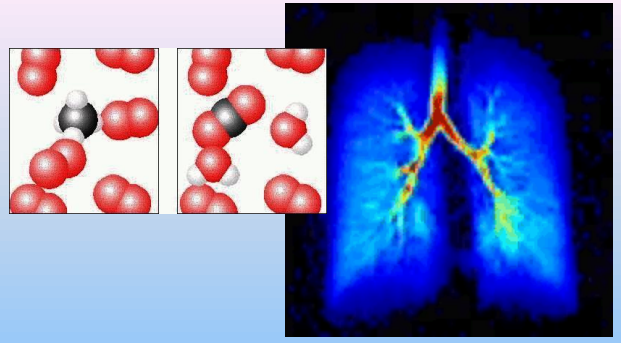
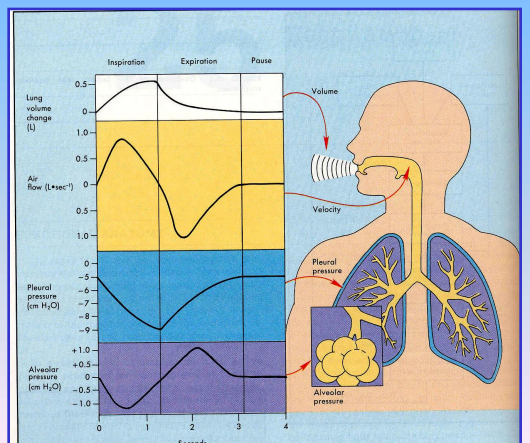
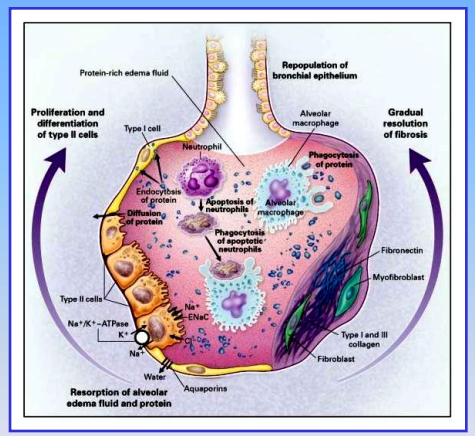
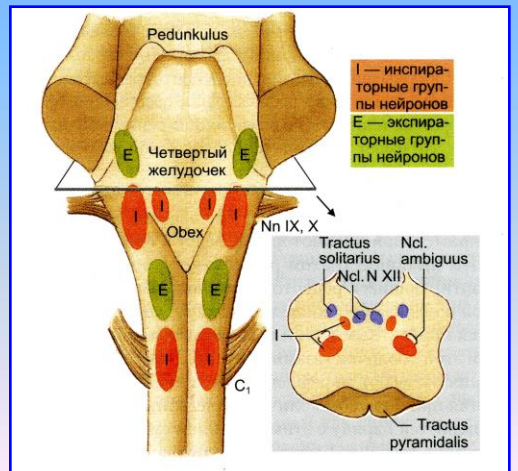
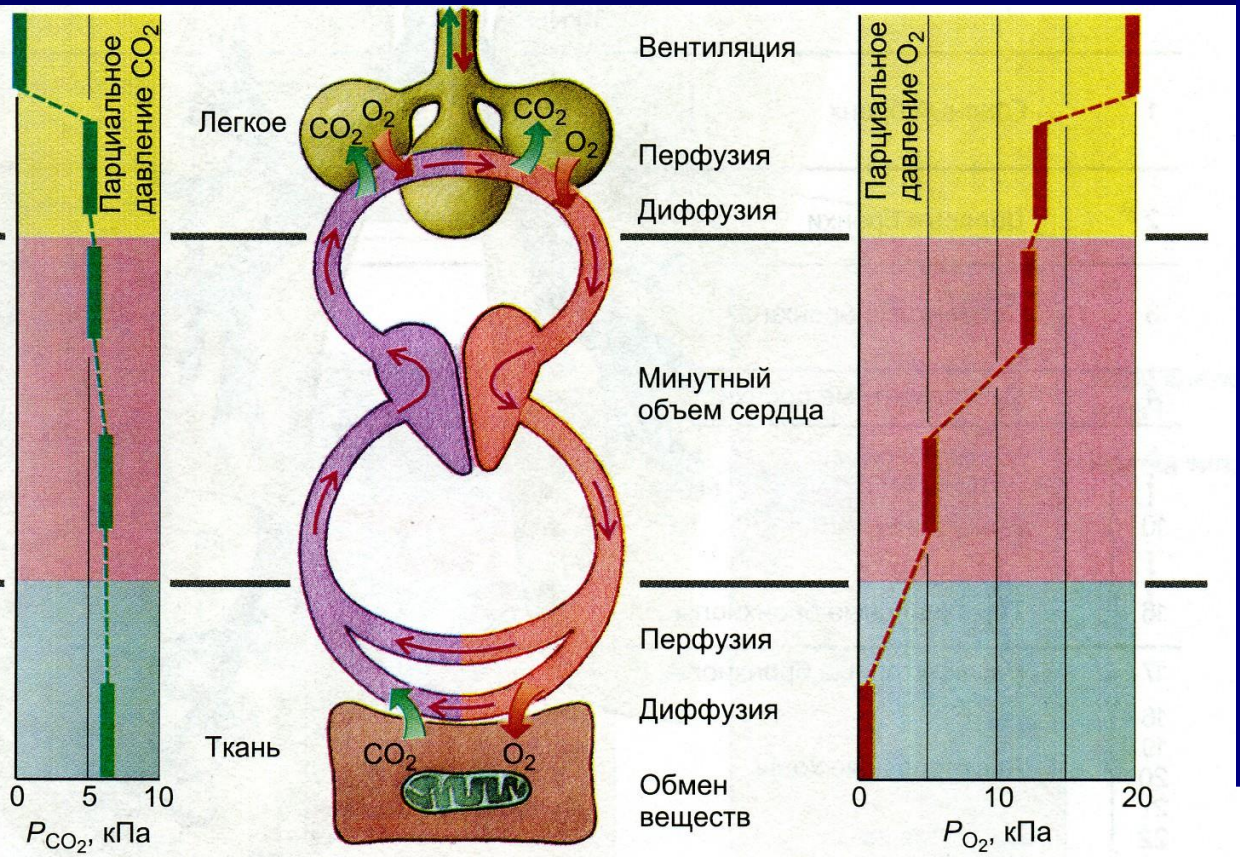


ДЫХАНИЕ


Inspiration
Expiration
Pause
Lung volume change (L)
Air flow (L•sec⁻¹)
Pleural pressure (cm H₂O)
Alveolar pressure (cm H₂O)
Volume
Velocity
Pleural pressure
Alveolar pressure


Protein-rich edema fluid
Repopulation of bronchial epithelium
Proliferation and differentiation of type II cells
Gradual resolution of fibrosis
Type I cell
Neutrophil
Alveolar macrophage
Phagocytosis of protein
Endocytosis of protein
Apoptosis of neutrophils
Diffusion of protein
Phagocytosis of apoptotic neutrophils
Fibronectin
Myofibroblast
Type II cells
Na⁺/K⁺-ATPase
Na⁺ ENaC
Type I and III collagen
Fibroblast
Water
Aquaporins
Resorption of alveolar edema fluid and protein


Pedunkulus
I — инспираторные группы нейронов
E — экспираторные группы нейронов
E
Четвертый желудочек
E
I
I
I
Obex
Nn IX, X
Tractus solitarius
Ncl. ambiguus
Ncl. N XII
E
E
I
I
C1
I
Tractus pyramidalis



ания, включающая системы внешнего дыхания, кровообращения и клеточного дыхания. Важнейши-
темы для внешнего дыхания являются вентиляция, диффузия и перфузия; для кровообращения —
ем (и транспортные свойства крови для O_2 и CO_2); для клеточного дыхания — кровоснабжение
требление O_2, образование CO_2). Вдоль этой транспортной цепи парциальное давление CO_2 (P_{CO_2},
авление O_2 (P_{O_2}, справа) снижается

Этапы дыхания:

- внешнее (поступление в альвеолы)
- диффузия в кровь
- перенос кровью
- диффузия в ткани
- клеточное

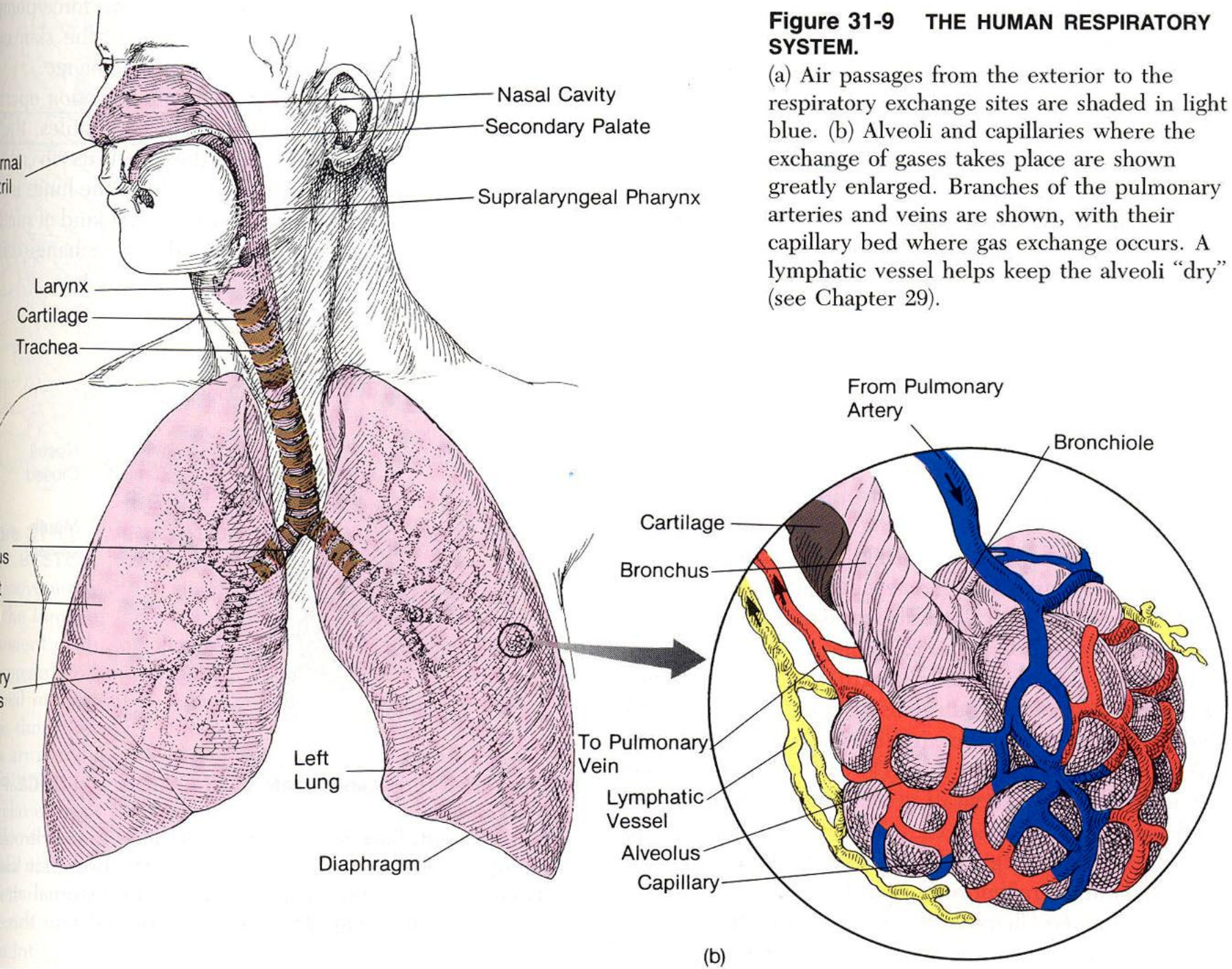


Figure 31-9 THE HUMAN RESPIRATORY SYSTEM.

(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).

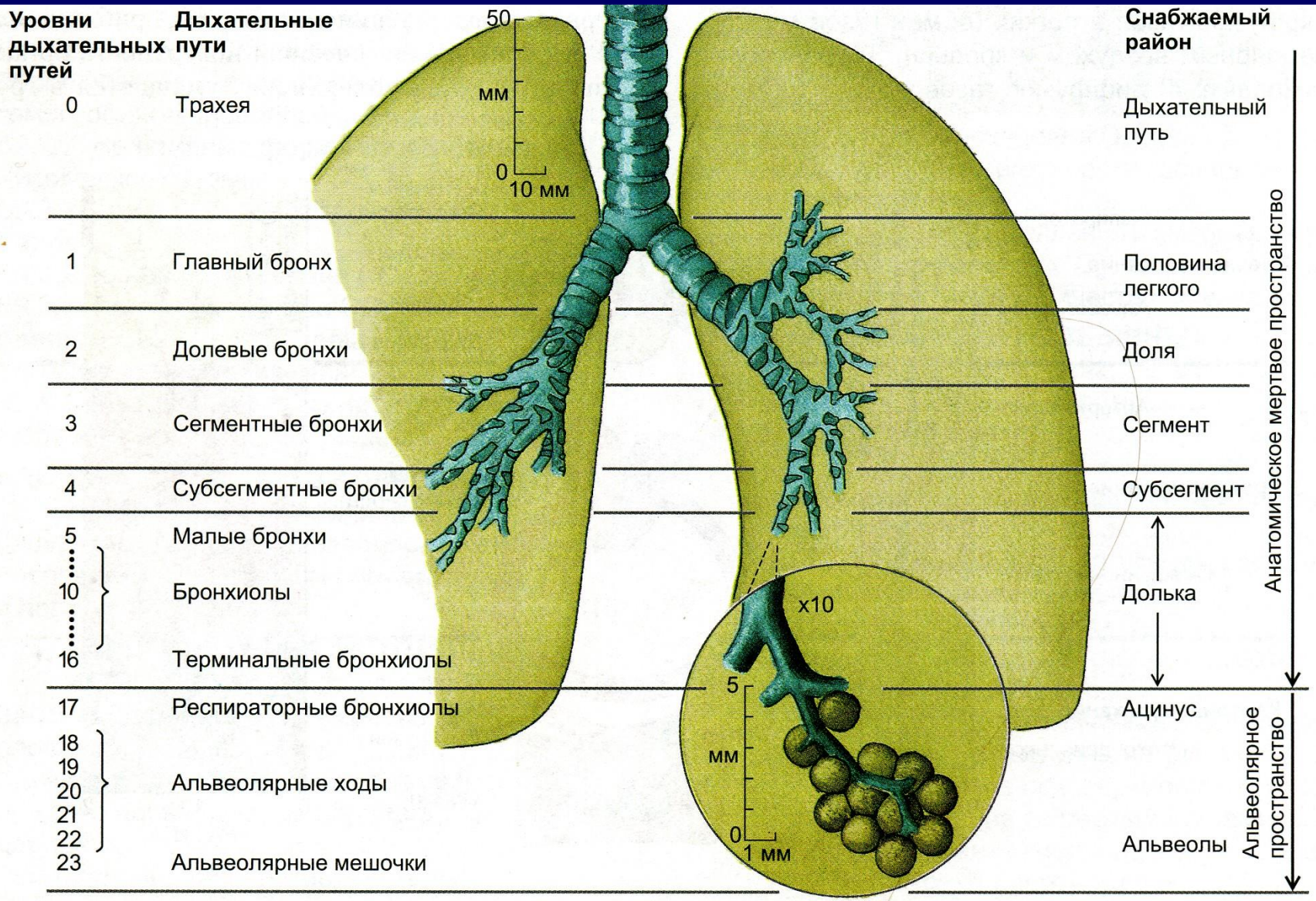
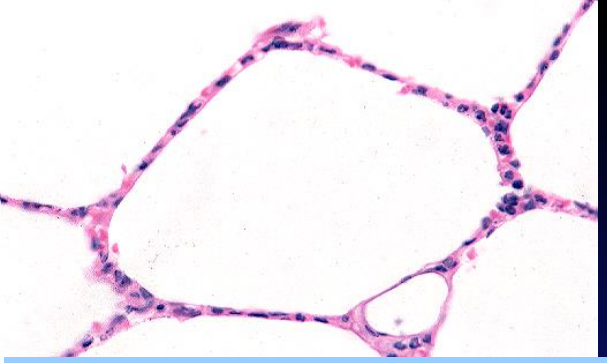
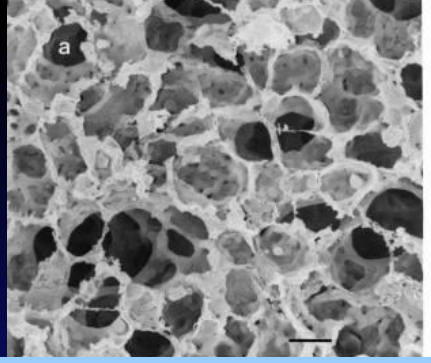
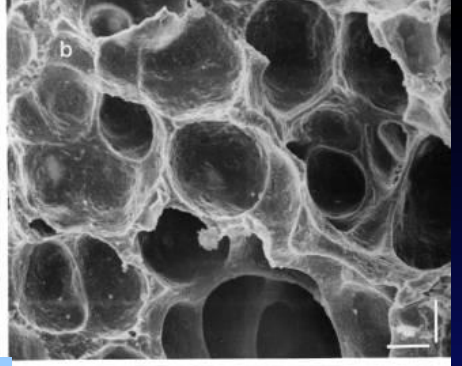
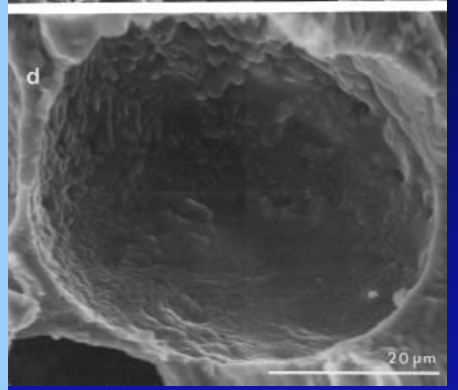


Рис. 63.3. Разветвление дыхательных путей. Ацинус — область дыхательных путей, состоящая из терминальных бронхиол, которые несут альвеолы. Проксимально лежащие дыхательные пути выполняют воздухопроводящую функцию (анатомическое мертвое пространство). Следует обратить внимание на десятикратно увеличенный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

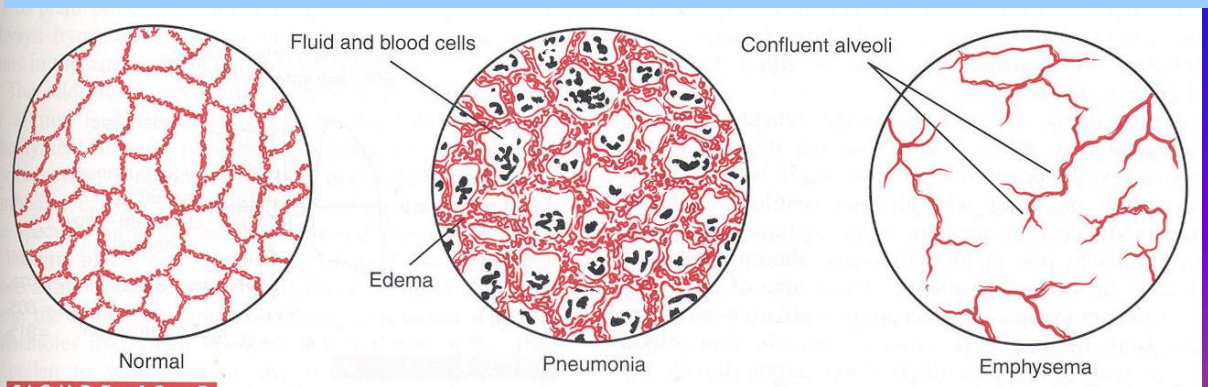
Альвеолярный объем

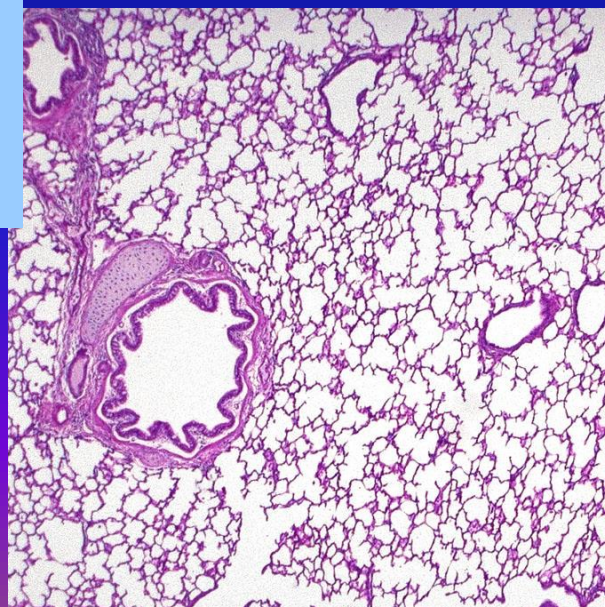
(в конце нормального выдоха) – около 3000 мл

Мертвый объем – около 150 мл

Дыхательный объем – 450-500 мл

(альвеолярной зоны достигает 2/3 свежего воздуха: примерно 10 %-ное обновление)





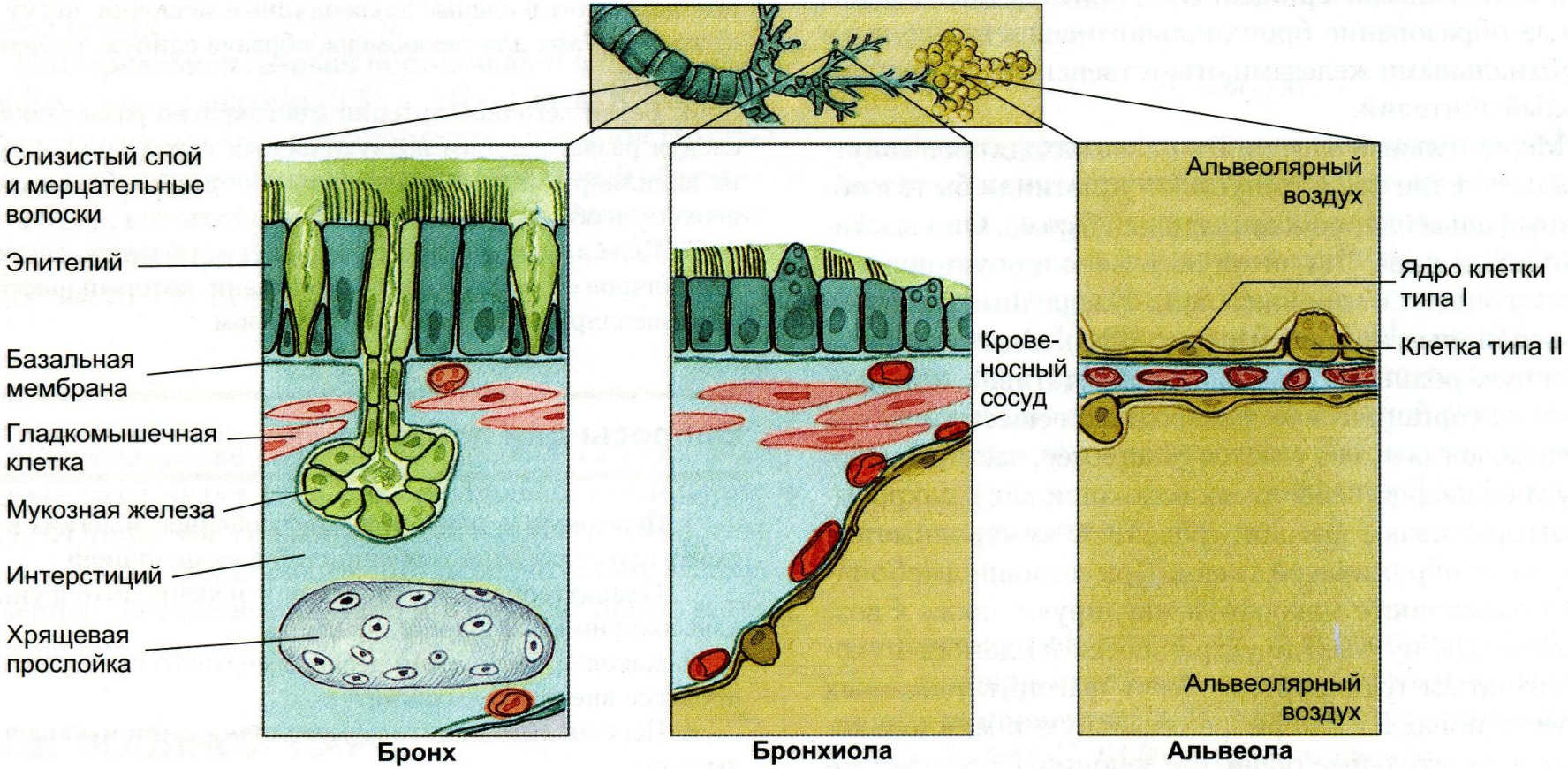
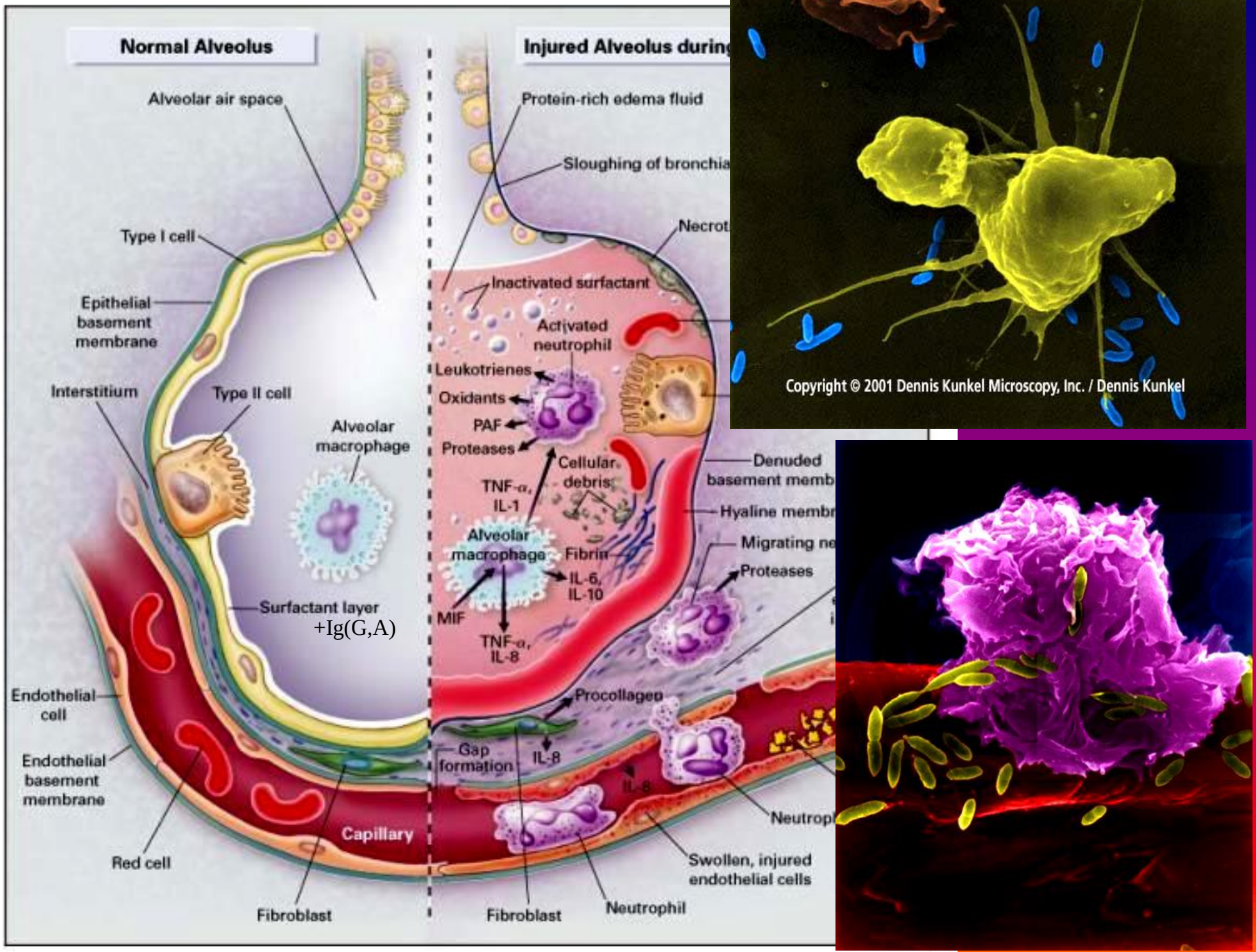
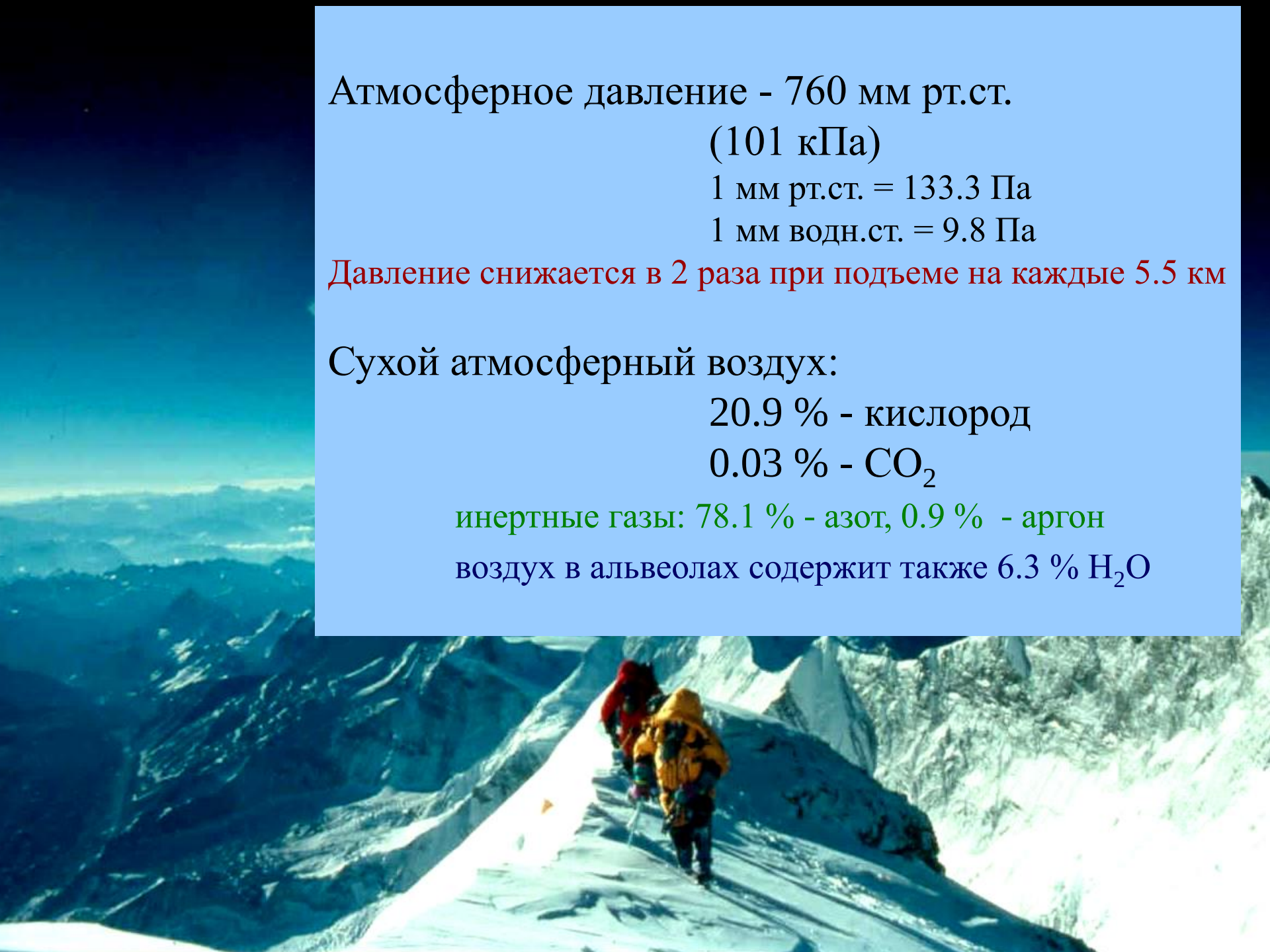


Рис. 63.4. Эпителий дыхательного пути. Бронх: мерцательный эпителий с экзокринными (мукозными) клетками и железами. Бронхиола: плоские эпителиальные клетки. Альвеола: альвеолярные эпителиальные клетки типа I (образуют большую поверхность) и типа II (секретируют составные части сурфактанта)

хронический бронхит
муковисцидоз


Normal Alveolus
Injured Alveolus during
Alveolar air space
Protein-rich edema fluid
Sloughing of bronchia
Necrot
Type I cell
Epithelial basement membrane
Inactivated surfactant
Activated neutrophil
Leukotrienes
Oxidants
PAF
Proteases
Interstitium
Type II cell
Alveolar macrophage
Cellular debris
TNF-α, IL-1
Denuded basement memb
Hyaline membr
Migrating ne
Alveolar macrophage
Fibrin
IL-6, IL-10
Proteases
Surfactant layer
+Ig(G,A)
MIF
TNF-α, IL-8
Endothelial cell
Procollagen
Gap formation
IL-8
Endothelial basement membrane
Capillary
Red cell
Neutrop
Swollen, injured endothelial cells
Fibroblast
Fibroblast
Neutrophil

Copyright © 2001 Dennis Kunkel Microscopy, Inc. / Dennis Kunkel



Атмосферное давление - 760 мм рт.ст.

(101 кПа)

1 мм рт.ст. = 133.3 Па

1 мм водн.ст. = 9.8 Па

Давление снижается в 2 раза при подъеме на каждые 5.5 км

Сухой атмосферный воздух:

20.9 % - кислород

0.03 % - CO_2

инертные газы: 78.1 % - азот, 0.9 % - аргон

воздух в альвеолах содержит также 6.3 % H_2O

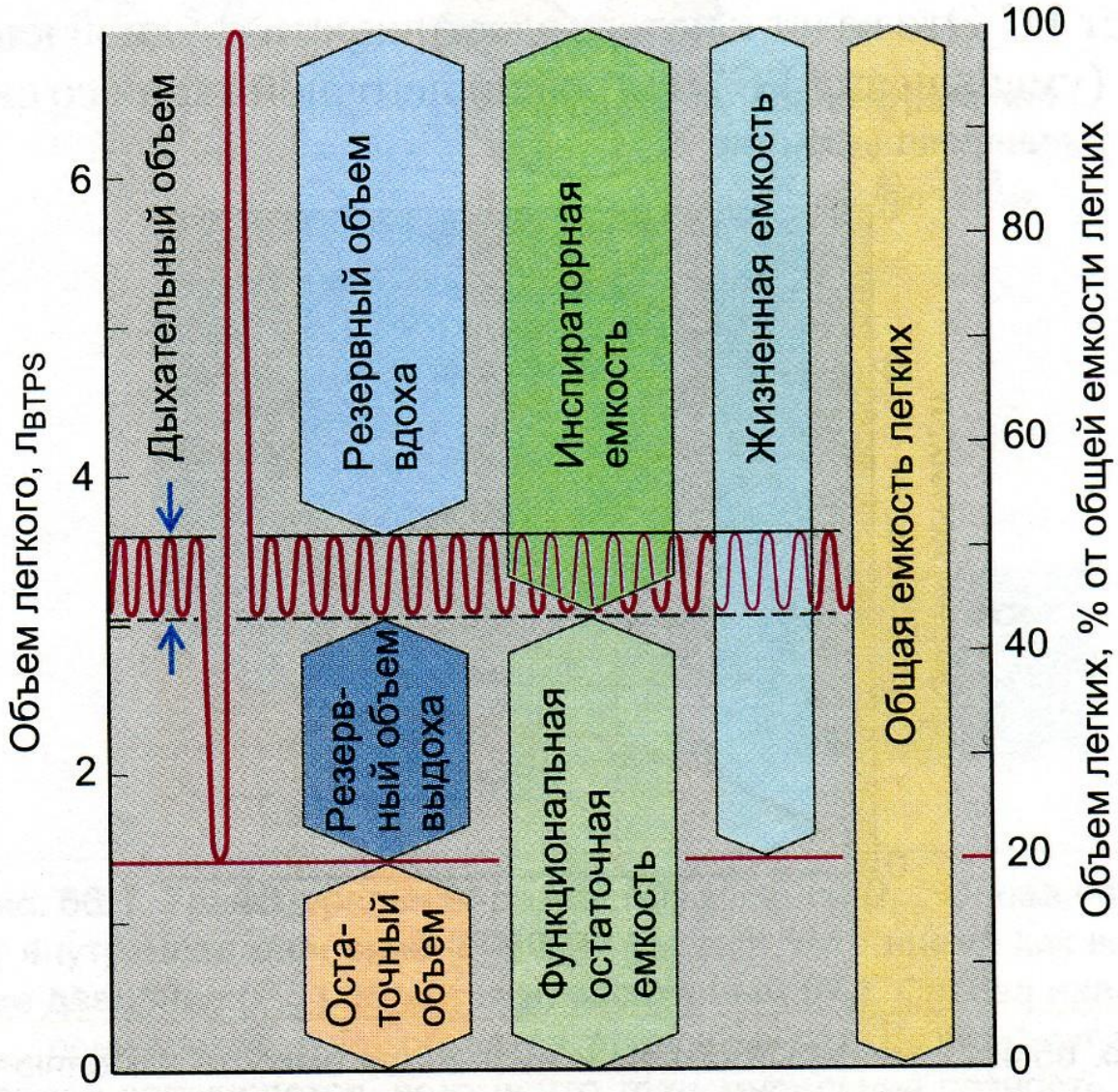


Рис. 65.3. Легочные объемы. Из спирометрических измерений (см. рис. 65.1) и измерения остаточного объема (см. рис. 65.2) получаются легочные объемы. Левая ордината: абсолютное значение для здорового легкого молодого мужчины; правая ордината: объемы легкого в процентах общей емкости легкого (см. также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

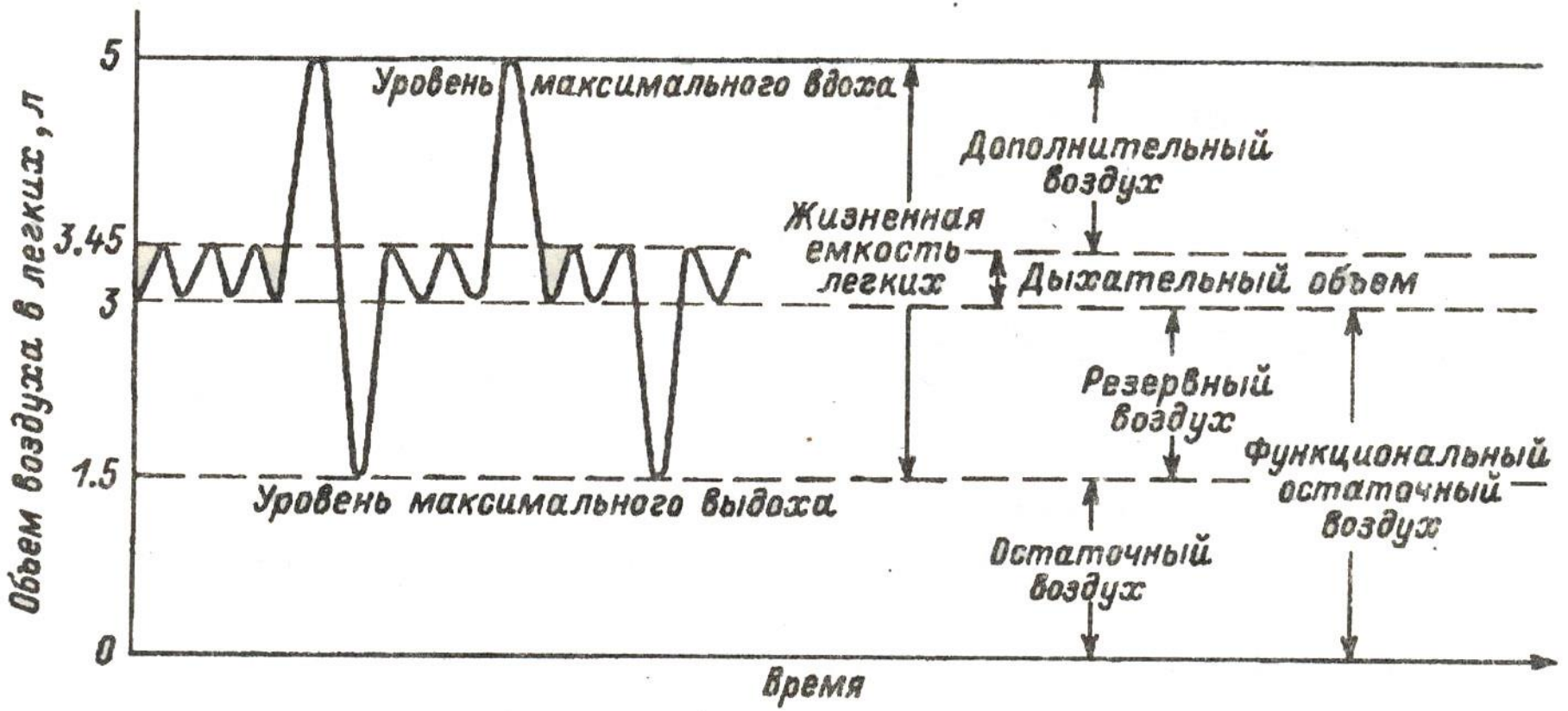
Жизненная емкость
= общая емкость
– остаточный V

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

Общая емкость легких – 5 л



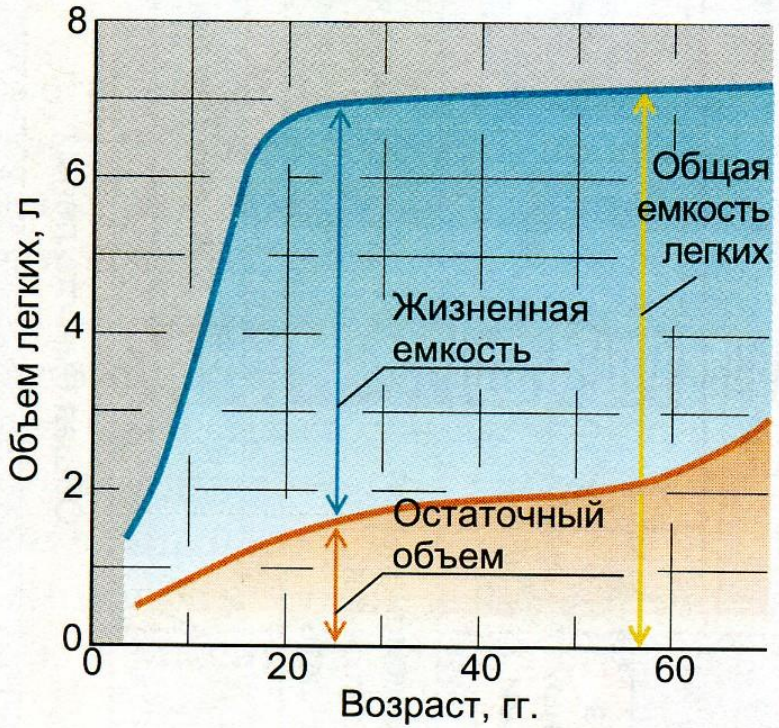
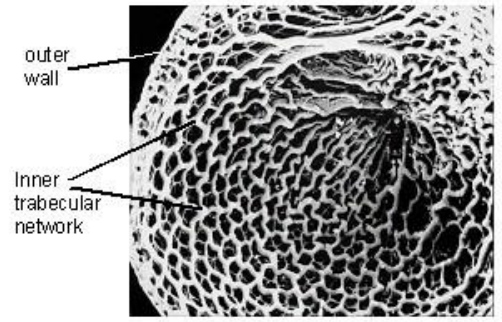


Рис. 65.4. Остаточный объем и жизненная емкость изменяются с возрастом. С увеличением возраста человека жизненная емкость легких уменьшается, а остаточный объем увеличивается. Общая емкость легких остается у взрослого человека постоянной. Характер кривой одинаков для мужчин и женщин; абсолютные значения ординаты даны для мужчин, чей рост достигает приблизительно 1,80 м (см. табл. 65.1)

Эластичная ретракция легких

снижение с возрастом

создает отрицат. плевральное давление

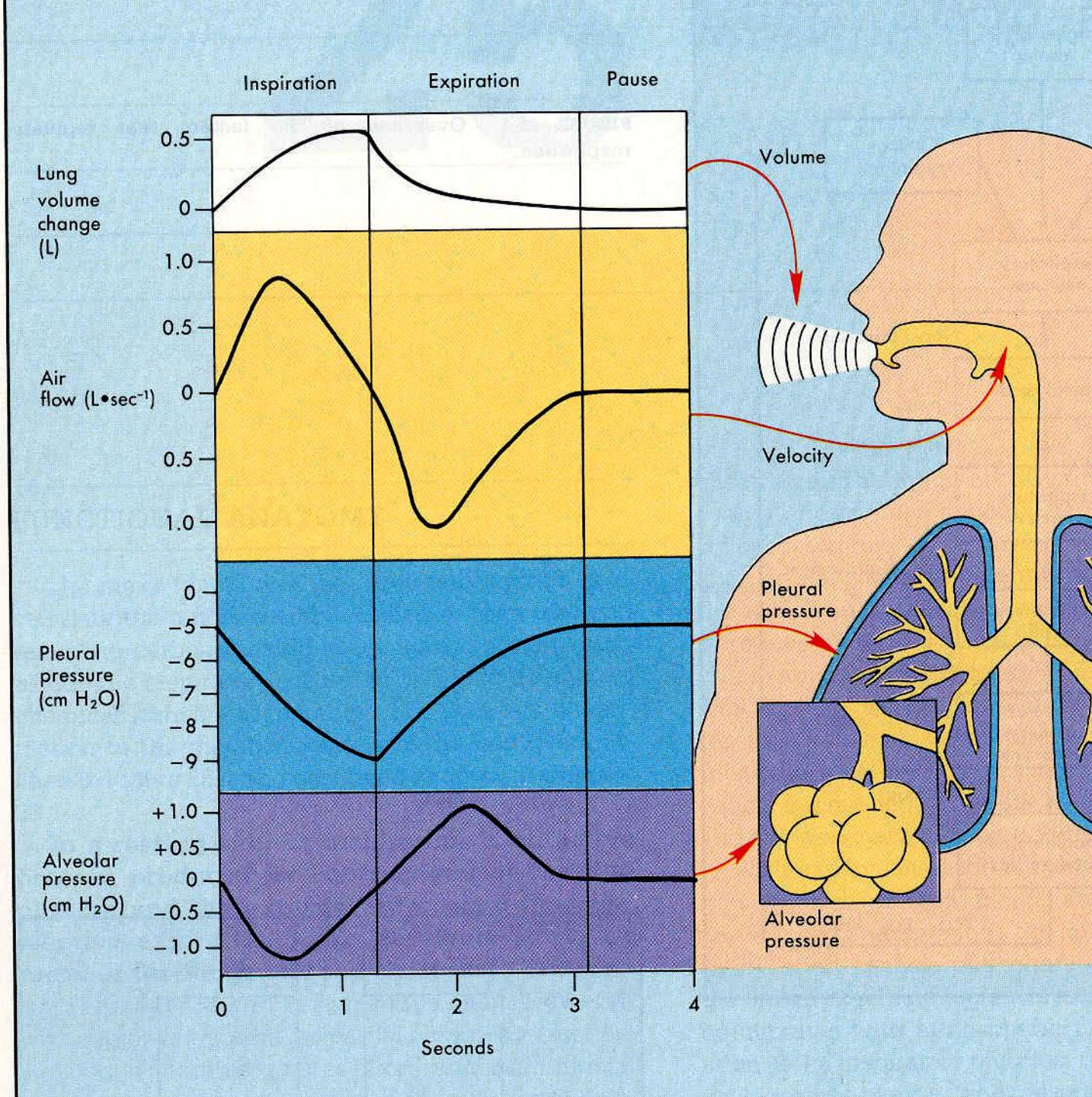


изменение объема легких

поток воздуха

плевральное давление

альвеолярное давление



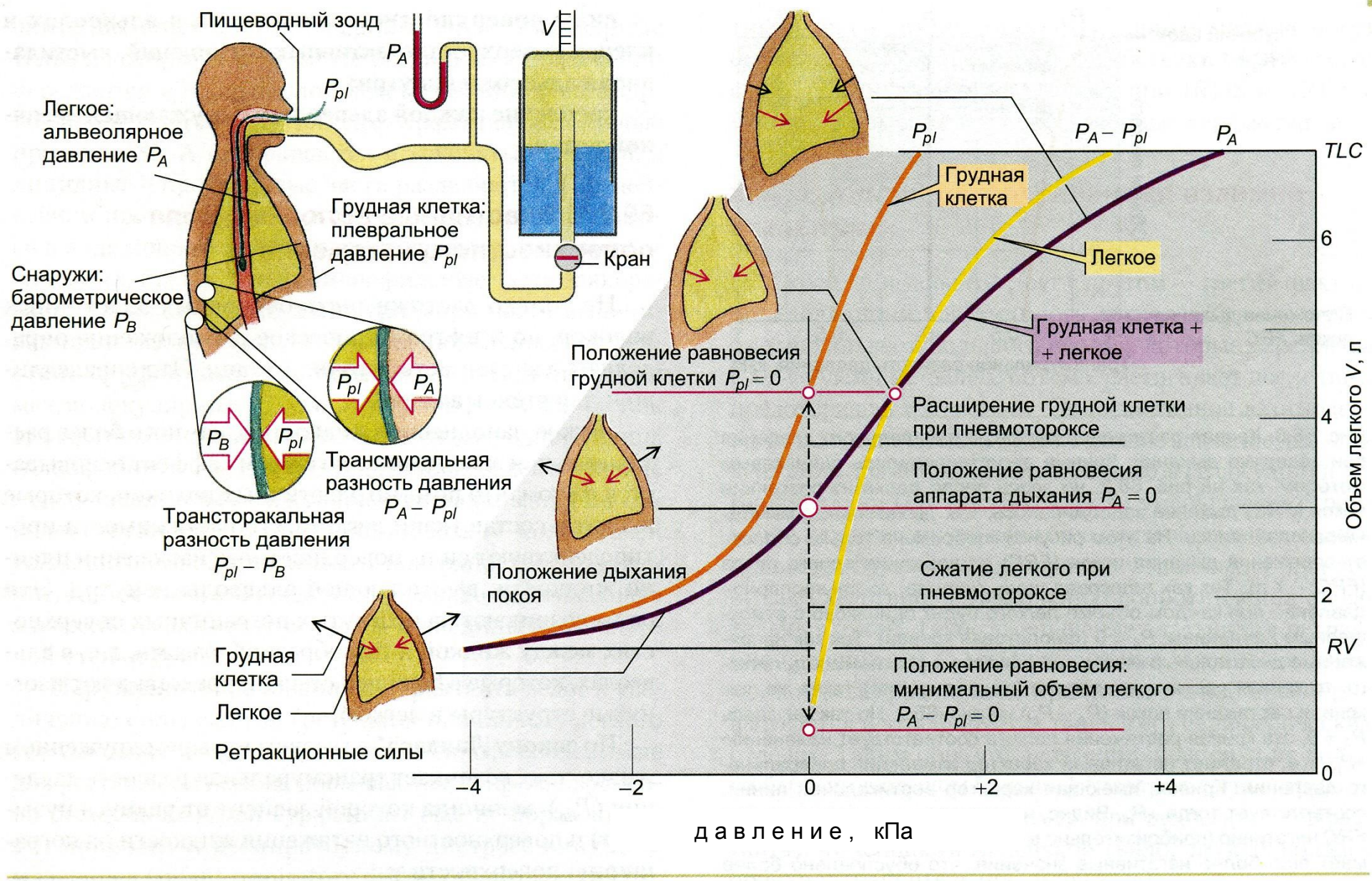
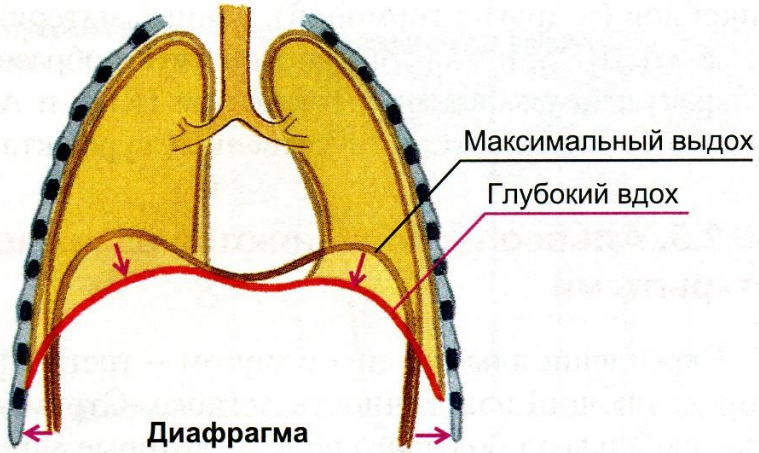
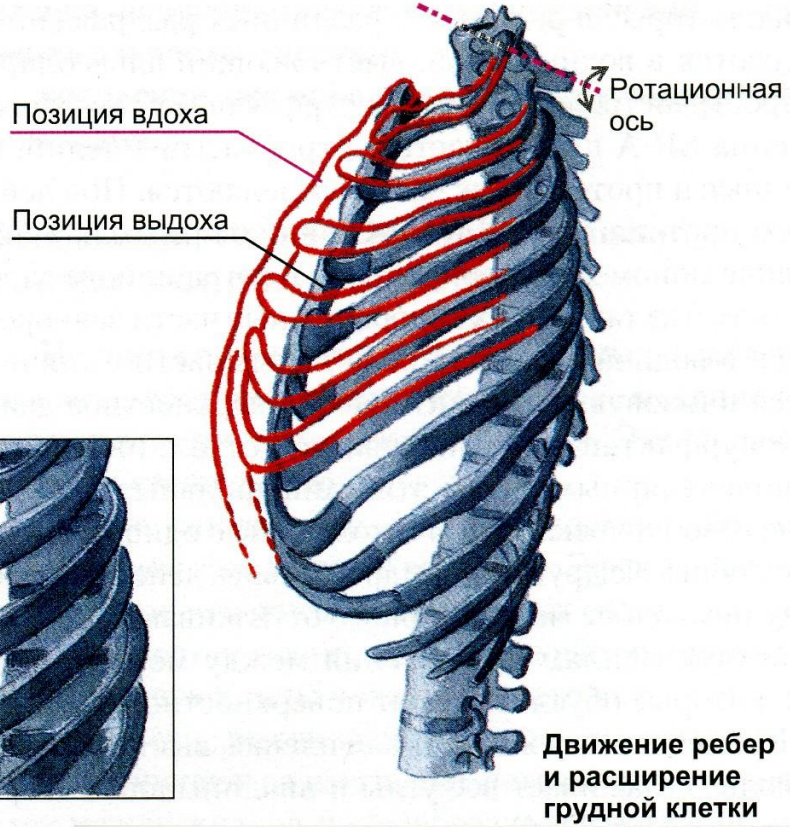
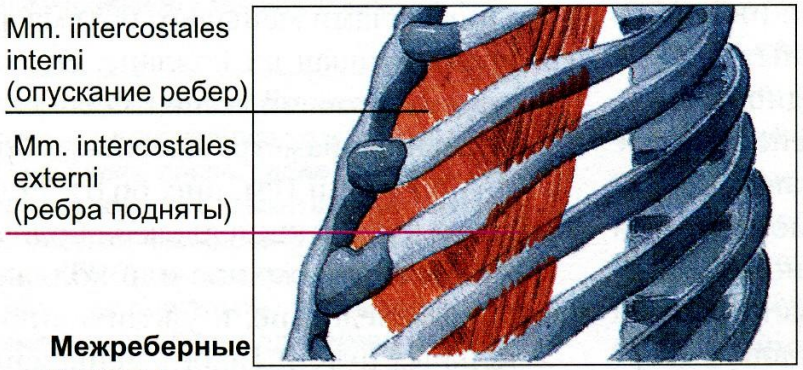


Рис. 66.2. Кривые пассивного изменения давления от объема легкого, грудной клетки и дыхательного аппарата (кривые «давление—объем»). Испытуемый вдыхает определенный объем, закрывает кран на спирометре и потом расслабляет дыхательные мышцы. Так как он оставляет открытой свою голосовую щель, то альвеолярное давление (P_A) может быть измерено на связывающей трубке со спирометром. Плевральное давление (P_{pl}) рассчитывается при помощи пищеводного зонда. Из значений обоих давлений рассчитывают трансмуральные разности давления легкого ($P_A - P_{pl}$), грудной клетки (P_{pl}) и общего дыхательного аппарата (P_A). Измерение может быть повторено после вдоха и выдоха разных объемов. Спирометр служит при этом исключительно для определения этих вдыхаемых и



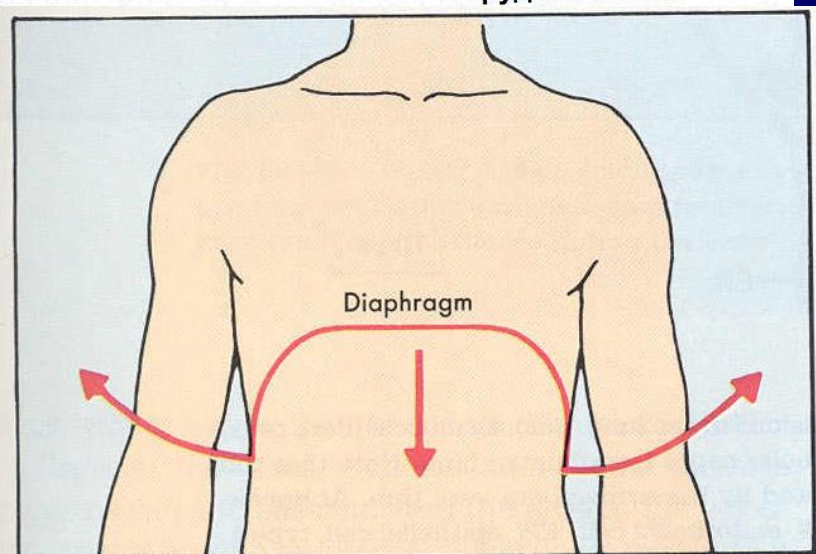


а

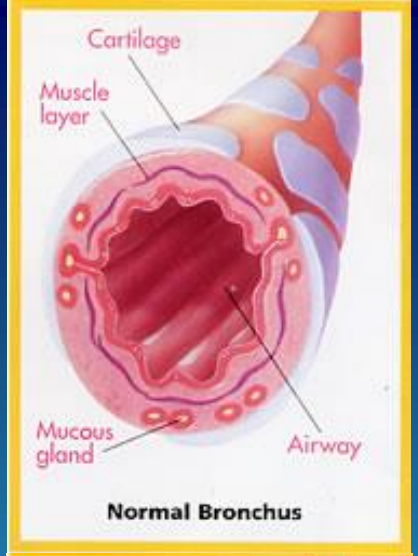


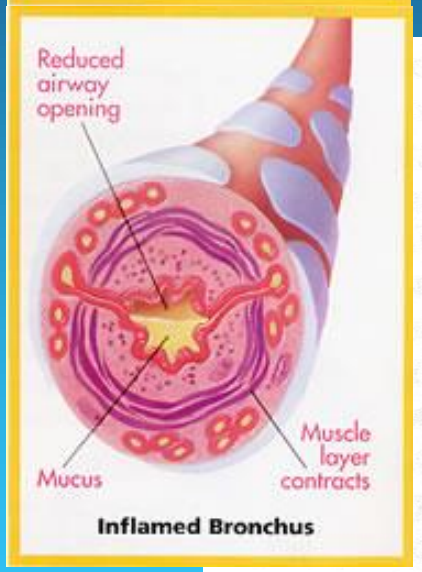
б

Рис. 66.5. Действие дыхательных мышц. (*а*) При движении вниз диафрагмы гр
движение вниз вызывает поднятие нижних краев ребер, что существенно ра
импульсов из ЦНС наружные межреберные мышцы (mm. intercostales externi)
ве косой ротационной оси ребер на позвонках как сагиттальный, так и транс
следовательно, эти мышцы служат инспирации. Внутренние межреберные м



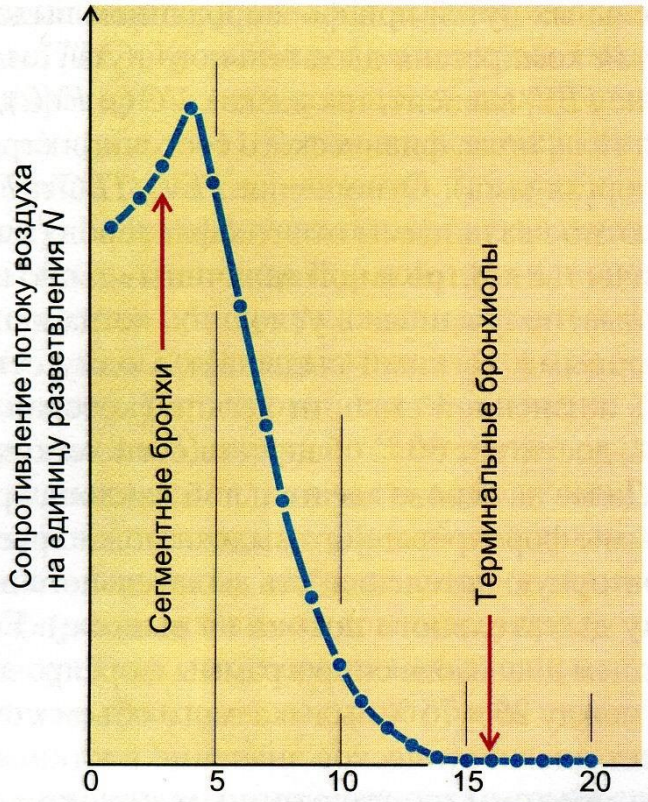
проба Вальсальвы: 15 кПа (112 мм рт.ст.)
проба Мюллера: -10 кПа
(соответствует глубине погружения на 1 м)

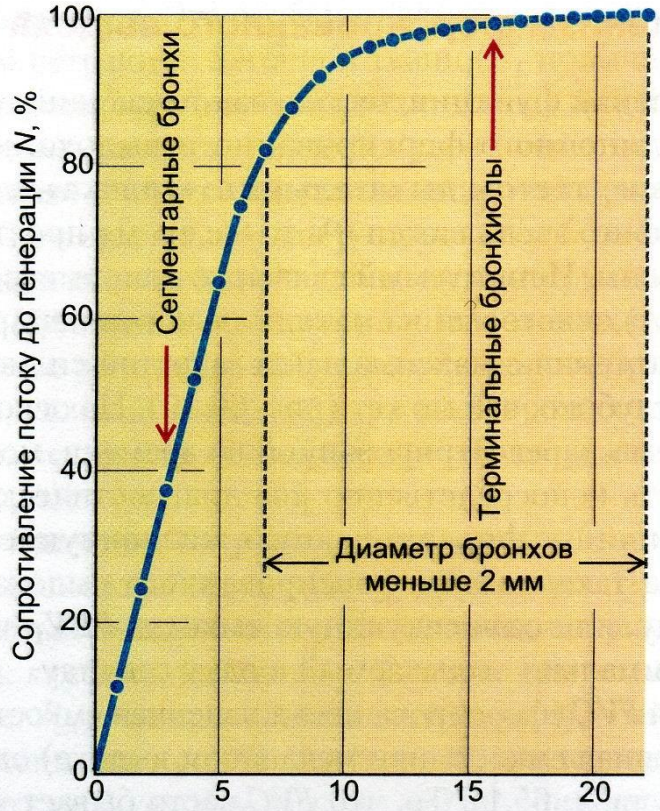




Расширение: β2-адренорецепторы
+ эластическая тяга легких

Сужение: мускариновые рецепторы
+ снижение концентрации CO_2





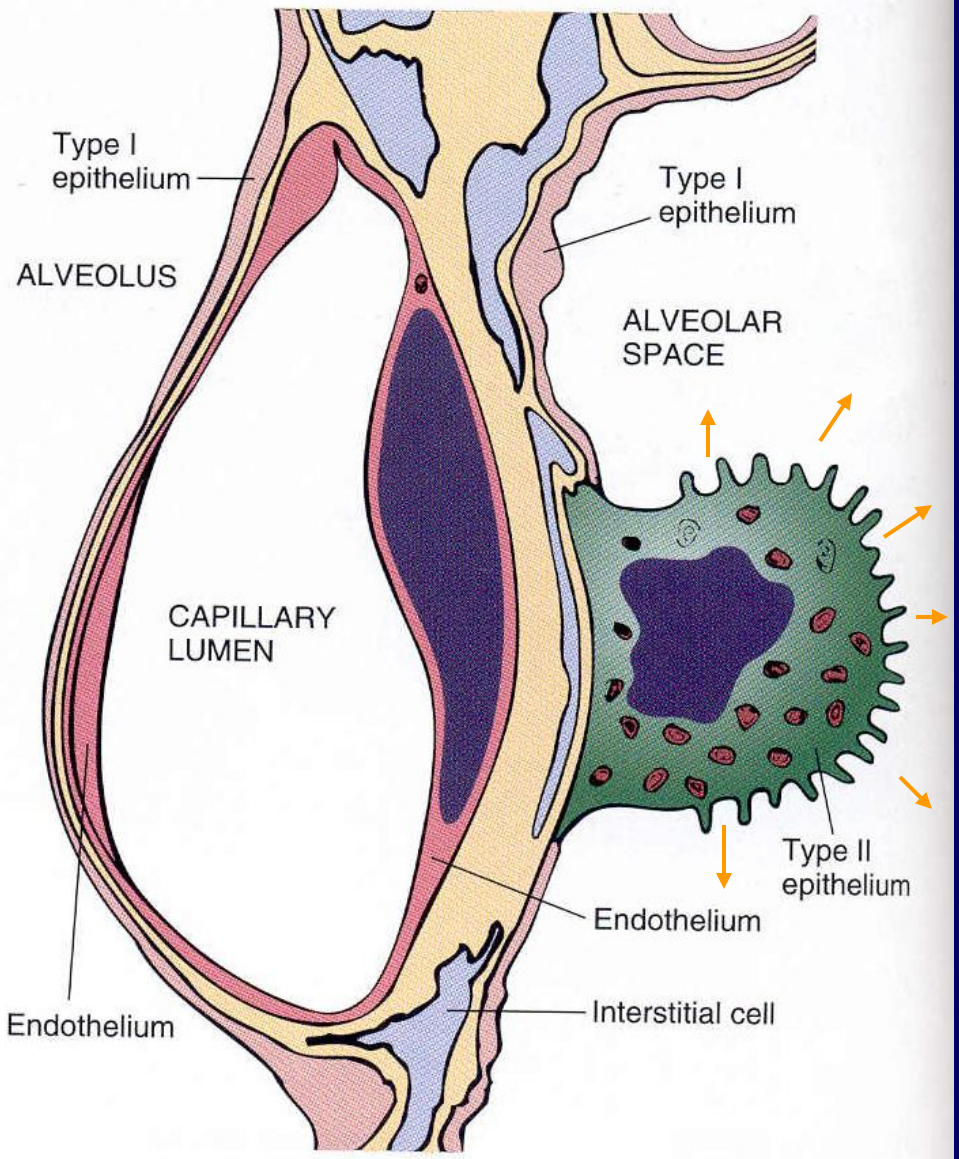
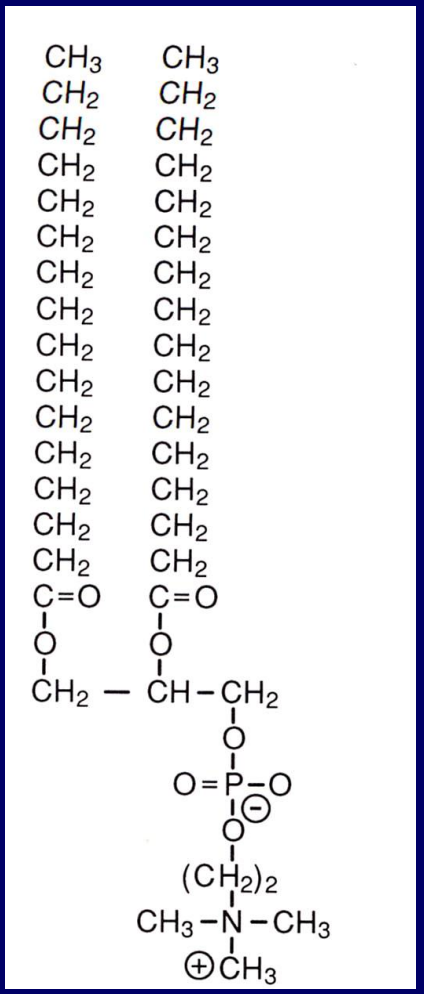


Figure 16–1

Microscopic structure of the alveolar wall. Note that the basement membrane *(yellow)* is thin on one side and widened where it is continuous with the interstitial space. Portions of interstitial cells are shown.

Снижение поверхностного натяжения в альвеолах в 5-7 раз: за счет сурфактантов, на 90-95 % состоящих из фосфо-липидов (в первую очередь, фосфатидил-холина)



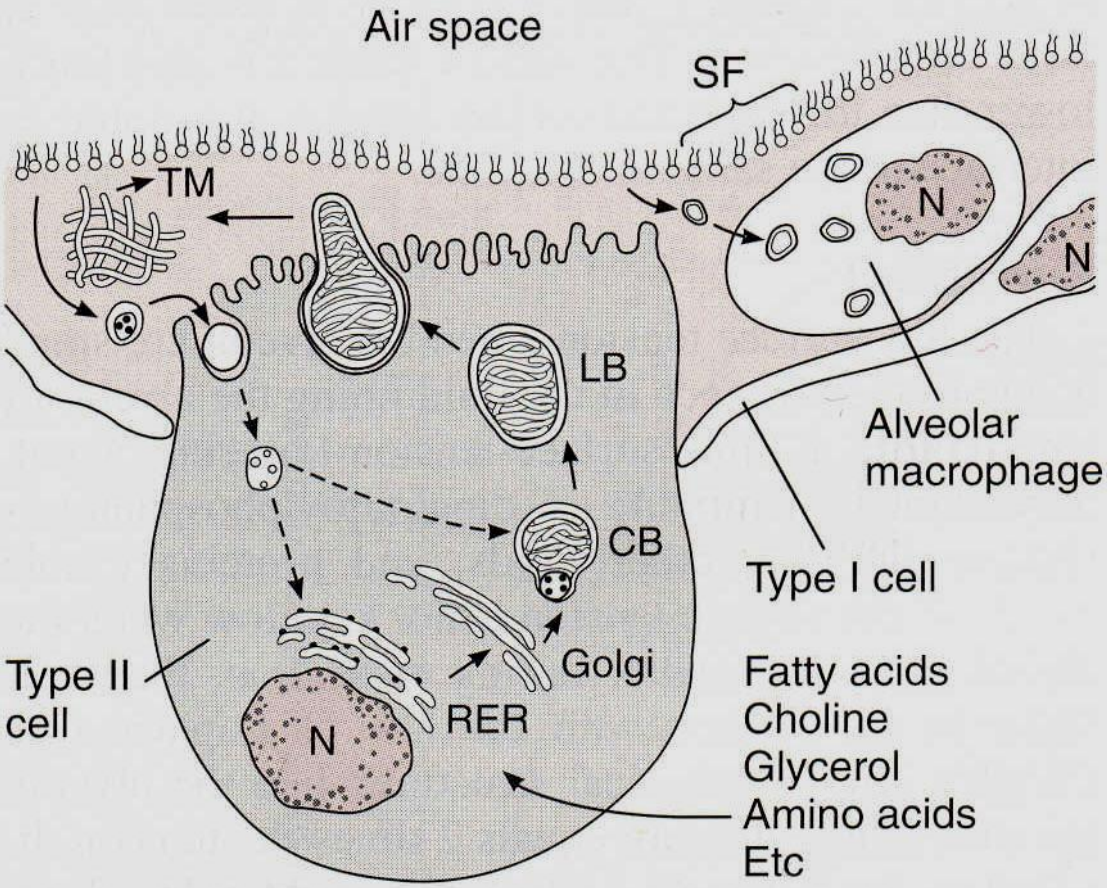


Figure 34–13. Formation and metabolism of surfactant. Lamellar bodies (LB) are formed in type II alveolar epithelial cells and secreted by exocytosis. The released lamellar body material is converted to tubular myelin (TM), and the TM is probably the source of the phospholipid surface film (SF). Some surfactant is taken up by alveolar macrophages, but more is taken up by endocytosis in type II epithelial cells. N, nucleus; RER, rough endoplasmic reticulum; CB, composite body. (Reproduced,

LB – ламеллярные тельца в секреторных везикулах комплекса Гольджи: фосфолипиды + белки

↓

TM – трубчатый миелин (основа мономолекулярного слоя сурфактанта)

Недоношенные дети: острый респираторный дистресс-синдром (интратрахеальное введение сурфактанта)

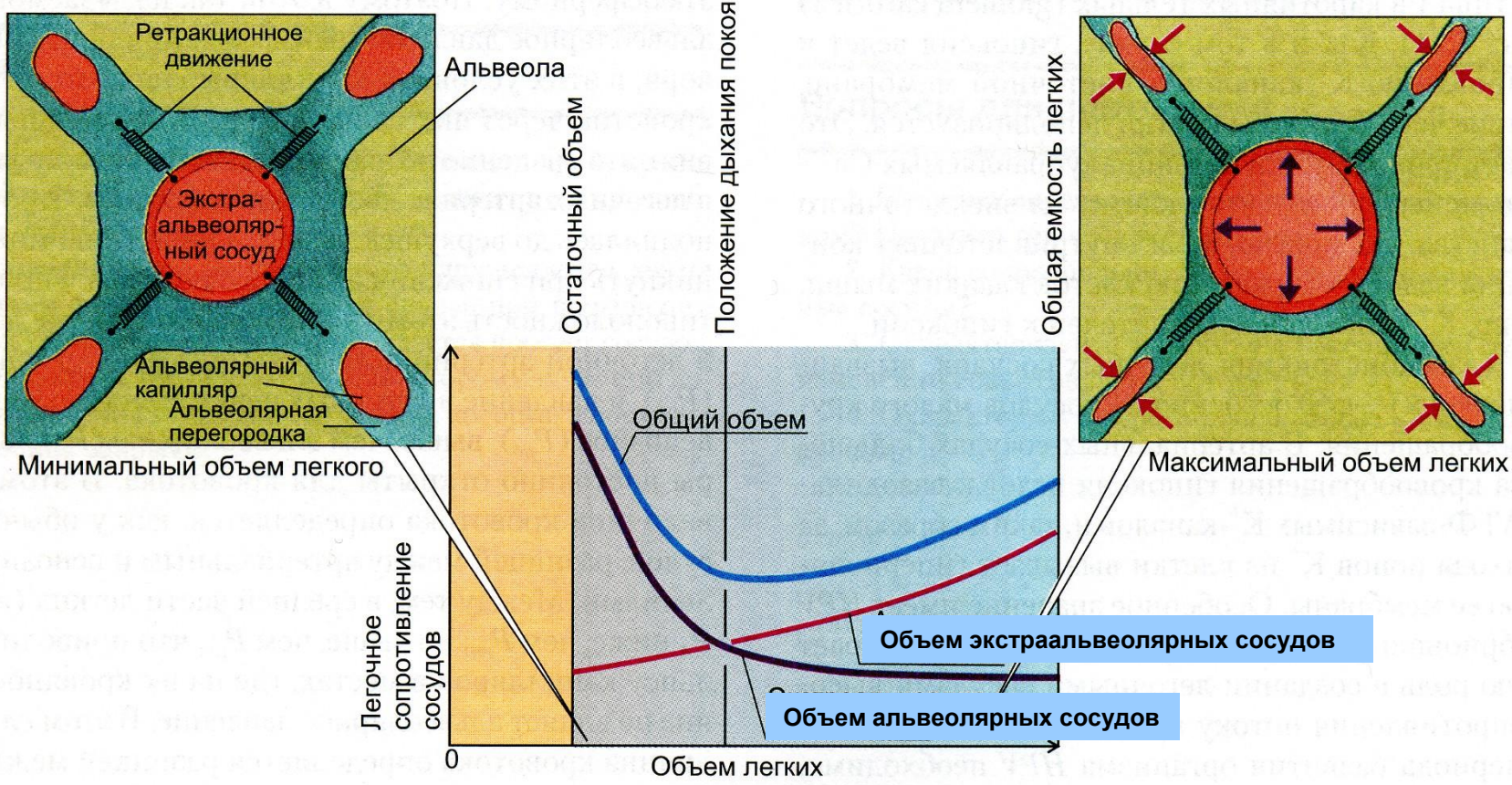


Рис. 67.2. Зависимость сопротивления легочных сосудов от объема легких. В то время как экстраальвеолярные сосуды с возрастающим объемом легкого расширяются, капилляры, лежащие в стенке альвеолы, сжимаются. Отражающая общее сопротивление синяя кривая имеет минимум в области объема спокойного дыхания, ее значения увеличиваются как при уменьшении, так и при увеличении объемов

Легочная артерия – 2.7 / 1.2 (1.7) кПа
Легочные капилляры – 1.0 кПа
Легочные вены – 0.9 кПа

аорта – 16 / 11 (13) кПа
капилляры – 2.6 кПа
вены – 0.5 кПа

* растяжение сосудов при росте давления крови
* влияния ВНС слабы
* гипоксическая вазоконстрикция малых артерий
* растяжение сосудов зависит от положения тела

дефицит O_2
↓
блокада K^+-каналов
↓
усиление входа Ca^{2+}
↓
сокращение гладко-мышечных клеток

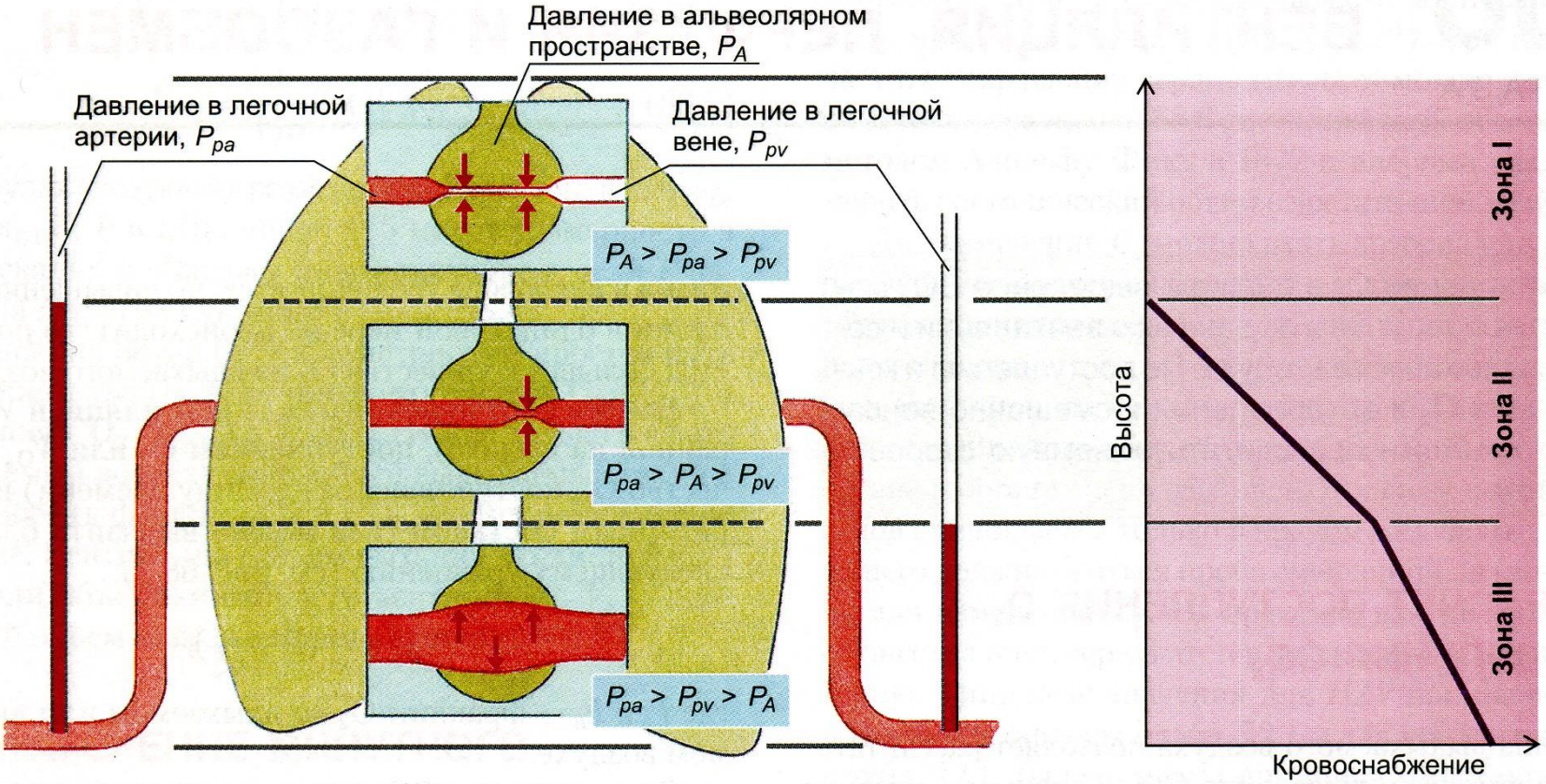


Рис. 67.3. Распределение кровоснабжения, зависящее от силы тяжести в вертикальном положении легкого. Перфузионное давление не достигает пика (зона I). В зоне II происходит компрессия капилляров так, что перфузия зависит от разности ($P_{pa} - P_A$), но не от P_{pv}. В зоне III господствуют нормальные перфузионные отношения. Относительно высокое кровяное давление расширяет капилляры

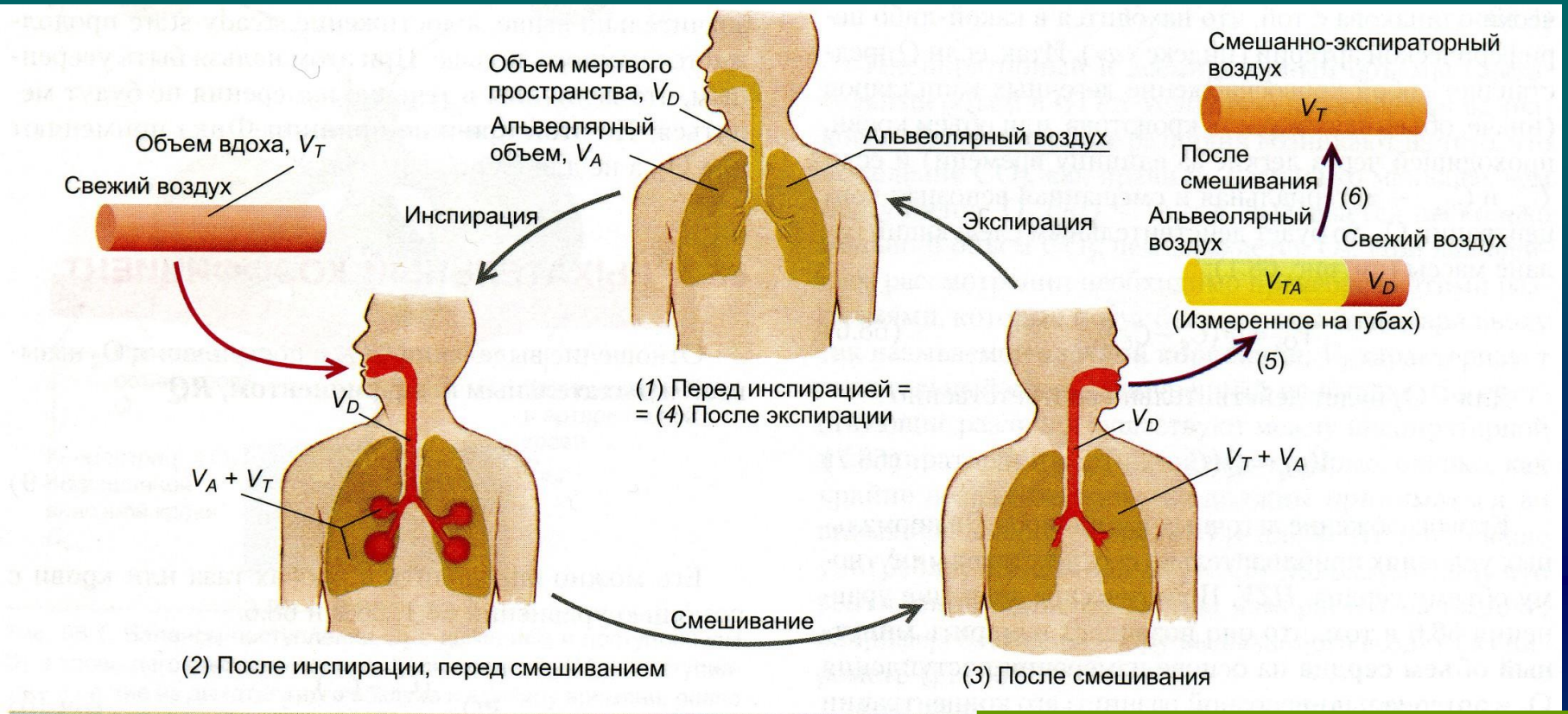
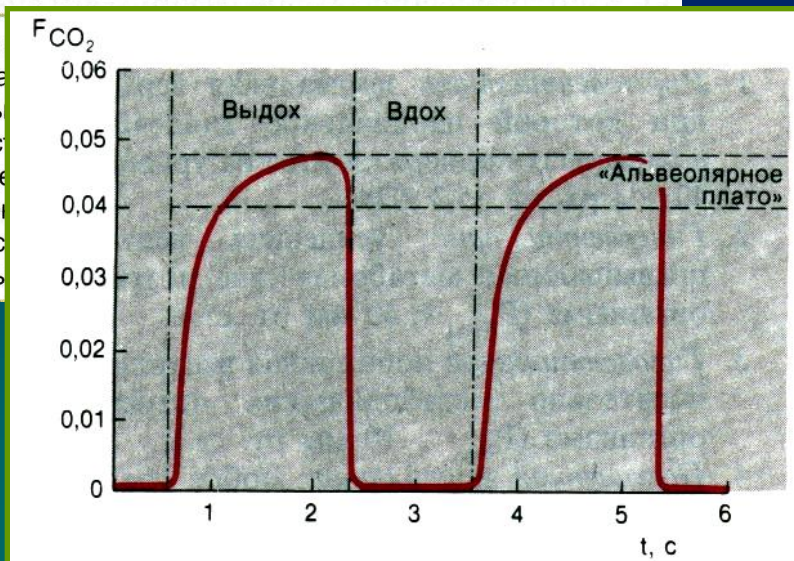


Рис. 68.2. Альвеолярный и выдыхаемый воздух. Перед инспирацией (*1*) альвеолярное
экспира·ции) альвеолярным воздухом. После инспирации (*2*) дыхательного объема V_T а
ну V_T. Часть свежего воздуха ($V_T - V_D = V_{TA}$), поступившего при вдохе, достигло аль
мертвом пространстве. Часть свежего воздуха, достигшего альвеолярного пространс
лярным воздухом (*3*), что освежает последний. При экспирации выдыхается, прежде
воздух), потом альвеолярный воздух (V_{TA}) (*5*). Смесь обеих частей образует смешан
легком является в конце экспирации (*4*) одинаковой, как перед инспирацией (*1*) (см. рис
O_2 диффундирует в кровь, а CO_2 из крови в альвеолярное пространство, освеженный аль



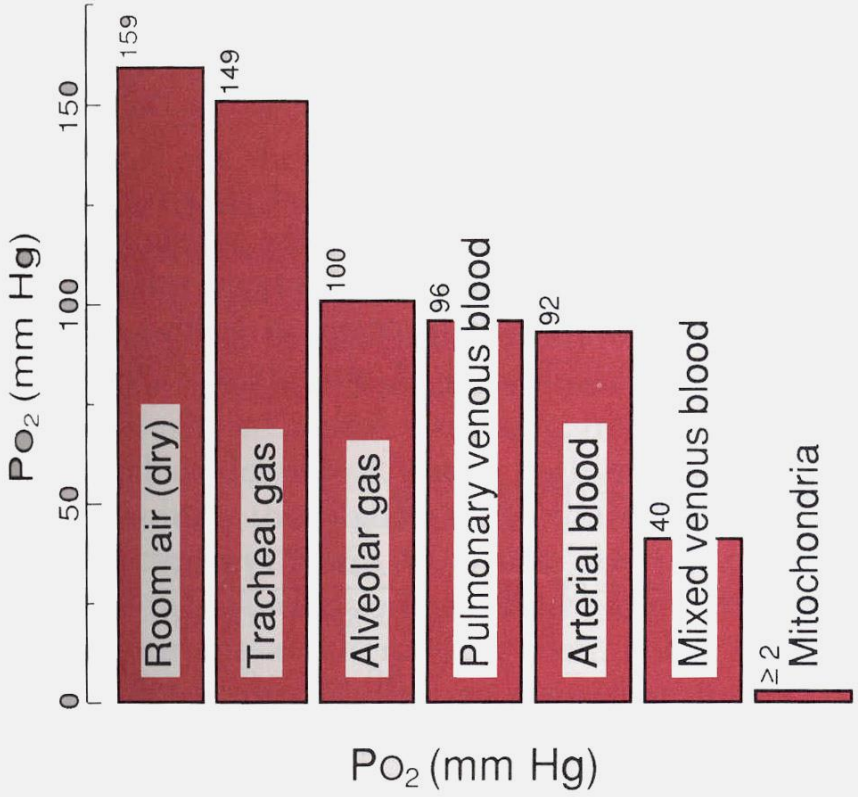


FIG. 2. Oxygen pressure profile from environment to mitochondrion in a normal, resting male at sea level. P_B = 760 mm Hg.

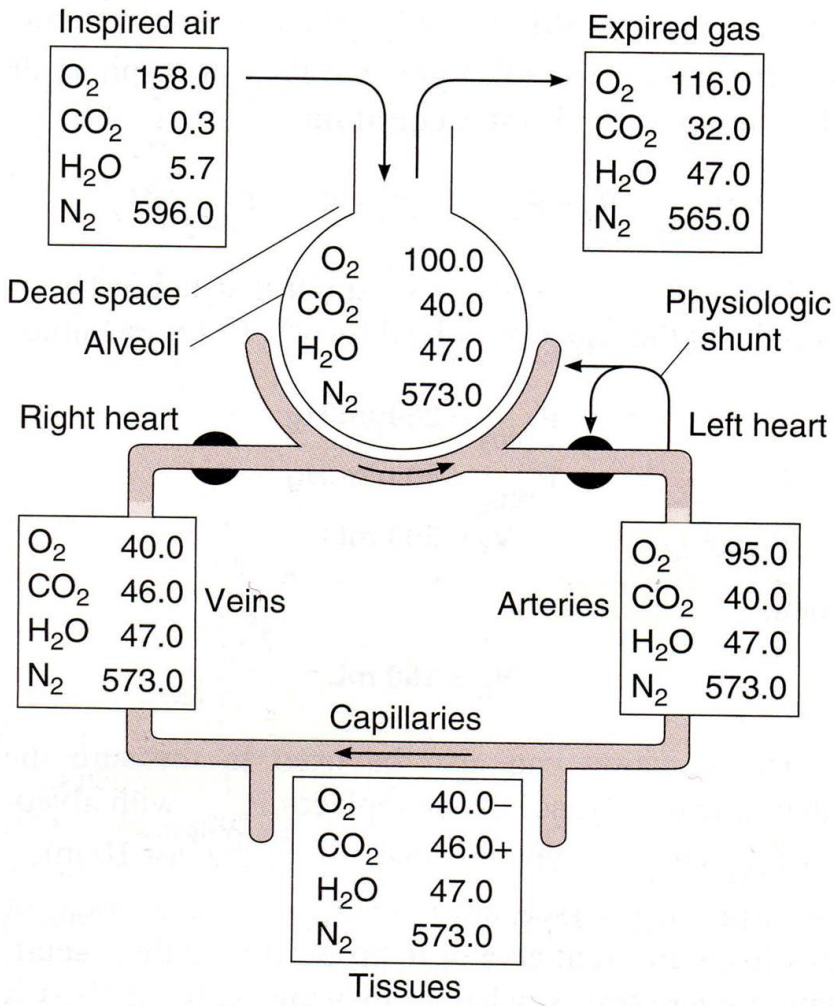
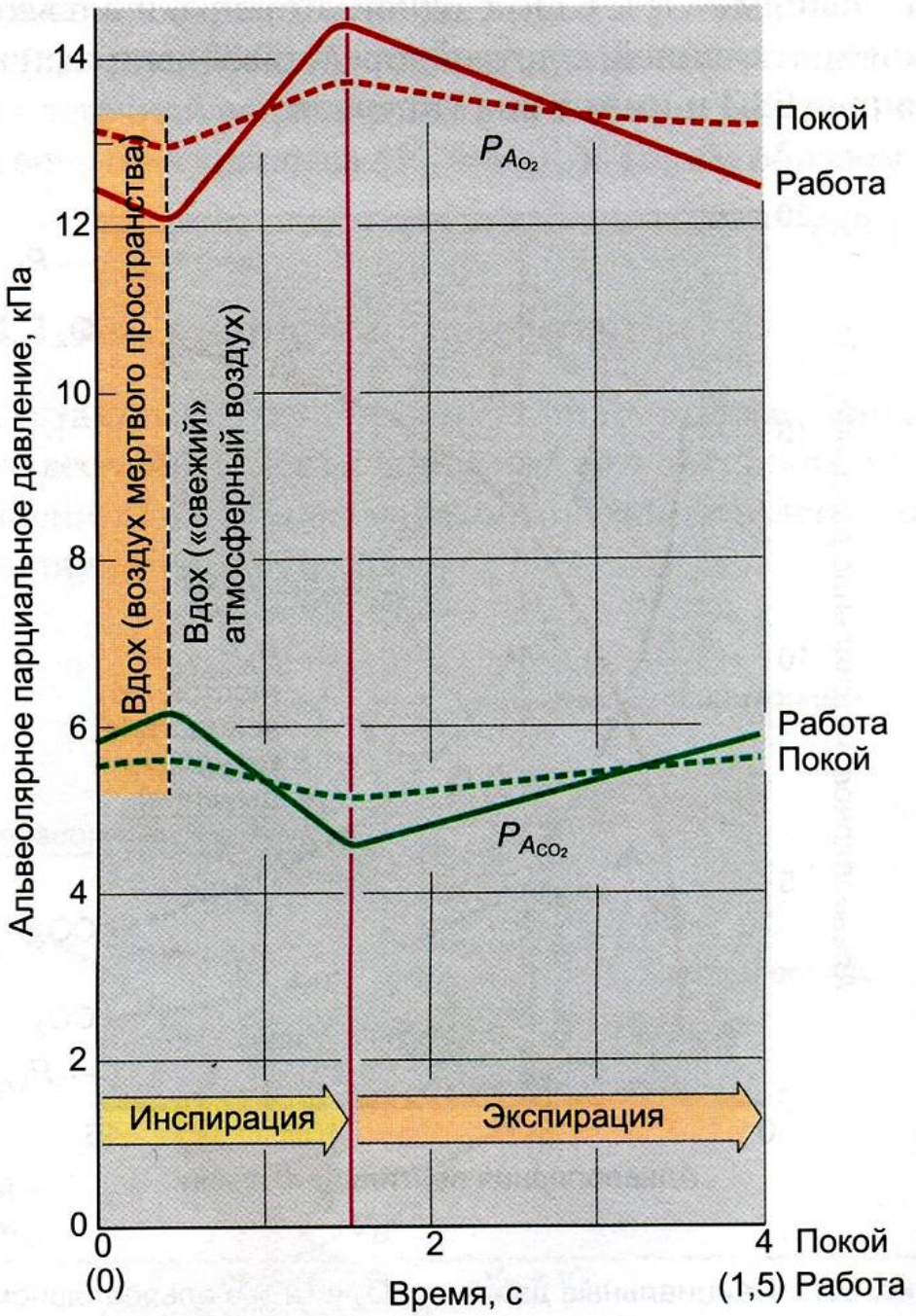


Figure 34–18. Partial pressures of gases (mm Hg) in various parts of the respiratory system and in the circulatory system.

Нормальные значения, характеризующие дыхание и газообмен у молодых людей со здоровыми легкими в состоянии физического покоя. Данные имеют значительный разброс. Дыхание воздухом, P_B = 100 кПа. Параметры, характеризующие газы крови, см. в табл. 72.1

Параметр	Символ	Нормальное значение	Единицы измерения
Поступление O_2	$\dot{V}_{O_2}$	0,31	$л_{STPD} \cdot мин^{-1}$ = =14 ммоль · $мин^{-1}$
Выделение CO_2	$\dot{V}_{CO_2}$	0,26	$л_{STPD} \cdot мин^{-1}$ = =12 ммоль · $мин^{-1}$
Респираторное частное	RQ	0,84	—
Дыхательный объем	V_T	0,5	$л_{BTPS}$
Объем мертвого пространства	V_D	0,15	$л_{BTPS}$ (в покое ≈ ≈ 30 % от V_T)
Частота дыхания	f_R	16	$мин^{-1}$
Объемная скорость дыхания (измеренная на выдохе)	$\dot{V}_E$	8	$л_{BTPS} \cdot мин^{-1}$
Альвеолярная вентиляция	$\dot{V}_A$	5,6	$л_{BTPS} \cdot мин^{-1}$
Вентиляция мертвого пространства	$\dot{V}_D$	2,4	$л_{BTPS} \cdot мин^{-1}$
Смешанно-экспираторная фракция O_2	$F_{E_{O_2}}$	0,163	—
Смешанно-экспираторная фракция CO_2	$F_{E_{CO_2}}$	0,040	—
Альвеолярное P_{O_2}	$P_{A_{O_2}}$	13,3	кПа = 100 мм рт. ст.
Альвеолярное P_{CO_2}	$P_{A_{CO_2}}$	5,3	кПа = 40 мм рт. ст.
Сердечно-временной объем (минутный объем)	$\dot{Q}$	6,2	$л \cdot мин^{-1}$



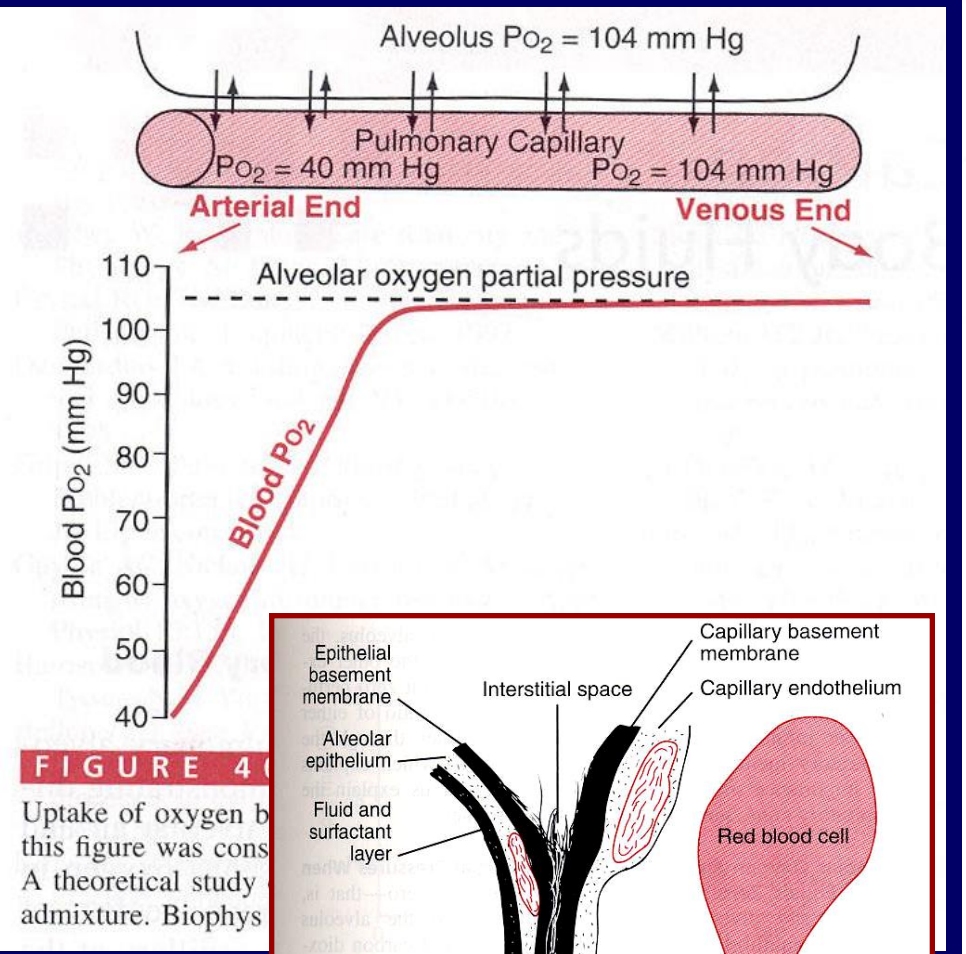
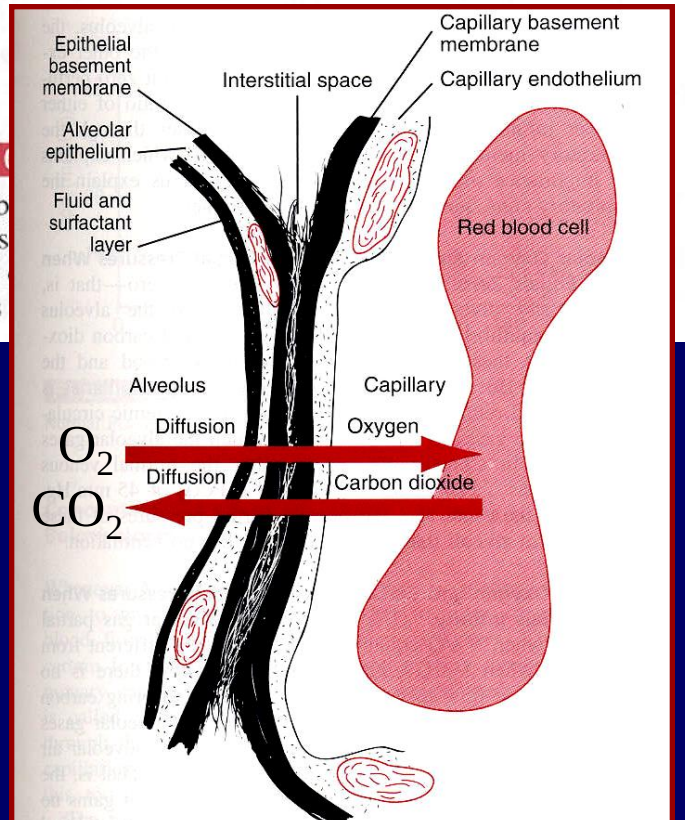


FIGURE 4(

Uptake of oxygen b
this figure was cons
A theoretical study
admixture. Biophys



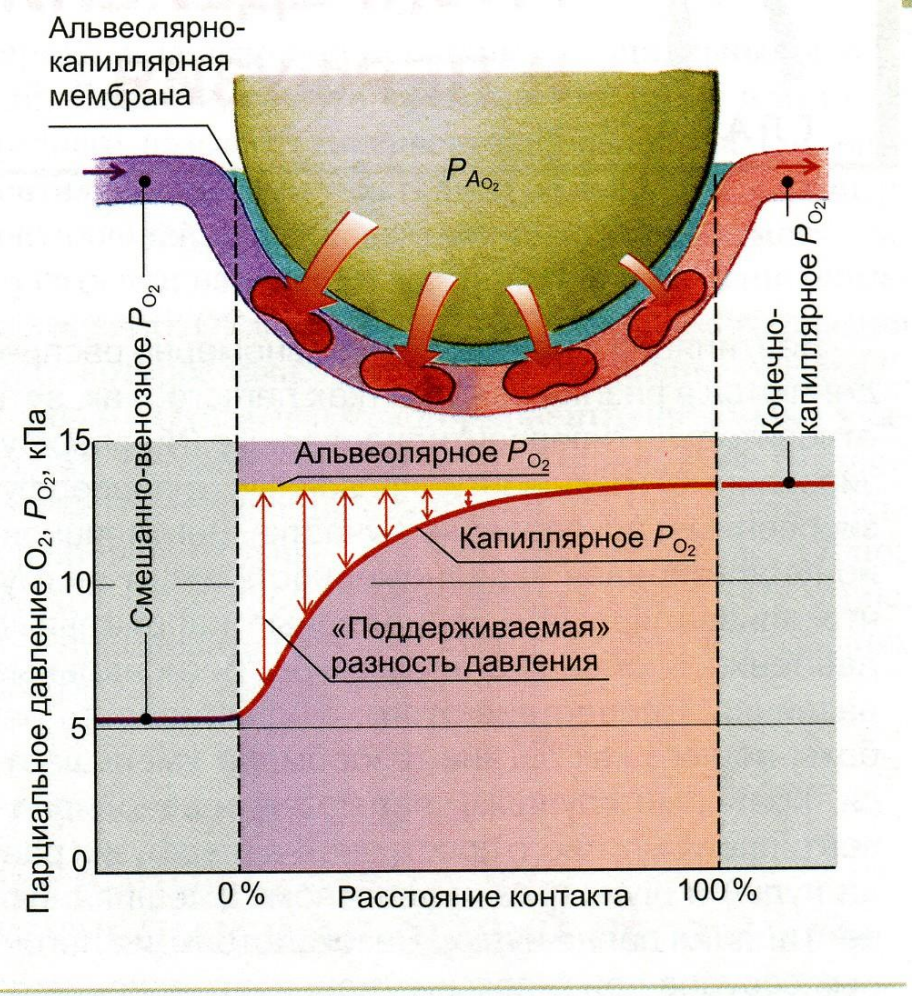
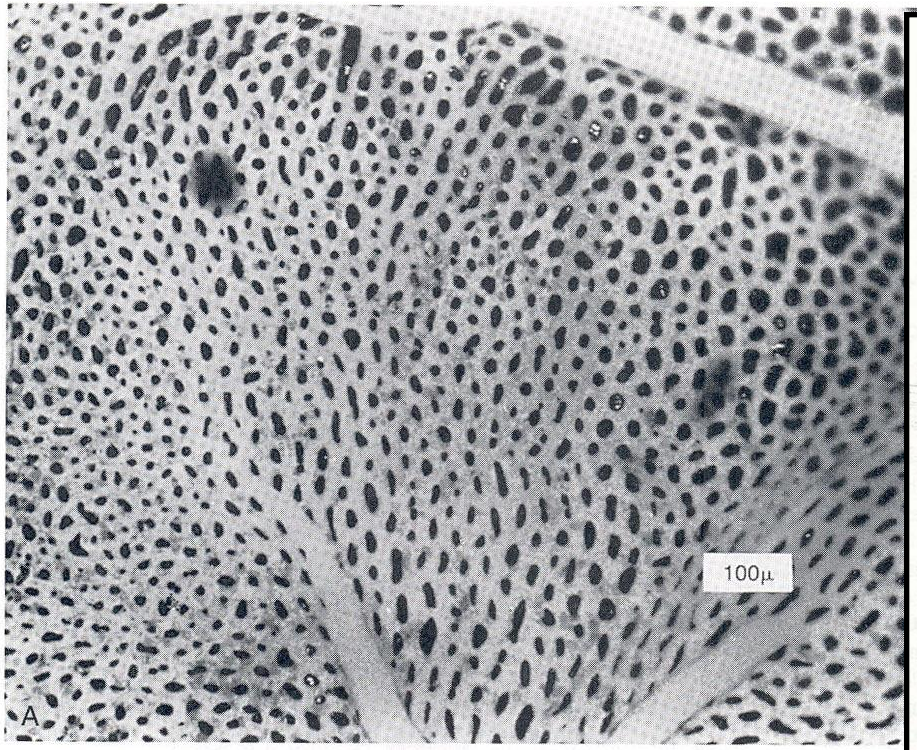
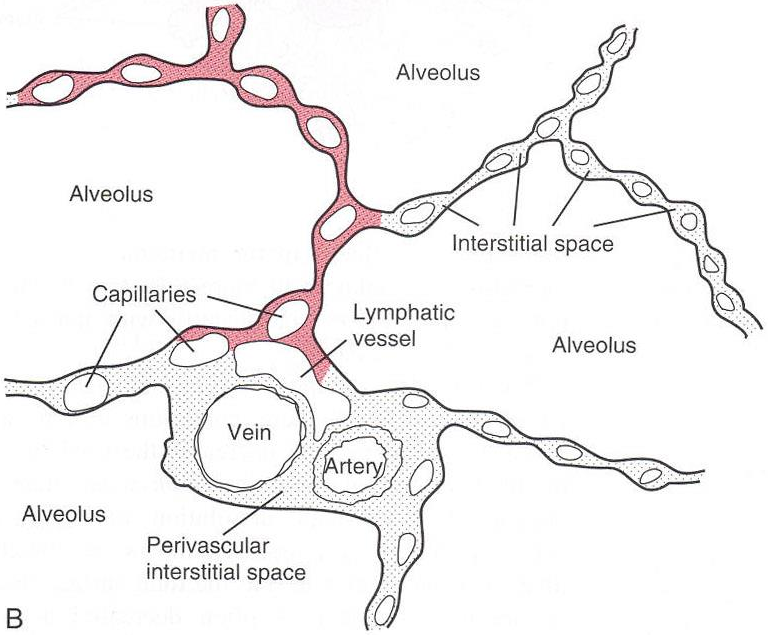


Рис. 70.2. Поступление O_2 из альвеолярного воздуха в кровь легочных капилляров. В начале капилляра «поддерживаемая» разность давления высока, и большое количество O_2 диффундирует через альвеолярно-капиллярную мембрану. Благодаря поступлению O_2 в кровь увеличивается ее P_{O_2} вдоль капилляра, вследствие чего «поддерживаемая» разность давления и диффузионный поток снижаются. Конечно-капиллярная артериальная кровь, покидающая капилляр, имеет практически то же самое P_{O_2} (и P_{CO_2}), как альвеолярный воздух. Кривая капиллярного уравнения P_{O_2} проходит в нормальных условиях более отвесно, чем на представленном для пояснения рисунке. Усредненная альвеолярно-капиллярная разность P_{O_2} в норме равна примерно 1 кПа (см. текст)





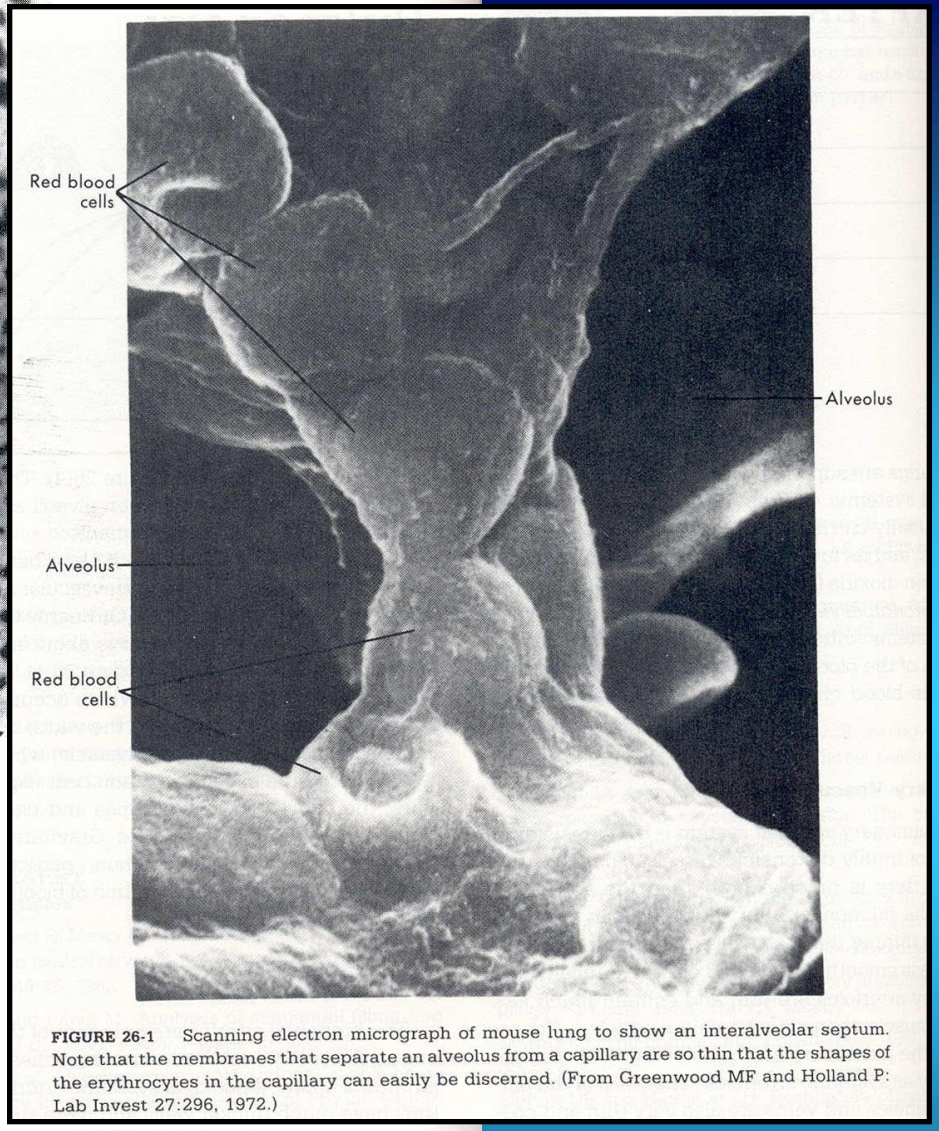


FIGURE 26-1 Scanning electron micrograph of mouse lung to show an interalveolar septum. Note that the membranes that separate an alveolus from a capillary are so thin that the shapes of the erythrocytes in the capillary can easily be discerned. (From Greenwood MF and Holland P: Lab Invest 27:296, 1972.)

FIGURE 39–8

A, Surface view of capillaries in the alveolar wall. (From Maloney JE, Castle BL: Pressure-diameter relations of capillaries and small blood vessels in frog lung. Respir Physiol 7:150, 1969. Reproduced by permission of ASP Biological and Medical Press, North-Holland Division.) *B,* Cross-sectional view of alveolar walls and their vascular supply.

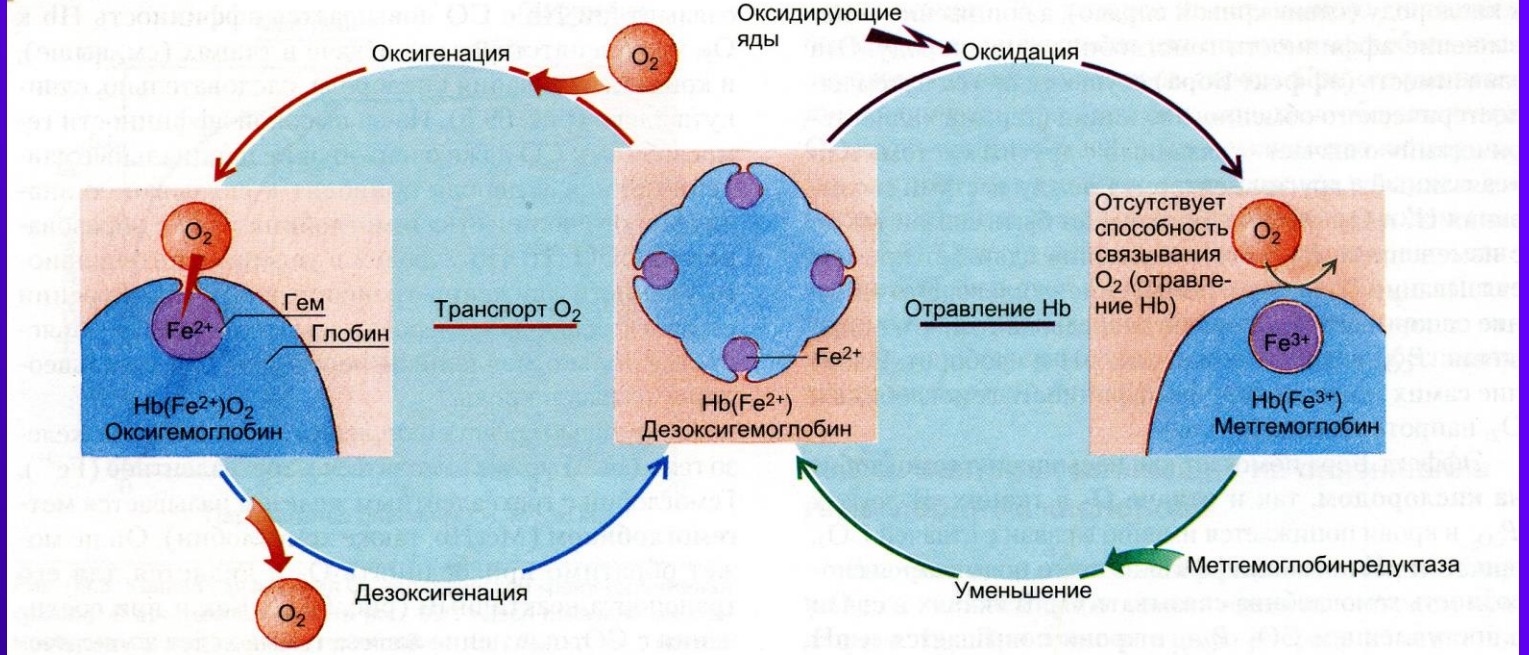
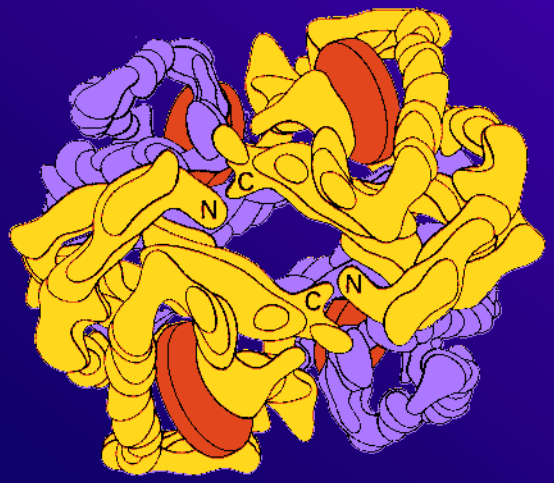
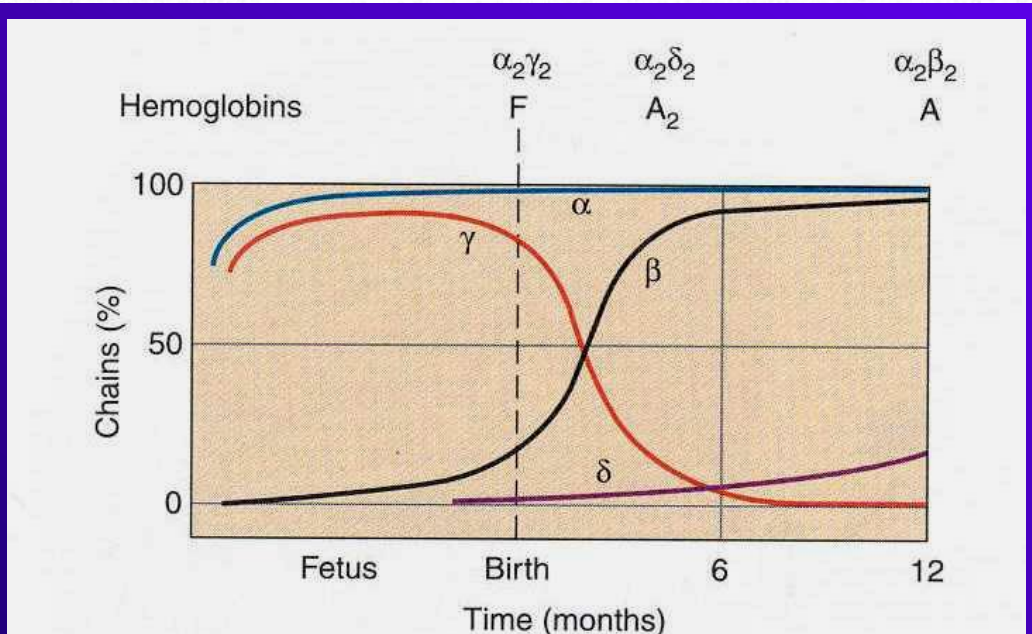
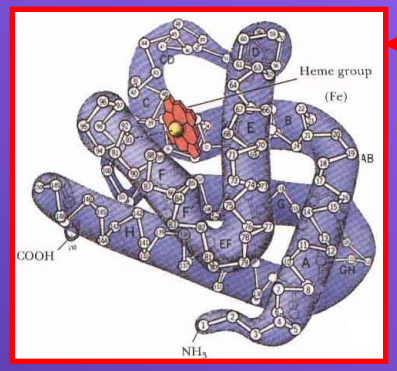


Рис. 69.6. Оксигенация и оксидация гемоглобина. При оксигенации (слева) молекулярный O_2 обратимо связывается двухвалентным железом гема (транспорт O_2). При оксидации (справа), напротив, гем железа оксидируется в трехвалентную степень, благодаря чему возникает метгемоглобин, который не может связывать O_2 (отравление Hb). Фермент метгемоглобинредуктаза благоприятствует переходу метгемоглобина в дезоксигемоглобин







Гемоглобин $\alpha_2\beta_2$

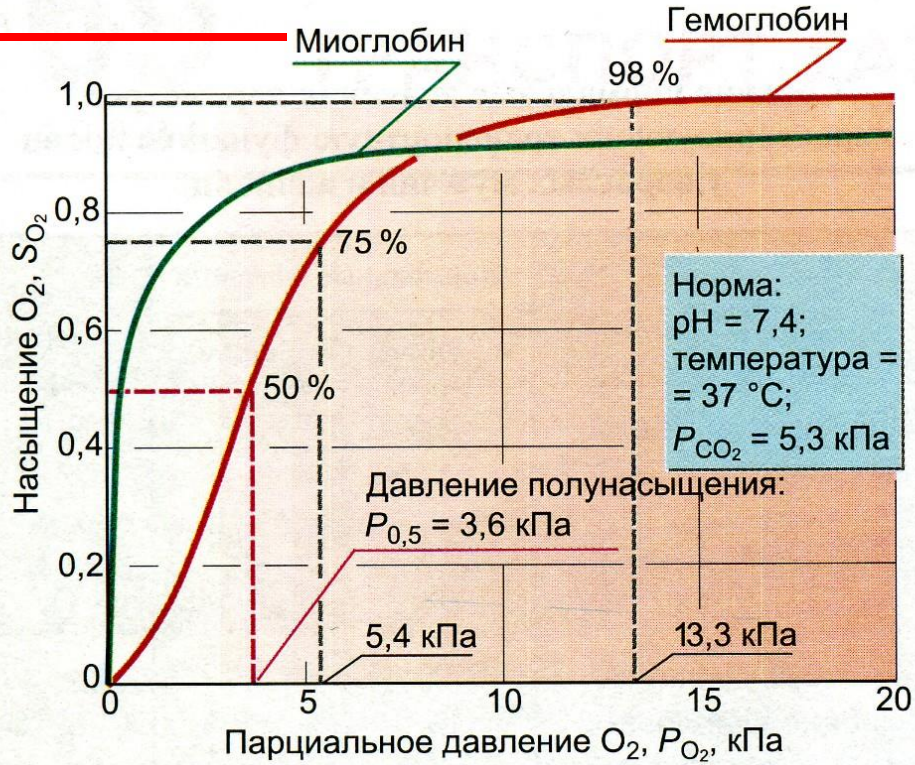


Рис. 69.3. Кривая связывания O_2 человеческой крови (оранжевая кривая). В противоположность рис. 69.1 здесь показана зависимость между насыщением гемоглобина O_2 (S_{O_2}) от P_{O_2}, так что кривая отражает кислородную емкость крови при разных значениях P_{O_2}. Кривая имеет S-образную форму, ее парциальное давление полунасыщения ($P_{0,5}$) составляет 3,6 кПа. Далее при увеличении значения P_{O_2} насыщение гемоглобина кислородом увеличивается с 75 до 98 %. Кривая действительна для приведенных значений, характерных для нормальной артериальной крови. Для сравнения приведена кривая связывания кислорода миоглобином, имеющая форму гиперболы (зеленая кривая). Как видно из нижнего участка зеленой кривой, одинаковой с кривой артериальной крови (оранжевая кривая), S_{O_2} достигается при меньших значениях P_{O_2}. Как видно из верхнего участка зеленой кривой, насыщение S_{O_2} мало зависит от P_{O_2}

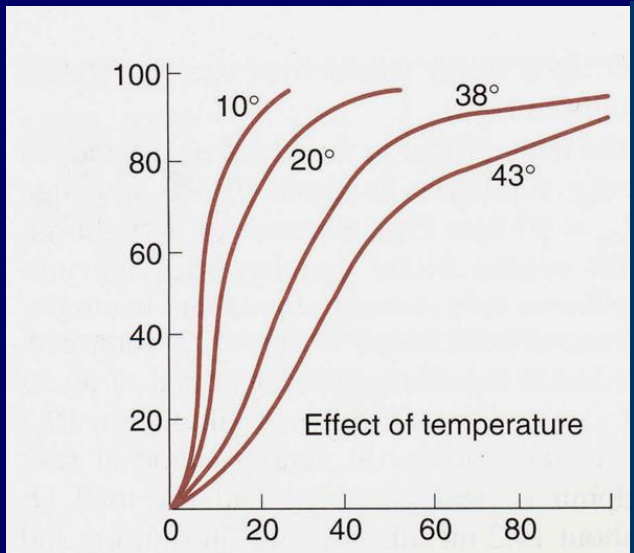
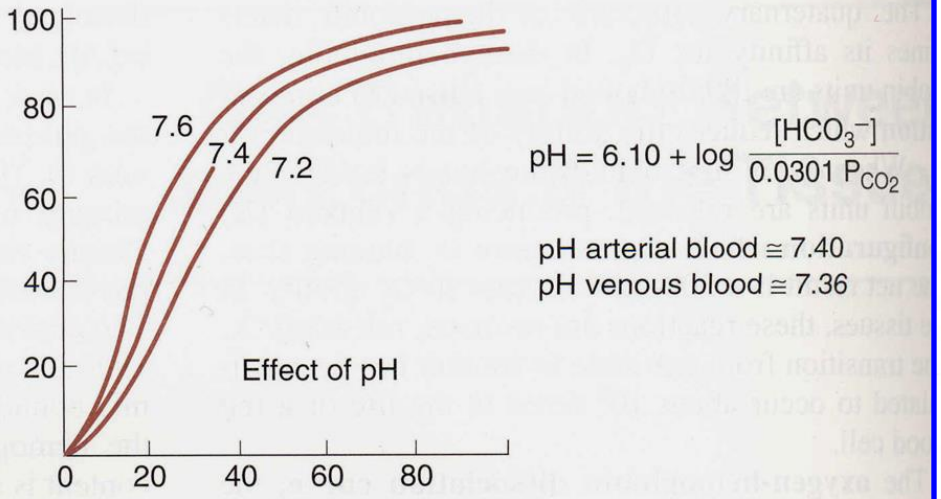


Figure 35–3. Effect of temperature and pH are as in Figure 35–2. (Redrawn and reprodu



on the oxygen-hemoglobin dissociation curve. Ordinates and abscis
ced, with permission, from Comroe JH Jr et al: *The Lung: Clinical Phys*
ear Book, 1962.)

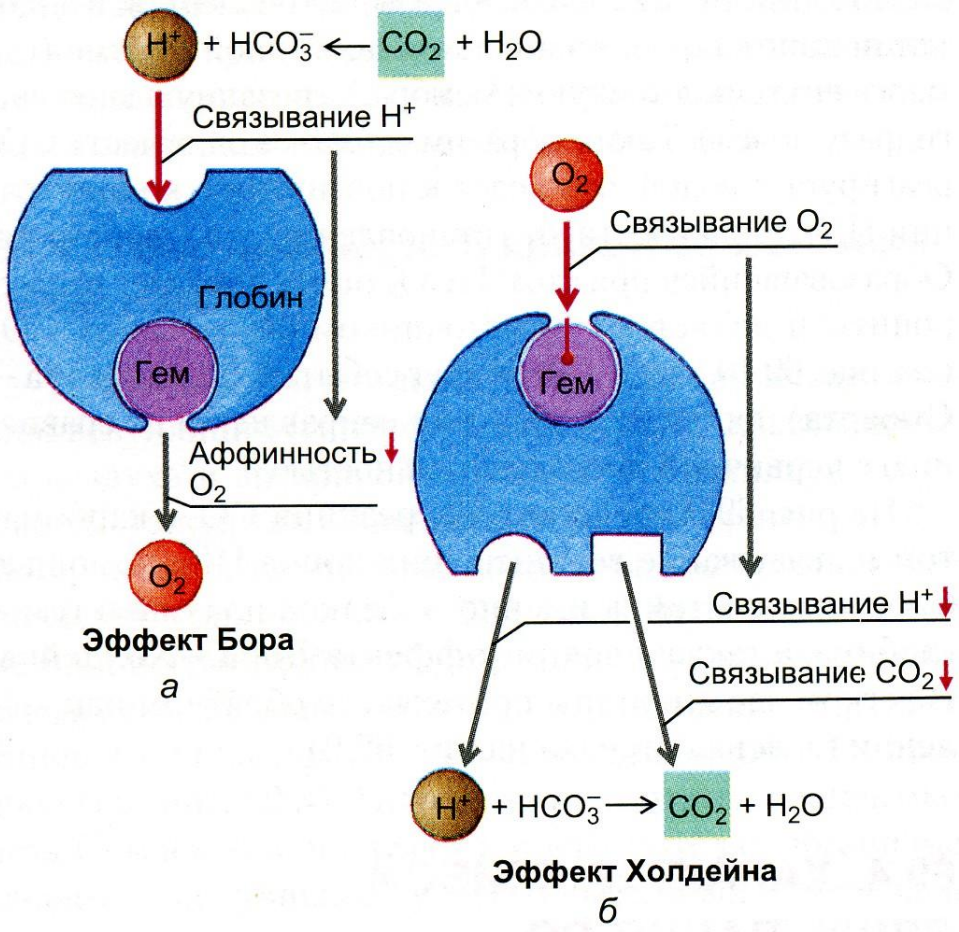
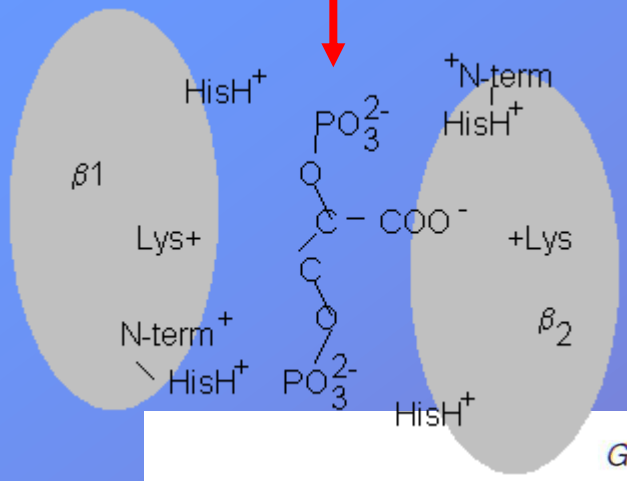
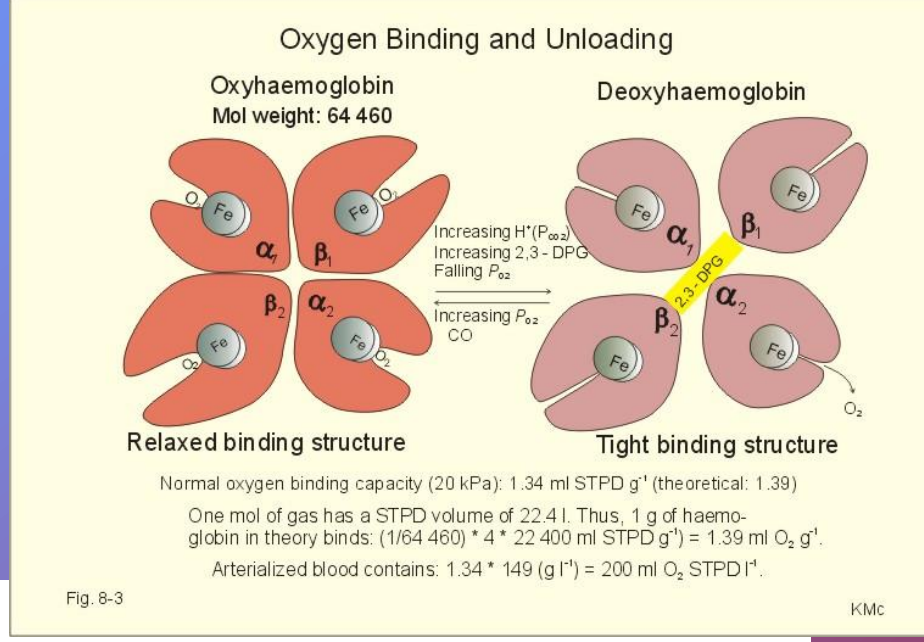


Рис. 69.8. Принципы эффектов Бора и Холдейна. (*а*) Эффект Бора описывает влияние изменения концентрации ионов H^+ и тем самым связывания H^+ с гемоглобином на связывание гемом O_2. Изменение концентрации CO_2 приводит к изменению концентрации ионов H^+, которые, в свою очередь, при связывании с белком в виде карбомата влияют на аффинность гема к O_2. (*б*) При эффекте Холдейна связывание гема с O_2 способствует отдаче глобином H^+ (буфер), что, в свою очередь, влияет на равновесие HCO_3^- и CO_2. Дополнительно (оксилабильное связывание карбомата) на связывание карбамата CO_2 влияет часть насыщения O_2, а часть карбоматного соединения CO_2 испытывает влияние от насыщения гемоглобина O_2 (оксилабильное связывание карбамата)

DPG - дифосфоглицерат





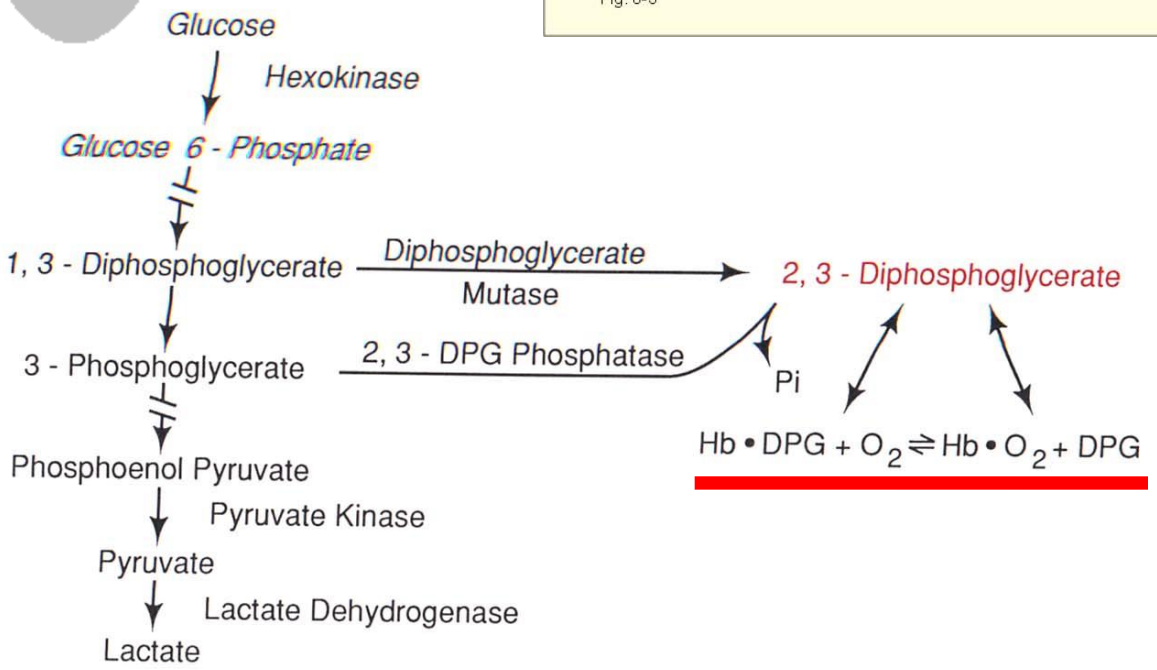


FIG. 3. Formation of 2,3-DPG in erythrocytes. The vertical chain at the left shows the glycolytic pathway in cells other than erythrocytes. In erythrocytes, the enzyme DPG mutase catalyzes the conversion of much of the 1,3-DPG to 2,3-DPG. That not bound by deoxygenated Hb is converted to 3-phosphoglycerate without the formation of adenosine triphosphate. The enzyme catalyzing

Factors shifting curve to the left

1. ↓[H+], ↑pH
2. ↓P_{CO_2}
3. ↓Temperature
4. ↓2, 3-DPG
   a. Hexokinase deficiency
   b. Hypothyroidism
   c. Bank blood
5. Some congenital hemoglobinopathies:
   a. Hemoglobin Rainier
   b. Hemoglobin Hiroshima
   c. Hemoglobin San Francisco
6. Carboxyhemoglobin

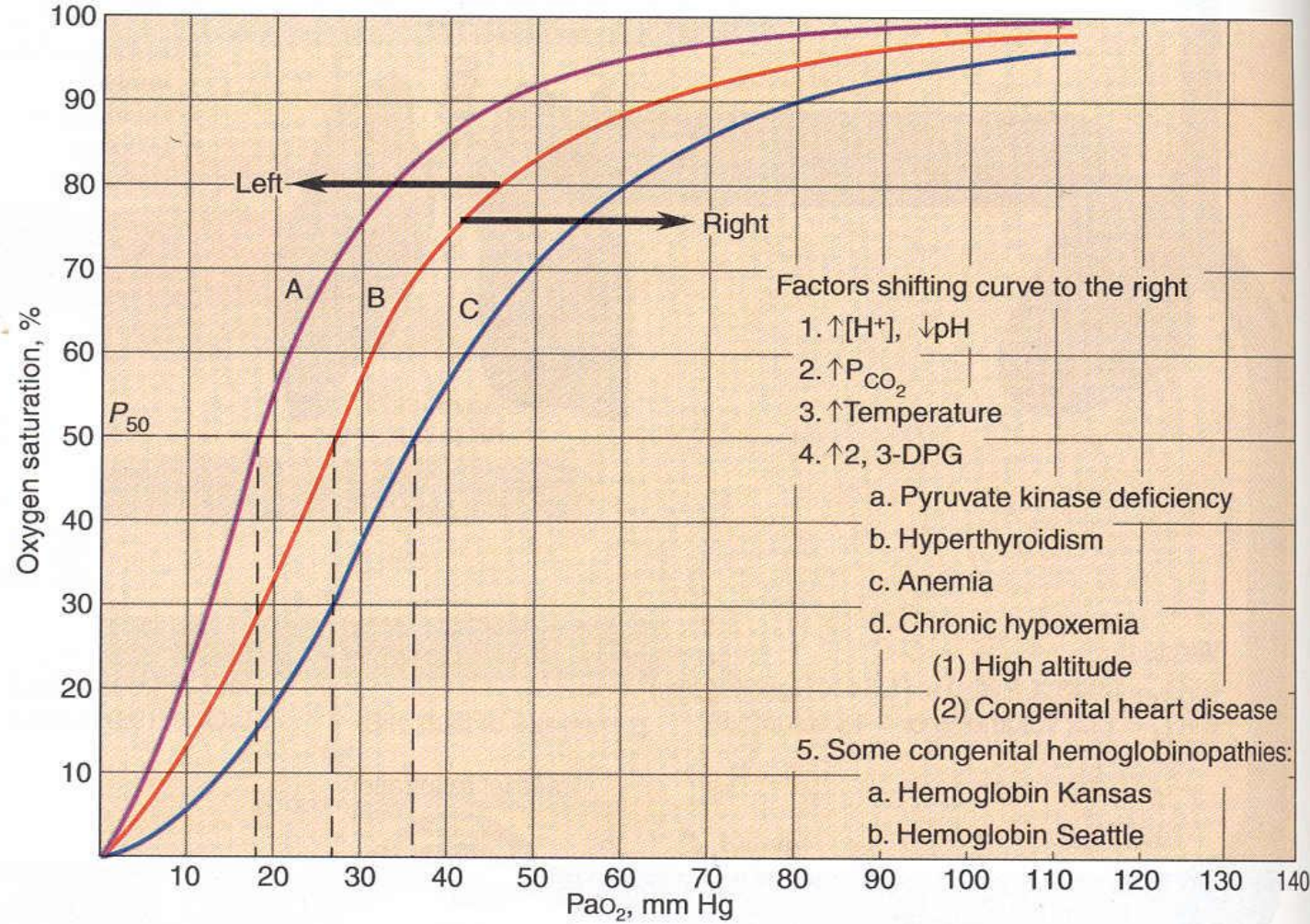


FIGURE 13–15. Oxygen-hemoglobin dissociation curve. Factors affecting hemoglobin's affinity for oxygen. Curve *B* is the standard oxyhemoglobin dissociation curve. Factors that shift the curve to the left are represented in curve *A*; factors that shift the curve to the right are represented in curve *C*. (Redrawn from Gottlieb JE: Breathing and gas exchange. *In* Kinney MR, Packa DR, Dunbar SB (eds): *AACN's Clinical Reference for Critical Care Nursing*, ed 3. New York, McGraw-Hill, 1993, p 672.)

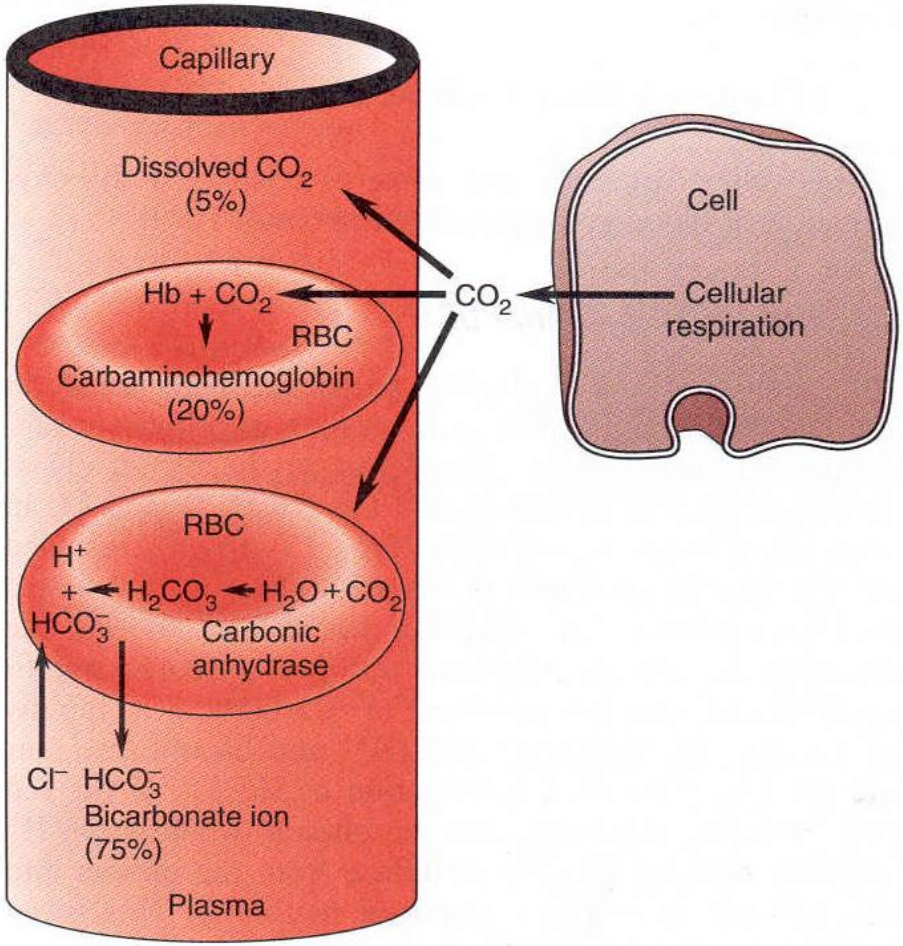


FIGURE 13–16. Carbon dioxide is transported in three forms in the blood: (1) as dissolved gas, (2) as bicarbonate ion (HCO_3^-), and (3) in association with hemoglobin.

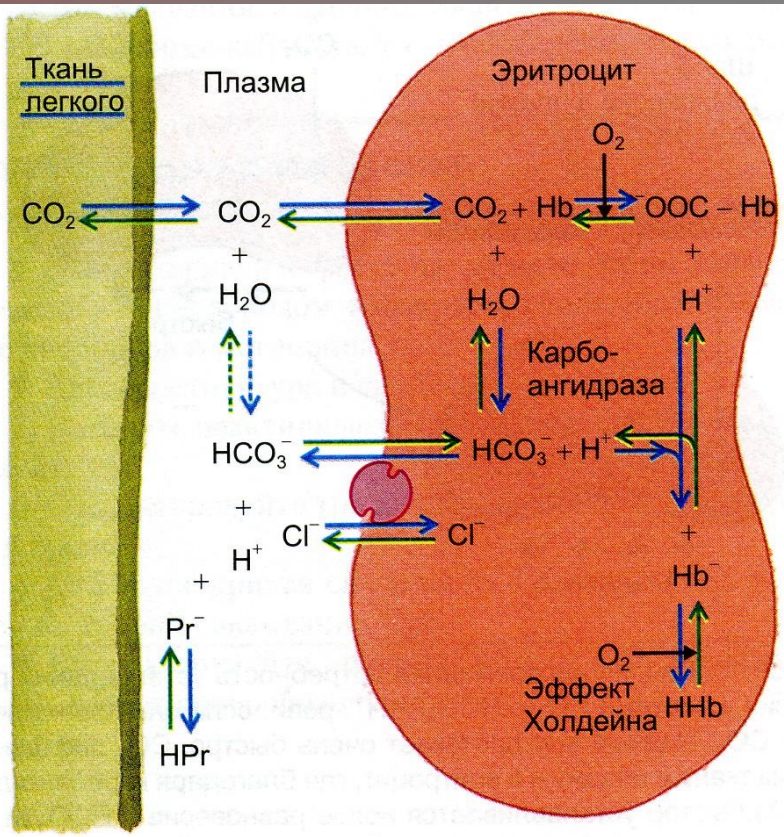
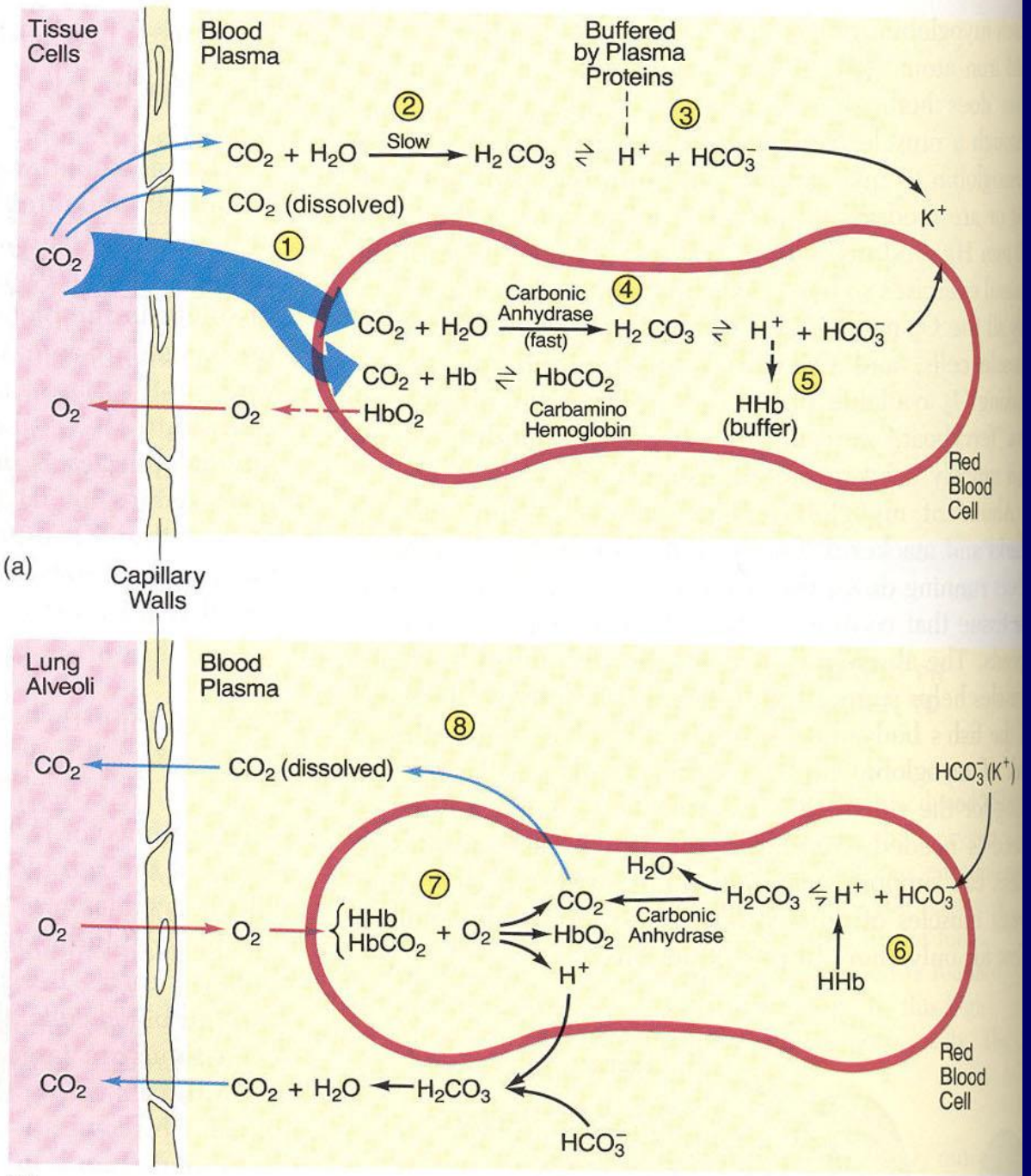
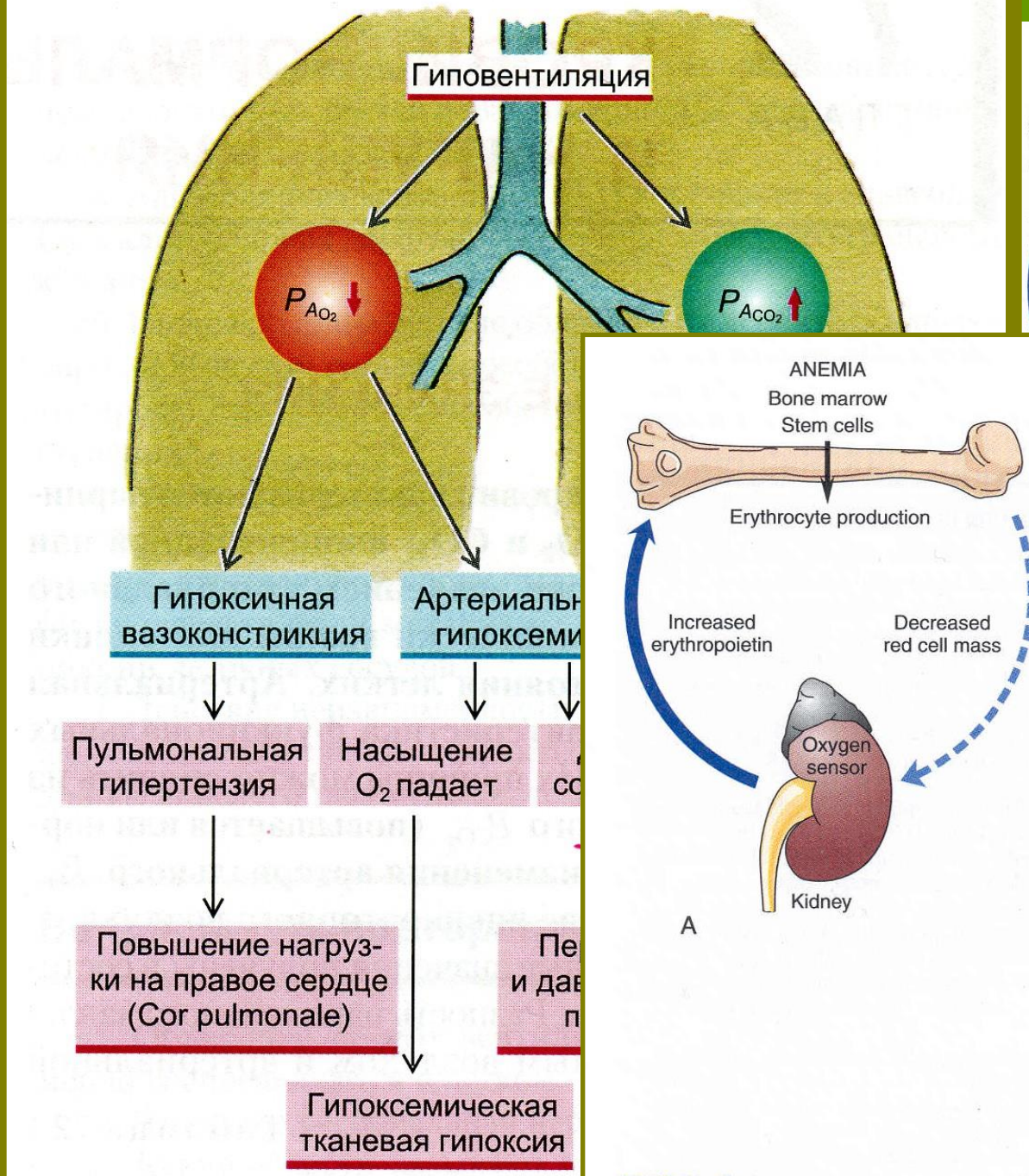


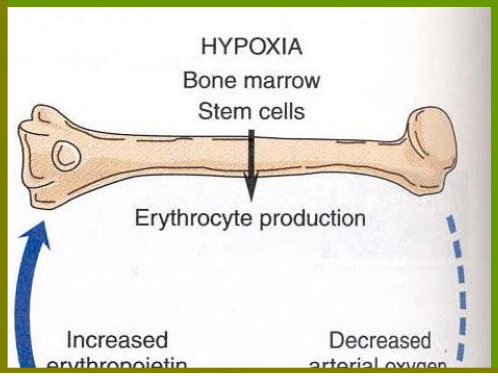
Рис. 69.9. Реакции при поступлении CO_2 в кровь (ткани, голубые стрелки) и при выделении CO_2 из крови (легкое, зеленые стрелки). Пунктирные стрелки в плазме означают, что установка в положение равновесия происходит медленно (см. рис. 69.10). $Hb—COO^-$ — карбамат, HHb/Hb^- указывает на буферные свойства гемоглобина. Фиолетовый транспортер (Band-3) обеспечивает равный обмен $HCO_3^- — Cl^-$

Figure 31-17 TRANSPORT OF CARBON DIOXIDE IN THE BLOOD.

Most carbon dioxide in the blood is transported as HCO_3^-, especially the large amount formed rapidly in red blood cells as a result of the activity of the carbonic anhydrase enzyme. Some CO_2 is bound to hemoglobin (carbamino hemoglobin), and a small proportion moves as dissolved gas. The reactions occurring in the blood capillaries (a), where CO_2 is taken up, are reversed in the lungs (b) as CO_2 is eliminated into the alveoli. A key feature of this system is that it operates to keep blood H^+ levels low and pH near 7.35. If H^+ builds up in blood plasma or red blood cells, breathing speeds; this eliminates CO_2 faster and shifts the various reactions so that more H^+ combines with HCO_3^-. Note that O_2 diffuses into the red blood cells in lung capillaries and binds to hemoglobin (HbO_2) after HHb has surrendered its H^+. In the tissues, the HbO_2 gives up O_2, which diffuses into tissue cells.







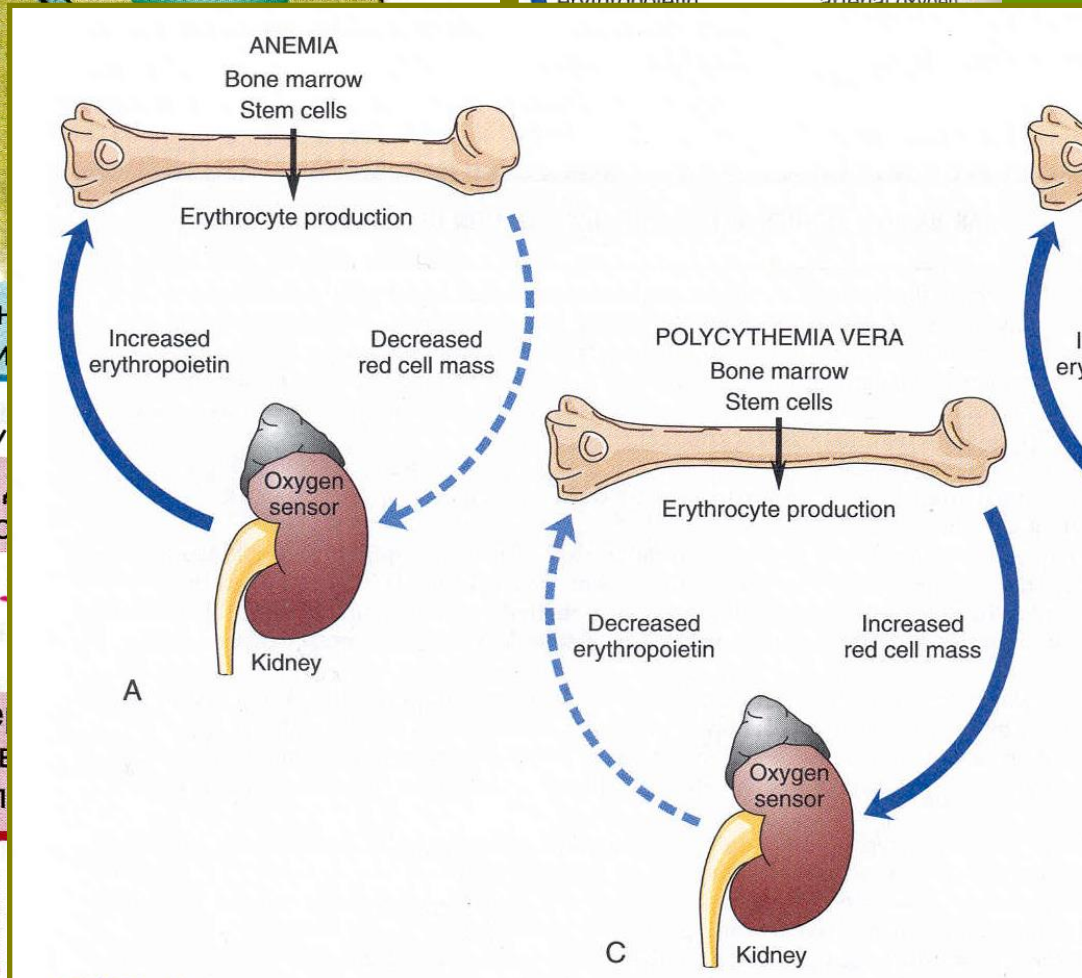


FIGURE 13–17. Alterations in the erythropoietin feedback circuit. Any factor decreasing oxygen delivery to secretion of erythropoietin and a compensatory increase in erythrocyte production as illustrated in **A** for a and in **B** for hypoxia, with a decrease in arterial oxygen saturation. An increase in erythrocyte mass, as oc

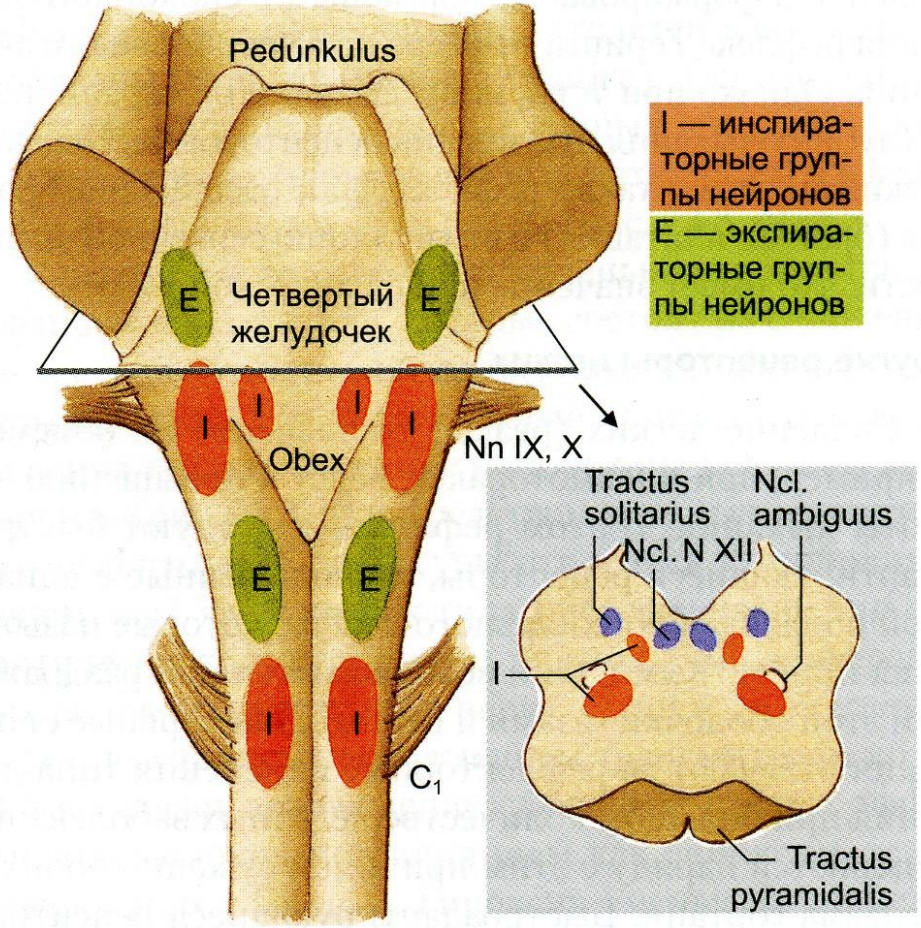
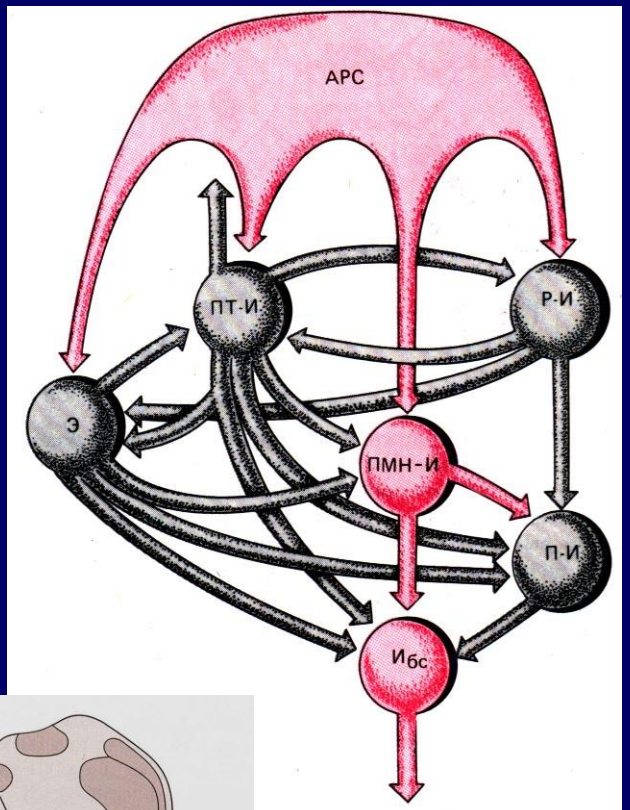
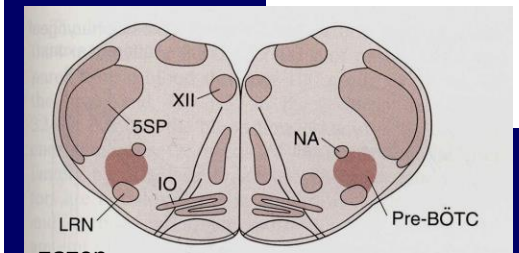


Рис. 73.1. Распределение респираторных нейронов в стволе мозга. Слева: вид на medulla oblongata после отделения малого мозга. Инспираторные (I, оранжевые) и экспираторные (E, зеленые) нейронные группы и их приблизительное расположение. В действительности они находятся внутри ретикулярной формации и их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





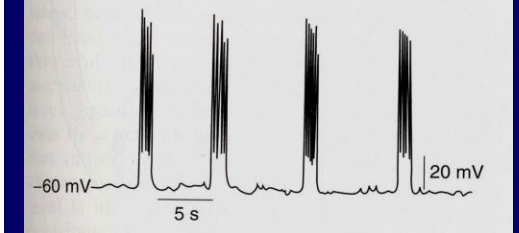


Figure 36–2. Rhythmic discharge (tracing below) of neurons in the pre-Böttzinger complex (shaded area, pre-BÖTC) in a brain slice from a neonatal rat. IO, inferior olive; LRN, lateral reticular nucleus; NA, nucleus ambiguus; XII, nucleus of 12th cranial nerve; 5SP, spinal nucleus of trigeminal nerve.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

АРС – активир. РФ
ПТ-И – постинспир. нейроны
Э – экспират. нейроны
Р-И – ранние инспират. нейроны

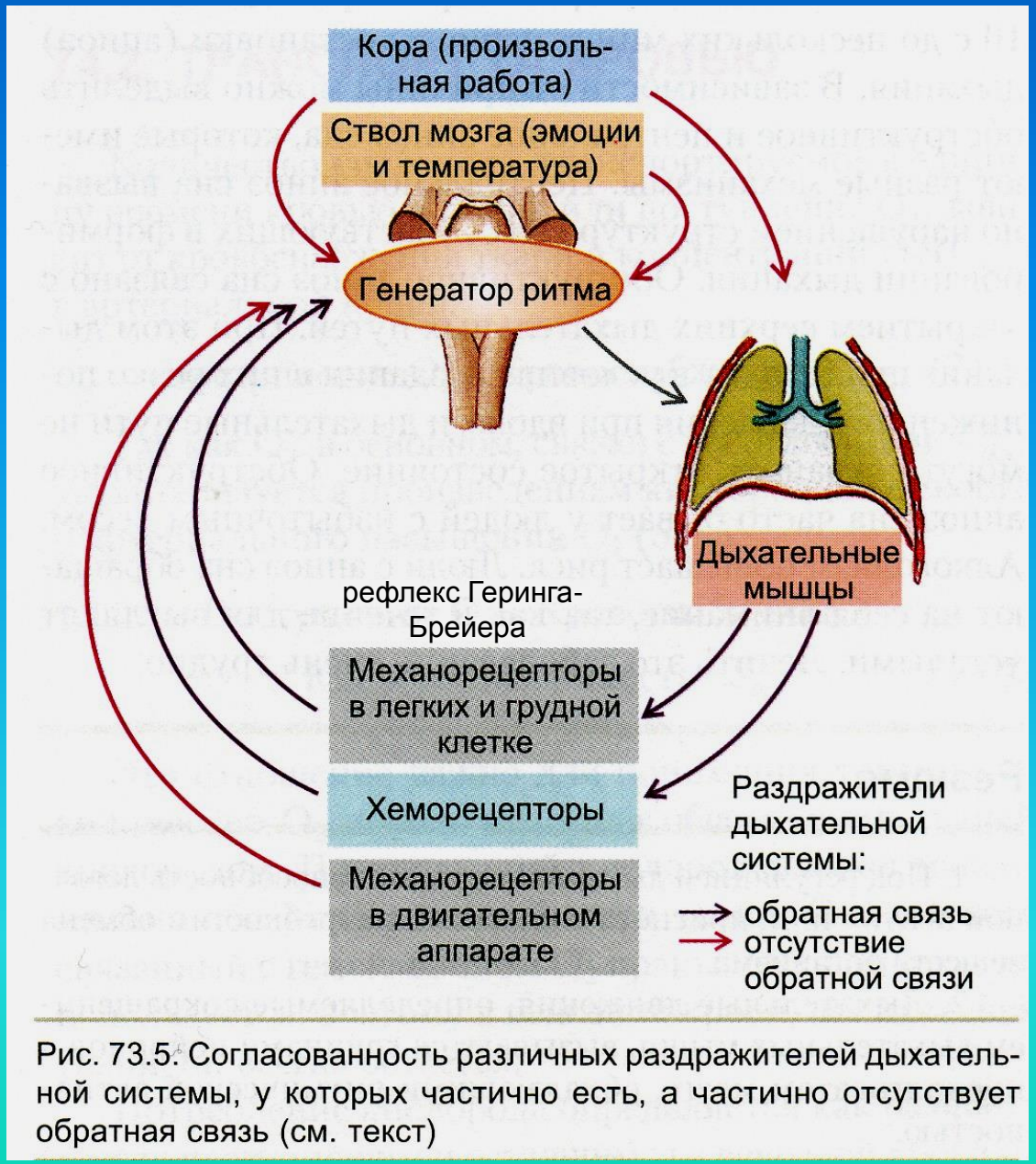


Рис. 73.5. Согласованность различных раздражителей дыхательной системы, у которых частично есть, а частично отсутствует обратная связь (см. текст)

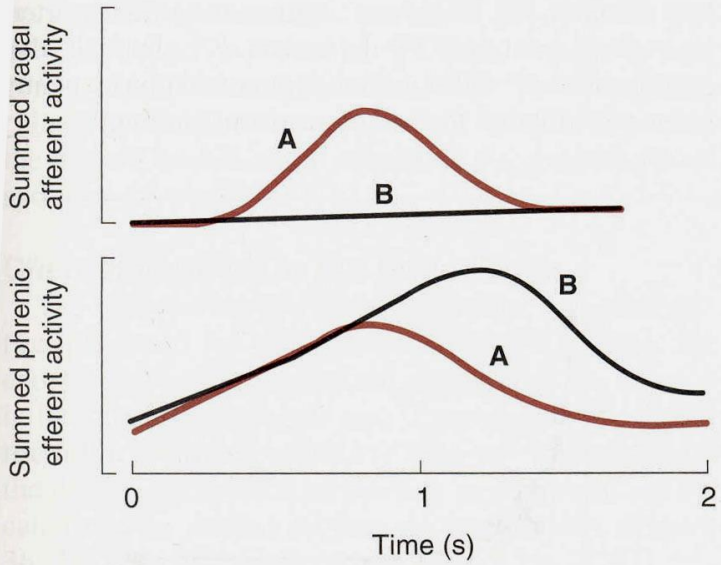
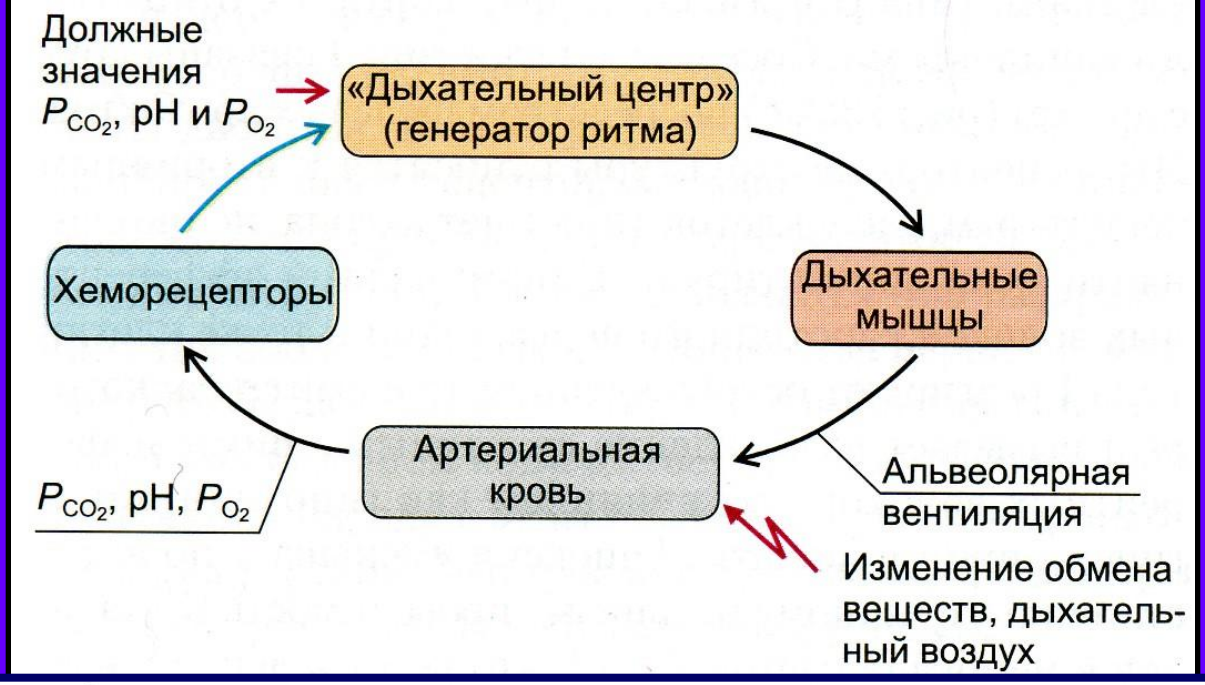


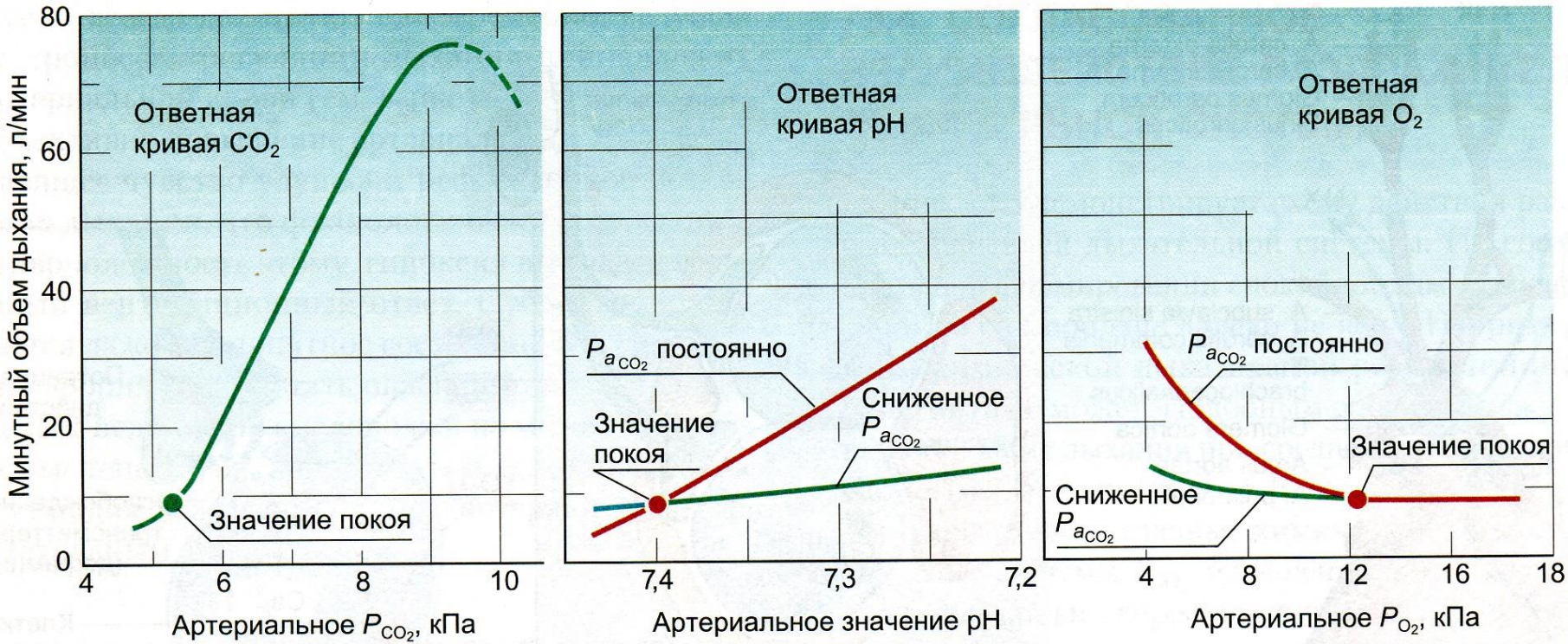
Figure 36–3. Superimposed records of two breaths: with **(A)** and without **(B)** feedback vagal afferent activity from stretch receptors in the lungs. Note that the rate of rise in phrenic nerve activity to the diaphragm is unaffected but the discharge is prolonged in the absence of vagal input.

Table 36–2. Airway and lung receptors.[1]

Vagal Innervation	Type	Location in Interstitium	Stimulus	Response
Myelinated	Slowly adapting медленно-адаптирующиеся	Among airway smooth muscle cells(?)	Lung inflation	Inspiratory time shortening Hering-Breuer inflation and deflation reflexes * Bronchodilation Tachycardia
	Rapidly adapting быстро-адаптирующиеся	Among airway epithelial cells	Lung hyperinflation Exogenous and endogenous substances (eg, histamine, prostaglandins)	Hyperpnea Cough * Bronchoconstriction Mucus secretion
Unmyelinated C fibers	Pulmonary C fibers Bronchial C fibers юкста-капиллярные	Close to blood vessels	Lung hyperinflation Exogenous and endogenous substances (eg, capsaicin, bradykinin, serotonin)	Apnea followed by rapid breathing * Bronchoconstriction Bradycardia Hypotension Mucus secretion

[1] Modified and reproduced, with permission, from Berger AJ, Hornbein TF: Control of respiration. In: *Textbook of Physiology,* 21st ed. Vol. 2. Patton HD et al (editors). Saunders, 1989.


Должные значения P_{CO_2}, pH и P_{O_2}
«Дыхательный центр» (генератор ритма)
Дыхательные мышцы
Альвеолярная вентиляция
Изменение обмена веществ, дыхательный воздух
Артериальная кровь
P_{CO_2}, pH, P_{O_2}
Хеморецепторы


Минутный объем дыхания, л/мин
0
20
40
60
80
Ответная кривая CO_2
Значение покоя
4
6
8
10
Артериальное P_{CO_2}, кПа
Ответная кривая pH
$P_{a_{CO_2}}$ постоянно
Значение покоя
Сниженное $P_{a_{CO_2}}$
7,4
7,3
7,2
Артериальное значение pH
Ответная кривая O_2
$P_{a_{CO_2}}$ постоянно
Значение покоя
Сниженное $P_{a_{CO_2}}$
4
8
12
16
18
Артериальное P_{O_2}, кПа

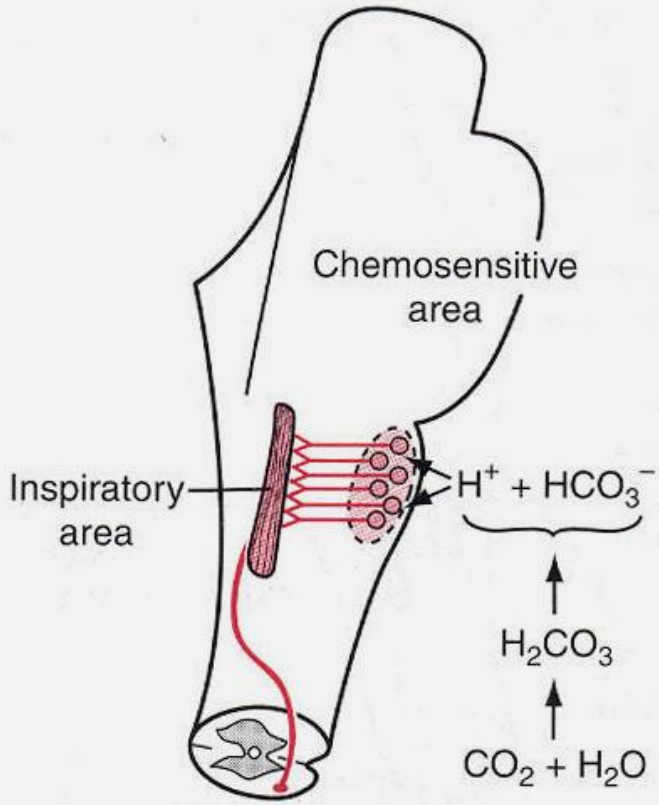


FIGURE 41–2

Stimulation of the inspiratory area by signals from the *chemosensitive area* located bilaterally in the medulla, lying only a fraction of a millimeter beneath the ventral medullary surface. Note also that hydrogen ions stimulate the chemosensitive area, whereas it is carbon dioxide in the fluid that gives rise to most of the hydrogen ions.

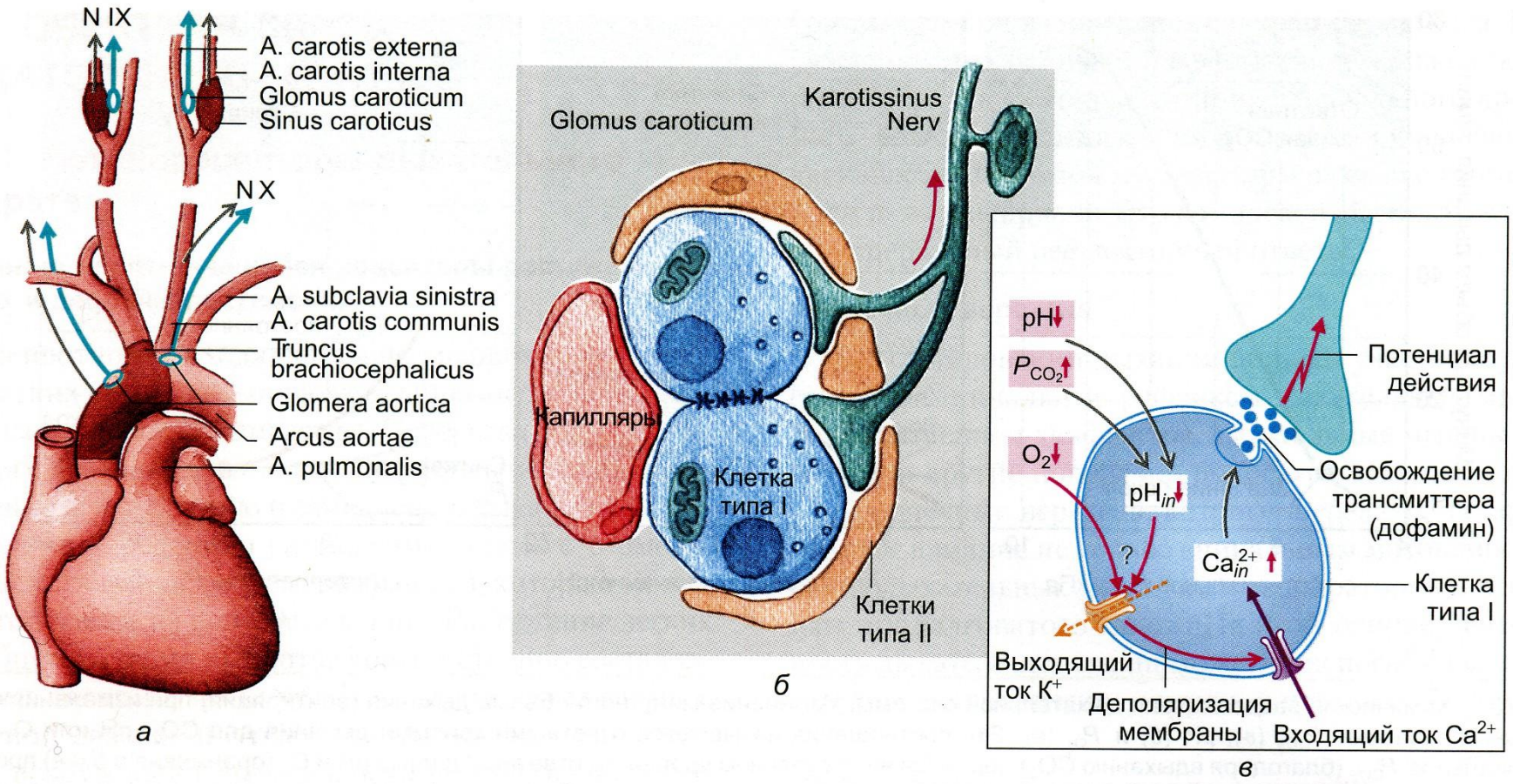


Рис. 73.3. Периферические хеморецепторы. (*а*) Каротидные тельца (glomera carotica) в месте разветвления сонной артерии получают кровь из наружной сонной артерии (a. carotis externa) и иннервируются языкоглоточным нервом (IX пара) (n. glossopharyngeus — N IX). По аортальным тельцам (glomera aortica)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

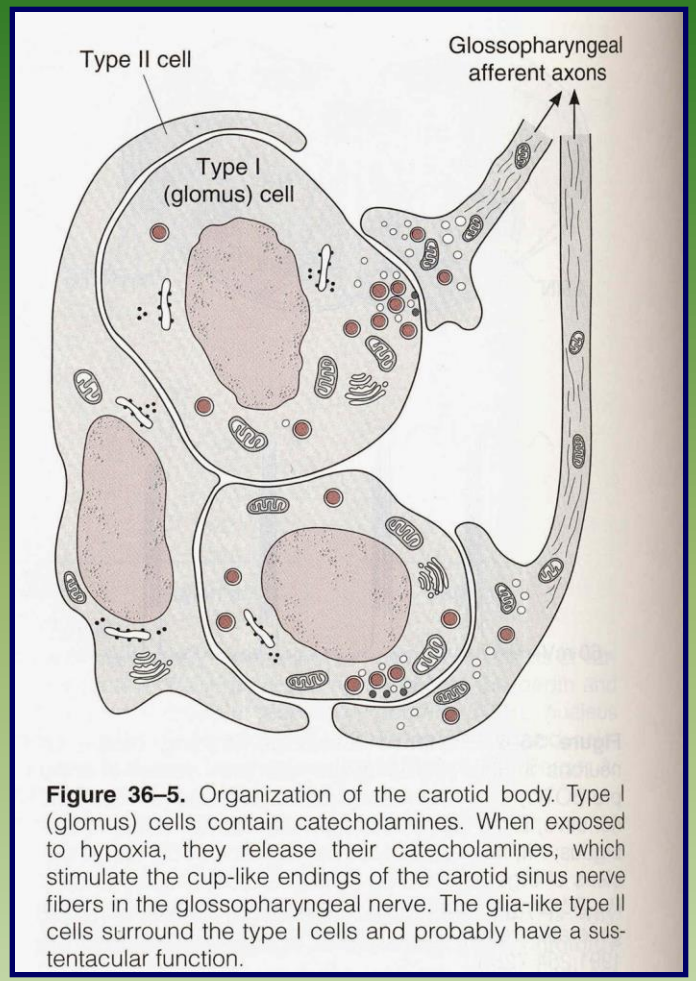


Figure 36–5. Organization of the carotid body. Type I (glomus) cells contain catecholamines. When exposed to hypoxia, they release their catecholamines, which stimulate the cup-like endings of the carotid sinus nerve fibers in the glossopharyngeal nerve. The glia-like type II cells surround the type I cells and probably have a sustentacular function.

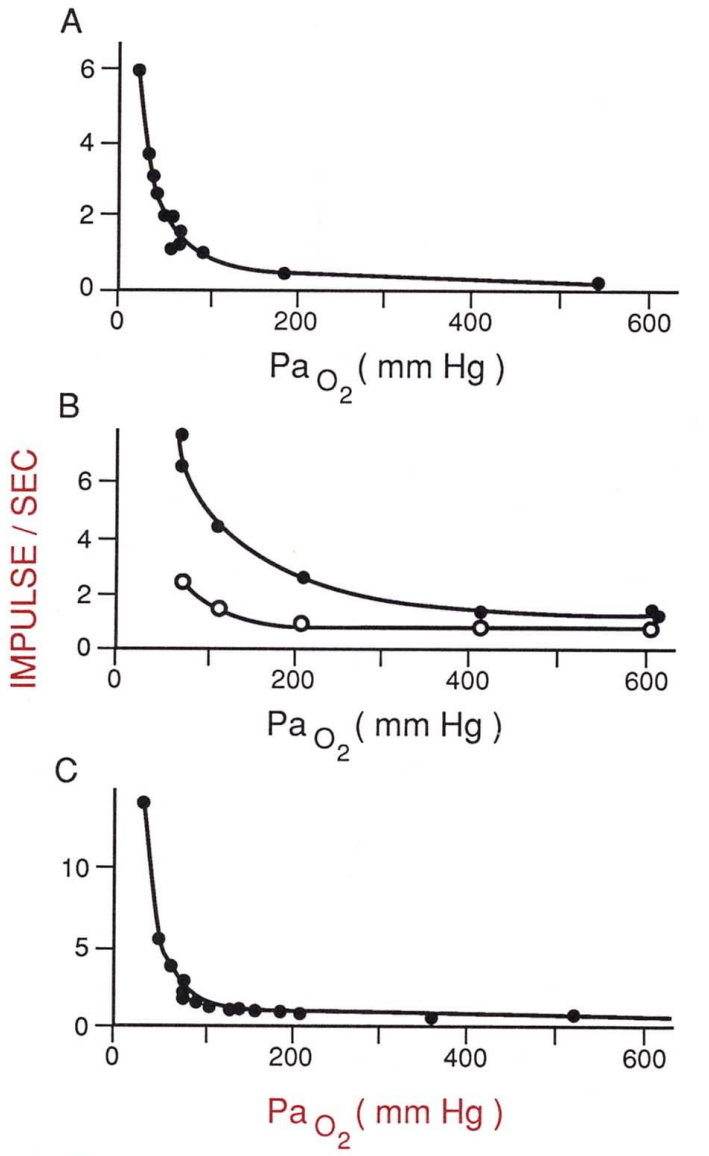
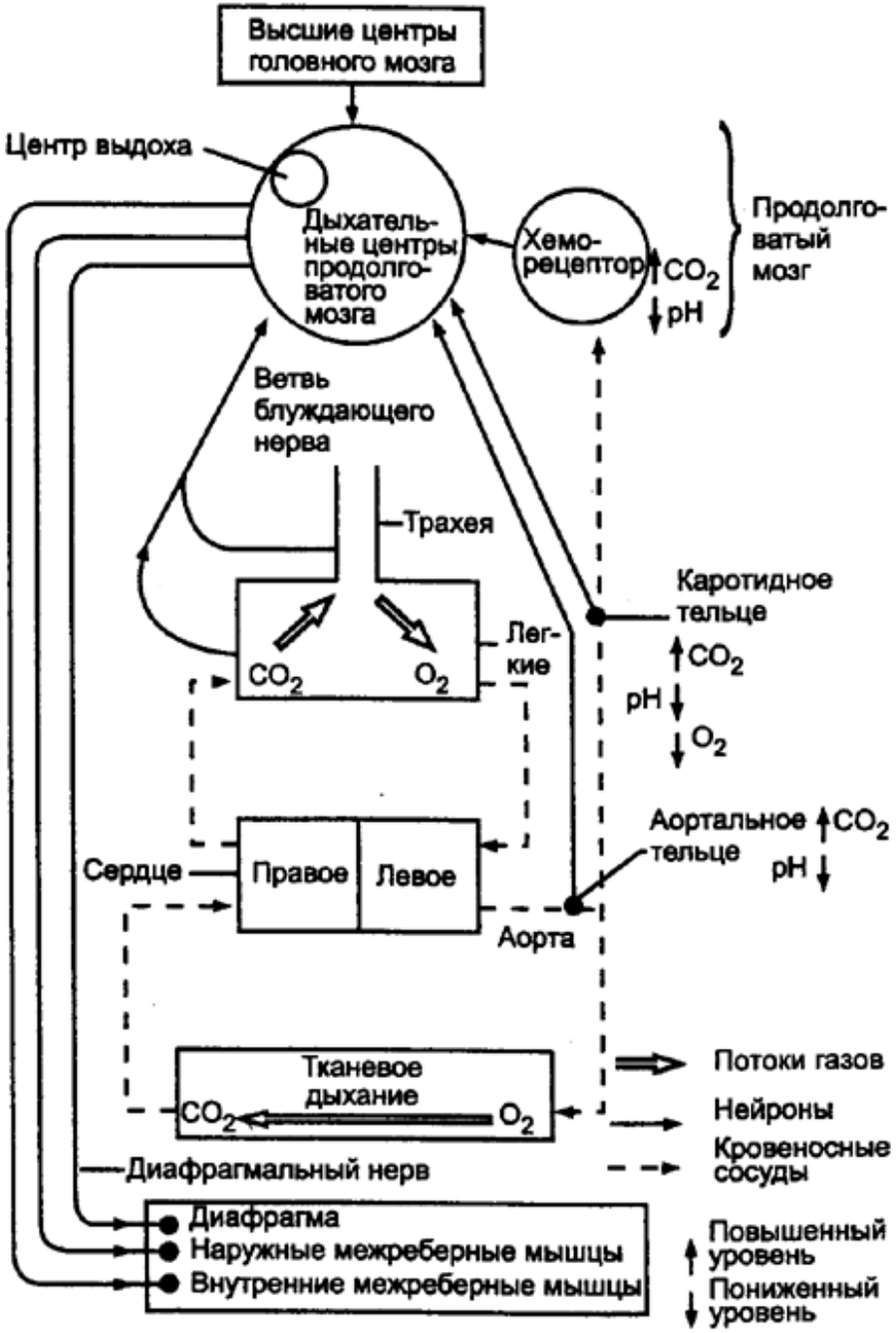
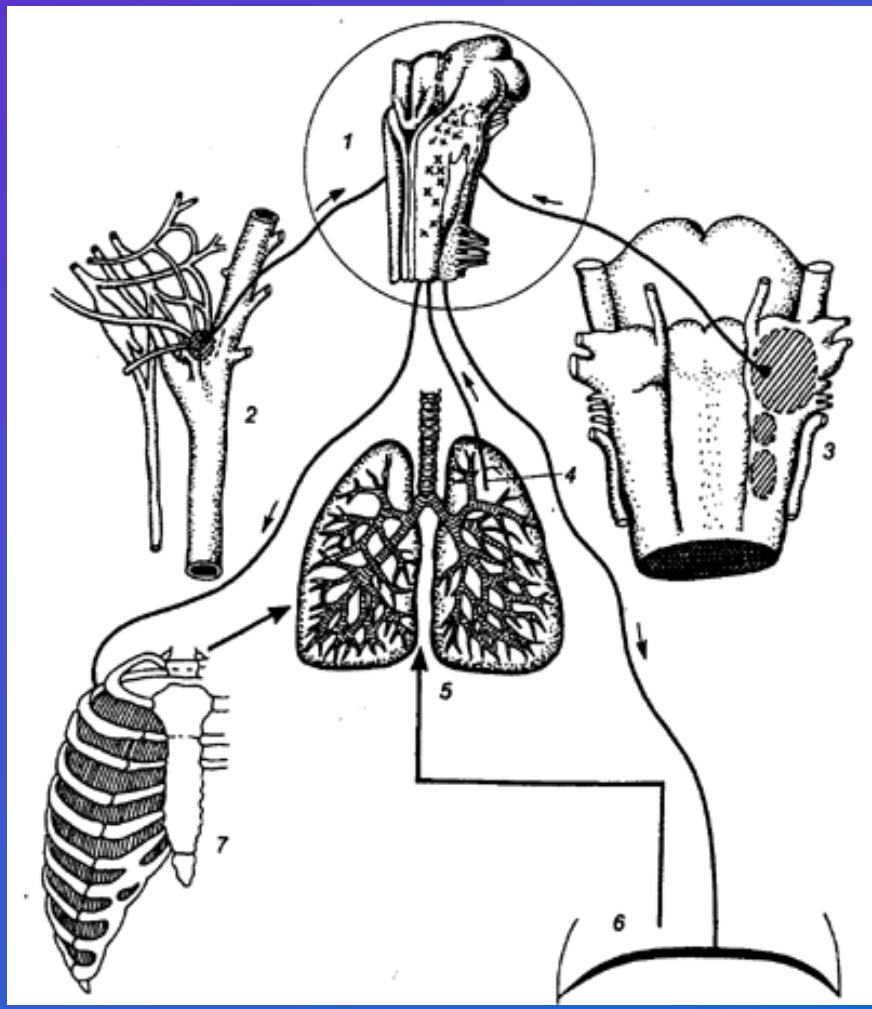
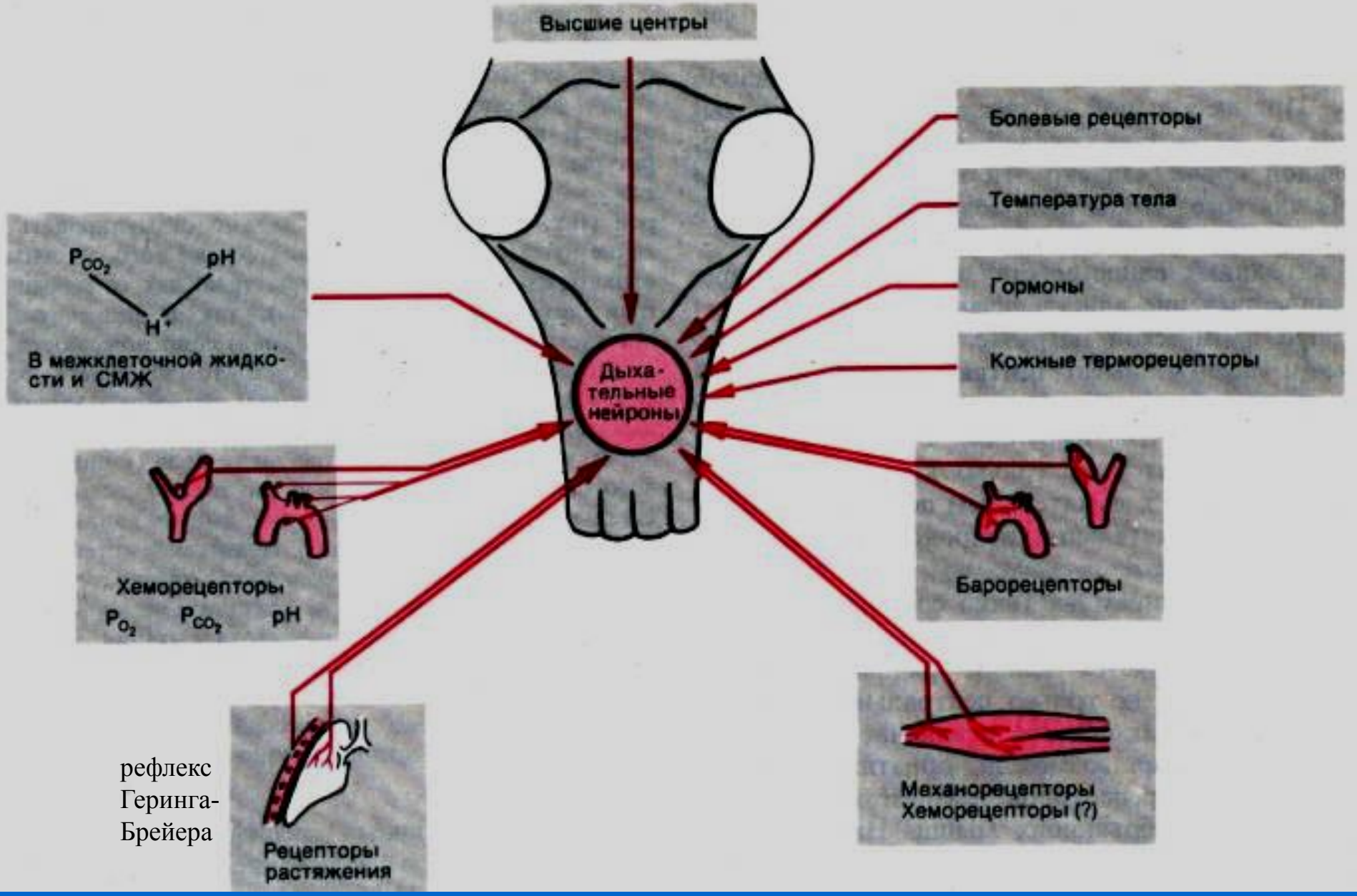


FIG. 4. The rate of chemoreceptor afferent discharges (impulses/sec) in single fibers, plotted against the arterial O_2 pressure (mm Hg), all from the same cat. **B** shows two fibers from the same strand; **A** and **C** are from single fibers. Arterial P_{CO_2} ranged between 28 and 34 mm Hg in all cases. Mean arterial blood pressure was 95 mm Hg in **A**, 97 mm Hg in **B**, and 123 mm Hg in **C**. (Adapted from ref. 5.)

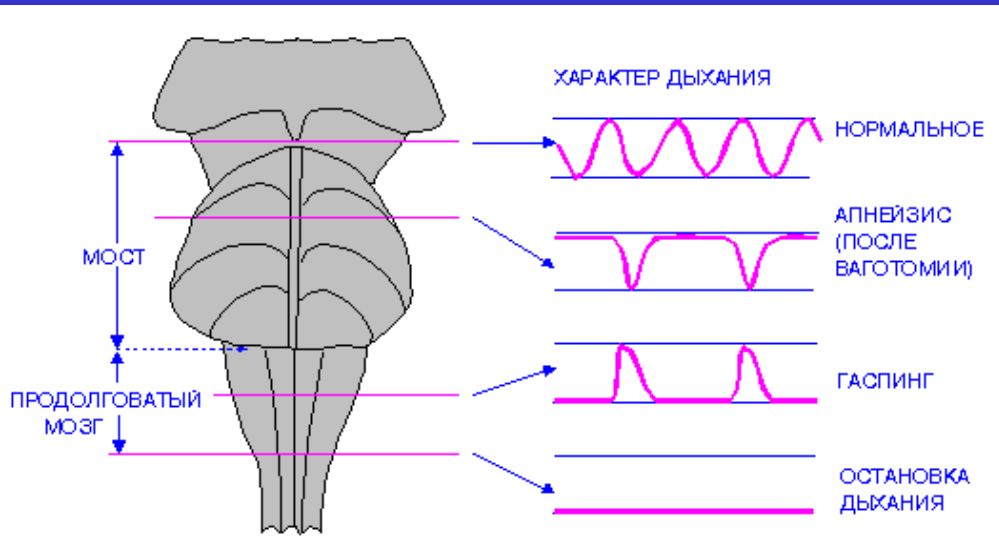




По Ноздрачеву А.Д.



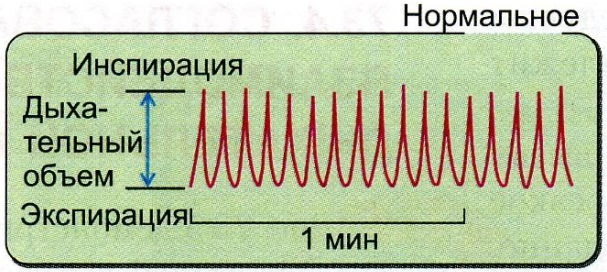
рефлекс Геринга-Брейера



Влияние перерезок на разных уровнях ствола мозга на дыхание (вентральная поверхность ствола мозга).

(Schmidt R.F., Thews G., "Human Physiology", 1983.)

Тип дыхания	Кривая дыхания	Причина
Нормальное дыхание		
Дыхание Чейн-Стокса		Гипоксия во сне, отравление
Дыхание Биота		Повреждение мозга, повышение внутричерепного давления
Дыхание Куссмауля		Нереспираторный (метаболический) ацидоз
Гаспинг		Недоношенность, повреждение мозга



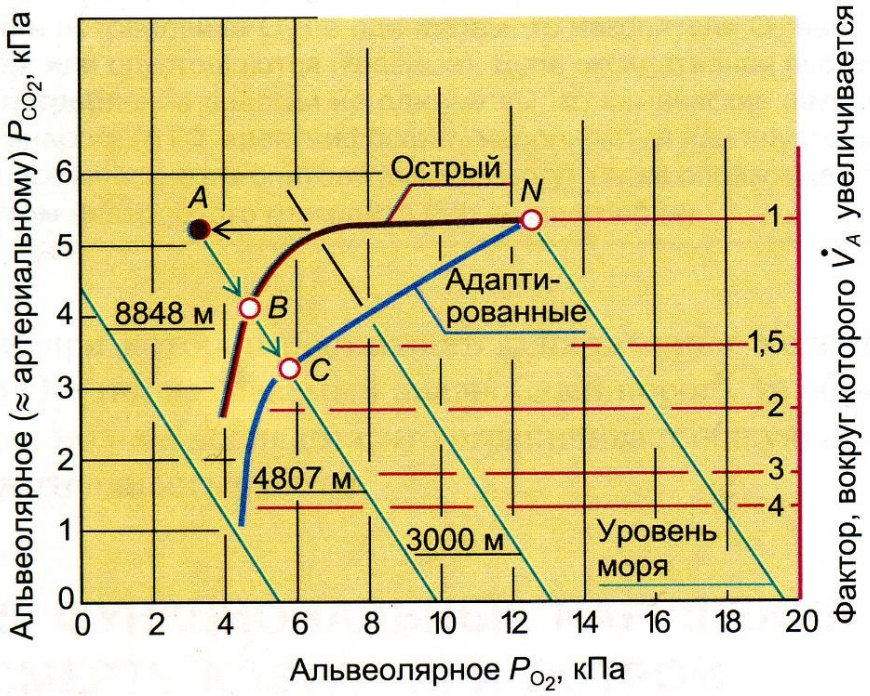


Рис. 75.1. Альвеолярное парциальное давление на большой высоте. На абсциссе и левой ординате нанесены альвеолярные парциальные давления O_2 или CO_2. Прямые показывают зна... ния, связанные друг с другом (RQ = 0,8) на основе урав... для альвеолярного воздуха (см. уравнения 68.10 и 68.2... мальная вентиляция на уровне моря представлена... Если на этой высоте происходит гипервентиляция... P_{CO_2} и повышается P_{O_2} вдоль прямых «уровень мо... на большую высоту без гипервентиляции ведет... без изменения P_{CO_2} (горизонтальная стрелка от ... те Монблана (4807 м) это привело бы к сильно гипоксической точке *A*. Рефлекторно вызванная гипервентиляция не акклиматизированных людей ведет к точке *B*, которая связывает измеренные значения при быстром подъеме на высоту (фиолетовая кривая «острая»). Правая ордината показывает, насколько альвеолярная вентиляция ($\dot{V}_A$) усилена на высоте; например, удвоение $\dot{V}_A$ ведет к уменьшению альвеолярного P_{CO_2} на фактор 2. Следует обратить внимание, что при быстром подъеме у лю-

Альв. PO_2=35 мм рт.ст
Порог необратимых
нарушений

7000 м - 6% O_2

Альв. PO_2=45 мм рт.ст.
Порог обратимых
нарушений

5000 м - 10% O_2

Альв. PO_2=75 мм рт.ст.
Порог реакции на
экзогенную гипоксию

2000 м - 17% O_2

Равнина