

# ГЛАВА 17. ДЫХАНИЕ

---

**Вдох** – всегда активный процесс, создаваемый расширением грудной полости.

Грудной тип дыхания – изменяется расположение ребер (поперечные размеры ГК) (мышцы, поднимающие ребра).

Диафрагмальный тип дыхания – меняется форма диафрагмы (продольные размеры ГК).

**Выдох:**

Пассивный – расслабление дыхательной мускулатуры.

Активный:

- сокращение мышц, опускающих ребра (уменьшение поперечных размеров);
- сокращение брюшных мышц (уменьшение продольных размеров ГК).

## РАСТЯЖИМОСТЬ

Работа, необходимая для преодоления эластического сопротивления не зависит от времени. Ее максимум производится тогда, когда максимален дыхательный объем. Эту форму сопротивления можно вычислить определив давление, необходимое для изменения объема легких.

Эта величина называется растяжимостью (C),  
 $C = \Delta V / \Delta P$ , где  $\Delta V$  – изменение объема, а  $\Delta P$  – изменение давления).

Общую растяжимость легкого и грудной клетки можно определить, составив график, выражающий внутрилегочное давление, необходимое для поддержания в легком известных объемов газа.

## МЕХАНИКА ДЫХАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ

Перемещение воздуха в легкие и из них требует совершения работы. Для того чтобы воздух вошел в легкие, должны быть преодолены силы трех типов:

- 1) эластическое сопротивление,
- 2) сопротивление воздушного потока в трахеобронхиальном дереве и
- 3) сопротивление неэластичных тканей, например ребер.

<b>Общая легочная емкость</b> <b>М 6</b> <b>Ж 4,2</b>	<b>Жизненная емкость</b> <b>М 4,8</b> <b>Ж 3,3</b>	<b>Резервный объем вдоха</b> <b>М 3,3    Ж 1,9</b>	<b>Емкость вдоха</b>
		<b>Дыхательный объем</b> <b>М и Ж 0,5</b>	
	<b>Остаточный объем</b> <b>М 1,2    Ж 1,1</b>	<b>Резервный объем выдоха</b> <b>М 1    Ж 0,7</b>	<b>Функциональная остаточная емкость</b>

Табл. 17.1. Распределение объема и емкости легких у взрослых. Средние величины (в литрах) у мужчин и женщин.



## ИЗМЕНЕНИЯ ОБЪЕМА ЛЕГКИХ

Основные понятия:

**Дыхательный воздух** – объем воздуха, выдыхаемый при неусиленном выдохе.

**Жизненная емкость** – объем максимального выдоха после максимального вдоха.

**Остаточный воздух** – объем воздуха, который остается в неспавшихся легких.

**Резервный объем вдоха (выдоха)** – объем воздуха, который вдыхается (выдыхается) максимальным усилием после нормального вдоха (выдоха).

Рис. 17.4. Объем части легкого, способный к расширению, т. е. жизненная емкость части (ЖЕч). Верхушка легкого показана в левой части графика ФОЕ – функциональная остаточная емкость.

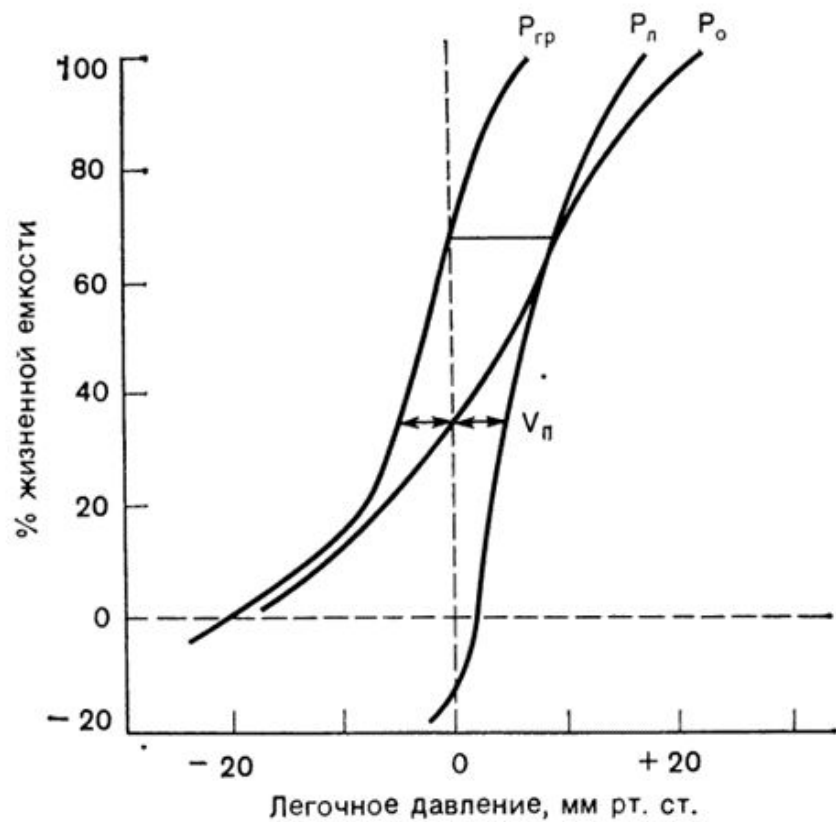
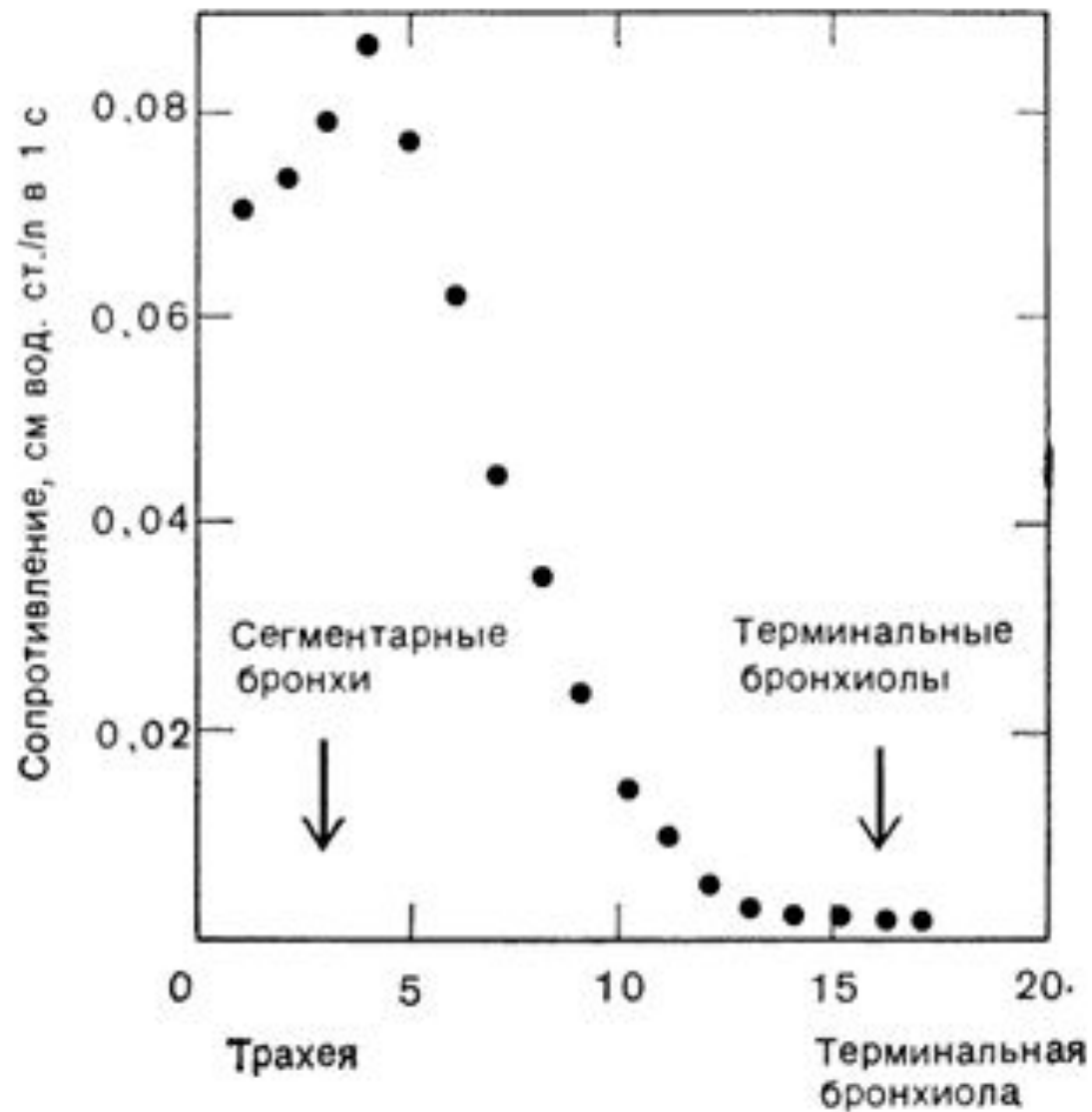


Рис. 17.6. Общее давление  $P_o$ , создаваемое суммой эластических свойств грудной клетки ( $P_{гр}$ ) и легких ( $P_{л}$ ) на разных уровнях расширения груди (%ЖЕ). Наклон кривых соответствует растяжимости.

Обратите внимание на то, что конечный дыхательный объем в покое ( $V_{п}$ ) приходится на точку, где отрицательное  $P_{гр}$  равно положительному  $P_{л}$ .

При изменении эластических свойств легкого и грудной клетки  $V_{п}$  должно сместиться. Любой другой объем, кроме  $V_{п}$ , требует напряжения мышц, для создания нужной силы ( $P_o$ ).



Сопротивление  
воздушному потоку  
создается главным  
образом в бронхах  
среднего размера.

Оно зависит от времени;  
оно больше при частом  
дыхании и достигает  
максимума, даже если  
объем вдоха не  
максимален.

**Рис. 17.7.** Сопротивление в разных частях воздухоносных путей. Обратите внимание на то, что сопротивление выше всего в крупных бронхах и самое низкое в мелких бронхиолах. (Pedley et al., *Resp. Physiol.*, 1970, 9, 387.)

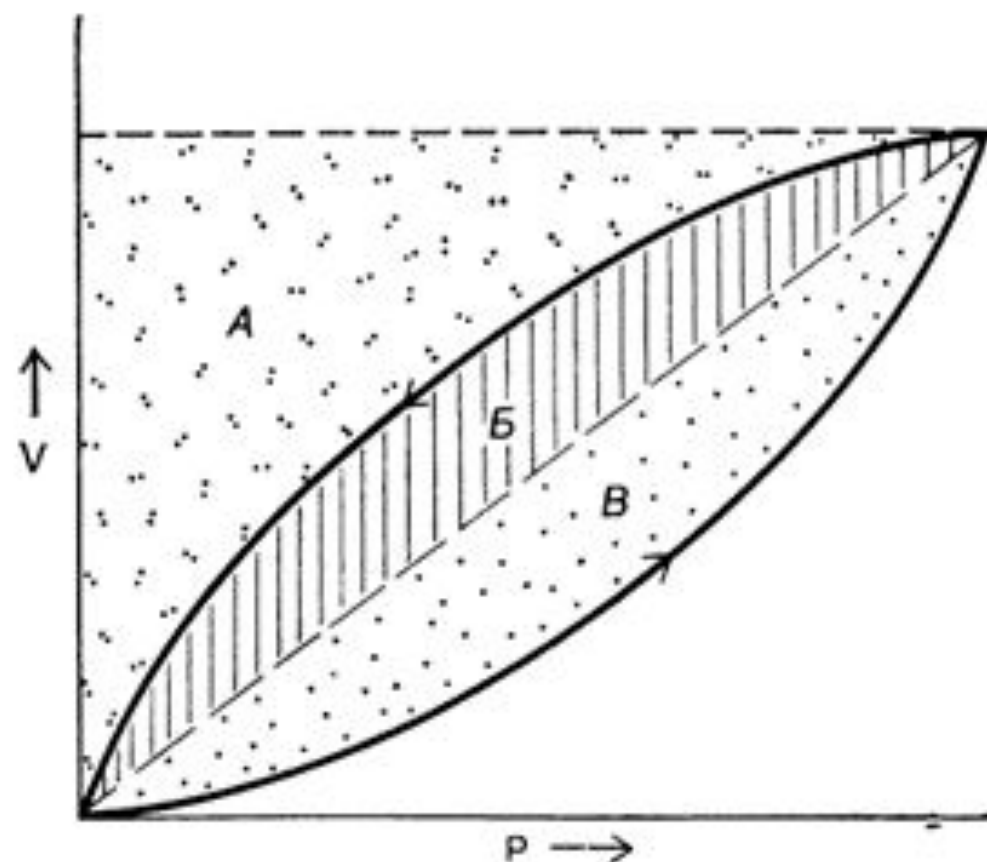


Рис. 17.8. Схема зависимости между давлением и объемом при одном дыхательном объеме (сплошная линия, направленная в сторону возрастающих значений, обозначает вдох; сплошная линия, направленная в сторону снижения объема, обозначает выдох). Суммированные площади *A* и *B* соответствуют общей работе эластических компонентов, совершаемой при вдохе. Площадь *B* соответствует всей работе *неэластических* компонентов, производимой при вдохе, т. е. работе ткани и воздушной струи. Площадь *B* соответствует работе, совершаемой *неэластическими* компонентами при выдохе.

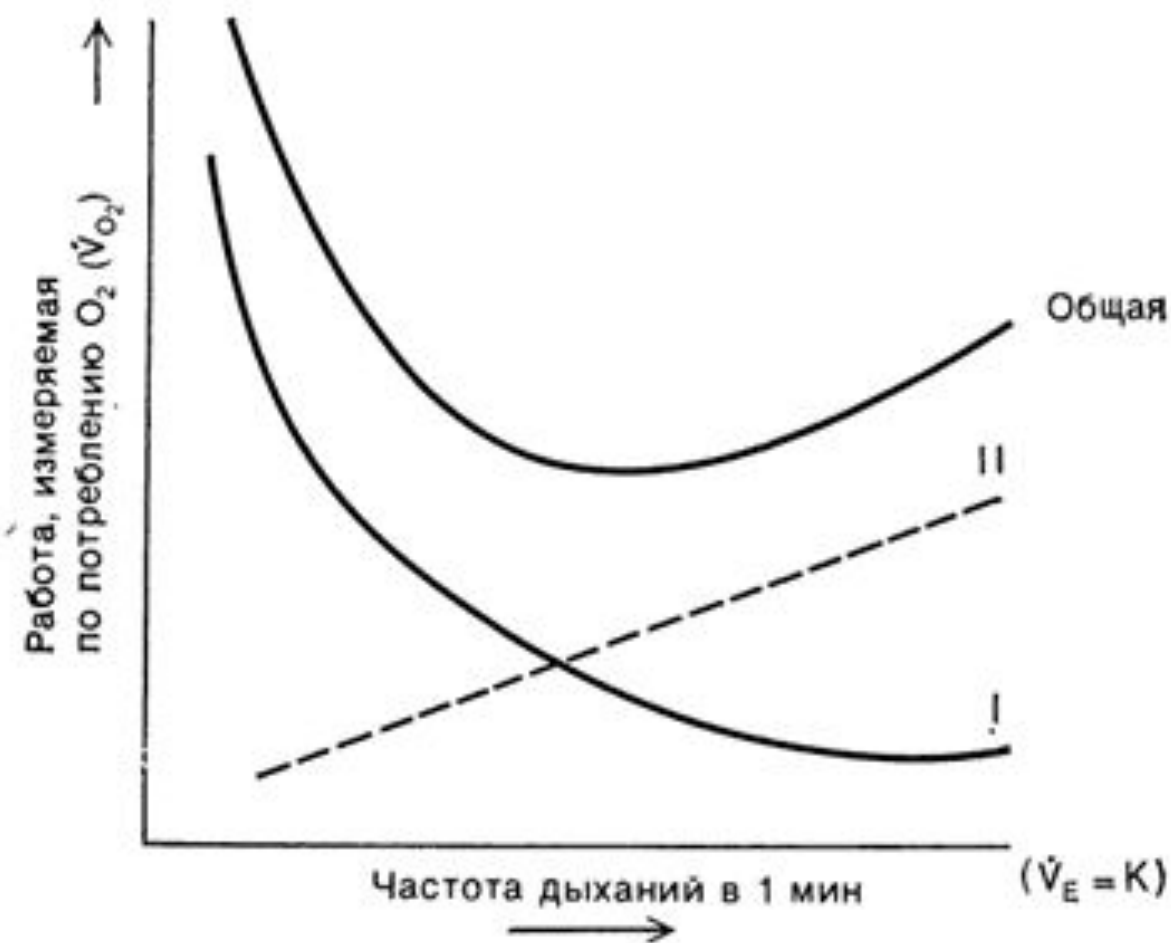


Рис. 17.9. Гипотетическая кривая работы эластических и неэластических компонентов и суммарной работы, производимой при разной частоте дыхания у человека при постоянном минутном объеме. Обратите внимание на оптимальную частоту, когда общая сумма работы эластических (I) и неэластических (II) компонентов дает минимум общей потребной работы. Работа выражена в количестве потребляемого  $O_2$  ( $\dot{V}_{O_2}$ ).



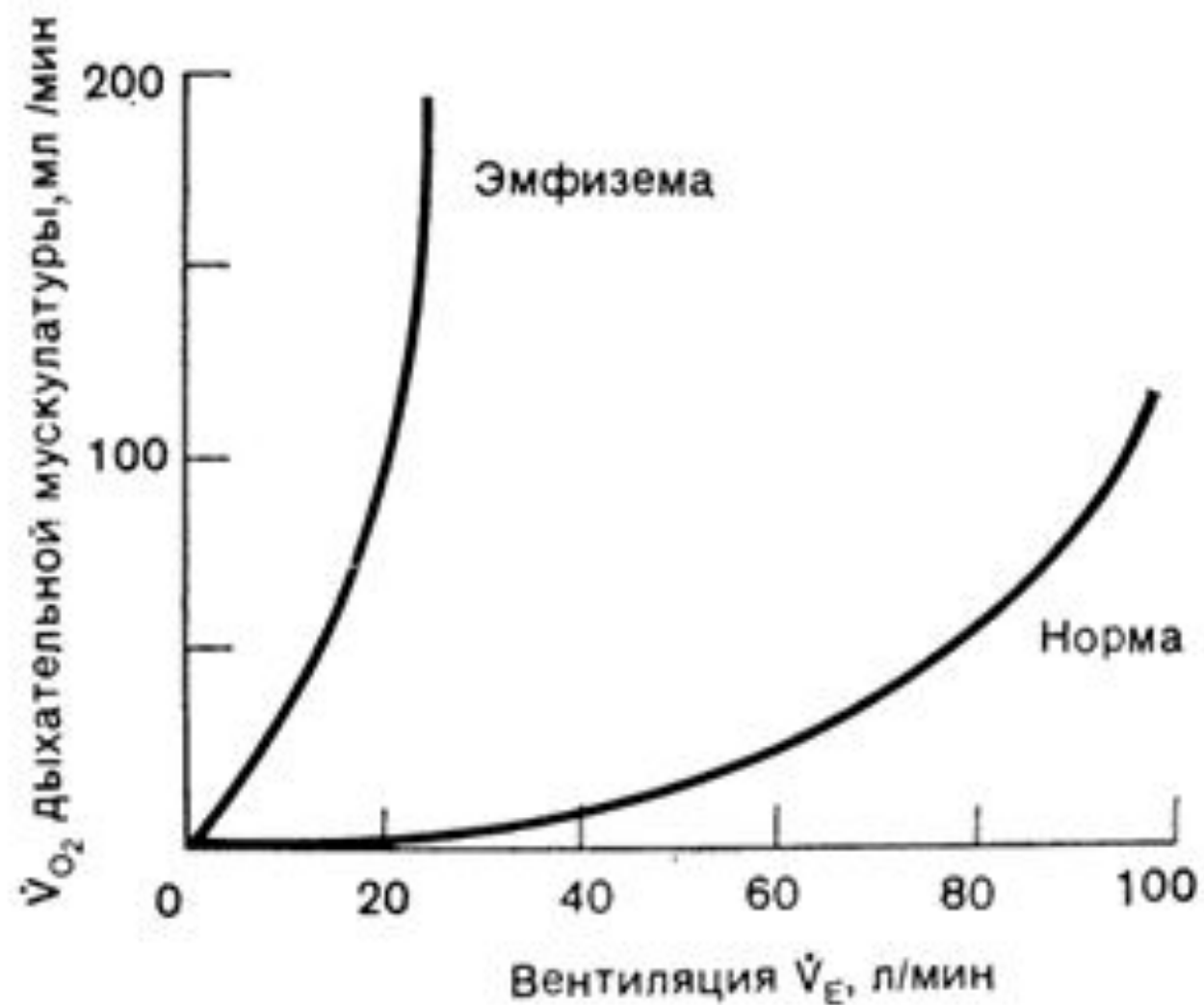


Рис. 17.10. Потребление кислорода дыхательными мышцами при разной частоте дыхания в норме и при пониженной растяжимости легких (эмфизема).

## ЛЕГОЧНОЕ КРОВООБРАЩЕНИЕ

По сравнению с большим кругом кровообращения малый круг представляет собой систему с низким давлением. Давление в легочных артериях равно примерно 15-20 мм рт. ст. поскольку объем крови в правой и левой половине сердца должен быть одинаковым, сопротивление в малом круге составляет примерно 1/4 - 1/5 сопротивления в большом круге.

Емкость артерий и вен легочного круга может быть увеличена высокой растяжимостью сосудов. Из-за этого на емкость сосудов сильно влияют гравитационные силы. Из-за гравитационного эффекта нижняя часть легких получает сравнительно больше крови чем верхняя. (17.11)

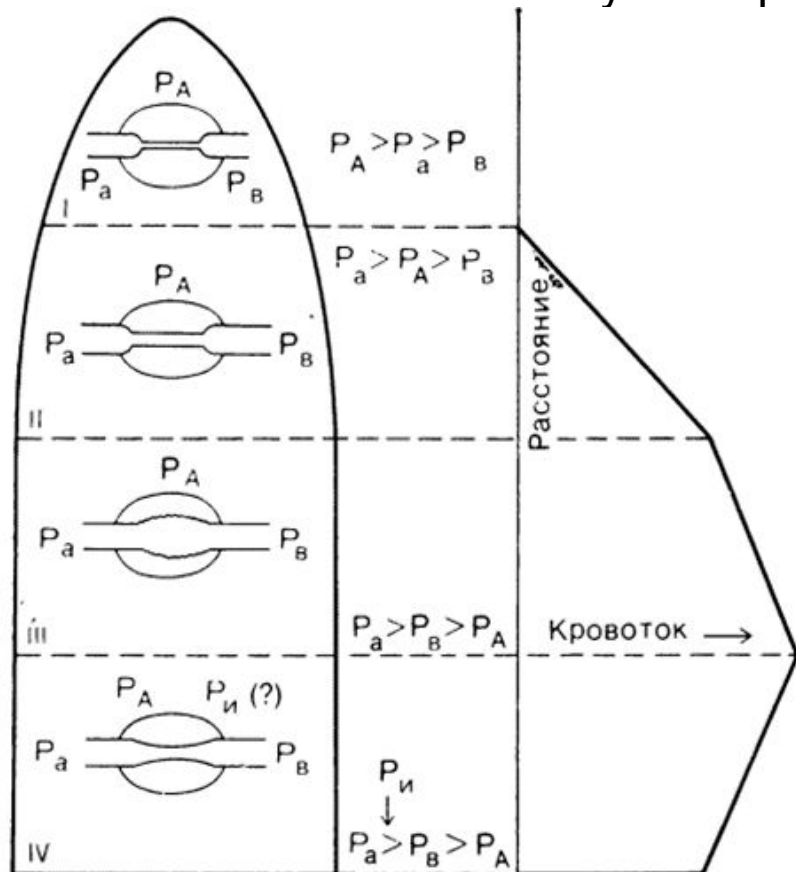
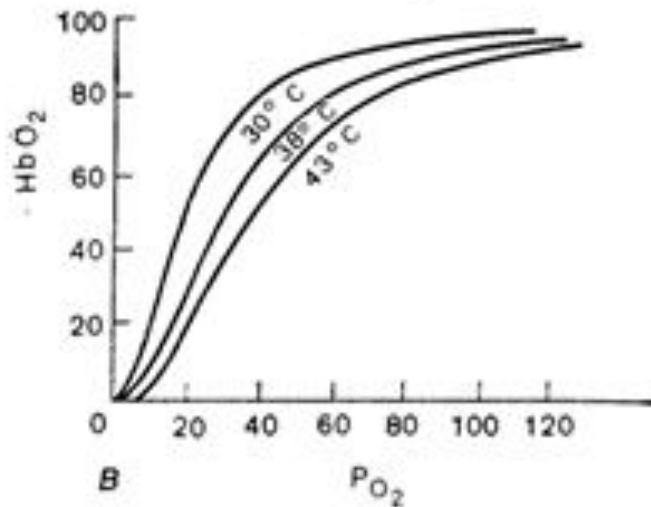
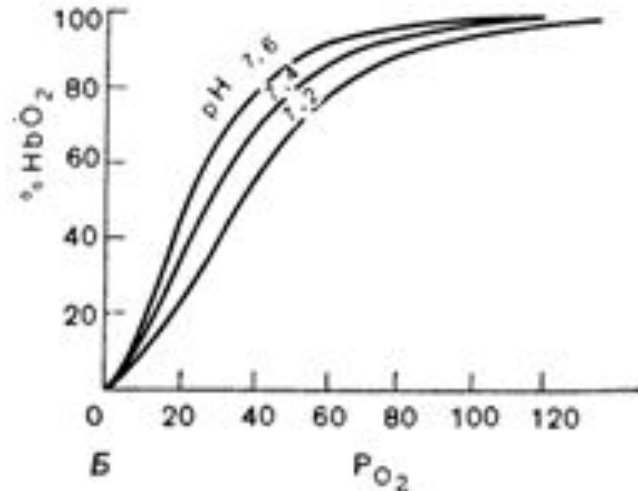
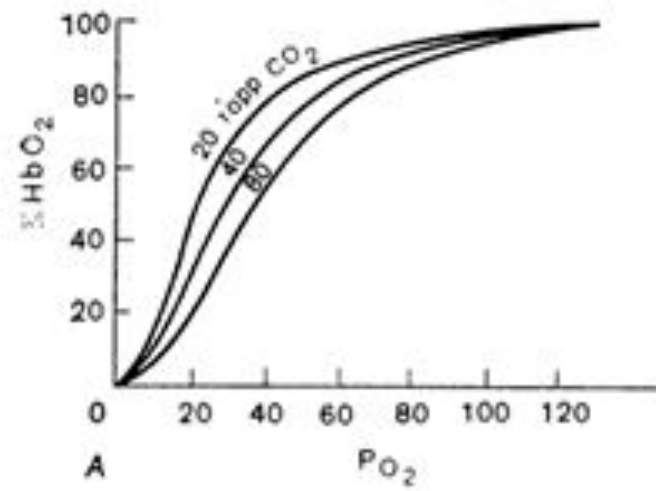


Рис. 17.11. Распределение кровотока в легком определяется расстоянием от основания.

В зоне I (верхушка) внутрилегочное давление ( $P_A$ ) превышает давление артериальной крови ( $P_a$ ) в течение некоторой части дыхательного цикла, и кровоток при этом ограничен. В зоне II  $P_a$  больше  $P_A$ , а  $P_A \geq P_V$  (давление в легочной вене). Кровоток регулируется разностью  $P_a - P_A$  (кровоток слегка усилен по сравнению с зоной I). В зоне III  $P_A$  меньше  $P_a$  и  $P_V$ . Кровоток в этой зоне определяется градиентом  $P_a - P_V$  (значительно усиленный кровоток). В основании легкого, в зоне IV, кровоток снова ограничен, и одной из возможных причин этого считается интерстициальное давление  $P_i$ .



## ТРАНСПОРТ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ГАЗОВ

97% O<sub>2</sub> в артериальной крови большого круга находится в непрочном химическом соединении с гемоглобином эритроцитов.

Полностью насыщенный кислородом гемоглобин содержит 1,39 мл O<sub>2</sub> на 1 г Нб.

Соотношение между числом свободных молекул O<sub>2</sub> и числом молекул, связанных с гемоглобином описывается кривой диссоциации (рис. 17.13)

Рис. 17.13. Кривые диссоциации оксигемоглобина, выражающие отношение давления кислорода ( $P_{O_2}$ ) к проценту гемоглобина, связывающему кислород. А. Влияние изменения давления  $P_{CO_2}$  при 38 °С. Б. Влияние изменения pH при 38 °С. В. Влияние температуры при постоянном  $P_{CO_2}$  (40 торр).

## НАСЫЩЕНИЕ ТКАНЕЙ

Транспорт  $O_2$  из крови в участки ткани, где он используется, происходит путем простой диффузии.

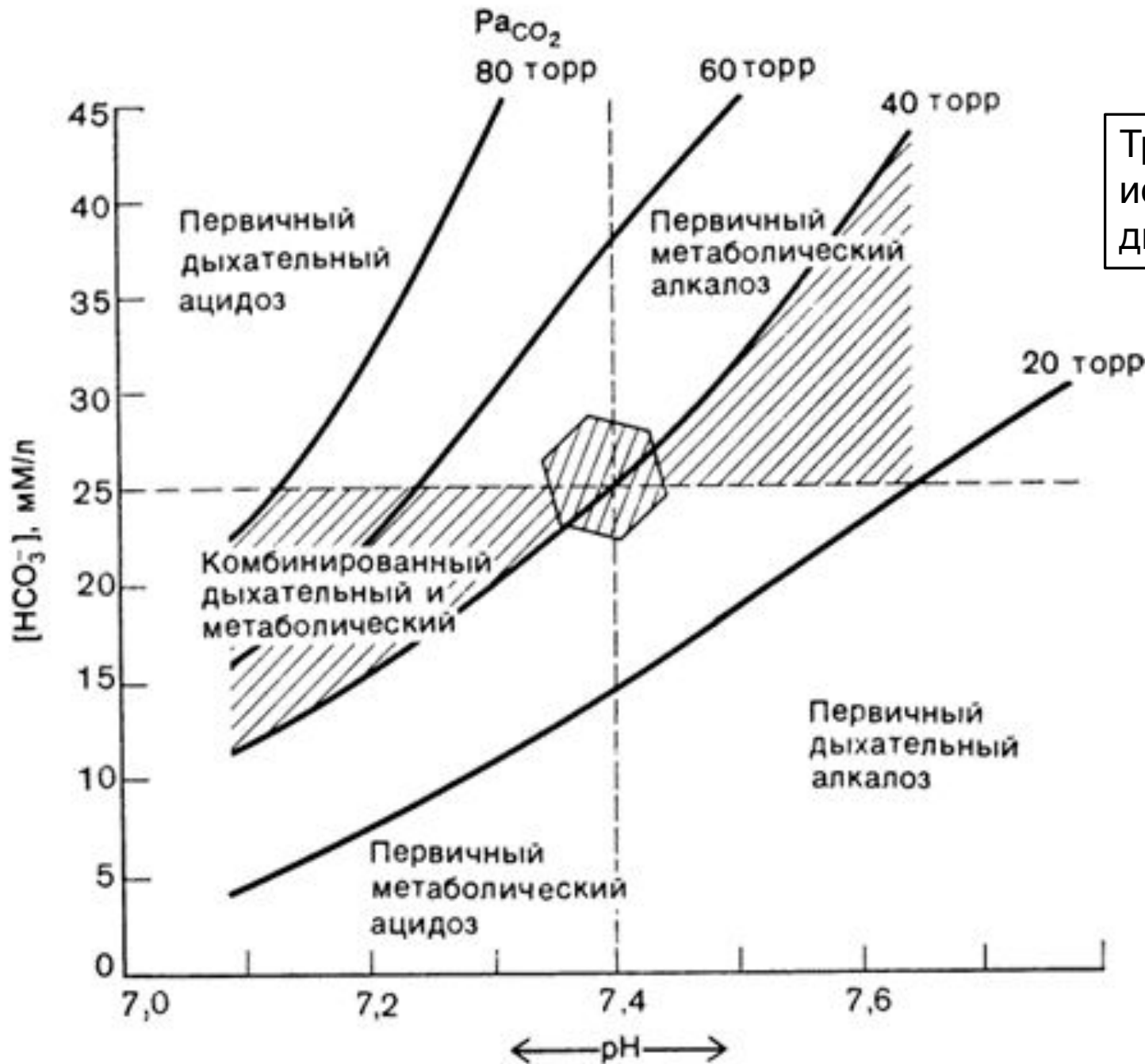


Рис. 17.14. График зависимости между  $[HCO_3^-]$  и pH для водного раствора при  $P_{CO_2}$ , показанном изобарами.

Обозначенный в центре шестиугольник соответствует диапазону величин, найденных для здоровых людей на уровне моря. Смещение этих величин за пределы нормального диапазона представляет собой изменение кислотно-щелочного равновесия у данного индивидуума.

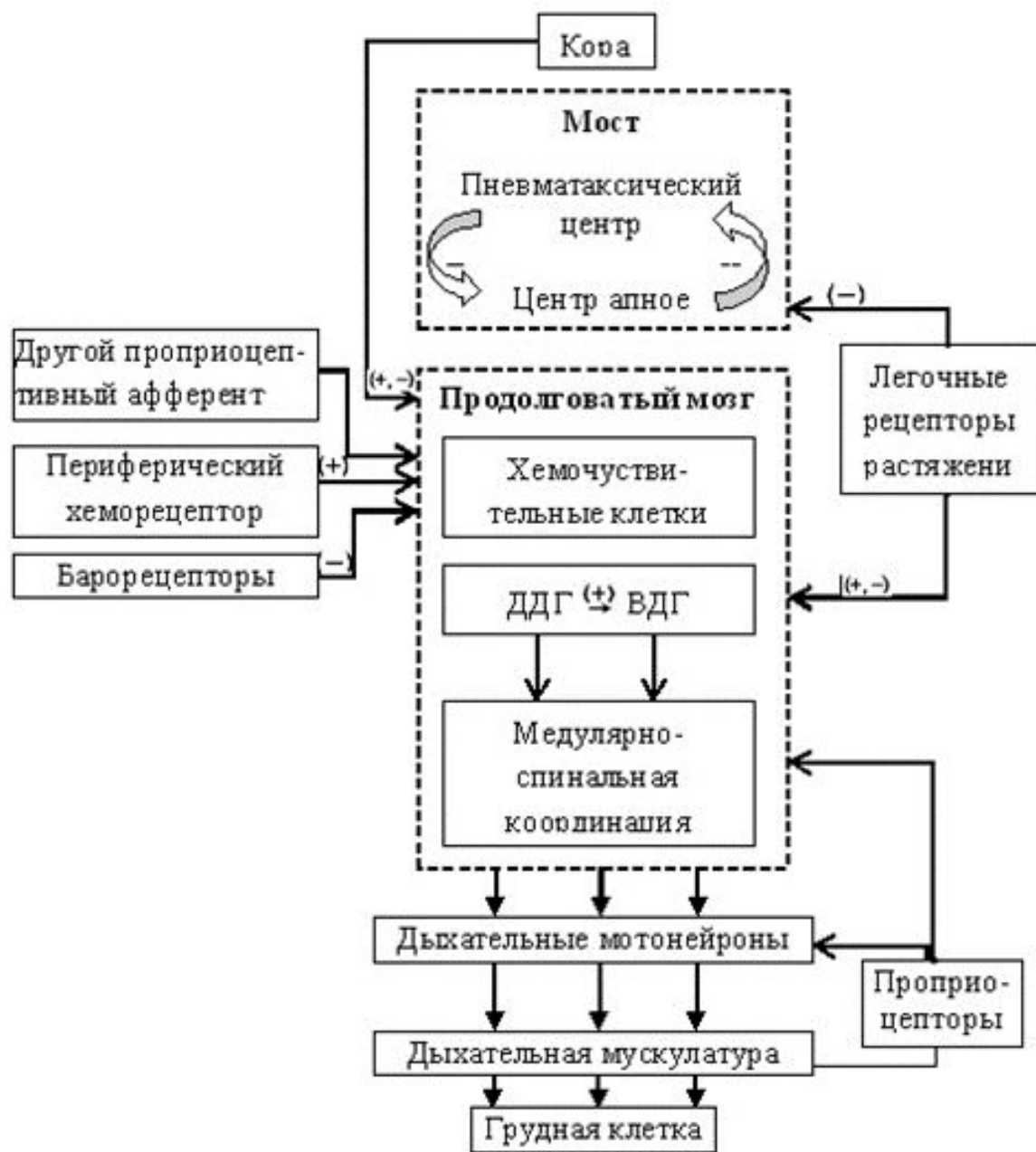
Штрихованные части графика показывают роль дыхания и обмена в нарушении равновесия.

Дыхательный ацидоз – состояние, при котором кровь имеет кислую реакцию, вызванную повышением в ней концентрации  $\text{CO}_2$  вследствие недостаточности функции легких или расстройств дыхания.

Метаболический ацидоз – состояние, при котором кровь имеет кислую реакцию, вызванную снижением в ней концентрации бикарбоната (оснований).

Дыхательный алкалоз – состояние, при котором кровь имеет основную (щелочную) реакцию, вызванную снижением в ней концентрации углекислого газа вследствие быстрого или глубокого дыхания.

Метаболический алкалоз – состояние, при котором кровь имеет основную (щелочную) реакцию, вызванную повышением в ней концентрации бикарбоната (оснований).



## ЦЕНТРАЛЬНАЯ НЕРВНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ

В продолговатом мозге расположены два скопления (или группы) дыхательных нейронов:

- 1) первичные нейроны вдоха, дорсальная дыхательная группа (ДДГ),
- 2) нейроны вдоха и выдоха, вентральная дыхательная группа (ВДГ)

Пневмотаксический центр обеспечивает тонкую настройку автоматического дыхательного ритма.

Высший отдел ЦНС, кора больших полушарий, оказывает влияние на глубину и частоту дыхания

Отдел ДС	Иннервация	Рефлекс
Носовые ходы	Обонятельный и тройничный	От апноэ, до чихания
Глоточная зона	Языкоглоточный	Резкие вдохи
Гортань и трахея	Блуждающий	Кашель, апноэ, медленное глубокое дыхание, спазм бронхов

**СЕНСОРНЫЕ РЕЦЕПТОРЫ**  
 Расположены в дыхательных путях, кровеносных сосудах, соприкасающихся с СМЖ, тканями ЦНС, суставов и мышц; они влияют на ритм дыхания.

## МЕХАНОРЕЦЕПТОРЫ ЛЕГКИХ

Три типа рецепторов в легких (ин. блуждающим н.):

- 1) медленно адаптирующиеся Р. растяжения,
- 2) Р, чувствительные к раздражению,
- 3) Р. растяжения типа "J"

Расправление легкого возбуждает 1 тип рецепторов, действующих на ЦНС торможением разряда эф. нерва вдоха и вызывают пассивный выдох.

2 тип воспринимают и хемо- и механо-воздействия. вызывают усиленный вдох и спазм бронхов.  
3 тип в норме не реагируют, возбуждаются при чрезмерном расширении легких.

хеморецепторы

Наиболее важные хеморецепторы лежат в дуге аорты, в обл. бифуркации сонной артерии (периферические рецепторы) и в ЦНС(центральные).

На хеморецепторы влияет CO<sub>2</sub>. Подъем напряжения CO<sub>2</sub> в артериальной крови всегда усиливает дыхательный объем. Увеличение [H<sup>+</sup>] при условии постоянного напряжения CO<sub>2</sub> стимулирует дыхание



# ГИПОКСИЯ

Гипоксия возникает при недостаточном снабжении тканей кислородом. Краткое изложение разных причин гипоксии может служить и сокращенным обзором всех дыхательных процессов

I. Недостаточный транспорт  $O_2$  кровью (аноксемическая гипоксия) (содержание  $O_2$  в артериальной крови большого круга понижено)

А. Сниженное парциальное давление  $O_2$ :

- 1) недостаток  $O_2$  во вдыхаемом воздухе;
- 2) снижение легочной вентиляции;
- 3) снижение газообмена между альвеолами и кровью;
- 4) смешивание крови большого и малого круга,

Б. Нормальное  $PO_2$ :

- 1) Снижение содержания гемоглобина (анемия);
- 2) Нарушение способности гемоглобина присоединять  $O_2$ .

II. Недостаточный транспорт крови (гипокинетическая гипоксия).

А. Недостаточное кровоснабжение:

- 1) во всей ССС (сердечная недостаточность);
- 2) местное (закупорка определенных артерий).

Б. Нарушение оттока крови:

- 1) закупорка определенных вен.

В. Недостаточное снабжение кровью возросшей потребности.

III. Неспособность ткани использовать поступающий  $O_2$  (гистотоксическая анемия).