

## § 32. Внешнее дыхание

- **Вспомните.** Чем отличается дыхание растений от дыхания животных? Чем отличается артериальная кровь от венозной?
- **Как вы думаете?** Легкие лишены собственных мышц, которые обеспечивали бы изменение их объема. За счет чего в таком случае меняется объем легких во время вдоха и выдоха?
- **Вы узнаете** о механизме дыхательных движений; что такое жизненная емкость легких; чем отличается газовый состав вдыхаемого и выдыхаемого воздуха и как происходит обмен кислорода и углекислого газа в легких и тканях.

**Вентиляция легких.** Смена воздуха в альвеолах обеспечивается дыхательными движениями — вдохом и выдохом. В спокойном состоянии человек делает 15—17 дыхательных движений в минуту. В основе вдоха и выдоха лежат ритмические сокращения межреберных мышц и диафрагмы (рис. 62).

Рассмотрим биомеханику дыхания на примере следующих схем.



Рис. 62 Механизм вдоха и выдоха

**Вдох:** сокращение наружных межреберных мышц и диафрагмы → → ребра приподнимаются, купол диафрагмы уплощается → объем грудной полости увеличивается → легкие пассивно следуют за стенками грудной полости, за счет чего увеличивается их объем → давление в легких становится ниже атмосферного → воздух по воздухоносным путям поступает в легкие.

**Выдох:** расслабление наружных межреберных мышц и диафрагмы → грудная клетка под действием собственной тяжести опускается вниз, купол диафрагмы устремляется вверх → объем грудной полости уменьшается → давление в грудной полости становится выше атмосферного → воздух по воздухоносным путям покидает легкие.

**Жизненная емкость легких.** При спокойном дыхании за один вдох в легкие поступает приблизительно  $500 \text{ см}^3$  воздуха. После обычного вдоха или выдоха можно дополнительно вдохнуть или выдохнуть еще по  $1500 \text{ см}^3$ . Сумма перечисленных объемов воздуха называется **жизненной емкостью легких (ЖЕЛ)**. У взрослого человека она составляет около  $3500 \text{ см}^3$ .



Рис. 63. Спирометр

Измеряют ЖЕЛ при помощи специального прибора — **спирометра** (рис. 63). При проведении спирометрии ЖЕЛ оценивается как разница между объемами воздуха в легких при максимально глубоком вдохе и полном выдохе. Величина ЖЕЛ зависит от физического развития, тренированности и телосложения. У спортсменов она может достигать  $6000 \text{ см}^3$  и более. При заболеваниях органов дыхания ЖЕЛ, как правило, снижается.

**Состав вдыхаемого, альвеолярного и выдыхаемого воздуха** существенно отличается (табл. 8). В большей степени это касается вдыхаемого и альвеолярного воздуха. Разница между содержанием в них кислорода и углекислого газа достигает максимальных значений. И это легко объяснимо: клетки нашего тела непрерывно потребляют  $\text{O}_2$  и выделяют  $\text{CO}_2$ . Не так очевидно, за счет чего увеличивается содержание  $\text{O}_2$  и уменьшается содержание  $\text{CO}_2$  в выдыхаемом воздухе. Оказывается, во время выдоха альвеолярный воздух смешивается с воздухом, заполняющим воздухоносные пути. Этот воздух не участвует в газообмене, и поэтому мало чем отличается от атмосферного. В результате их смешивания состав выдыхаемого воздуха меняется.

Таблица 8. Состав вдыхаемого, альвеолярного и выдыхаемого воздуха

Воздух	Содержание газов, %		
	Кислород ( $\text{O}_2$ )	Углекислый газ ( $\text{CO}_2$ )	Азот ( $\text{N}_2$ )
Вдыхаемый	20,94	0,03	79,03
Альвеолярный	14,44	5,56	80,00
Выдыхаемый	16,30	4,00	79,70

► **Это интересно.** Хотя азот и не участвует в газообмене, он нередко становится причиной весьма опасной *декомпрессионной*, или *кессонной*, болезни. Чаще всего с ней сталкиваются профессиональные водолазы и любители глубоководных погружений — дайверы. При слишком быстром всплытии растворенный в крови и тканях азот начинает выделяться в виде пузырьков в кровь пострадавшего, что приводит к необратимым повреждениям стенок кровеносных сосудов и тканей.

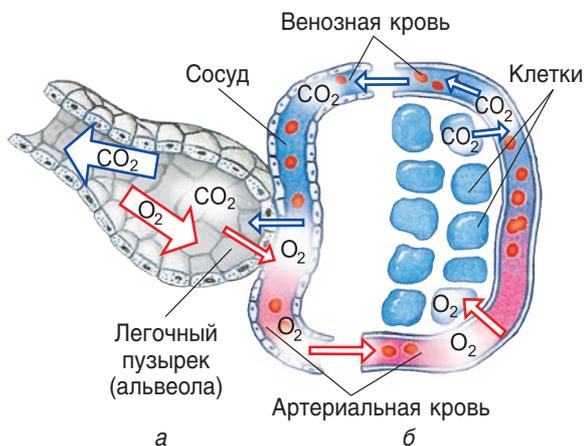
**Обмен газов в легких.**

Переход кислорода из легочных пузырьков (альвеол) в кровь и углекислого газа в обратном направлении происходит благодаря диффузии (рис. 64). Хотя диффузия протекает относительно медленно, благодаря значительной площади поверхности легких, газообмен обеспечивается в полном объеме. Этому способствует медленное течение крови в капиллярах, а также крайне незначительная толщина стенок легочных пузырьков и оплетающих их капилляров.

Кровь, поступающая к легочным пузырькам (альвеолам), содержит много углекислого газа и мало кислорода. Следуя по капиллярам легких, она успевает отдать углекислый газ и насытиться кислородом. В результате из венозной кровь превращается в артериальную.

**Обмен газов в тканях** происходит по тем же физическим законам, что и в легких. В клетках содержание кислорода всегда меньше, а углекислого газа больше, чем в капиллярах. Поэтому гемоглобин легко отдает  $O_2$ , который тут же поступает в клетки. Одновременно с этим  $CO_2$  из клеток, где он непрерывно образуется, поступает в капилляры. Здесь  $CO_2$  вступает в соединение с гемоглобином и транспортируется в таком виде к легким.

Таким образом, газовый гомеостазис обеспечивается совместной деятельностью органов дыхания, кровообращения и кровью.



**Рис. 64. Газообмен в легких (а) и в тканях (б)**

■ **Повторим главное.** Вентиляция легких происходит вследствие работы наружных межреберных мышц и диафрагмы. ◆ Жизненная емкость легких — это сумма дыхательного объема, резервного объема вдоха и резервного объема выдоха. ◆ Состав вдыхаемого, альвеолярного и выдыхаемого воздуха отличается процентным содержанием кислорода и углекислого газа. ◆ Обмен газов в легких и тканях осуществляется посредством диффузии.

**?** **Ключевые вопросы.** 1. Как происходит вдох и выдох? 2. Что такое жизненная емкость легких? Как ее определяют? 3. Чем отличается состав вдыхаемого, альвеолярного и выдыхаемого воздуха? 4. Как происходит газообмен в легких? 5. Как происходит газообмен в тканях? 6. При погружении в воду водолазы используют акваланг. Однако с его помощью можно погрузиться только на глубину до 40 м. Объясните, почему дальнейшее погружение опасно для жизни.

**Сложные вопросы.** 1. Как изменится дыхание при понижении атмосферного давления? 2. Известно, что новорожденный младенец дышит в несколько раз чаще, чем взрослый человек. Предложите несколько возможных объяснений этому факту. 3. При проникающем ранении грудной клетки у пострадавшего появились признаки удушья. Чем это вызвано, если его легкие не повреждены? 4. Почему в нижних конечностях находится 14 % всего объема крови, а в легочных капиллярах — 33 %? 5. У коренных жителей Тибета и Анд повышено содержание гемоглобина в крови и усилен легочный кровоток. С чем это связано?



### Индивидуальные домашние исследования

**Определение жизненной емкости легких.** Попробуйте задуть пламя свечи, сделав форсированный выдох с расстояния 80—100 см. Если у вас получилось это сделать, значит ЖЕЛ большая. Если нет, подойдите немного ближе к свече. Если вам удалось погасить пламя на расстоянии меньше 70 см от свечи, то ваша ЖЕЛ явно недостаточна. В любом случае регулярные занятия спортом (быстрая ходьба, бег, езда на велосипеде, плавание) помогут вам решить эту проблему.

## § 33. Регуляция дыхания и первая помощь при его остановке

- **Вспомните.** Где находится дыхательный центр?
- **Как вы думаете?** Почему при тяжелой физической работе меняется характер дыхания?
- **Вы узнаете** о нервных и гуморальных механизмах регуляции дыхания; защитных дыхательных рефлексах; приемах первой помощи при остановке дыхания.

**Регуляция дыхания.** Регуляция дыхания осуществляется нервным и гуморальным механизмами.

Частота и глубина дыхания контролируются дыхательным центром, расположенным в продолговатом мозге. **Дыхательный центр** состоит из двух частей — центра вдоха и центра выдоха (рис. 65). Когда возбуждается центр вдоха, сигнал поступает к наружным межреберным мышцам и диафрагме — происходит *вдох*. При возбуждении центра выдоха одно-