

ОЦЕНКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ РЕЗЕРВОВ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Дыхание — основная форма диссимиляции у человека, животных, растений и многих микроорганизмов. При дыхании богатые химической энергией вещества, принадлежащие организму, окисляются до бедных энергией конечных продуктов (диоксида углерода и воды), используя для этого молекулярный кислород.

У позвоночных животных и человека система дыхания - комплекс сложных процессов, включающих внешнее дыхание, транспорт газов кровью и тканевое внутреннее дыхание.

Сложные механизмы регуляции дыхательной системы направлены на изменение частоты и глубины дыхания в соответствии с секундными потребностями организма (такими, как покой, физическая нагрузка, кашель, чихание, глотание, речь и пение у человека). В свою очередь, согласование дыхания с другими системами, обеспечивающими обмен веществ в организме, является результатом сложного взаимодействия регуляторных механизмов, включающих периферические и центральные образования, деятельность которых направлена на поддержание газового гомеостаза в крови.

Для справки.

Потребность в кислороде изменяется в зависимости от степени активности организма. Взрослый мужчина в состоянии покоя вдыхает около 3,75 л воздуха в минуту. Этот объем содержит около 750 см³ кислорода, который усваивается примерно на 1/3. Если человек побежит вдогонку за автобусом, включившиеся в работу мышцы потребуют гораздо больше кислорода, для чего придется вдохнуть в 15 раз больше воздуха. Потребление кислорода может возрасти примерно в 30 раз.

Поскольку организму в зависимости от степени активности требуются разные объемы кислорода, организму не обойтись без резервной емкости, которую обеспечивает внутреннее строение легких, и в частности, альвеолы. Не обойтись и без постоянного

баланса между частотой и глубиной дыхания и кровоснабжением легких.

Нормальное равномерное дыхание - произвольное дыхание с равномерными вдохами. При повышенном потреблении кислорода (например, после физических нагрузок) наблюдается повышение частоты дыхания.

ЗАПОМНИТЕ:

Тахипноэ – увеличение дыхательных актов более 20 в минуту.

Брадипноэ – уменьшение дыхательных актов менее 16 в минуту.

Эволюция дыхания

1. Диффузное дыхание – газообмен происходит через мембрану клетки путем диффузии. Сохранилось у одноклеточных аэробов (например, у амёбы).
2. Кожное дыхание – газообмен происходит через поверхность тела. Встречается у червей, насекомых. У человека кожное дыхание составляет около 1 %.
3. Жаберное дыхание – позволяет извлекать кислород из водной среды; встречается у рыб, амфибий.
4. Легочное дыхание, т.е. газообмен с атмосферным воздухом, происходит в специальных органах – легких; имеет место у птиц, млекопитающих и человека.

Системы, участвующие в дыхании:

1. Аппарат внешнего дыхания (легкие с воздухоносными путями и плевральной полостью, грудная клетка с мышцами, приводящими её в движение).
2. Сердечно-сосудистая система.
3. Система крови.
4. Метаболизм (органеллы клетки, обеспечивающие тканевое дыхание).
5. Нервно-гуморальная регуляция.

Основные этапы дыхания

1. Вентиляция легких – газообмен между атмосферным и альвеолярным воздухом.
2. Диффузия газов в легких – газообмен между альвеолярным воздухом и кровью.
3. Транспорт газов кровью.
4. Диффузия газов в тканях – газообмен между кровью и тканями.
5. Внутреннее тканевое дыхание – окислительные метаболические реакции в тканях (изучается биохимией).

Внешнее дыхание, то есть газообмен между кровью и окружающей средой, включает первые два этапа. Остальные три этапа образуют внутреннее звено системы дыхания.

Структура аппарата внешнего дыхания.

1. грудная клетка
2. плевральная полость
3. воздухоносные пути
4. легкие с их иннервацией и кровоснабжением.

Грудная клетка включает костно-суставной аппарат (грудину, грудную часть позвоночного столба, 12 пар ребер, эластичные хрящи, с помощью которых ребра прикрепляются к грудины или к выше лежащему ребру) и дыхательные мышцы (главные мышцы: наружные косые межреберные, межхрящевые мышцы, диафрагма; а также вспомогательные: мышцы плечевого пояса; шеи; спины; мышцы, разгибающие позвоночник; внутренние косые межреберные мышцы; мышцы брюшного пресса; мышцы, сгибающие позвоночник).

Грудная клетка является рабочей частью системы, обеспечивающей акт дыхания, а также выполняет защитную функцию по отношению к внутренним органам грудной полости (защищает их от механических, атмосферных воздействий, высыхания), обеспечивает возврат крови к сердцу по венам.

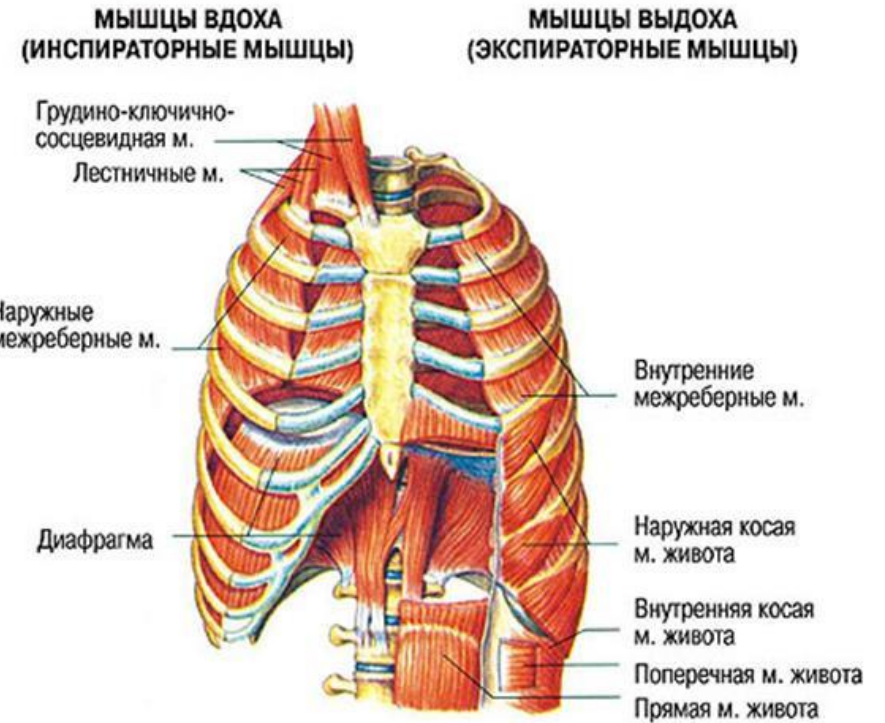


Рис. 1. Строение грудной клетки.

Плевральная полость – это капиллярная щель микронных размеров между висцеральным и париетальным листками плевры. Висцеральный листок сращен с паренхимой легкого. Париетальный – выстилает изнутри стенку грудной клетки. У корня легких висцеральный листок переходит в париетальный. Внизу имеются пазухи – синусы.

Функции плевральной полости:

1. Смягчает трение при движениях легких за счет свободного скольжения её листков, покрытых серозной жидкостью.
2. Участвует в биомеханике дыхания – связывает легкие с грудной клеткой.
3. Способствует возврату крови по венам к сердцу (за счет отрицательного давления).
4. Выполняет опорную, защитную, ограничительную функции, как и все оболочки.

Свойства плевральной полости:

1. Герметичность – плевральная полость не сообщается с другими полостями и внешней средой, т. е. анатомически замкнута.
2. Содержит небольшое количество серозной жидкости в виде смазки за счет секреции серозных клеток плевральных листков. Фильтрующаяся в плевральную щель жидкость всасывается обратно висцеральным и париетальным листками плевры в лимфатическую систему.
3. В ней отсутствует воздух – благодаря всасывательной способности плевры.
4. Имеет отрицательное давление (давление ниже атмосферного). Например, если 760 мм рт. ст. (атмосферное давление) принять за 0, то давление, ниже атмосферного –754 мм рт. ст. составит –6 мм рт. ст., а выше (допустим 880 мм рт. ст.) +120 мм рт. ст. (как, например, систолическое артериальное давление).
5. Отрицательное давление в плевральной полости способствует поддержанию бронхов и бронхиол в растянутом состоянии, что уменьшает их сопротивление воздушным потокам.
6. Обеспечивает куполообразное расположение диафрагмы, что создает возможность для её уплощения при сокращении во время вдоха.

ИНТЕРЕСНО:

При ранениях грудной клетки или повреждениях легких возможно попадание воздуха в плевральную полость. Это явление носит название *пневмоторакс* – скопление газов в плевральной полости. Двухсторонний открытый пневмоторакс приводит к спадению (*ателектазу*) легких и к смерти из-за остановки дыхания. Спасти пострадавшего может лишь его экстренное подключение к аппарату искусственного дыхания.

ДЛЯ СПРАВКИ:

Различают три типа дыхания: грудное, брюшное (диафрагмальное) и смешанное дыхание. Грудной тип дыхания встречается у много рожавших женщин, у которых движение диафрагмы и брюшной стенки часто было ограничено увеличенной маткой. Брюшной тип дыхания превалирует у мужчин-грузчиков, у которых движение ребер часто было ограничено из-за регулярных переносов груза на спине. В обоих случаях типы дыхания закрепляются по механизму условного рефлекса. Обычно у людей имеет место смешанный тип дыхания.

Воздухоносные пути.

Воздухоносные (дыхательные) пути – это дыхательные трубки, по которым воздух движется от ротового и носового отверстий до легочных альвеол, их подразделяют на верхние и нижние.

К верхним дыхательным путям относятся: полость носа или рта при ротовом дыхании, носоглотка, придаточные пазухи носа (фронтальная, гайморова, решетчатая), к нижним – гортань, трахея и все бронхи. Узким местом в гортани является голосовая щель, которая при вдохе расширяется, а при выдохе – сужается.

На уровне 5-го грудного позвонка трахея разветвляется на правый и левый главные бронхи, которые в дальнейшем последовательно делятся по типу дихотомии (деление на двое до 23 порядка).

Трахея и крупные бронхи всегда открыты, так как их стенка имеет хрящевую ткань с пучками гладких мышц, стенки мелких бронхов образованы гладкомышечными волокнами и поэтому всегда находятся в состоянии тонуса.

Функции воздухоносных путей

1. Проведение воздуха в легкие и из легких.
2. Очищение воздуха от пылевых частиц, микроорганизмов. Движение слизи за счет деятельности мерцательного эпителия полости носа, трахеи и бронхов делает очищение воздуха более эффективным, особенно при носовом дыхании. Этому способствуют наличие волосяного фильтра в преддверии носа, вихревые движения воздуха в носовых ходах, а также защитные рефлексы: чихание и кашель. В слизи дыхательных путей содержится бактерицидное вещество – лизоцим и бактериостатическое вещество – муцин.

3. Согревание воздуха за счет хорошего кровоснабжения стенок дыхательных путей.
4. Увлажнение воздуха за счет влаги секрета слизистой оболочки носа, слезных желез и бронхиальных желез.
5. Участие в процессах терморегуляции организма.
6. Гортань с голосовыми связками участвует в генерации звуков.
7. Участие в обонятельной функции.
8. Проприетивность воздухоносных путей регулируется вегетативной нервной системой. При возбуждении симпатических нервных волокон бронхи расширяются, уменьшается секреция их слизистой, аэродинамическое сопротивление снижается. Возбуждение парасимпатических веточек блуждающего нерва, наоборот, уменьшает просвет бронхов и повышает секрецию слизистых клеток.

Легкие – парный орган конусовидной формы, в правом легком различают три доли, а в левом – две. Верхушки легких выступают над ключицами, а основания прилежат к диафрагме. На вогнутой поверхности через ворота в легкие заходят главные бронхи артерии и нервы, а выходят легочные вены и лимфатические сосуды.

Функции легких:

1. Участие в газообмене (основная функция).
2. Участие в регуляции рН крови за счет выделения избытка углекислого газа (гомеостатическая функция).
3. Выделительная функция – выделение CO_2 , воды (0,5 л в сутки), летучих веществ (алкоголя, эфира, хлороформа, эфирных масел, аммиака, закиси азота, ацетона, этилмеркаптана, газов автотранспорта и промышленных предприятий).
4. Участие в водно-солевом обмене.
5. Участие в процессах терморегуляции – в легких вырабатывается большое количество тепла; кроме того, они участвуют в процессах теплоотдачи.
6. Депо крови.
7. Синтез биоактивных веществ (гистамина, факторов свертывания крови, серотонина).
9. Защитная функция – легкие образуют защитный барьер от окружающей среды, вырабатывают лизоцим, интерферон, иммуноглобулины.
10. Резервуар воздуха для голосообразования.

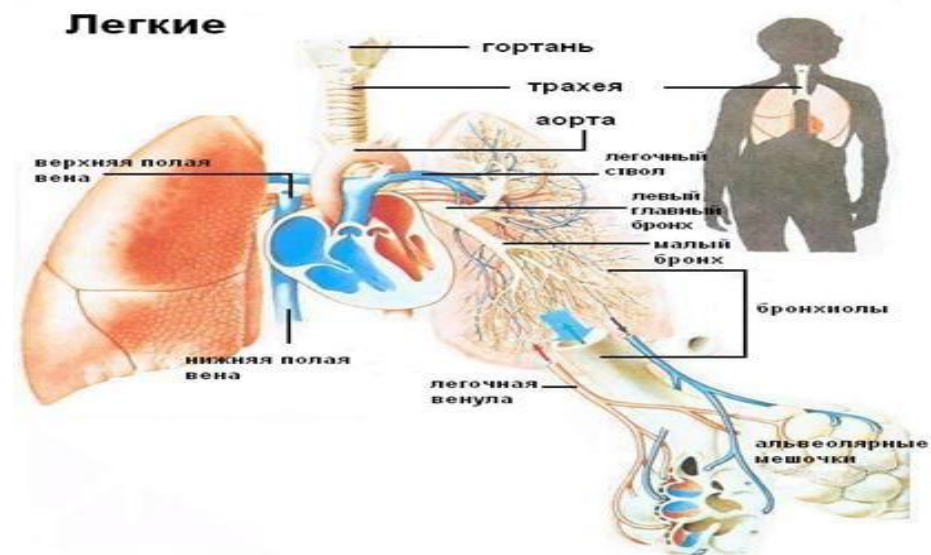


Рис.2. Строение легких.

На концах самых мелких бронхов (бронхиол) располагаются легочные пузырьки – *альвеолы*. Таким образом, легкое состоит из разветвлений бронхов, образующих скелет легкого – бронхиальное дерево, и системы легочных пузырьков или альвеол. Структурно функциональной единицей легкого является *ацинус*, состоящий из конечной бронхиолы и альвеолярных ходов с альвеолами (рис. 3).

В альвеолах происходит газообмен между кровью легочных капилляров и воздухом, содержащимся в легких.

ИНТЕРЕСНО:

Газообмен между альвеолярным воздухом и кровью осуществляется путем диффузии. Диффузионное расстояние образовано тонкой альвеолярно-капиллярной мембраной. Она отделяет кровь легочных капилляров от альвеолярного пространства. Внутренняя поверхность альвеол выстлана тонкой пленкой жидкости. В связи с этим между стенками альвеол действуют силы поверхностного натяжения, за счет которых легкие стремятся к спадению. Если бы альвеолы были выстланы чисто водной пленкой, силы поверхностного натяжения значительно препятствовали бы растяжению легких. Однако в альвеолах находится вещество – ***сурфактант***, в 10 раз уменьшающее поверхностное натяжение и препятствующее спадению мелких альвеол. Сурфактант уменьшает силу, необходимую для растяжения ткани легких при вдохе.

Значение сурфактанта:

1. Уменьшает поверхностное натяжение альвеолярной жидкости, предотвращает слипание альвеол при выдохе, улучшает растяжимость легких, облегчает вдох.
2. Облегчает диффузию кислорода из альвеол в кровь вследствие хорошей растворимости в нем кислорода.
3. Выполняет защитную функцию: защищает альвеолы от действия окислителей и перекисей, обладает бактериостатической активностью, обеспечивает обратный транспорт пыли и микробов по воздухоносным путям.

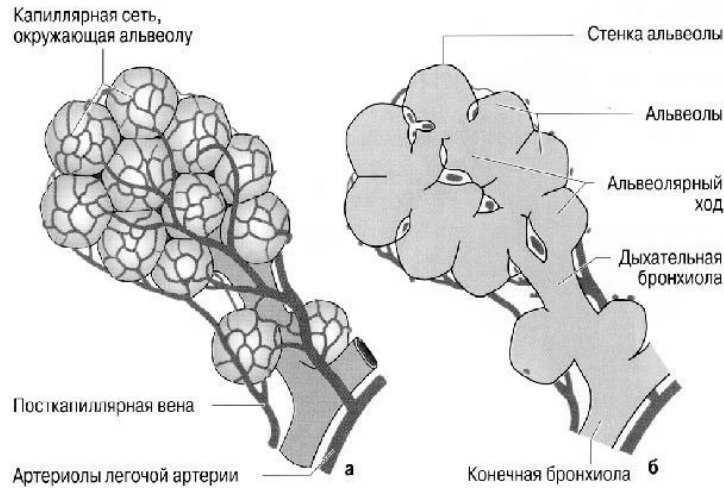


Рис. 3. Строение и кровоснабжение терминальной альвеолы: а – капиллярная сеть, окружающая альвеолу; б – строение альвеолы.

ДЛЯ СПРАВКИ:

Общее число альвеол 300 млн, суммарная площадь поверхности около 80 м², диаметр одной альвеолы 0,2–0,3мм. Стенки альвеол выстланы однослойным плоским эпителием. Альвеолы оплетены многочисленными кровеносными капиллярами (рис. 3). Эпителий альвеол вместе с эпителием капилляров образует барьер между кровью и воздухом толщиной 0,5 мкм, не препятствующий обмену газов и выделению водяных паров.

Легочные объемы и емкости

Показатели внешнего дыхания – это легочные объемы и емкости. Легочные объемы также отражают энергетический резерв дыхательных мышц.

Легочные объемы:

1. ДО – дыхательный объем – объем воздуха, вдыхаемый и выдыхаемый при спокойном дыхании; он равняется в среднем 400–500 мл. ДО обеспечивает вентиляцию легких, поддерживает постоянство альвеолярного воздуха, участвует в газообмене.
2. РО вд. – резервный объем вдоха – объем воздуха, который можно вдохнуть при максимальном вдохе после обычного вдоха; равняется 1500–3000 мл. Определяет способность легких к добавочному расширению.
3. РО выд. – резервный объем выдоха – объем воздуха, который можно выдохнуть при максимальном выдохе после обычного вдоха и выдоха; равняется 1500–2000 мл. Он определяет степень постоянного растяжения легких.
4. ОО – остаточный объем – объем воздуха, который остается в легких после максимального выдоха; равняется 1000–1500 мл. Из легочных объемов складываются легочные емкости.

Легочные емкости:

1. ОЕЛ – общая емкость легких – количество воздуха в легких после глубокого вдоха; равняется 5000–6000 мл. Включает ДО, РО вд., РО выд. и ОО. ОЕЛ отражает вместимость легких.
2. ЖЕЛ – жизненная емкость легких – количество воздуха, максимально выдыхаемого после глубокого вдоха. У мужчин равняется 4500–5000 мл, у женщин – 3500–4000 мл. Включает ДО, РО вд. и РО выд. ЖЕЛ наиболее адекватно и интегративно отражает развитие костно-мышечного аппарата, подвижность грудной клетки, эластичность и растяжимость легких, т. е. потенциальные возможности вентиляции легких. Она зависит от пола, роста, возраста и степени тренированности организма. У тренированных людей показатели ЖЕЛ намного выше.
3. ФОЕЛ – функционально-остаточная емкость легких – количество воздуха в легких после обычного выдоха; равняется 2500–3000 мл. Включает РО выд. и ОО. ФОЕ – это альвеолярный воздух.

Для измерения ЖЕЛ и её компонентов существуют методы:

Спирометрия – с помощью водяного или сухого спирометра

Спирография – с помощью спирографа на основе анализа кривой дыхательных движений – спирограммы.

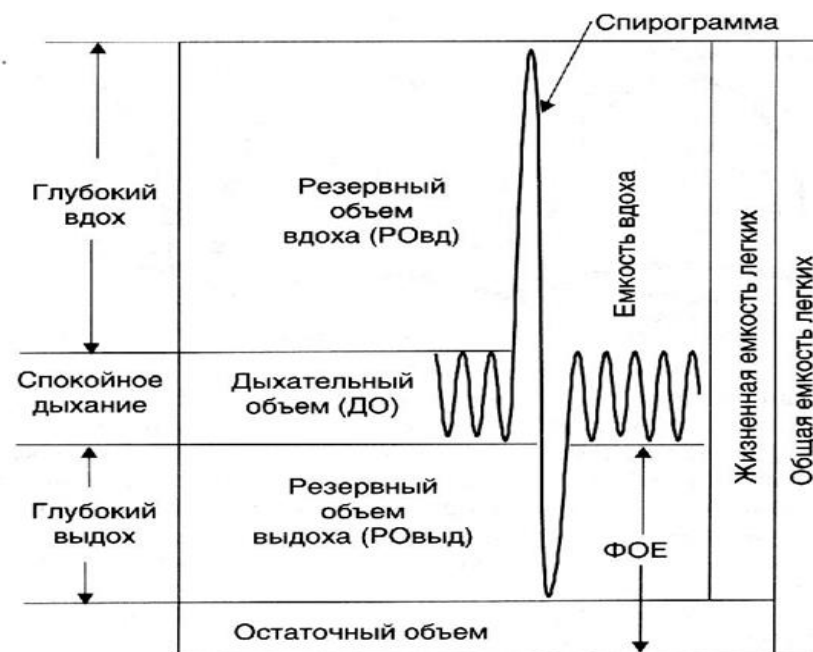


Рис.4. Легочные объемы и емкости.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Работа 1. Измерение объема грудной клетки у человека при дыхании.

Цель работы: определить величину максимального размаха колебаний размеров грудной клетки на вдохе и выдохе.

Оборудование: сантиметровая лента.

Ход работы: Работу выполняют два человека. При помощи сантиметровой ленты на уровне подмышечных впадин и мечевидного отростка произвести измерение окружности грудной клетки в конце глубокого вдоха и в конце максимального выдоха.

Выводы: соответствуют цели.

Примечание: Окружность грудной клетки измеряется (не отрывая ленты от обследуемого) в трех положениях: во время паузы, во время максимального вдоха и полного выдоха. При этом следует обращать внимание на то, чтобы обследуемый во время вдоха не сгибал спину и не поднимал плеч, а во время выдоха – не сводил их вперед и не наклонялся. Разница между величинами окружностей в фазе вдоха и выдоха определяет степень подвижности грудной клетки – экскурсию (размах). Экскурсия грудной клетки в зависимости от длины тела и объема грудной клетки равняется у взрослых мужчин 6-8 см, в женщин – 3-6 см. В результате регулярных занятий физическими упражнениями и спортом, экскурсия грудной клетки может значительно увеличиваться и достигать 12-15 см. Окружность измеряют 2-3 раза, записывают наилучший результат. Точность измерения до 1 см.

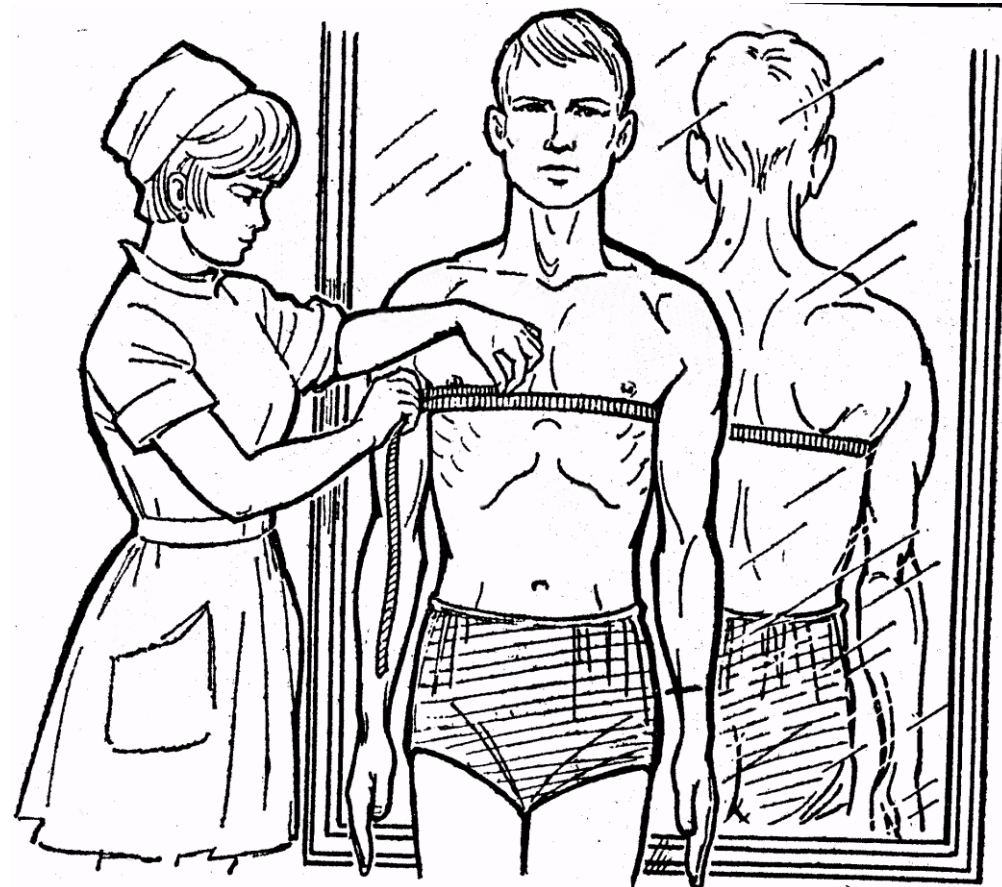


Рис.5. Измерение окружности грудной клетки.

Работа №2. Определение частоты дыхания в покое и после физической нагрузки.

Цель работы: определить частоту дыхания в покое и после физической нагрузки.

Ход работы: для определения частоты дыхания положите руку на подложечную область и подсчитайте число дыхательных движения за 1 мин. Затем предложите обследуемому сделать 20 глубоких приседаний, после чего снова подсчитайте частоту дыхания за 1 мин. Определите величину учащения дыхания в процентах.

Выводы: полученные данные занесите в протокол. Сравните результаты с физиологической нормой и сделайте выводы.

При наличии дополнительного оборудования (спирометра) предлагаем выполнить следующую практическую работу.

Работа №3. Нормальные параметры респираторной функции

Цель работы: для того чтобы выяснить, находятся ли величины легочной вентиляции, полученные для данного человека, в пределах нормы, необходимо сравнить их с нормой (должными величинами).

Оборудование: спирометр, вата, спирт.

Ход работы. Рассчитать должные для себя, величины, используя разработанные специальные формулы, учитывающие коррекцию между отдельными характеристиками функции внешнего дыхания.

А) Определение ЖЕЛ.

Мундштук спирометра обработайте ватой, смоченной спиртом. Дайте ему высохнуть. Шкалу сухого спирометра установите на нуле.

После 2–3 обычных дыхательных движений сделайте максимальный вдох, зажмите нос и произведите равномерный максимально глубокий выдох в спирометр. Старайтесь держаться прямо, не сутулясь. Измерение повторите три раза, зафиксируйте максимальную величину ЖЕЛ.

Б) Определите должную емкость легких (ДЖЕЛ).

Сравните величину ЖЕЛ, измеренную с помощью спирометра, с должной величиной (ДЖЕЛ), рассчитанной по формуле Людвига:

$$\text{ДЖЕЛ (жен.)} = 40 \times P + 10 \times B - 3800;$$

ДЖЕЛ – должная жизненная емкость легких, в мл (см^3), P – рост, в см, B – вес тела, в кг.

Для детей от 4 до 17 лет ДЖЕЛ вычисляют по формуле И. С. Ширяева и Б.А. Маркова.

Для мальчиков:

$$\text{ДЖЕЛ (в литрах)} = 10,00 \times P - 3,15 \text{ (при росте выше 1,64)}.$$

$$\text{ДЖЕЛ (в литрах)} = 4,53 \times P - 3,9 \text{ (при росте до 1,64 м)};$$

Для девочек:

$$\text{ДЖЕЛ (в литрах)} = 3,75 \times P - 3,15 \text{ (при росте от 1,00 до 1,75)}.$$

P – рост.

В) Вычислите процентное соотношение фактической ЖЕЛ к ДЖЕЛ по формуле:

$$\frac{\text{ЖЕЛ}}{\text{ДЖЕЛ}} \times 100\%$$

В норме величина ЖЕЛ может отклоняться от должной в пределах $\pm 20\%$. Превышение фактической величины указывает на большие морфофункциональные возможности легких.

ОГ) Вычислите жизненный индекс:

Определите жизненный индекс по формуле. В норме величина жизненного индекса (ЖИ) для женщин равна от 45 до 55 мл/кг, для мужчин – 55–60 мл/кг. Более низкие показатели свидетельствуют либо о недостаточности ЖЕЛ, либо об избыточной массе тела.

$$\text{Жизненный индекс} = \frac{\text{ЖЕЛ, мл}}{\text{Вес, кг}}$$

Д) Определите дыхательный объем (ДО) легких.

Произведите легкий спокойный выдох в спирометр после обычного вдоха. Для точности результатов повторите измерения три раза и рассчитайте среднюю величину.

В покое ДО в среднем колеблется от 300 до 800 мл.

Е) Определите резервный объем выдоха.

После очередного спокойного выдоха произведите максимально глубокий выдох в спирометр. Определение повторите три раза и рассчитайте среднюю величину.

Средняя величина РОвыд. в среднем равна 1500 мл.

Ж) Рассчитайте резервный объем вдоха (Ровд.) по формуле:

$$\text{Ровд.} = \text{ЖЕЛ} - (\text{ДО} + \text{Ровыд.})$$

Средняя величина Ровд. равна 1500 мл.

6. Все полученные данные занесите в таблицу 1.

7. Сравните полученные показатели с нормой и сделайте выводы.

ЖЕЛ см ³		ДЖЕЛ см ³	$\frac{\text{ЖЕЛ}}{\text{ДЖЕЛ}}$ %	$\frac{\text{ЖЕЛ}}{\text{ВЕС}}$ мл/кг.	ДО мл	Ровыд.	Ровд.
Рост, см		Масса тела, кг	ЧД в минуту		Окружность грудной клетки, см		
Стоя	Сидя		В покое	При нагрузке	при вдохе	при выходе	во время паузы

Таблица 1. Основные показатели респираторной функции.