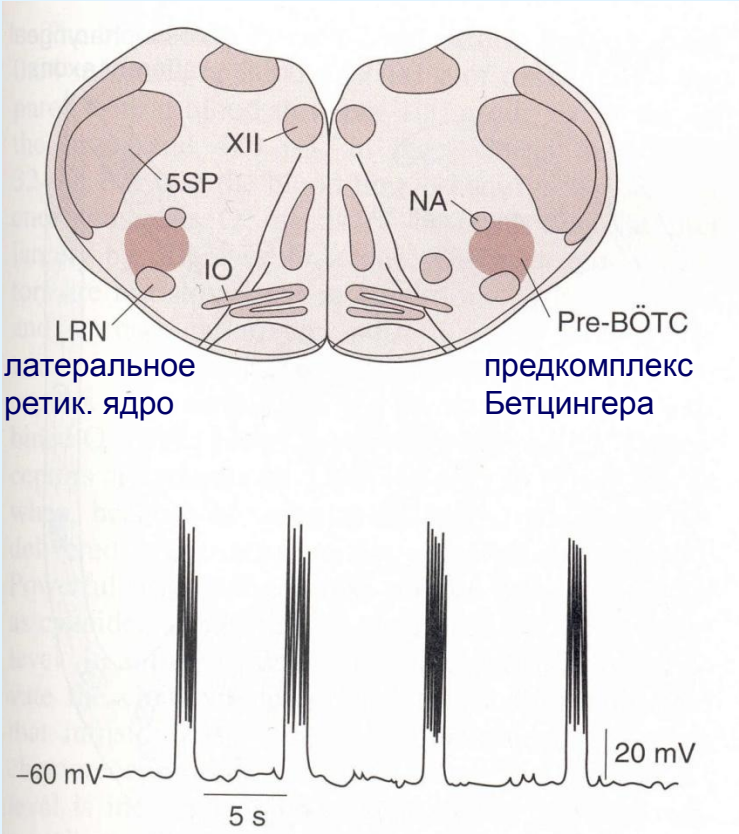


Figure 36–2. Rhythmic discharge (tracing below) of neurons in the pre-Böttzinger complex (shaded area, pre-BÖTC) in a brain slice from a neonatal rat. IO, inferior olive; LRN, lateral reticular nucleus; NA, nucleus ambiguus; XII, nucleus of 12th cranial nerve; 5SP, spinal nucleus of trigeminal nerve.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

- 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.

Дыхательная система включает два основных контура регулирования: хеморецепторный и механорецепторный

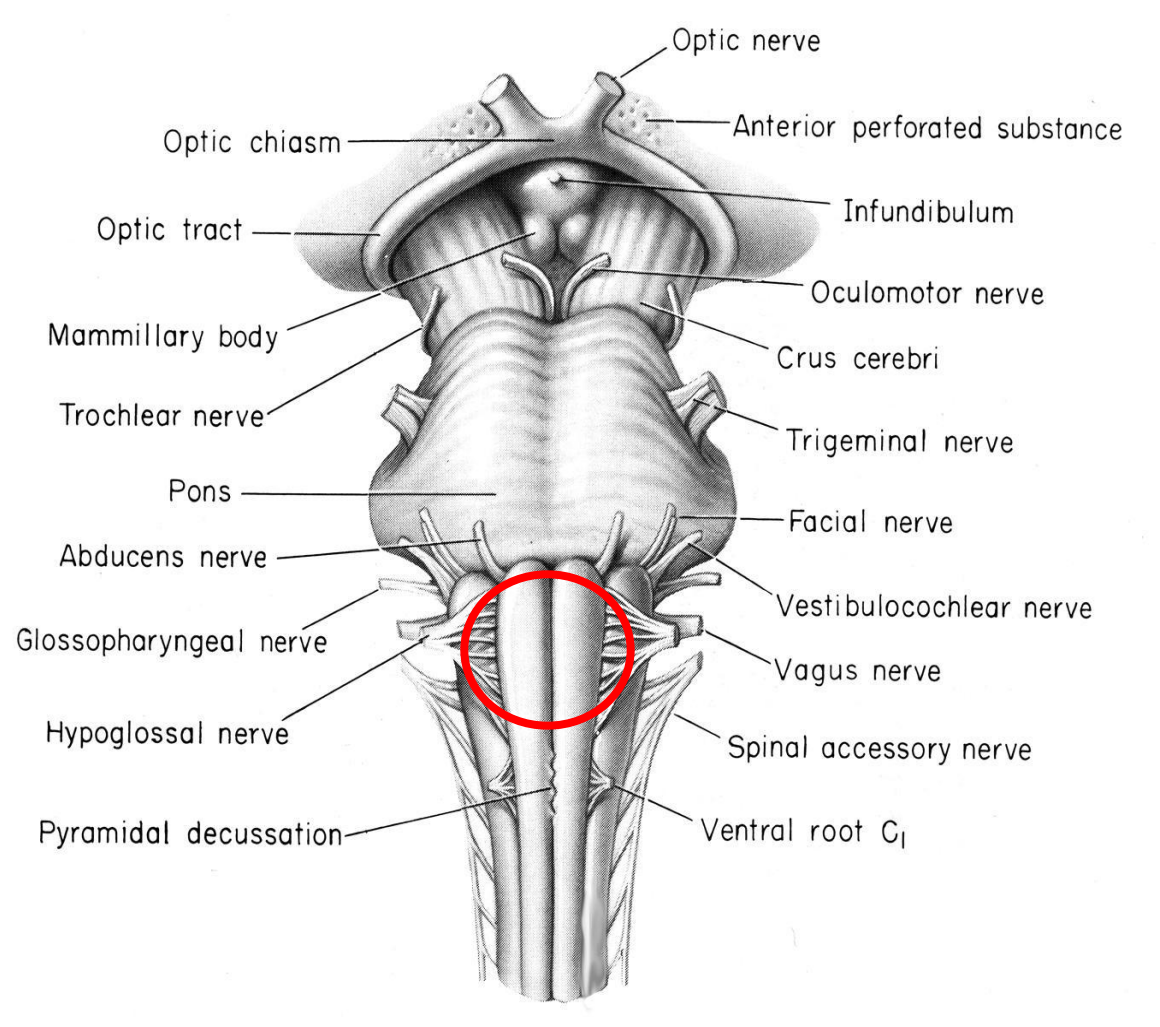
↓

- 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.



Периферические хеморецепторы

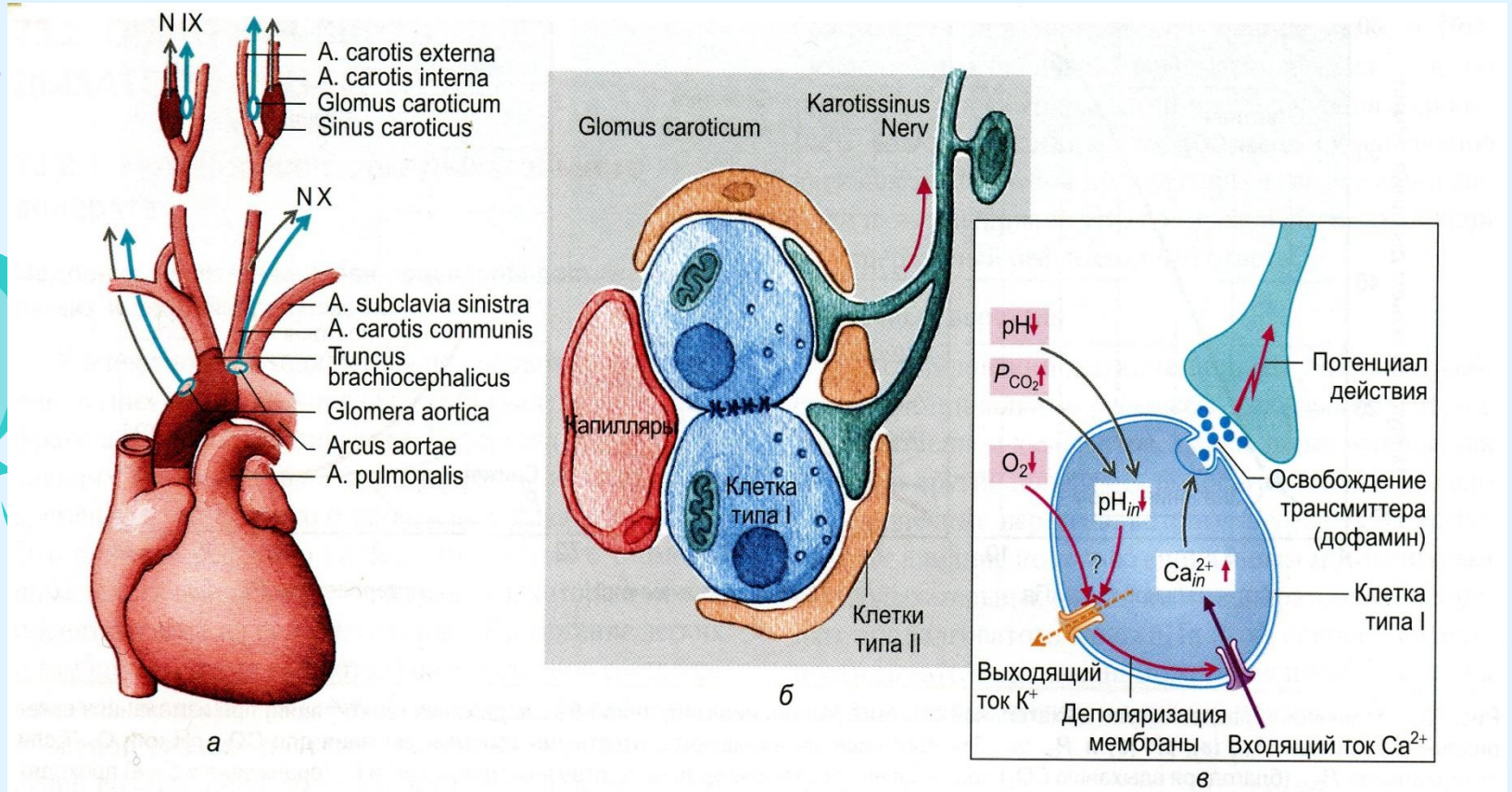
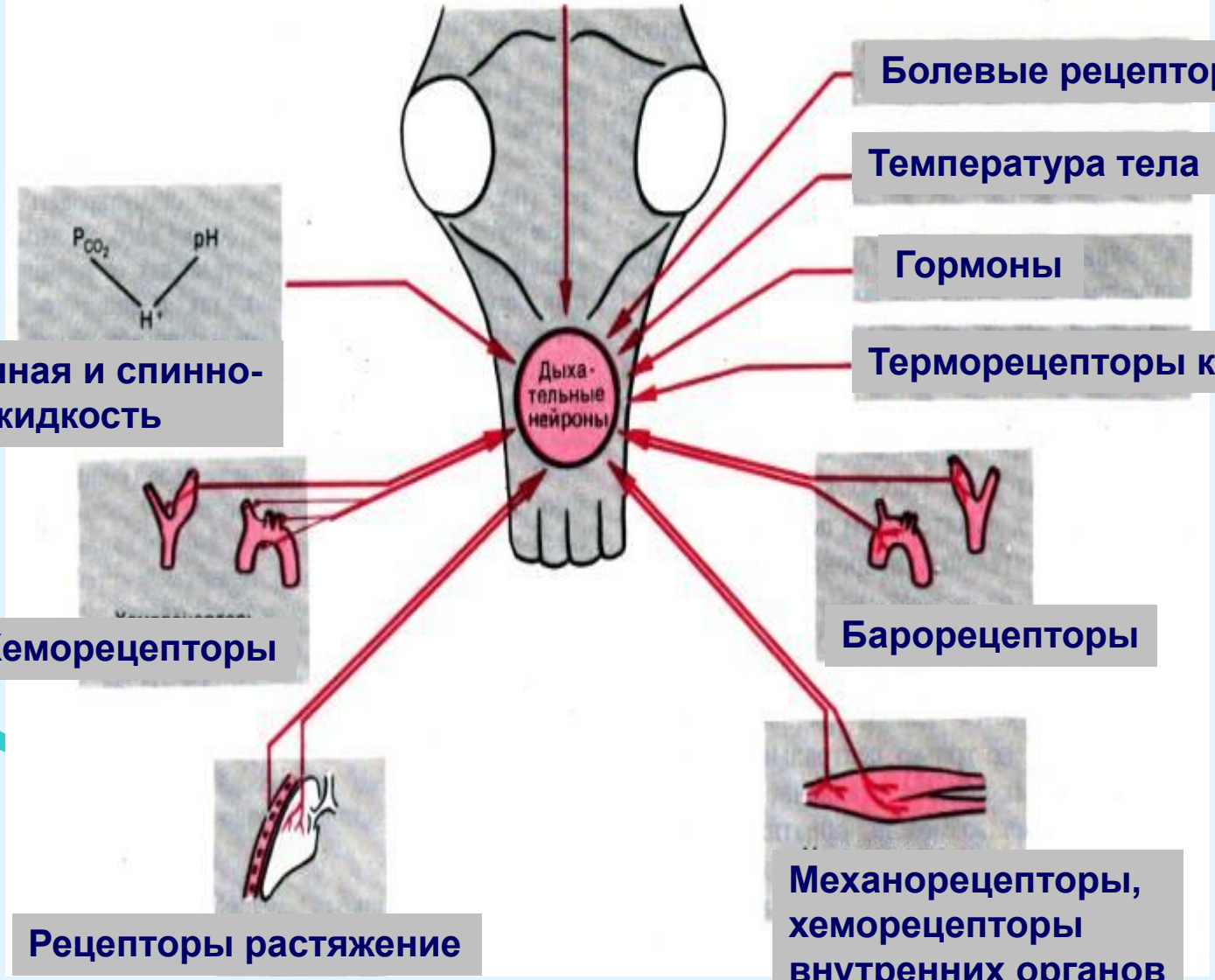


Рис. 73.3. Периферические хеморецепторы. (*а*) Каротидные тельца (glomera carotica) в месте разветвления сонной артерии получают кровь из наружной сонной артерии (a. carotis externa) и иннервируются языкоглоточным нервом (IX пара) (n. glossopharyngeus — N IX). По аортальным тельцам (glomera aortica) 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)

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.

ВЫСШИЕ ЦЕНТРЫ



Болевые рецепторы

Температура тела

Гормоны

Терморецепторы кожи

Межклеточная и спинно-мозговая жидкость

Хеморецепторы

Барорецепторы

Рецепторы растяжение

Механорецепторы, хеморецепторы внутренних органов

- 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.