

Z.LABS

# МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ



Лабораторные работы  
по физиологии

**Z** ZARNITZA

# **Методические рекомендации**



**Лабораторные работы  
по физиологии**

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

<b>1</b>	Лабораторная работа № 1. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА .....	<b>4</b>
<b>2</b>	Лабораторная работа № 2. РОЛЬ КРОВООБРАЩЕНИЯ В ПОДДЕРЖАНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКОВ ТЕЛА .....	<b>7</b>
<b>3</b>	Лабораторная работа № 3. ДИНАМОМЕТРИЯ. ИССЛЕДОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО МЫШЕЧНОГО УСИЛИЯ И СИЛОВОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ МЫШЦ КИСТИ .....	<b>10</b>
<b>4</b>	Лабораторная работа № 4. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЫ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ .....	<b>14</b>
<b>5</b>	Лабораторная работа № 5. РЕФЛЕКТОРНЫЕ ВЛИЯНИЯ НА СЕРДЦЕ. ГЛАЗО-СЕРДЕЧНЫЙ РЕФЛЕКС (ДАНИНИ-АШНЕРА) .....	<b>17</b>
<b>6</b>	Лабораторная работа № 6. ОЦЕНКА РЕФЛЕКТОРНЫХ МЕХАНИЗМОВ РЕГУЛЯЦИИ ГЕМОДИНАМИКИ .....	<b>20</b>
<b>7</b>	Лабораторная работа № 7. СОКРАЩЕНИЯ СЕРДЦА И ИХ ОТРАЖЕНИЕ В ЭКГ .....	<b>23</b>
<b>8</b>	Лабораторная работа № 8. ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА.....	<b>31</b>
<b>9</b>	Лабораторная работа № 9. ВЛИЯНИЕ ДЫХАНИЯ НА НЕРЕГУЛЯРНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА .....	<b>36</b>
<b>10</b>	Лабораторная работа № 10. ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЯ И ФИЗИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА .....	<b>41</b>

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>11</b>	Лабораторная работа № 11. ПОИСК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ОСИ СЕРДЦА ПО ЭКГ .....	<b>48</b>
<b>12</b>	Лабораторная работа № 12. ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ В ОТВЕТ НА ФИЗИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ .....	<b>58</b>
<b>13</b>	Лабораторная работа № 13. СПОСОБЫ ПОДСЧЕТА ЧАСТОТЫ ПУЛЬСА.....	<b>63</b>
<b>14</b>	Лабораторная работа № 14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ.....	<b>67</b>
<b>15</b>	Лабораторная работа № 15. ИЗМЕРЕНИЕ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ МЕТОДОМ КОРОТКОВА.....	<b>69</b>
<b>16</b>	Лабораторная работа № 16. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЫ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ .....	<b>75</b>
<b>17</b>	Лабораторная работа № 17. РЕГИСТРАЦИЯ ЧАСТОТЫ ДЫХАНИЯ .....	<b>78</b>
<b>18</b>	Лабораторная работа № 18. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ ДЫХАНИЯ ПРИ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ.....	<b>81</b>
<b>19</b>	Лабораторная работа № 19. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО УРОВНЯ ФИЗИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ.....	<b>84</b>
<b>20</b>	Лабораторная работа № 20. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСВЕЩЕННОСТИ НА ФИЗИЧЕСКОЕ ЗДОРОВЬЕ ЛЮДЕЙ.....	<b>87</b>



## Лабораторная работа № 1

### ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА

**Оборудование:** Цифровая лаборатория по физиологии: мультидатчик, датчик температуры; ПК с ОС Windows и установленным программным обеспечением Z.Labs.

**Цель:** Измерить и сравнить температуру тела человека в подмышечной впадине и на кисти руки.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Температура тела человека – величина достаточно пластичная. Температура тела различна в различных участках тела и в различных состояниях. В комфортных условиях температура кожи открытых участков около 30 °С, в подмышечной впадине – около 36,5 °С, в печени – около 39 °С. Термометрия в клинических и экспериментальных целях проводится в различных частях тела. Чаще всего измеряют температуру в подмышечной впадине (36,3-36,9 °С), в прямой кишке (ректальную) (37,3-37,7 °С), в ротовой полости (подъязычную) (36,8-37,3 °С). Суточные колебания температуры составляют около 1 градуса (минимум – в 3-4 часа ночи).

Температурный градиент – разница значений температуры различных участков тела (выделяют продольный и радиальный температурные градиенты). Так, при температуре воздуха 20 °С и ректальной температуре 37 °С температура глубокой мышечной части бедра равна 35 °С, глубоких слоев икроножной мышцы – 33 °С, центра стопы – 27-28 °С.

При изменении температуры окружающей среды соотношение между этими частями изменяется.

Температура тела человека постоянно поддерживается на определенном уровне, и ее изменение часто является важным показателем состояния человека. Показания зависят от времени измерения температуры и состояния здоровья человека.

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подсоедините датчик температуры к соответствующему порту мультиметра и выполните соединение мультиметра с компьютером (или другим устройством).

2. Используйте датчик температуры для измерения температуры в подмышечной впадине и кисти.

3. Для этого расположите датчик на внутренней поверхности плеча ближе к внутренней поверхности плечевого сустава (в ходе работы оптимальное положение нужно подобрать экспериментально).

4. Проведите проверку экспериментальной установки и эксперимент для нового положения.

#### ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Запустите эксперимент в программе Z.Labs. Выберите датчик температуры и перейдите в окно просмотра графиков. Для того чтобы сигнал было удобнее наблюдать, его можно «растягивать» по осям X и Y.

2. Положите изучаемую руку перед собой на стол и расслабьте мышцы предплечья.

3. Поместите датчик температуры в подмышечную впадину на 30 с, запишите показания датчика в табл. 1.1. Продолжите регистрацию температуры таким же образом через 1; 1,5; 2; 2,5 минуты и так далее до тех пор, пока показания термометра не будут постоянными.

4. Определив необходимое время измерения температуры в подмышечной впадине, дезинфицируют датчик термометра в антисептическом растворе и измеряют температуру кисти. Для этого датчик помещают между указательным и большим пальцем. После этого несколько раз (3-4) повторяют измерение температуры через 1; 1,5; 2; 2,5 минуты.

5. По результатам опыта постройте график показаний термометра в зависимости от времени измерения, где по оси X отмечают время, по оси Y – показатели температуры.

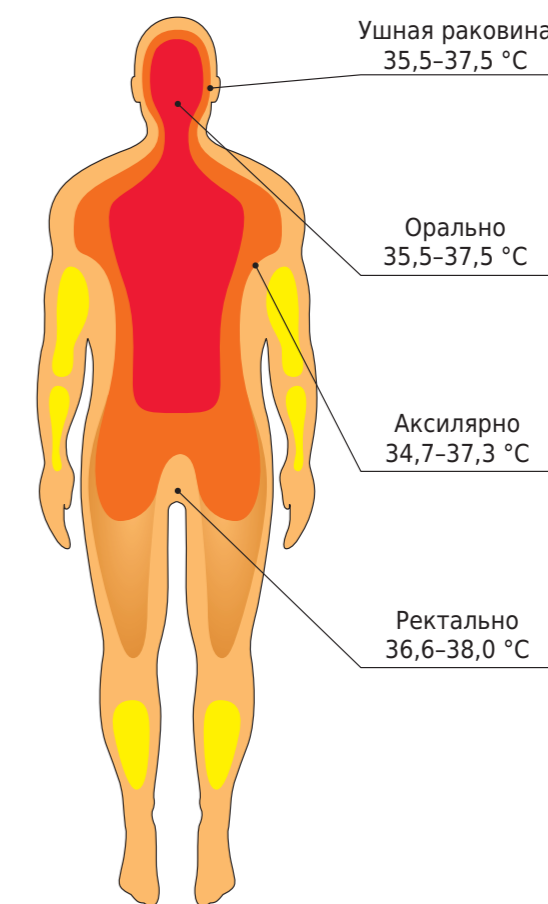


Рисунок 1.1.  
Нормальный диапазон температуры тела человека

Показания измерений температуры тела человека

Таблица 1.1

	начальное значение	через 1 мин	через 1,5 мин	через 2 мин	через 2,5 мин
В подмышечной впадине					
На кисти руки					

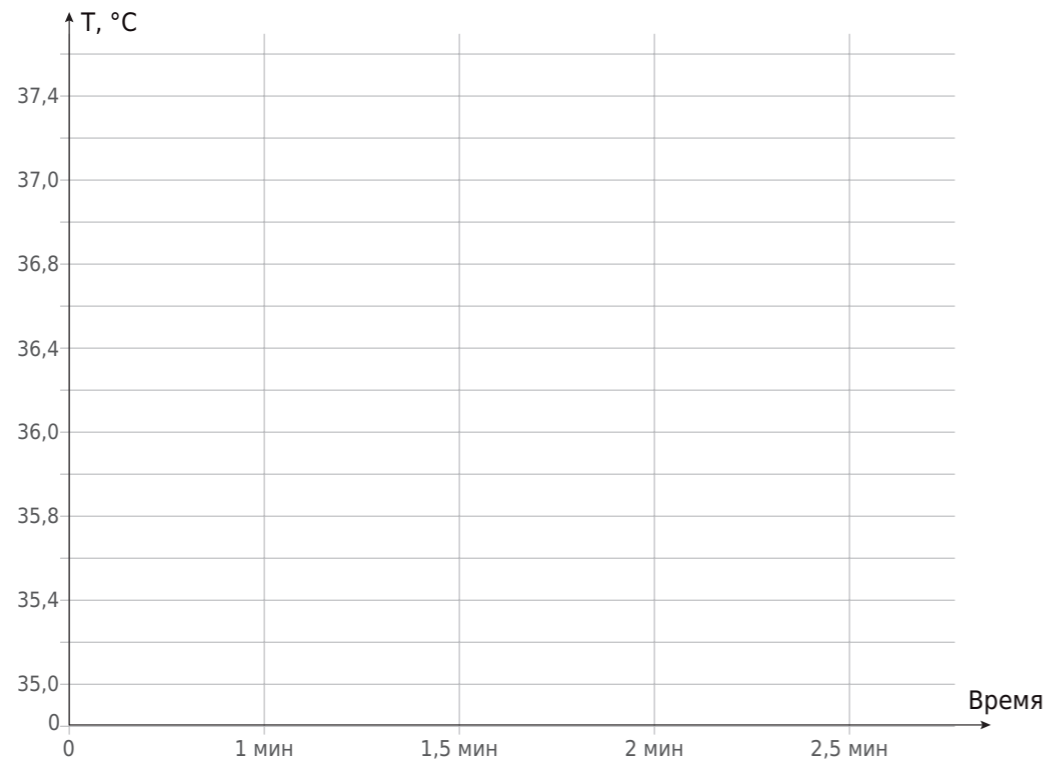


Рисунок 1.2.  
График температуры тела человека

■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каким образом человек поддерживает постоянную температуру тела? Какие механизмы саморегуляции задействованы?
2. Объясните показатели температуры тела в подкожной впадине и кисти.
3. Происходит ли изменение температуры в течение эксперимента? Каковы причины этого явления?



Лабораторная работа № 2

**РОЛЬ КРОВООБРАЩЕНИЯ  
В ПОДДЕРЖАНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ  
РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКОВ ТЕЛА**

*Оборудование:* Цифровая лаборатория по физиологии, датчик температуры, мультидатчик; кровоостанавливающий жгут (не входит в комплект поставки); ПК с ОС Windows и установленной программой Z.Labs.

*Цель:* Измерить температуру тела человека на разных участках тела при изменении кровяного давления; изучить зависимость теплоотдачи от кровообращения.

■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Поддержание определенной температуры тела у гомойотермных (теплокровных) организмов обеспечивается за счет физиологических механизмов терморегуляции, которые способны изменять как теплопродукцию организма, так и его теплоотдачу. Например, понижение температуры окружающей среды вызывает в организме повышение теплопродукции за счет интенсификации метаболических процессов

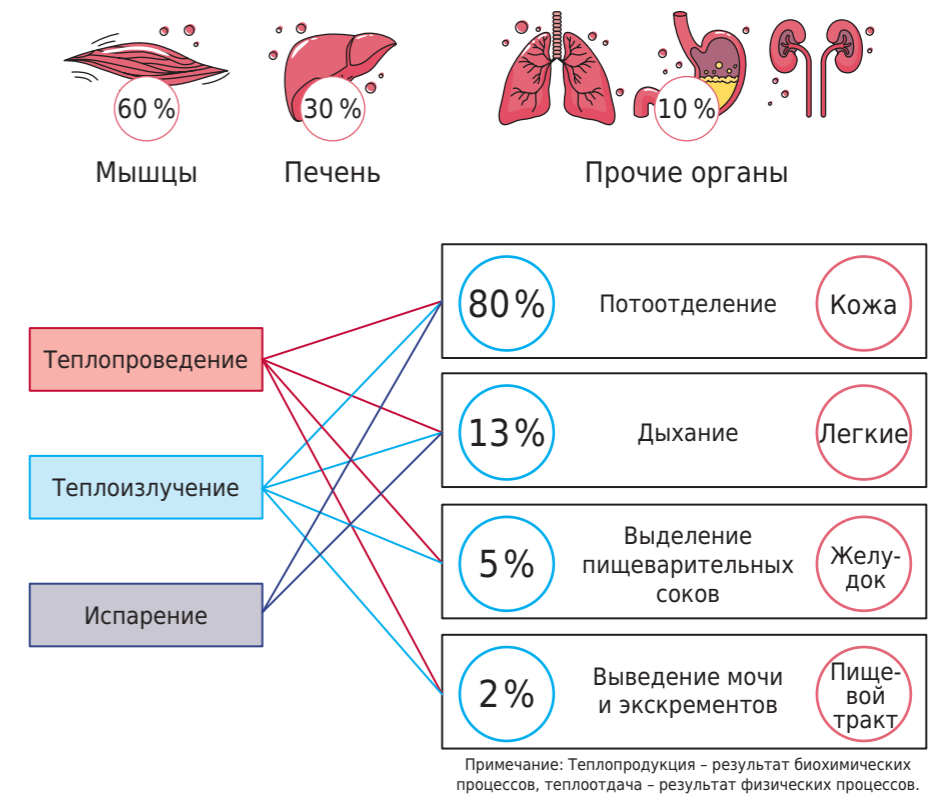


Рисунок 2.1.  
Пути теплопродукции и теплоотдачи



Таблица 2.1

Показания измерений температуры тела человека

Этапы регистрации	Температура кожи на руке с манжеткой			Температура кожи на руке без манжетки		
	пальца	кисти	предплечья	пальца	кисти	предплечья
В исходном состоянии						
После прекращения кровообращения, через 1 мин						
То же, через 2 мин						
То же, через 3 мин						
После восстановления кровообращения, через 1 мин						

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

и снижение теплоотдачи, повышение температуры среды сопровождается противоположными процессами. Теплопродукция в организме повышается и при усилении мышечной деятельности. При этом для поддержания постоянства температуры тела увеличивается и теплоотдача.

У пойкилотермных (холоднокровных) температура тела меняется в зависимости от температуры внешней среды. У плацентарных млекопитающих около 38 °С и в пределах 40-42 °С у птиц, и суточные колебания в пределах 0,5-2 °С.

Температура тела человека постоянно поддерживается на определенном уровне, и ее изменение часто является важным показателем состояния здоровья человека.

Измерение температуры тела человека производят в различных точках. Обычно ее измеряют в подмышечной впадине, ротовой полости и ректально ртутным термометром. Его показания зависят от времени измерения температуры. В поддержании температуры тела важную роль играет кровообращение. Циркулирующая кровь нагревается в органах и переносит тепло к другим отделам тела, где количество образующегося тепла невелико или происходит усиленная теплоотдача.

1. Подсоедините датчик температуры к соответствующему порту мультидатчика и выполните соединение мультидатчика с компьютером (или другим устройством).

2. Используйте датчик температуры для измерения температуры пальца.

3. Для этого расположите датчик на столе и хорошо прижмите пальцем.

4. Проведите проверку экспериментальной установки и эксперимент для нового положения.

#### ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Запустите эксперимент в программе Z.Labs. Выберите датчик температуры и перейдите в окно просмотра графиков. Для того чтобы сигнал было удобнее наблюдать, его можно «растягивать» по осям X и Y.

2. Испытуемый кладет руку на стол и держит ее в спокойном состоянии, не напрягая мышц. Ему на плечо накладывают кровоостанавливающий жгут, к концу одного из пальцев той же руки прикладывают датчик и измеряют исходную температуру пальца. Затем в манжетку накачивают воздух, чтобы давление в ней достигло 180-200 мм рт. ст. При таком давлении в манжетке кровеносные сосуды плеча сдавливаются и кровообращение в области предплечья и кисти нарушается. По показанию сфигмоманометра следят, чтобы давление в манжетке во время опыта не снижалось.

3. В течение 3 минут (с интервалом в 1 минуту) регистрируют датчиком термометра температуру кончика пальца. Затем выпускают воздух из манжетки, и кровообращение в области предплечья и кисти восстанавливается. Продолжая регистрировать температуру кончика пальца, отмечают время восстановления его исходной температуры.

4. Необходимо измерить температуру в различных точках другой руки и предплечья, а также температуру в соответствующих точках другой руки, где кровообращение не нарушено пережатием сосудов манжеткой. Не рекомендуется проводить опыт более 30 минут.

5. Полученные результаты запишите в табл. 2.1.

6. Постройте график изменения температуры пальца, кисти, предплечья на основании результатов опыта.

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему при физической нагрузке и приеме пищи человек согревается быстрее, чем в спокойном состоянии?

2. Объясните механизм снижения температуры в исследованных точках при сдавливании плеча манжеткой.

3. Почему при нарушении кровообращения изменяется температура в исследуемых точках?

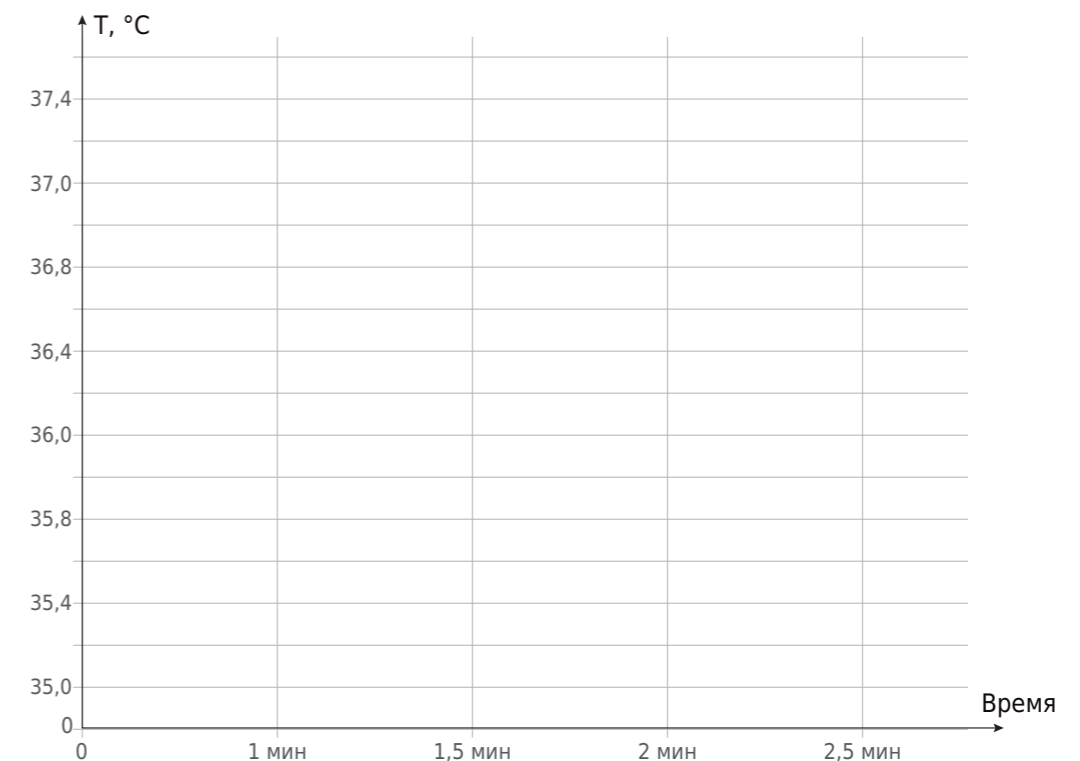


Рисунок 2.2.  
График температуры тела человека на разных участках



## Лабораторная работа № 3

## ДИНАМОМЕТРИЯ. ИССЛЕДОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО МЫШЕЧНОГО УСИЛИЯ И СИЛОВОЙ ВЫНОСЛИВОСТИ МЫШЦ КИСТИ

**Оборудование:** Цифровая лаборатория по физиологии: мультидатчик; кистевой динамометр; секундомер или часы (не входит в набор); ПК с ОС Windows и установленной программой Z.Labs.

**Цель:** Изучить, как появляется усталость мышц, что влияет на работоспособность мышц кисти.

### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Мышечная ткань осуществляет двигательные функции организма. Сила мышцы определяется тем наибольшим напряжением, которое она может развивать, или тем грузом, который она может поднять, характеризует степень развития мускулатуры и служит базой для проявления таких двигательных качеств, как скорость, ловкость, выносливость. Понятие сила прежде всего физическое. В механике оно выражает меру взаимодействия тел, причину их движения, механизм характера движения. Если речь идет об источнике движения, то, говоря о силе, имеют в виду способность человека производить работу, и эта способность выступает как причина перемещения тела или отдельных мышц человека

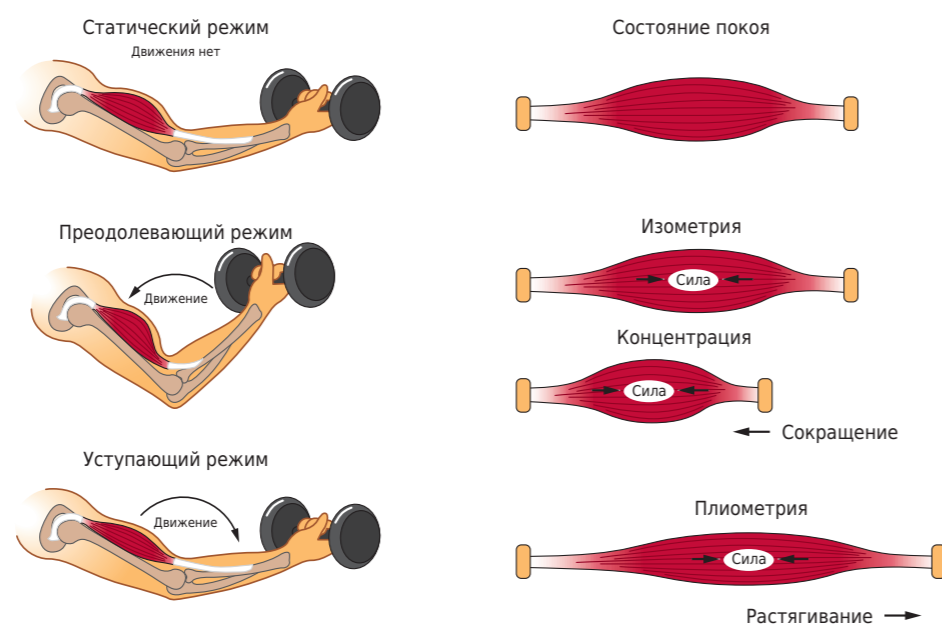


Рисунок 3.1.  
Режимы сокращения мышц

### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

(сила тяги мышц человека). Работоспособность – это способность выполнять работу с высокой эффективностью. Уровень физической работоспособности определяется скоростью и характером утомления. Длительность напряжения мышцы приводит к ее утомлению и неспособности совершать дальнейшую работу. Поступление нервных импульсов к мышце может быть нормальным, однако механическое сокращение мышцы в ответ на эту импульсацию угнетено вследствие истощения основного источника энергии – АТФ. Сила мышц может изменяться под влиянием различных факторов. Проявление силы зависит от длительности, интенсивности и характера совершаемой работы, а также от уровня тренированности.

1. Подсоедините датчик кистевой силы к соответствующему порту мультиметра и выполните соединение мультиметра с компьютером (или другим устройством).

2. Расположите датчик на внутренней поверхности кисти (в ходе работы оптимальное положение нужно подобрать экспериментально). Проведите несколько сокращений кистью для измерения силы сокращения мышц предплечья и кисти.

3. Проведите проверку экспериментальной установки и проведите эксперимент для нового положения.

#### ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Запустите эксперимент в программе Z.Labs. Подключите датчик кистевой силы и перейдите в окно просмотра графиков. Для того чтобы сигнал было удобнее наблюдать, его можно «растягивать» по осям X и Y.

2. Обследуемый в положении стоя отводит вытянутую руку с динамометром в сторону под прямым углом к туловищу. Вторая свободная рука опущена и расслаблена. По сигналу обследуемый дважды выполняет максимальное усилие на динамометре. Силу мышц оценивают по лучшему результату.

3. Показатели датчика записывают. Затем обследуемый выполняет 10 раз максимальные усилия с частотой один раз в 5 секунд.



Рисунок 3.2.  
Подключение датчика кистевой силы



4. Результаты записывают и определяют работоспособность мышц по формуле:

$$P = (F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_b) / b,$$

где  $P$  – уровень работоспособности;

$F_1-F_b$  – показатели динамометра при отдельных мышечных усилиях;

$b$  – количество попыток.

Эти результаты используют для определения показателя снижения работоспособности мышц по формуле:

$$S = [(F_1 - F_{min}) / P_{max}] \times 100,$$

где  $S$  – показатель снижения работоспособности мышц;

$F_1$  – величина начального мышечного усилия;

$F_{min}$  – минимальная величина мышечного усилия;

$F_{max}$  – максимальная величина мышечного усилия.

5. Вычислите и запишите в табл. 3.1 силу, уровень работоспособности и показатель снижения работоспособности мышц по результатам 10-кратных измерений. Постройте график снижения работоспособности мышц: на оси абсцисс отложите порядковые номера усилий, на оси ординат – показатели динамометра при каждом усилии.

6. Сравните результаты у нескольких обследуемых. Оцените силу и выносливость мышц.

7. В выводах объяснить понятие сила мышц. Отметить факторы, определяющие силу мышц.

3. Увеличится ли амплитуда мышечного сокращения, если, не меняя амплитуды порогового стимула, в 2 раза увеличить его длительность?

4. В каком случае энергетические затраты будут больше: при сокращении скелетной мышцы или при длительном стойком сокращении гладкой мышцы?

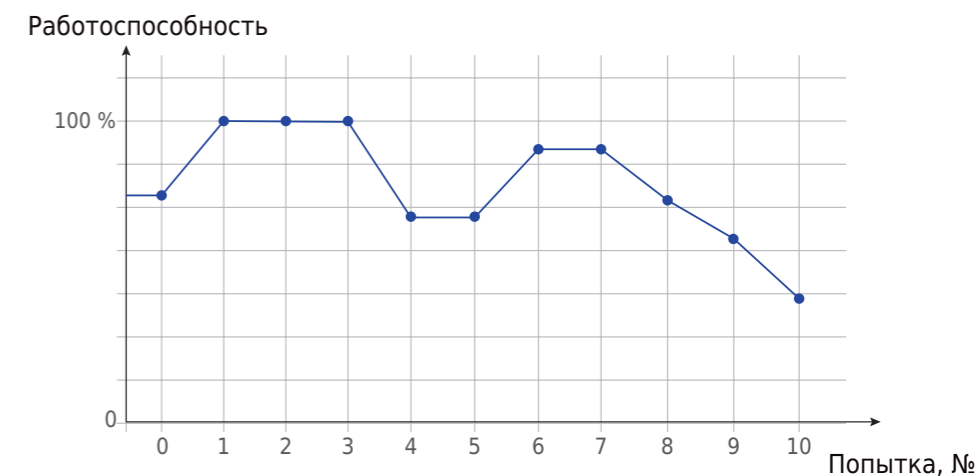


Рисунок 3.3. Пример графика снижения работоспособности мышц

Таблица 3.1

Показания измерений кистевой силы

Этапы регистрации	Уровень работоспособности	Показатель снижения работоспособности
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое свойство мышцы отражает динамометрия? Какие показатели мышц можно определить этим методом?
2. Одинакова ли скорость проведения возбуждения по нервам у холоднокровных и теплокровных животных?





## Лабораторная работа № 4

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЫ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

*Оборудование:* Цифровая лаборатория по физиологии: мультидатчик, датчик частоты дыхания; ПК с ОС Windows и установленным программным обеспечением Z.Labs.

*Цель:* Оценить функциональное состояние дыхательной системы путем проведения проб Штанге и Генчи.

### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Дыхание состоит из пяти этапов. Это внешнее дыхание, диффузия газов, транспорт газов, снова диффузия газов и внутреннее дыхание. Пятый этап – это энергетический обмен в клетке, происходящий при участии кислорода. Первые четыре этапа – это вспомогательные процессы, обеспечивающие окислительные процессы в тканях.

Устойчивость и адаптацию к гипоксии можно оценить с помощью проб с задержкой дыхания. Наиболее часто используются пробы Генчи и Штанге, а также их модификации. Они позволяют определить скорость протекания обменных процессов, функциональные возможности дыхательного центра, дают возможность контролировать эффективность тренировочных программ.



Рисунок 4.1.  
Датчик измерения частоты дыхания

### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

#### СБОРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Подсоедините датчик частоты дыхания к порту мультидатчика, а мультидатчик к компьютеру, как показано на рис. 4.1.

#### ПРОВЕРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Запустите ПО «Цифровая лаборатория».
2. Возьмите одноразовую манжету и выдыхайте через нее воздух в сенсор дыхания мультидатчика.

3. Перейдите во вкладку «Дыхание». Попробуйте дышать реже или чаще и отследите, каким образом изменяется частота дыхания.

#### ХОД РАБОТЫ

1. Лабораторную работу следует выполнять в паре. Запишите показатели частоты дыхания (время эксперимента – 60 с). Испытуемый при этом должен не двигаться и спокойно дышать. Зафиксируйте данные в табл. 4.1.

2. Проба Штанге. Исследуемому предлагается сделать 2-3 глубоких вдоха, а затем сделать максимально глубокий вдох, и задержать дыхание, обхватив плотно ртом одноразовую манжету и зажав руками нос. В это время отслеживается показатель частоты дыхания – он должен быть равен 0. Отмечается время задержки дыхания до его прекращения. Зафиксируйте время задержки дыхания в табл. 4.1.

3. После прекращения задержки дыхания, выдох необходимо продолжить через манжету датчика. Оцените как изменилась частота дыхания. Через какое время частота дыхания вернулась к исходным значениям? Зафиксируйте время восстановления дыхания в табл. 4.1.

4. Проба Генчи. Исследуемому предлагается сделать максимально глубокий выдох и задержать дыхание, обхватив плотно ртом одноразовую манжету и зажав руками нос. В это время отслеживается показатель частоты дыхания – он должен быть равен 0. Отмечается время задержки дыхания до его прекращения. Зафиксируйте время задержки дыхания в табл. 4.1.

5. После прекращения задержки дыхания выдох необходимо продолжить через манжету датчика. Оцените как изменилась частота дыхания. Через какое время частота дыхания вернулась к исходным значениям? Зафиксируйте время восстановления дыхания в табл. 4.1.

6. Оцените функциональное состояние дыхательной системы (табл. 4.2).

Таблица 4.1

Данные проб Штанге и Генчи

Исследуемый показатель	Задержка дыхания на вдохе	Задержка дыхания на выдохе
Время задержки дыхания		
Время восстановления дыхания		

Таблица 4.2

Ориентировочные показатели проб

Возраст, лет	Мужчины		Женщины		Возраст, лет	Мужчины		Женщины	
	Штанге	Генчи	Штанге	Генчи		Штанге	Генчи	Штанге	Генчи
5	24	12	22	12	11	51	24	44	20
6	30	14	26	14	12	60	22	48	22
7	36	14	30	15	13	61	24	50	19
8	40	18	36	17	14	64	25	54	24
9	44	19	40	18	15	68	27	60	24
10	50	22	50	21	16	71	29	64	28



Таблица 4.3

Оценка общего состояния обследуемого по параметру пробы Штанге

Оценка устойчивости организма к влиянию смешанной гипоксии и гиперкапнии	Время задержки дыхания (с)
Отличное	больше 60
Хорошее	40-60
Среднее	30-40
Плохое	менее 30

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Сделайте вывод о проделанной работе.

1. Что оценивается с помощью проб с задержкой дыхания?
2. Как изменяется частота дыхания после задержки дыхания? С чем это связано?
3. Какие результаты вы получили при оценке функционального состояния дыхательной системы?

#### Лабораторная работа № 5

### РЕФЛЕКТОРНЫЕ ВЛИЯНИЯ НА СЕРДЦЕ. ГЛАЗО-СЕРДЕЧНЫЙ РЕФЛЕКС (ДАНИНИ-АШНЕРА)

*Оборудование:* Цифровая лаборатория по физиологии: мультидатчик, сенсор пульса; стерильные марлевые салфетки; кушетка; ПК с ОС Windows и установленным программным обеспечением Z.Labs.

*Цель:* Изучить рефлекторные влияния на сердце путем проведения сопряженного глазо-сердечного рефлекса (Данини-Ашнера).

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Рефлекторные влияния на сердце. Выделены три категории кардиальных рефлексов: собственные, вызываемые раздражением рецепторов сердечно-сосудистой системы; сопряженные, обусловленные активностью любых других рефлексогенных зон; неспецифические, которые воспроизводятся в ответ на неспецифические влияния (в условиях физиологического эксперимента, а также в патологии).

Наибольшее физиологическое значение имеют собственные рефлексы сердечно-сосудистой системы, которые возникают чаще всего при раздражении барорецепторов магистральных артерий в результате изменения системного давления. Так, при повышении давления в аорте и каротидном синусе происходит рефлекторное урежение частоты сердцебиения.

Особую группу собственных кардиальных рефлексов представляют те из них, которые возникают в ответ на раздражение артериальных хеморецепторов изменением напряжения кислорода в крови. В условиях гипоксемии развивается рефлекторная тахикардия, а при дыхании чистым кислородом – брадикардия. Эти реакции отличаются исключительно высокой чувствительностью: у человека увеличение частоты сердцебиений наблюдается уже при снижении напряжения кислорода всего на 3 %, когда никаких признаков гипоксии в организме обнаружить еще невозможно.

Собственные рефлексы сердца проявляются и в ответ на механическое раздражение сердечных камер, в стенках которых находится большое количество барорецепторов. К их числу относят рефлекс Бейбриджа, проявляющийся в виде тахикардии в ответ на быстрое внутривенное введение определенного объема крови. Считается, что эта реакция сердца является рефлекторным ответом на раздражение барорецепторов полых вен и предсердия, поскольку она устраняется при денервации сердца. Отрицательные хронотропные и инотропные реакции сердца рефлекторной природы возникают в ответ на раздражение механорецепторов как правых, так и левых отделов сердца. Значение интракардиальных рефлексов состоит в том, что увеличение исходной длины волокон миокарда приводит к усилению сокращений не только растягиваемого отдела сердца (в соответствии с законом Франка-Старлинга), но и к усилению сокращений других отделов сердца, не подвергающихся растяжению.

Рефлексы с сердца изменяют функцию других висцеральных систем. К их числу относят, например, кардиоренальный рефлекс Генри-Гауэра, который представляет собой увеличение диуреза в ответ на растяжение стенки левого предсердия.

**Сопряженные кардиальные рефлексы** представляют собой эффекты раздражения рефлексогенных зон, не принимающих прямого участия в регуляции кровообращения. К числу таких рефлексов относят рефлекс Гольца, который проявляется в форме брадикардии (до полной остановки сердца) в ответ на раздражение механорецепторов брюшины или органов брюшной полости. Возможность проявления такой реакции учитывается при проведении оперативных вмешательств на брюшной полости, при нокауте у боксеров и т. д. При раздражении некоторых экстерорецепторов (резкое охлаждение кожи области живота) может иметь место рефлекторная остановка сердца. Именно такую природу имеют несчастные случаи при нырянии в холодную воду. Сопряженным соматовисцеральным кардиальным рефлексом является рефлекс Данини-Ашнера, который проявляется в виде брадикардии при надавливании на глазные яблоки. Это явление объясняется рефлекторным возбуждением ядер блуждающего нерва. Рефлекторная дуга этого рефлекса состоит из афферентных волокон глазодвигательного нерва, нейронов продолговатого мозга и блуждающих нервов, которые при возбуждении оказывают тормозящее действие на сердце.

Рефлекс считается положительным при урежении пульса на 5–12 уд./мин, что свидетельствует о нормальной возбудимости парасимпатического отдела вегетативной нервной системы. Урежение частоты пульса более чем на 12 уд./мин указывает на повышение возбудимости парасимпатического отдела вегетативной нервной системы. Если частота пульса после пробы не изменяется, то рефлекс считается отрицательным, что указывает на понижение возбудимости этого отдела вегетативной нервной системы. Глазо-сердечный рефлекс считается извращенным, если пульс после пробы учащается более чем на 24 уд./мин. У хорошо тренированных людей изменение частоты пульса при всех трех вегетативных пробах выражено слабее, чем у нетренированных. Выявлено, что значительные изменения показателей вегетативных проб проявляются в состоянии переутомления, перетренированности. В несколько меньшей степени они выражены при перенапряжении.



Рисунок 5.1.  
Подключение сенсора пульса



#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

#### СБОРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Подсоедините сенсор пульса к порту мультидатчика, а мультидатчик к компьютеру, как показано на рис. 5.1.

#### ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Уложите обследуемого на кушетку.
2. После 5-минутного пребывания в положении лежа зафиксируйте частоту пульса.
3. Через чистые марлевые салфетки указательными пальцами рук в течение 10 секунд медленно надавливайте через закрытое веко на оба глаза (не сильно). Сразу после надавливания вновь зафиксируйте показатель ЧСС. Данные занесите в табл. 5.1.
4. Остановите эксперимент.
5. Ответьте на вопросы по работе.

Таблица 5.1

Данные глазо-сердечного рефлекса (Данини-Ашнера)

Исследуемый показатель	В положении лежа	После 10-секундного надавливания на глазные яблоки
ЧСС		

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Сделайте вывод о проделанной работе.

1. Как изменились показания пульса при надавливании на глазные яблоки? С чем это связано?
2. Какие три категории кардиальных рефлексов выделяют? К каким из них относится глазо-сердечный рефлекс (Данини-Ашнера)?
3. В каком случае рефлекс будет считаться положительным?



## Лабораторная работа № 6

## ОЦЕНКА РЕФЛЕКТОРНЫХ МЕХАНИЗМОВ РЕГУЛЯЦИИ ГЕМОДИНАМИКИ

**Оборудование:** Цифровая лаборатория по физиологии: мультидатчик, сенсор пульса, устройство для измерения артериального давления; кушетка; ПК с ОС Windows и установленным программным обеспечением Z.Labs.

**Цель:** Оценить реакцию организма при смене положения тела путем проведения ортостатической пробы.

### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Ортостатическая проба служит для характеристики функциональной полноценности рефлекторных механизмов регуляции гемодинамики. Для поддержания оптимального АД к сердцу по венам должно поступать достаточное количество крови. Когда человек переходит из горизонтального положения в вертикальное, под действием силы тяжести кровь задерживается дольше обычного в венах ног. При этом к сердцу по венам поступает меньше крови и сердце выбрасывает в артерии меньше крови – снижается АД; иногда при этом появляется головокружение, человек может потерять равновесие. При хорошем здоровье таких явлений не бывает, так как организм быстро и незаметно «принимает меры»: рефлекторно учащаются сокращения сердца, сужаются сосуды. Чем выше уровень здоровья и тренированности сердечно-сосудистой системы, тем меньше выражена и более кратковременна ортостатическая реакция. Оценка ортостатической пробы приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Оценка ортостатической пробы

Исследуемый показатель	Переносимость пробы		
	хорошая	удовлетворительная	неудовлетворительная
ЧСС	Учащение на 11 сокращений и менее	Учащение на 12-18 сокращений	Учащение на 19 сокращений и более
АД сист	Повышается	Не меняется	Снижается на 5-10 мм рт. ст
АД диаст	Снижается	Не изменяется или повышается на 5-10 мм рт. ст.	Повышается более чем на 10 мм рт. ст.
АД пульс	Повышается	Не изменяется	Снижается
Вегетативные реакции	Отсутствуют	Потливость	Потливость, шум в ушах

Примечание: ЧСС – частота сердечных сокращений, АД сист – систолическое артериальное давление, АД диаст – диастолическое артериальное давление, АД пульс – пульсовое давление.

### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

#### СБОРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Подсоедините сенсор пульса к порту мультидатчика, а мультидатчик к компьютеру, как показано на рис. 6.1.
2. Подсоедините датчик артериального давления к порту. Закрепите на левом плече спущенную манжету (откройте винт клапана на груше). Манжета должна плотно прилегать к коже, но с минимальным давлением. Ее нижний край должен быть на 2-3 см выше локтевой ямки (рис. 6.2). Положите манометр перед собой, чтобы было удобно определять его показания.



Рисунок 6.1.  
Подключение сенсора пульса



Рисунок 6.2.  
Положение манжеты на плече

#### ПРОВЕРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Запустите ПО «Цифровая лаборатория».
2. Убедитесь, что между сенсором пульса и подушечкой пальца есть плотный контакт.



3. Перейдите во вкладку «Пульс» «Артериальное давление» для отслеживания показателей.

#### ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Уложите обследуемого на кушетку.
2. После 5-минутного пребывания в положении лежа зафиксируйте частоту пульса и измерьте артериальное давление.
3. По команде обследуемый занимает вертикальное положение. Запишите данные пульса на 1 минуте вертикального положения, проведите замер артериального давления. Оцените вегетативные реакции. Занесите данные в табл. 6.2. Оценку проведите в соответствии с данными табл. 6.1.
4. Остановите эксперимент.
5. Ответьте на вопросы по работе.

Таблица 6.2

#### Данные ортостатической пробы

Исследуемый показатель	Переносимость пробы		
	В положении лежа	В положении стоя	Интерпретация
ЧСС			
АД сист			
АД диаст			
АД пульс			
Вегетативные реакции			

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Сделайте вывод о проделанной работе.

1. Как изменились показания пульса и давления в вертикальном положении?
2. Объясните регуляторные механизмы учащения сокращений сердца при переходе из горизонтального положения в вертикальное.
3. Как результаты ортостатической пробы зависят от уровня здоровья и тренированности?

#### Лабораторная работа № 7

### СОКРАЩЕНИЯ СЕРДЦА И ИХ ОТРАЖЕНИЕ В ЭКГ

*Оборудование:* Цифровая лаборатория по физиологии: сенсор ЭКГ (ECG), мультидатчик, одноразовые электроды (3 шт.), кабель для подключения центрального модуля; ПК с ОС Windows и установленным программным обеспечением Z.Labs.

*Цель:* Зарегистрировать ЭКГ в различных отведениях и проследить за изменением сигнала. Выделить в записи ЭКГ зубцы, соответствующие различным фазам сердечной деятельности.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

В работе вы познакомитесь с важным методом исследования сердца электрокардиографией (ЭКГ). Вы получите сигнал электрокардиограммы в трех стандартных отведениях по Эйнтховену и научитесь интерпретировать полученный сигнал.

Основной функцией сердца является обеспечение циркуляции крови (так называемая «насосная» функция – ритмичное нагнетание крови в магистральные сосуды и ее последующее продвижение по сосудистому руслу). Один цикл сердечной деятельности состоит из систолы (сокращения) предсердий, которое длится около 0,1 с, систолы (сокращения) желудочков, которое продолжается 0,3 с, и общей диастолы (расслабления) – около 0,4 с. Сердечная мышца не перестает работать ни на секунду, а отдельные части сердца «отдыхают» лишь доли секунды за каждый цикл: предсердия – 0,7 с, а желудочки – 0,5 с. За правильное повторение фаз сердечной деятельности отвечают специальные водители ритмов в сердце – атриовентрикулярный и синоатриальный узлы. Если нарушается их работа, или функционирование клеток сердечной мышцы, то нарушается и слаженная работа всего сердца, и ток крови по организму. Сердечно-сосудистые заболевания, включающие нарушения сердечного ритма (рис. 7.1) и инфаркт миокарда, являются одной из ведущих причин смертности в мире, поэтому диагностика работы сердца – одна из важнейших задач современной медицины. Одним из основных



Рисунок 7.1.  
Виды сердечного ритма

методов, используемых как врачами скорой помощи, так и кардиологами в больнице, и даже в спортивной медицине для оценки состояния атлетов, является электрокардиография (*cardio* – сердце, *graphia* – запись, сокращенно ЭКГ). Этот метод был предложен еще в начале XX века немецким исследователем Вильямом Эйнтховеном. Он показал, что при расположении влажных электродов на коже конечностей испытуемого можно зарегистрировать характерной формы изменения потенциала, детально отражающие работу сердца. Два электрода, расположенные на коже, которые регистрируют разность потенциалов, создаваемую электрическим полем сердца, называются одним отведением ЭКГ. Воображаемая прямая, соединяющая эти два электрода, называется осью данного отведения. Эйнтховен предложил три таких отведения, которые и названы его именем. В зависимости от отведения сигнал может отличаться и разные зубцы ЭКГ выражены по-разному.

В одном цикле ЭКГ (рис. 7.2) выделяют пять характерных пиков потенциала: *P*, *Q*, *R*, *S* и *T*, которые соответствуют разным фазам сердечной деятельности.

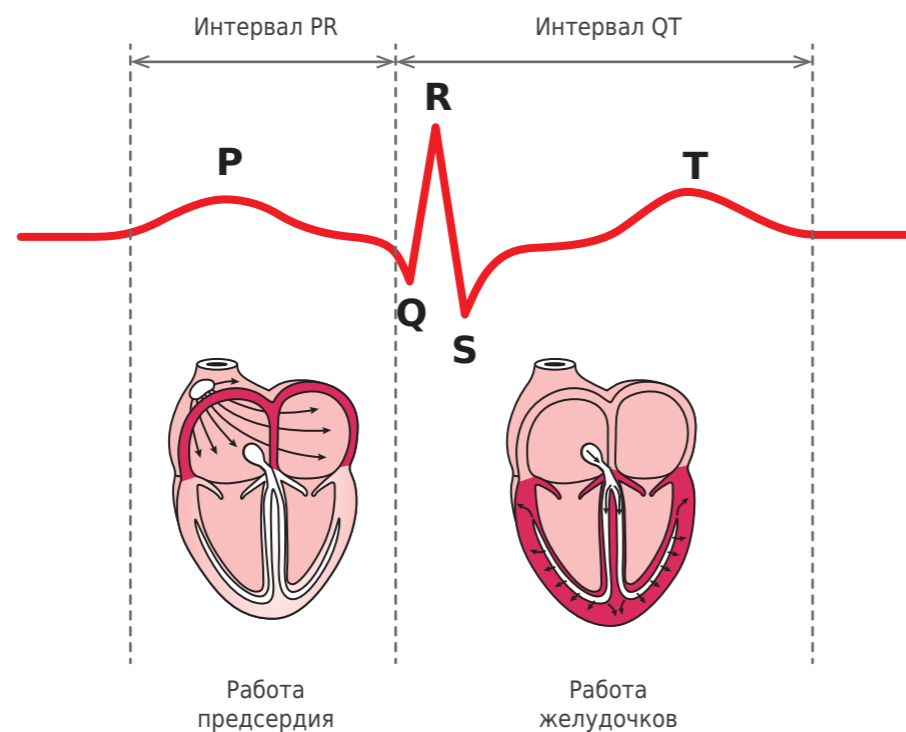


Рисунок 7.2.  
Цикл сердечной деятельности

Первым появляется зубец, обозначаемый латинской буквой «P»: он соответствует распространению возбуждения по предсердиям (сначала правому, а затем левому) и началу их сокращения. Затем возбуждение распространяется к атриовентрикулярному узлу (AV-узлу), расположенному на границе предсердий и желудочков. В AV-узле происходит задержка проведения возбуждения, благодаря чему желудочки сокращаются только после того, как закончилось сокращение предсердий. Во время атриовентрикулярной задержки на электрокардиограмме появляется сегмент PQ, расположенный на изолинии.

Затем возбуждение от AV-узла распространяется по пучку Гиса и его ножкам, и по волокнам Пуркинью переходит на сократительные кардиомиоциты. Возбуждение по проводящей системе желудочков вначале распространяется на межжелудочковую перегородку, затем на верхушку сердца и в последнюю очередь – на основание желудочков.



Процесс возбуждения и сокращения желудочков на электрокардиограмме отражает комплекс QRS, который состоит из двух небольших отрицательных зубцов (*Q* и *S*) и большого положительного зубца *R* между ними. Высокоамплитудный положительный зубец *R* отражает мощное сокращение кардиомиоцитов желудочков. Далее появляется зубец *T* – он является результатом процесса восстановления клеток сердца после прохождения по нему электрического импульса.

К концу зубца *T* желудочки опустошаются, и начинается диастола сердца. Таким образом, систоле соответствует интервал *PT* (от начала зубца *P* до конца зубца *T*), а диастоле – сегмент *TP* (от конца зубца *T* до начала следующего зубца *P*).

Различные изменения этих зубцов могут показывать нарушения в электропроводимости и сократимости сердца. Например, изменения зубца *T* и фрагмента *ST* – это характерный признак, который позволяет врачам сделать вывод об инфаркте миокарда у пациента. Исследование формы ЭКГ и поиск в ней диагностически важных признаков называется контурным анализом.

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

#### СБОРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Подключите сенсор ЭКГ к порту мультидатчика согласно одной из схем, приведенных на рис. 7.3–7.5, а мультидатчик к компьютеру.
2. Для регистрации ЭКГ в I отведении (рис. 7.3) закрепите электроды на теле испытуемого: первый сигнальный электрод (желтый) на запястье левой руки, а второй сигнальный электрод (красный) крепится на запястье правой руки. Опорный электрод (зеленый) закрепляется на лодыжке левой ноги (рис. 7.6).
3. Для удобства можно заменить место крепления опорного электрода на запястье (рис. 7.7).

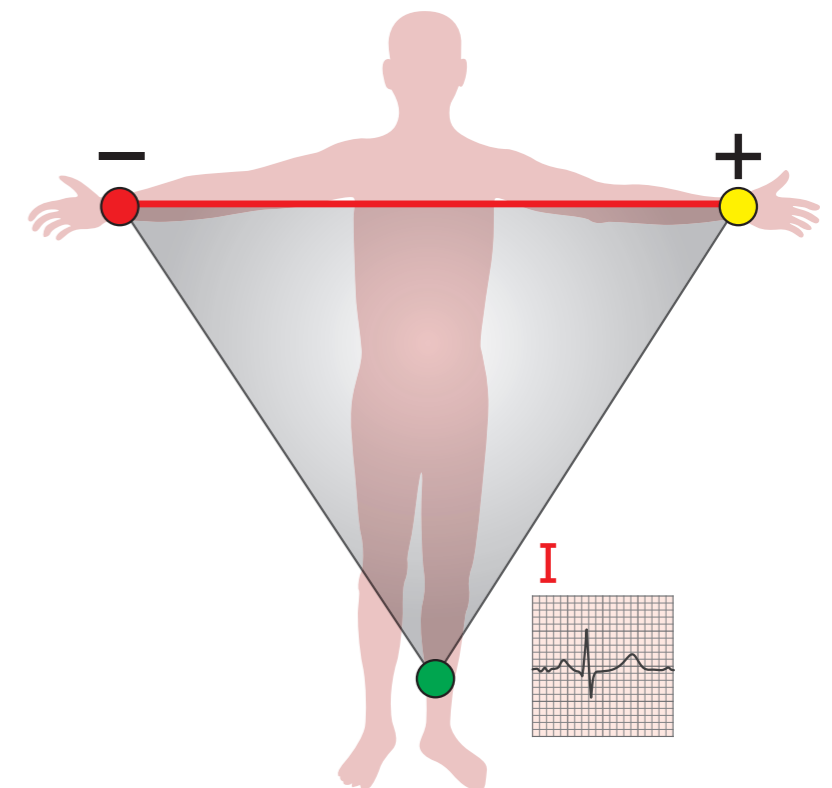


Рисунок 7.3.  
Крепление электродов для получения ЭКГ в I отведении

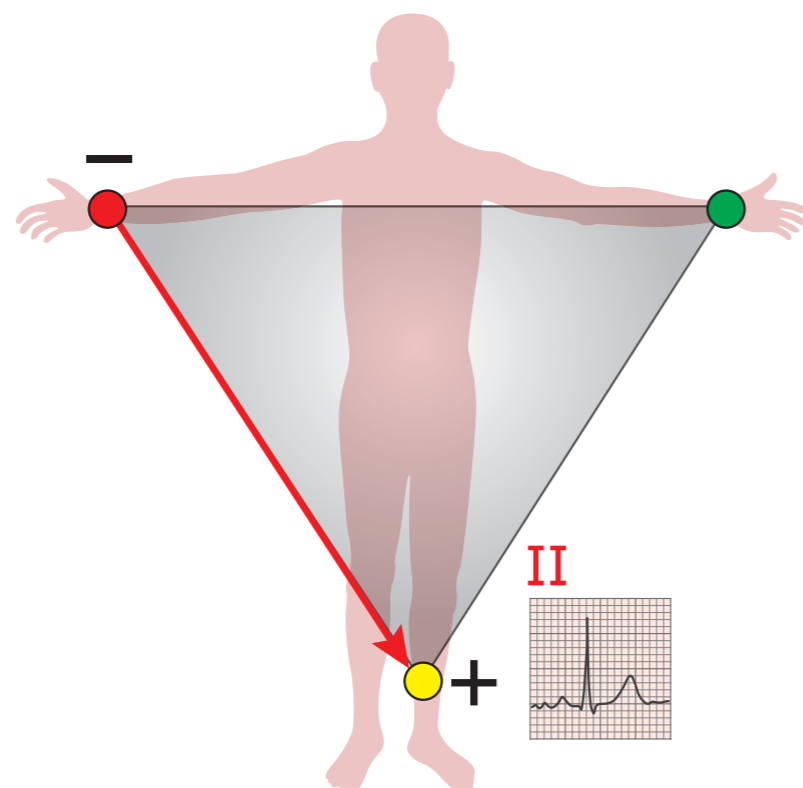


Рисунок 7.4.  
Крепление электродов для получения ЭКГ во II отведении

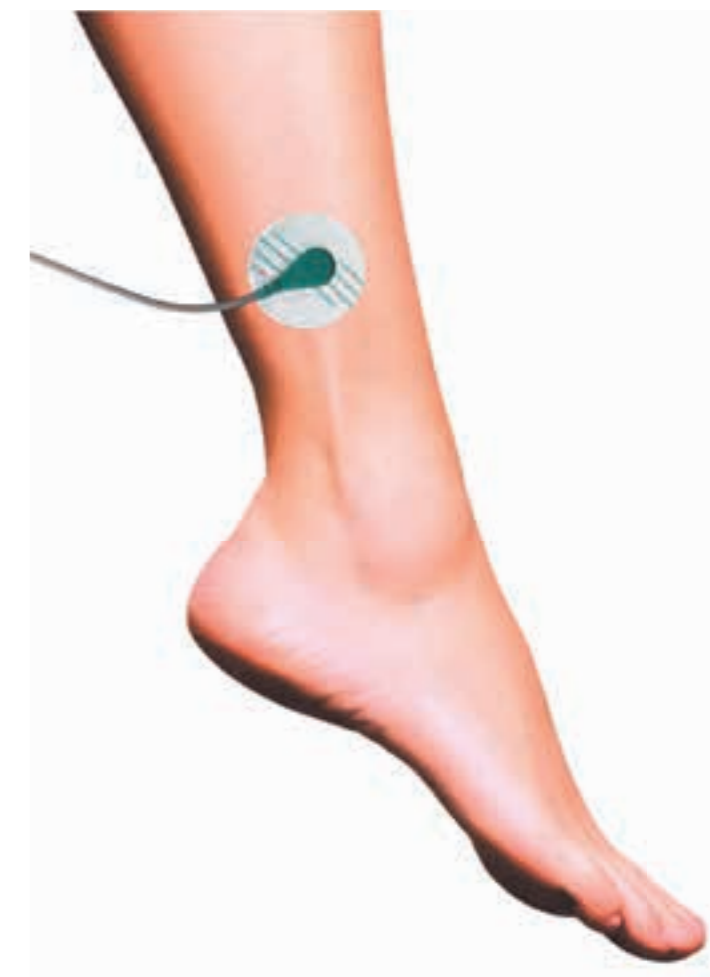


Рисунок 7.6.  
Крепление опорного электрода на лодыжке

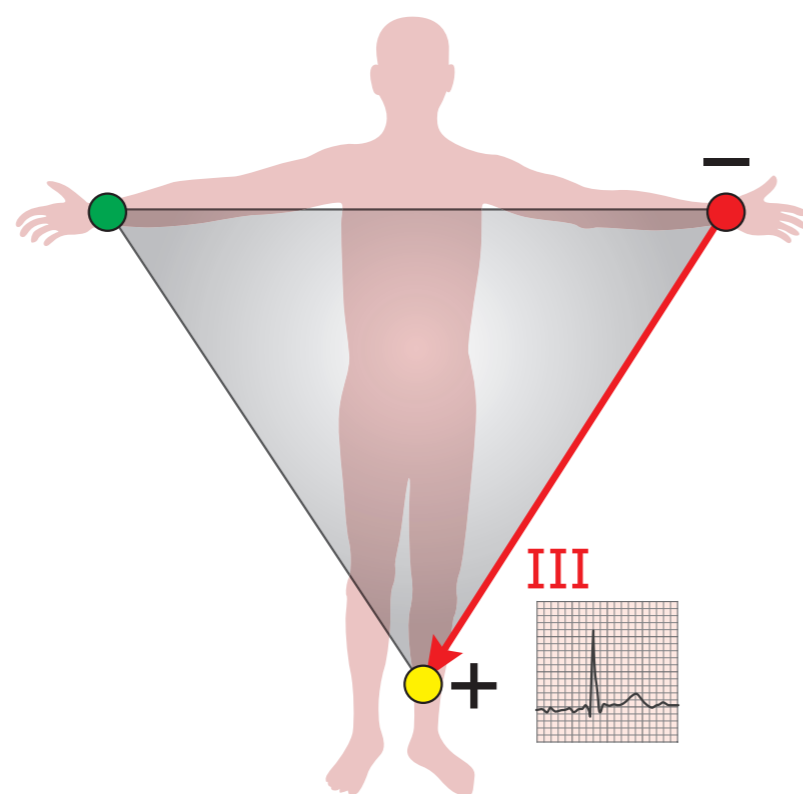


Рисунок 7.5.  
Крепление электродов для получения ЭКГ в III отведении



Рисунок 7.7.  
Подключение сенсора для измерения ЭКГ в I отведении



Для регистрации ЭКГ во II отведении закрепите электроды на теле испытуемого: первый сигнальный электрод (желтый) на лодыжке левой ноги, а второй сигнальный электрод (красный) крепится на запястье правой руки. Опорный электрод (зеленый) закрепляется на запястье левой руки (рис. 7.4).

Для регистрации ЭКГ в III отведении закрепите электроды на теле испытуемого: первый сигнальный электрод (желтый) на лодыжке левой ноги, а второй сигнальный электрод (зеленый) крепится на запястье левой руки. Опорный электрод (красный) закрепляется на запястье правой руки (рис. 7.5).

Для выполнения данной работы вы можете выбрать любое из отведений ЭКГ, в котором все зубцы будут хорошо видны.

#### ПРОВЕРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Запустите ПО «Цифровая лаборатория».
2. Перейдите во вкладку «ЭКГ» и запустите запись сигнала, нажав на кнопку «Подключить порт». Вы должны увидеть сигнал ЭКГ в I отведении (рис. 7.8).
3. Если *R*-зубцы направлены вниз (отрицательные *R*-зубцы), то нужно изменить полярность подключения электродов. Отсоедините от модуля ЭКГ сигнальный шлейф, при этом на графике сигнала ЭКГ вы увидите сильные помехи. Разверните разъем сигнального шлейфа на 180° и подключите его обратно к модулю ЭКГ. На графике сигнала вы должны увидеть сигнал ЭКГ правильной полярности (положительные *R*-зубцы). Если сигнал сильно зашумлен, обратитесь к учителю.
4. Остановите запись сигнала.



Рисунок 7.8.  
Сигнал ЭКГ в I отведении

#### ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Положите руки перед собой на стол. Спокойно посидите 1 минуту и постарайтесь расслабиться.
2. Перейдите во вкладку «Датчик ЭКГ».
3. Наблюдайте за сигналом ЭКГ и сравните его с картинкой на рис. 7.8. Найдите в одном цикле записи все зубцы (*P*, *Q*, *R*, *S*, *T*), изображенные на картинке. Для того чтобы это было проще сделать, сигнал можно «растягивать» по осям *X* и *Y*, наведя на эти оси мышку и прокрутив колесико вверх.
4. С помощью вертикальных маркеров выделите отрезки графика, соответствующие каждой из фаз сердечной деятельности – систоле предсердий (*P*-зубец), систоле желудочков (*QRST*-комплекс) и общей диастолы (расстояние от *T* до *P*) – и измерьте их длительности (рис. 7.9).

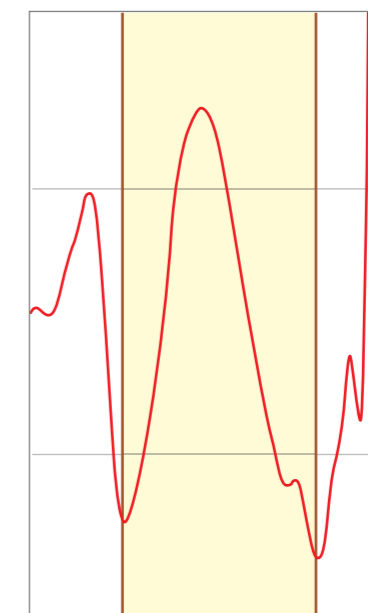


Рисунок 7.9.  
Выделение фазы ЭКГ (систола предсердий, *P*-зубец)

Они могут незначительно отличаться от описанных во введении, но соотношение их длительностей должно быть близко к описанному (рис. 7.2). Заполните табл. 7.1.

Таблица 7.1

#### Длительность фаз работы сердца

Фаза сердечной деятельности	I отведение	II отведение	III отведение
Длительность систолы предсердий ( <i>P</i> ), с			
Длительность систолы желудочков ( <i>QRST</i> ), с			
Длительность общей диастолы ( <i>T-P</i> ), с			

5. Ответьте на вопросы по работе.

#### УКАЗАНИЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЮ

1. Учащиеся должны получить сигналы ЭКГ в трех стандартных отведениях по Эйнтховену и сопоставить их. При записи сигналов ЭКГ важно минимизировать электрические помехи и шумы, а для этой работы также удостовериться, что при измерении ЭКГ в пределах одного отведения величина пиков значительно не изменяется. Если помехи в сигнале ЭКГ значительны, то их можно уменьшить такими способами:
  - сплести свободные концы соединительного провода для ЭМГ/ЭКГ в косичку или просто скрутить их;
  - выключить посторонние электрические приборы;
  - расположить экспериментальную установку на наибольшем удалении от работающих электрических приборов, в том числе от ПК;
  - проверить и заменить или сменить расположение электродов;
  - отключить ПК от сети (для ноутбуков);
  - использовать сетевые фильтры для подключения к сети.





2. На кривой сигнала ЭКГ должны быть хорошо различимы зубец *R* и зубец *T*. Зубцы *Q* и *S* могут быть небольшими, в этом случае ширину комплекса *QRS* нужно определять по началу и концу отклонения зубца *R* от изолинии. Зубец *P*, как правило, имеет небольшую амплитуду, и при больших шумах и помехах его трудно определить.

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие фазы сердечного ритма вы можете выделить при контурном анализе ЭКГ?
2. Какая фаза сердечного ритма оказалась самой длительной? А самой короткой?
3. Что отображает комплекс *QRS* в ЭКГ? Почему он больше и длиннее пика *P*?
4. Почему один и тот же пик в разных отведениях ЭКГ имеет разную величину?

Пример расчетных значений для таблицы 7.1

Фаза сердечной деятельности	I отведение	II отведение	III отведение
Длительность систолы предсердий ( <i>P</i> ), с	0,338	0,102	0,184
Длительность систолы желудочков ( <i>QRST</i> ), с	0,1	0,123	0,116
Длительность общей диастолы ( <i>T-P</i> ), с	0,148	0,246	0,221

## Лабораторная работа № 8

### ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

*Оборудование:* Цифровая лаборатория по физиологии: сенсор ЭКГ (ECG), одноразовые электроды (3 шт.), кабель для подключения; ПК с ОС Windows и установленным программным обеспечением Z.Labs.

*Цель:* Выделить в записи ЭКГ *R-R*-интервалы и использовать их для подсчета частоты сердечных сокращений.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

В работе мы познакомимся с анализом *R-R*-интервалов и изучим способ оценки вариабельности сердечного ритма по записям ЭКГ. Мы научимся быстро считать частоту сердечных сокращений и ее изменения.

Как вы помните, водителем (то есть инициатором) ритма сердца является синоатриальный узел (СА-узел), который расположен в правом предсердии. Это ведущий узел автоматии сердца, именно он задает единый темп (частоту) возбуждения и сокращения сердца. В норме у здорового человека частота генерации импульсов этим узлом составляет 60–80 в минуту, это и является нормой частоты сердечных сокращений. При этом частота сердечных сокращений (ЧСС) может изменяться с возрастом и в зависимости от состояния организма. Например, у новорожденных ЧСС составляет 110–150 ударов в минуту, у детей 10–12 лет – уже 60–100. А у натренированных спортсменов-атлетов частота сердцебиения в норме может составлять всего 50–60 ударов в минуту. Врачи специально выделяют несколько патологических состояний измененной ЧСС: тахикардию – учащенное сердцебиение (90 уд./мин), брадикардию – слишком медленный ритм сердца (60 уд./мин) и аритмию – нерегулярную ЧСС. Они могут возникать не только в результате заболеваний сердца, но и в норме – в результате стресса, физической нагрузки и сильных эмоций (тахикардия), или перепада температуры, расслабления, сна (брадикардия) (рис. 8.1).



Рисунок 8.1.  
Виды сердечного ритма



Кроме того, скорость работы сердца меняется не поминутно, а гораздо быстрее: работа сердца может замедляться или учащаться в зависимости от работы дыхательной системы или потребностей других систем организма. На каждый вдох и выдох сердце отвечает небольшими изменениями своего ритма – это называется дыхательной аритмией. Но как же измерить такие быстрые изменения?

Вы уже знакомы с методом ЭКГ и интерпретацией кардиографических пиков. Процесс возбуждения и сокращения желудочков на электрокардиограмме отражает комплекс *QRS*, который состоит из двух небольших отрицательных зубцов (*Q* и *S*) и большого положительного зубца *R* между ними. Высокоамплитудный положительный зубец *R* отражает мощное сокращение кардиомиоцитов желудочков. Интервал между двумя сокращениями сердца обычно измеряется по расстоянию (времени) между двумя зубцами *R* и поэтому называется *R-R*-интервалом. Изменение длительности этих интервалов отражает изменение ЧСС и вариабельность сердечного ритма. Если *R-R*-интервал очень короткий, два сердечных сокращения следуют друг за другом очень быстро. Крайним случаем является экстрасистолия – «лишнее», внеочередное сокращение сердца. Если же *R-R*-интервал длинный, сердце бьется реже. Если мы возьмем несколько *R-R*-интервалов за определенный период и проанализируем их длительность, мы сможем судить о вариабельности ЧСС. Измерение длительности *R-R*-интервалов используется в спортивной медицине для подсчета нагрузки на сердечно-сосудистую систему при тренировке, и в психофизиологии – для оценки психоэмоционального напряжения субъекта. Многие современные носимые устройства именно с помощью измерения *R-R*-интервалов могут практически мгновенно подсчитывать частоту вашего пульса. В данной работе мы тоже научимся выделять этот параметр при анализе ЭКГ и использовать для подсчета ЧСС и вариабельности ритма сердца.

## ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

### СБОРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Подключите сенсор ЭКГ к компьютеру, а электроды – к сенсору ЭКГ.
2. Закрепите электроды на теле испытуемого для регистрации ЭКГ в I отведении: один сигнальный электрод и опорный электрод крепятся на запястье правой руки, а второй сигнальный электрод крепится на запястье левой руки.



Рисунок 8.2.  
Подключение сенсора для измерения ЭКГ в I отведении

### ПРОВЕРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Запустите ПО «Цифровая лаборатория».
2. Перейдите во вкладку «ЭКГ». Вы должны увидеть сигнал ЭКГ в I отведении (рис. 8.3).

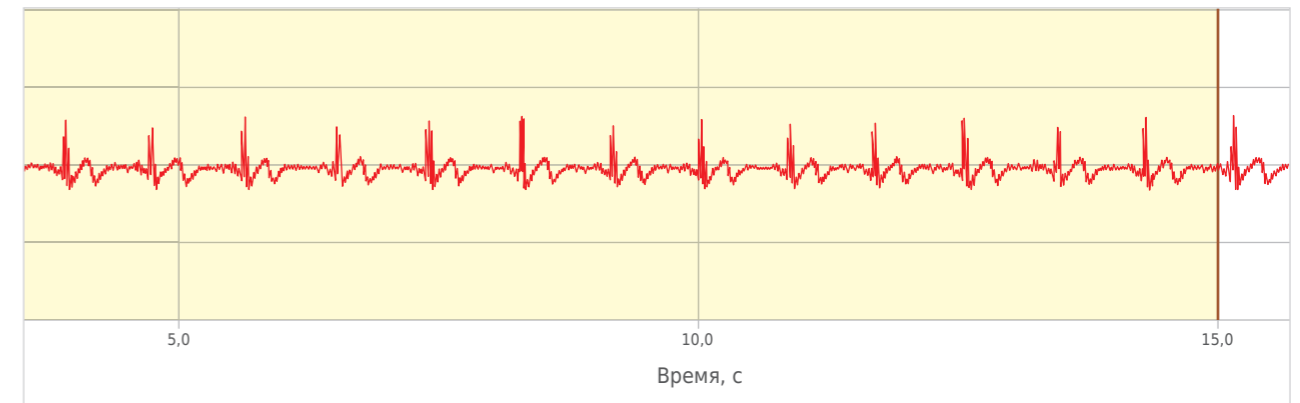


Рисунок 8.3.  
Сигнал ЭКГ в I отведении

3. Если *R*-зубцы направлены вниз (отрицательные *R*-зубцы), то нужно изменить полярность подключения электродов. Отсоедините от модуля ЭКГ сигнальный шлейф, при этом на графике сигнала ЭКГ вы увидите сильные помехи. Разверните разъем сигнального шлейфа на 180° и подключите его обратно к модулю ЭКГ. На графике сигнала вы должны увидеть сигнал ЭКГ правильной полярности (положительные *R*-зубцы). Если сигнал сильно зашумлен, обратитесь к учителю.
4. Остановите запись сигнала.

### ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Положите руки перед собой на стол. Спокойно посидите 1 минуту и постарайтесь расслабиться.
2. Запустите эксперимент.
3. С помощью вертикальных маркеров поочередно выделите пять отрезков графика, соответствующих *R-R*-интервалам, и измерьте их длительности (рис. 8.4): они показывают, сколько времени проходит от одной систолы желудочков до другой.
4. Заполните табл. 8.1.
5. По измеренным значениям длительности *R-R*-интервалов легко вычислить частоту сердечных сокращений за минуту (ЧСС). Для этого нужно 60 с разделить на длительность интервала. Например,  $60/0,8$  получится 75 ударов в минуту. Это ваше значение пульса (если бы все *R-R*-интервалы за эту минуту были одинаковыми, а они немного варьируют). Занесите данные в табл. 8.1.
6. Сравните среднее значение ЧСС с ЧСС, подсчитанным вручную. Чтобы подсчитать ЧСС вручную, нужно на имеющейся записи за 60 с посчитать все *R*-зубцы.
7. Ответьте на вопросы по работе.

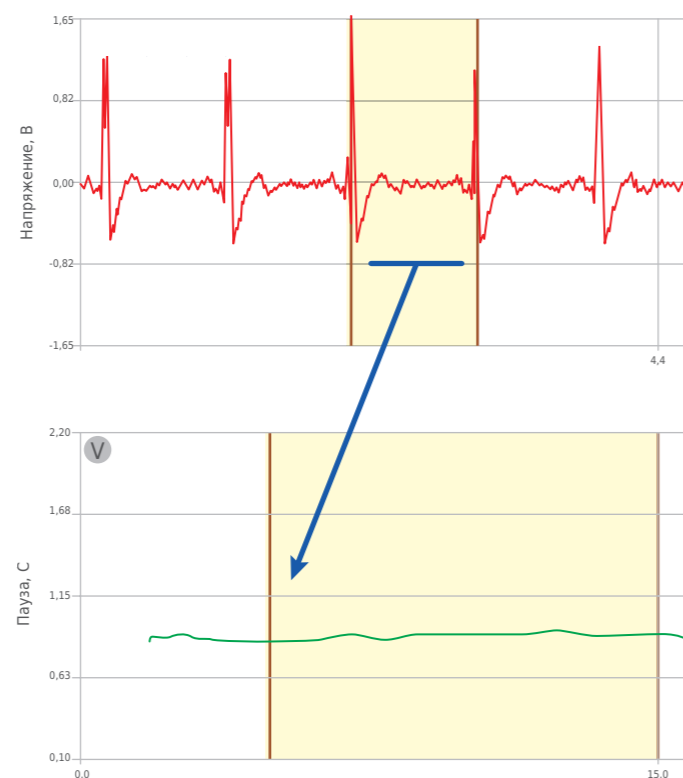


Рисунок 8.4.

Измерение длительности  $R-R$ -интервала. В верхней части картинки показано ручное выделение интервала, в нижней – автоматически рассчитываемая посекундная тахограмма, отражающая длительности  $R-R$ -интервалов

Пример расчетных значений для таблицы 8.1

Номер измерения	Длительность $R-R$ -интервала, с	ЧСС	Среднее значение ЧСС
1	0,692	86	79,6
2	0,722	83	
3	0,796	75	
4	0,731	82	
5	0,830	72	

Таблица 8.1

Вычисление ЧСС для различных  $R-R$ -интервалов

Номер измерения	Длительность $R-R$ интервала, с	ЧСС	Среднее значение ЧСС
1			
2			
3			
4			
5			

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой фазе сердечного ритма соответствует  $R$ -зубец?
2. Почему  $R-R$ -интервалы можно использовать для подсчета ЧСС?
3. Какая средняя длительность  $R-R$ -интервалов у вас получилась?
4. Какой частоте сердечных сокращений за минуту она соответствует?
5. Все ли  $R-R$ -интервалы получились одинаковыми? Почему?
6. Из-за чего изменяются  $R-R$ -интервалы?



## Лабораторная работа № 9

## ВЛИЯНИЕ ДЫХАНИЯ НА НЕРЕГУЛЯРНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

**Оборудование:** Цифровая лаборатория по физиологии: сенсор ЭКГ (ECG), одноразовые электроды (3 шт.), кабель для подключения; ПК с ОС Windows и установленным программным обеспечением Z.Labs.

**Цель:** Изучить, как изменяется работа сердца при спокойном и глубоком дыхании, выяснить, как изменяется работа сердца при глубоком дыхании в зависимости от фаз дыхания (вдоха и выдоха).

### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

В ходе выполнения лабораторной работы вы узнаете, как автономная нервная система влияет на работу сердца. С помощью электрокардиографии вы изучите, как меняется работа сердца при дыхании, и познакомитесь с дыхательной аритмией.

Сердечный ритм не является постоянным, поскольку в разных ситуациях требуется различная активность сердца: когда мы спим, обмен веществ замедляется, потребление кислорода уменьшается и сердце сокращается реже, чем при беге, когда необходимо снабжать ткани большим количеством кислорода. Регуляция активности сердца осуществляется автономной нервной системой (АНС) (рис. 9.1).

АНС не подконтрольна нашему сознанию и регулирует деятельность внутренних органов. Ее симпатический отдел стимулирует работу сердца: увеличивает силу и частоту сердечных сокращений (ЧСС, пульс), а парасимпатический отдел производит противоположный эффект: он уменьшает частоту и силу сердечных сокращений. В норме сердце испытывает влияние от обоих отделов, которые уравнивают друг друга.

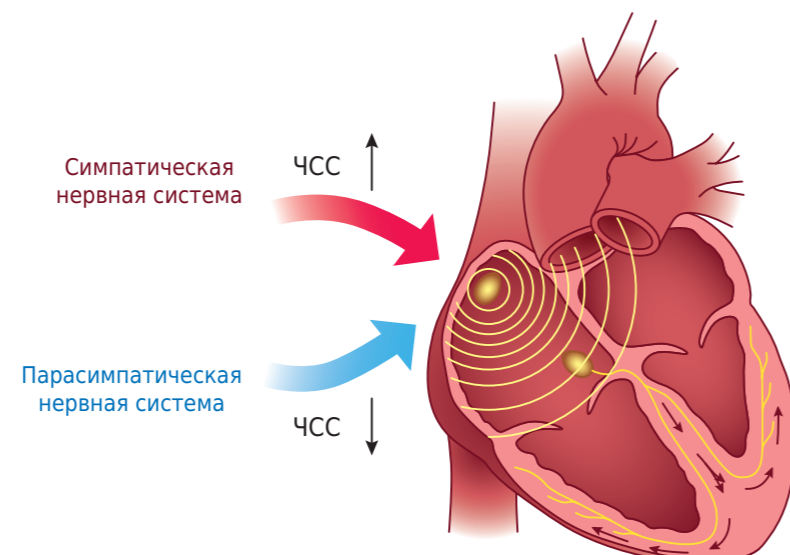


Рисунок 9.1.  
Влияние автономной нервной системы на сердце

Однако при физической нагрузке и стрессе активируется симпатический отдел, и сердце начинает биться чаще. Во время сна, наоборот, преобладает влияние парасимпатического отдела, поэтому сердце сокращается реже.

АНС получает информацию о состоянии организма от разных рецепторов.

Например, на активность АНС влияет дыхание. Когда мы делаем вдох, легкие растягиваются, в результате чего активируются специальные рецепторы. Импульсы от рецепторов легких поступают в парасимпатический центр продолговатого мозга и снижают его активность. На выдохе легкие спадаются, и активность парасимпатической системы восстанавливается. Это означает, что на вдохе сердце испытывает преимущественное влияние симпатической системы, а на выдохе – парасимпатической. Это приводит к учащению сердечных сокращений на вдохе и их урежению на выдохе (рис. 9.2).

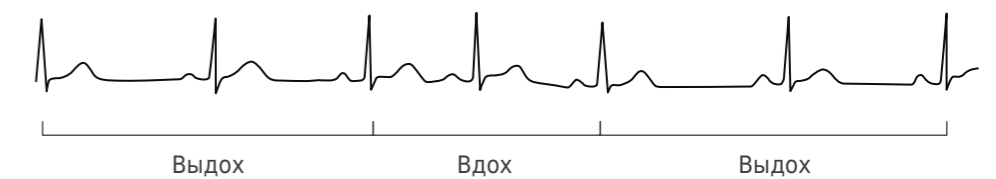


Рисунок 9.2.  
Дыхательная аритмия

Наблюдаемая нерегулярность сердечного ритма называется дыхательной аритмией и является одним из проявлений вариабельности сердечного ритма. Таким образом, сердечный ритм изменяется в соответствии с активностью АНС. Другими причинами вариабельности сердечного ритма являются барорефлексы сонных артерий, стресс и иные изменения активности АНС.

### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

#### СБОРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Подсоедините сенсор ЭКГ к компьютеру согласно схеме, приведенной на рис. 9.3.



Рисунок 9.3.  
Расположение электродов для получения сигнала ЭКГ в I отведении

2. Закрепите электроды на теле испытуемого для регистрации ЭКГ в I отведении: один сигнальный электрод и опорный электрод крепятся на запястье правой руки, а оставшийся сигнальный электрод крепится на запястье левой руки.

#### ПРОВЕРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Запустите ПО «Цифровая лаборатория».
2. Перейдите во вкладку «ЭКГ». Вы должны увидеть сигнал ЭКГ в I отведении (рис. 9.4).

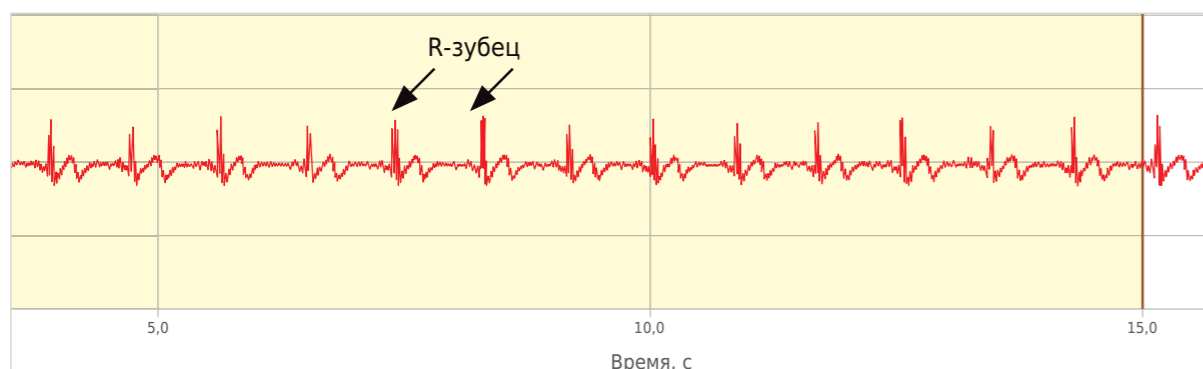


Рисунок 9.4.  
Сигнал ЭКГ в I стандартном отведении

3. Если R-зубцы направлены вниз (отрицательные R-зубцы), то нужно изменить полярность подключения электродов. Отсоедините от модуля ЭКГ сигнальный шлейф, при этом на графике сигнала ЭКГ вы увидите сильные помехи. Разверните разъем сигнального шлейфа на 180° и подключите его обратно к модулю ЭКГ. На графике сигнала вы должны увидеть сигнал ЭКГ правильной полярности (положительные R-зубцы). Если сигнал сильно зашумлен, обратитесь к учителю.

4. Остановите запись сигнала.

#### ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Положите руки перед собой на стол. Спокойно посидите 1 минуту и постарайтесь расслабиться.
2. Нажмите на кнопку «Подключить порт» и запишите сигнал ЭКГ в течение пяти обычных дыхательных циклов (вдох-выдох), после чего остановите запись, повторно нажав «Подключить порт».

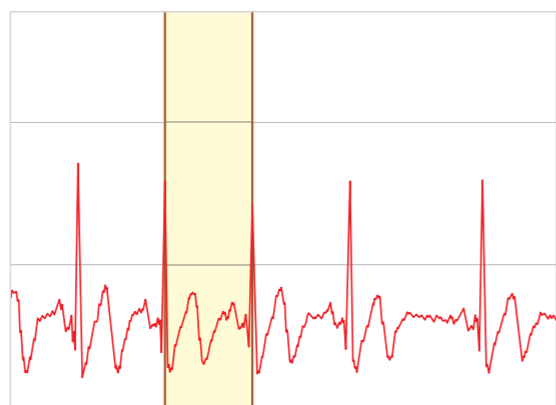


Рисунок 9.5.  
Определение длительности R-R-интервалов на графике ЭКГ



3. С помощью двух маркеров определите длительности R-R-интервалов на сигнале ЭКГ –  $RR_i$  (рис. 9.5).

4. Определите длительность R-R-интервалов на участке ЭКГ для 10 сердечных циклов. Можно ли сказать, что эти значения отличаются? Насколько сильно? Посчитайте среднее значение R-R-интервала при спокойном дыхании. Запишите данные в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Сердечный ритм при спокойном дыхании

Номер R-R-интервала	1	2	3	4	5	Среднее значение
$RR_i$ , с						

5. Теперь запишите сигнал ЭКГ в течение нескольких дыхательных циклов (вдох-выдох) при глубоком и медленном дыхании (в течение 4–5 секунд делайте вдох, затем также медленно выдыхайте). Понаблюдайте за изменением сигнала ЭКГ и своим дыханием. При глубоком и медленном дыхании R-R-интервалы заметно укорачиваются на вдохе по сравнению с выдохом.

6. Рассчитайте среднее значение R-R-интервалов для трех дыхательных циклов (вдох-выдох) при глубоком дыхании отдельно для вдоха и для выдоха. Данные занесите в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Нерегулярность сердечного ритма при глубоком дыхании

Номер дыхательного цикла	1	2	3	Среднее значение
Значение $RR_i$ , интервал на вдохе, с				
Значение $RR_i$ , интервал на выдохе, с				

7. Рассчитайте разницу между средней длительностью R-R-интервала на вдохе и выдохе. Сравните, как изменяется длительность R-R-интервалов на вдохе и на выдохе при различных типах дыхания. Как вы думаете, с чем связаны такие изменения?

#### ЗАДАНИЕ ПОВЫШЕННОГО УРОВНЯ СЛОЖНОСТИ

На записи ЭКГ при глубоком дыхании меняется амплитуда R-зубцов. С чем это связано? Проведите дополнительный эксперимент: включите запись ЭКГ и после глубокого вдоха ненадолго задержите дыхание. Как при этом меняется амплитуда R-зубца? Аналогично задержите дыхание после глубокого выдоха. Связано ли изменение амплитуды R-зубца с изменениями в работе сердца или дело в самом методе ЭКГ?

#### УКАЗАНИЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЮ

Учащиеся должны получить сигналы ЭКГ в I отведении, затем по ним при спокойном и глубоком дыхании исследовать дыхательную аритмию: на вдохе R-R-интервалы уменьшаются, а на выдохе – увеличиваются.

На кривой сигнала ЭКГ должны быть хорошо различимы зубец R и зубец T. При спокойном дыхании визуально трудно заметить нерегулярность сердечного ритма. Разница значений R-R-интервалов на вдохе



и на выдохе не превышает 0,2 с. При глубоком дыхании разница становится существенной: на вдохе R-R-интервалы значительно короче, чем на выдохе, а также заметно отличаются от случая спокойного дыхания.

Амплитуда зубцов ЭКГ изменяется потому, что при глубоком вдохе и выдохе сердце смещается внутри грудной клетки, и из-за этого меняется распределение электрического потенциала на поверхности кожи, а значит, и амплитуда зубцов. При этом сердце не проявляет большую или меньшую электрическую активность.

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Сформулируйте вывод о проделанной работе. В выводе опишите изменения R-R-интервалов при спокойном и глубоком дыхании.

Пример расчетных значений для таблицы 9.1

Номер R-R-интервала	1	2	3	4	5	Среднее значение
$RR_i$ , с	0,760	0,791	0,89	0,813	0,802	0,811

Пример расчетных значений для таблицы 9.2

Номер дыхательного цикла	1	2	3	Среднее значение
Значение $RR_i$ , интервал на вдохе, с	0,650	0,631	0,660	0,647
Значение $RR_i$ , интервал на выдохе, с	0,991	1,096	1,034	1,04

### Лабораторная работа № 10

## ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЯ И ФИЗИЧЕСКАЯ НАГРУЗКА

*Оборудование:* Цифровая лаборатория по физиологии: сенсор ЭКГ (ECG), одноразовые электроды (3 шт.), кабель для подключения; ПК с ОС Windows и установленным программным обеспечением Z.Labs; фонендоскоп/стетоскоп (для дополнительного задания, не входит в набор).

*Цель:* Выяснить, как и в каких пределах изменяются электрофизиологические параметры сердца под действием физической нагрузки.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Электрокардиограмма отражает процесс распространения возбуждения по миокарду сердца. В начале сердечного цикла сердце расслаблено и клетки его неактивны. В этот момент на ЭКГ видна горизонтальная линия без каких бы то ни было изменений. Ее называют изолинией. Затем в процессе сокращения сердца на электрокардиограмме появляются пики – зубцы.

Основной функцией сердца является обеспечение циркуляции крови (так называемая «насосная» функция – ритмичное нагнетание крови в магистральные сосуды и ее последующее продвижение по сосудистому руслу). Для этого необходимо последовательное, строго координированное чередование сокращений и расслаблений предсердий и желудочков. Это обеспечивается клетками сердца – кардиомиоцитами, которые делятся на типичные и атипичные.

Типичные кардиомиоциты сокращаются, обеспечивая насосную функцию сердца, а атипичные – генерируют нервный импульс самостоятельно. Клетки сердечной мускулатуры способны не только генерировать импульс, но и проводить его по сердечной мышечной ткани. Так возбуждение распространяется по всему сердцу, последовательно вызывая сокращение: сначала предсердий, а затем желудочков.

Поскольку кардиомиоциты создают и проводят нервный импульс, то в процессе работы сердца в нем протекают электрические токи, которые распространяются по всему телу (ведь наше тело является очень хорошим проводником). Такую электрическую активность сердца можно зарегистрировать с поверхности тела с помощью электрокардиографии.

Не все отделы сердца обладают одинаковой степенью автоматизма. У человека импульс возбуждения возникает в области синусного узла, который обладает наивысшей степенью автоматизма. Этот синоатриальный узел (СА-узел), который расположен в правом предсердии, и дающий начало проводящей системе сердца, называется водителем сердечного ритма, так как от него зависит частота сердцебиений. Вторым по степени автоматизма является атриовентрикулярный узел, расположенный между предсердиями и желудочками. У млекопитающих от этого узла идет пучок Гиса, который, направляясь вниз, в межжелудочковой перегородке делится на ножки, заканчивающиеся в толще сердечной мышцы на специальных волокнах Пуркинье.



В норме у здорового человека частота генерации импульсов этим узлом составляет 60–80 в минуту, это и является нормой частоты сердечных сокращений.

Электрокардиограмма отражает процесс распространения возбуждения по миокарду сердца. В начале сердечного цикла сердце расслаблено и клетки его неактивны. В этот момент на ЭКГ видна горизонтальная линия без каких бы то ни было изменений. Ее называют изолинией. Затем в процессе сокращения сердца на электрокардиограмме появляются пики – зубцы.

В работе вы познакомитесь с применением метода электрокардиографии (ЭКГ) для оценки физической нагрузки на организм. Вы получите сигнал электрокардиограммы в I стандартном отведении, сможете рассчитать частоту сердечных сокращений (ЧСС) по электрокардиограмме, а также узнаете, как изменяется ЧСС под действием физической нагрузки.

Одним из простых показателей, определяемых с помощью ЭКГ, является частота сердечных сокращений (ЧСС). Ее можно вычислить по количеству R-R-интервалов в 1 минуту, так как длительность одного R-R-интервала соответствует одному сердечному циклу. В зависимости от величины ЧСС будет изменяться продолжительность большинства интервалов, что учитывается при анализе ЭКГ.

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

##### СБОРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Подключите сенсор ЭКГ к компьютеру согласно схеме, приведенной на рис. 10.1.



Рисунок 10.1.

Расположение электродов для получения сигнала ЭКГ в I отведении

2. Закрепите электроды на теле испытуемого для регистрации ЭКГ в I отведении: один сигнальный электрод и опорный электрод крепятся на запястье правой руки, а второй сигнальный электрод крепится на запястье левой руки.

##### ПРОВЕРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Запустите ПО «Цифровая лаборатория».
2. Перейдите во вкладку «ЭКГ». Вы должны увидеть сигнал ЭКГ в I отведении (рис. 10.2).

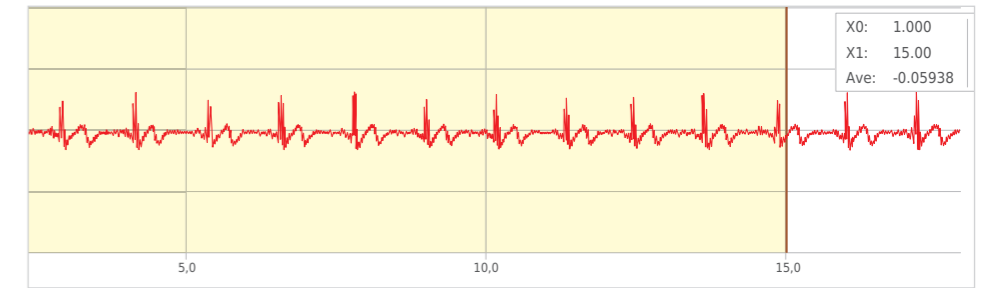


Рисунок 10.2.

Образец электрокардиограммы правильной полярности

3. Если R-зубцы направлены вниз (отрицательные R-зубцы), то нужно изменить полярность подключения электродов. Отсоедините от модуля ЭКГ сигнальный шлейф, при этом на графике сигнала ЭКГ вы увидите сильные помехи. Разверните разъем сигнального шлейфа на 180° и подключите его обратно к модулю ЭКГ. На графике сигнала вы должны увидеть сигнал ЭКГ правильной полярности (положительные R-зубцы). Если сигнал сильно зашумлен, обратитесь к учителю.

4. Остановите запись сигнала.

##### ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Положите руки перед собой на стол. Спокойно посидите 1 минуту и постарайтесь расслабиться.
2. Запустите эксперимент.
3. С помощью вертикальных маркеров подсчитайте R-R-интервалы на сделанных изображениях, и измерьте их длительность (рис. 10.3): они показывают, сколько времени проходит от одной систолы желудочков до другой.
4. Определите максимальную теоретическую ЧСС испытуемого по формуле

$$ЧСС_{теор. max} = 208 = 0,7 \times \text{возраст (кол-во полных лет)}.$$

5. Определите для пяти сердечных циклов на записи ЭКГ следующие параметры (рис. 10.4):
  - интервал QT;
  - сегмент TP или TQ (если зубец P маленький или отсутствует);
  - ширину комплекса QRS.
6. Запишите измеренные значения в табл. 10.1. Посчитайте средние величины указанных интервалов для пяти сердечных циклов.

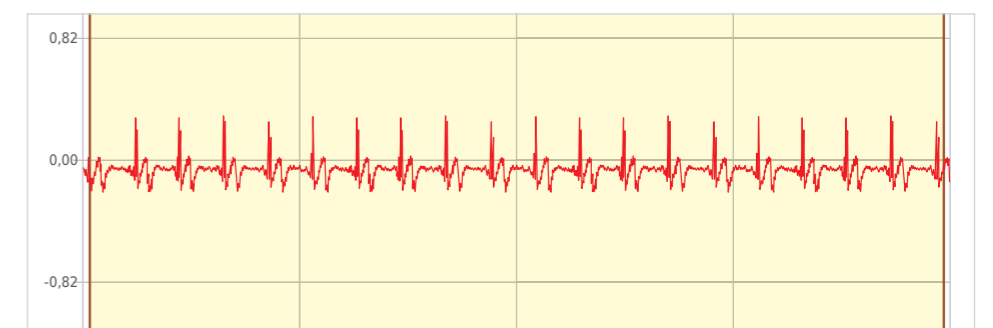


Рисунок 10.3.

Записанный сигнал ЭКГ

7. Выполните 20 приседаний в быстром темпе (за 30–50 с). При необходимости перед этим отсоедините провод с электродами от модуля ЭКГ, а после приседаний подключите обратно.

8. С помощью вертикальных маркеров подсчитайте R–R-интервалы на сделанных изображениях, и измерьте их длительность (рис. 10.4): они показывают, сколько времени проходит от одной систолы желудочков до другой.

9. По сигналу ЭКГ после физической нагрузки определите те же параметры, что и в покое, для пяти сердечных циклов. Результаты запишите в табл. 10.2, а средние величины продублируйте в табл. 10.2.

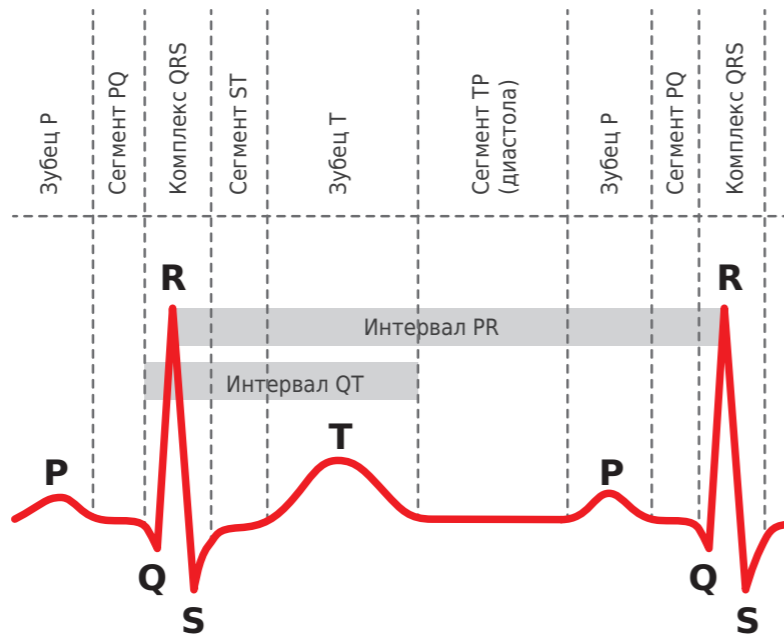


Рисунок 10.4. Разметка интервалов ЭКГ на идеальном графике ЭКГ

10. Сравните значения параметров в покое и после физической нагрузки, а также с границами нормы в покое (табл. 10.2). Опишите наблюдаемые изменения. Почему они возникают? На основе полученных данных определите, какая часть сердечного цикла сильнее укорачивается под физической нагрузкой: систола или диастола? Для этого сравните изменения интервалов QRS, QT (систола) и TP (диастола) после физической нагрузки по сравнению с покоем. Объясните наблюдаемые изменения.

11. По формуле оцените максимальную практическую ЧСС, уд./с, предполагая, что длительность систолы практически не изменяется при больших значениях ЧСС, а длительность диастолы равна нулю.

$$ЧСС_{\text{max Практич.}} = \frac{60}{PT} [c],$$

где PT – время от начала зубца P до конца зубца T в секундах.

12. Сравните полученное значение с теоретической оценкой. Чем объясняется различие значений?



Таблица 10.1

Параметры сердечных циклов до нагрузки

№ цикла	1	2	3	4	5	Среднее значение
QT, с						
TP, с						
TQ, с						
QRS, с						

Таблица 10.2

Параметры сердечных циклов после нагрузки

№ цикла	1	2	3	4	5	Среднее значение
QT, с						
TP, с						
TQ, с						
QRS, с						

Таблица 10.3

Параметры ЭКГ до и после нагрузки

Параметр	В покое	После нагрузки	Границы нормы, покой
ЧСС, уд./мин			60–80
QT, с			0,34–0,44
TP или TQ, с			-
QRS, с			-0,12

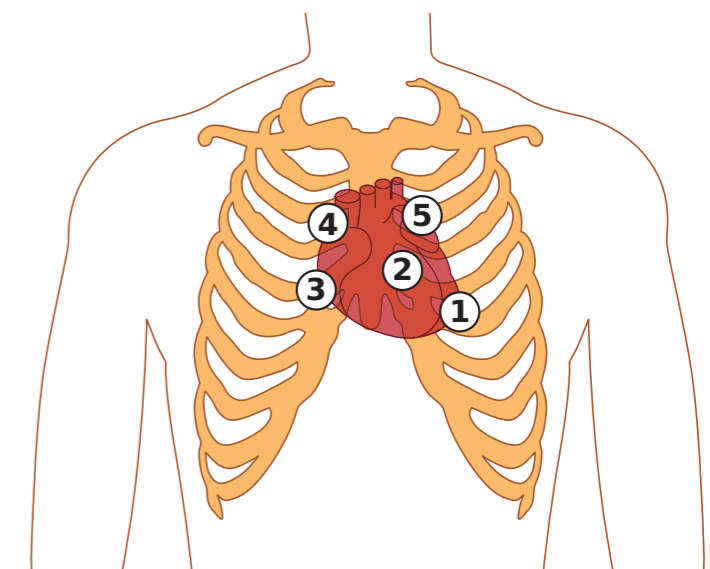


Рисунок 10.5. Точки для выслушивания клапанов сердца





## ЗАДАНИЕ ПОВЫШЕННОГО УРОВНЯ СЛОЖНОСТИ

Вставьте оливы стетоскопа в уши и приложите его мембрану под левую грудь недалеко от грудины (цифра 1 на рис. 10.5). Вы услышите как минимум два тона сердца (они будут звучать как «лаб-даб»).

Выберите такое расположение головки стетоскопа, чтобы тоны сердца были наиболее громкими.

Включите запись ЭКГ. Определите, каким элементам ЭКГ соответствуют I и II тоны сердца. Сравните свои результаты с диаграммой Виггера (рис. 10.6). На основании своих наблюдений сделайте предположение о природе I и II тонов сердца.

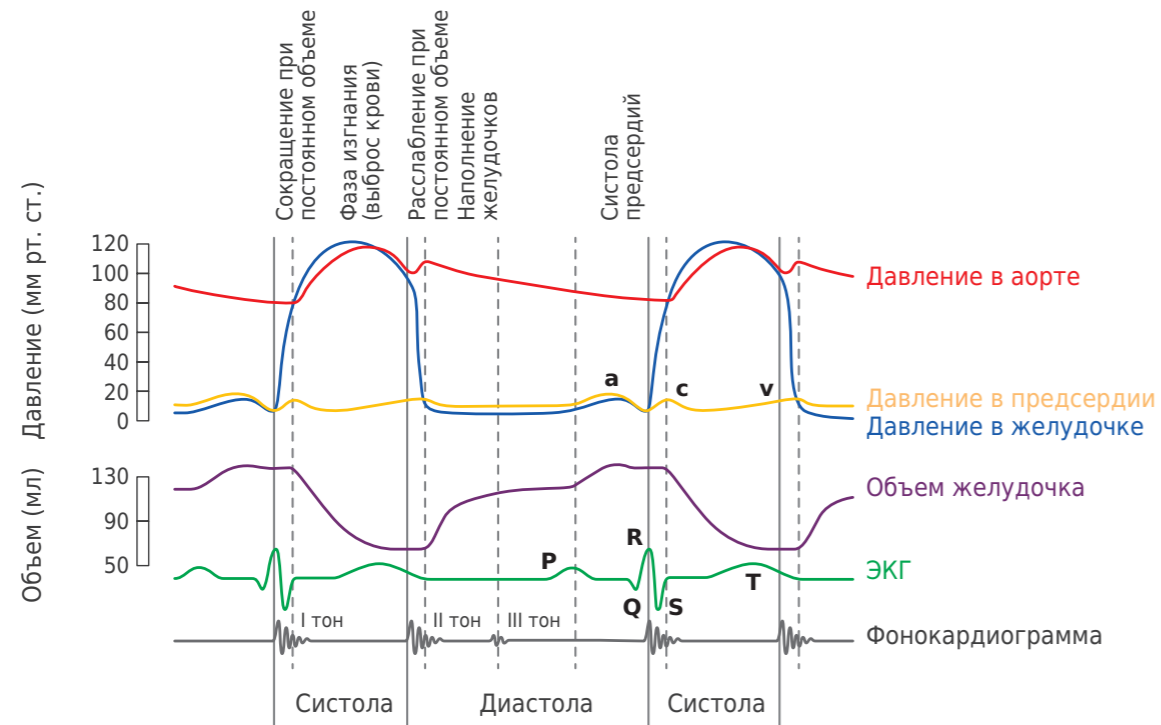


Рисунок 10.6.  
Диаграмма Виггера

■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Сделайте вывод о проделанной работе.

1. Как изменяется частота сердечных сокращений при физической нагрузке?
2. Во сколько раз произошло изменение ЧСС по сравнению с исходными показателями? За счет какой фазы сердечного цикла происходит это изменение?

## ПРИМЕР РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ

В состоянии покоя:

1.  $RR_t = 19,75 \text{ с} = 0,32 \text{ мин.}$
2.  $RR_N = 19 \text{ шт.}$
3.  $ЧСС = RR_N/RR_t = 59,37 \text{ уд./мин.}$
4.  $ЧСС_{теор. max} = 208 - 0,7 \times 25 = 190,5 \text{ уд./мин.}$
5. Вариант заполнения табл. 10.1.

## Пример расчетных значений для таблицы 10.1

№ цикла	1	2	3	4	5	Среднее значение
QT, с	0,36	0,369	0,366	0,362	0,370	0,365
TP, с	0,381	0,386	0,388	0,382	0,384	0,384
TQ, с	0,684	0,647	0,540	0,601	0,655	0,625
QRS, с	0,124	0,138	0,130	0,131	0,134	0,131

После физической активности:

1.  $RR_t = 19,33 \text{ с} = 0,32 \text{ мин.}$
2.  $RR_N = 33 \text{ шт.}$
3.  $ЧСС = RR_N/RR_t = 103,12 \text{ уд./мин.}$
4. Вариант заполнения табл. 10.2.

## Пример расчетных значений для таблицы 10.2

№ цикла	1	2	3	4	5	Среднее значение
QT, с	0,294	0,294	0,306	0,299	0,291	0,296
TP, с	0,491	0,454	0,429	0,444	0,462	0,456
TQ, с	0,425	0,511	0,471	0,639	0,662	0,541
QRS, с	0,117	0,120	0,118	0,118	0,119	0,164

## Пример расчетных значений для таблицы 10.3

Параметр	В покое	После нагрузки	Границы нормы, покой
ЧСС, уд./мин	59,37	103,12	60-80
QT, с	0,365	0,296	0,34-0,44
TP или TQ, с	0,625	0,541	-
QRS, с	0,131	0,118	-0,12



## Лабораторная работа № 11

## ПОИСК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ОСИ СЕРДЦА ПО ЭКГ

**Оборудование:** Цифровая лаборатория по физиологии: сенсор ЭКГ (ECG), одноразовые электроды (3 шт.), кабель для подключения; ПК с ОС Windows и установленным программным обеспечением Z.Labs; листок для построения треугольника отведений ЭКГ и расположения сердца относительно этих отведений.

**Цель:** Определить расположение электрической оси сердца путем измерения электрического сигнала сердца в различных отведениях и построения проекций вектора напряженности электрического поля на плоскости различных отведений ЭКГ.

### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

В работе вы познакомитесь с физическими принципами электрокардиографии (ЭКГ) и таким понятием, как вектор электрической оси сердца. Вы получите сигнал электрокардиограммы в трех стандартных отведениях по Эйнтховену и с помощью сопоставления этих сигналов электрокардиограммы попытаетесь установить реальное расположение сердца в грудной клетке.

Клетки сердечной мускулатуры способны не только генерировать импульс, но и проводить его по сердечной мышечной ткани. Так возбуждение распространяется по всему сердцу, последовательно вызывая сокращение: сначала предсердий, а затем желудочков. При возбуждении кардиомиоцита происходит его деполяризация: в клетку начинают входить положительно заряженные ионы из внеклеточной среды, внутри клетки появляется положительный заряд, а вокруг нее – отрицательный.

Когда мы регистрируем электрокардиограмму, мы записываем сигналы (изменение напряжения) с электродов на поверхности кожи, в то время как источник этих сигналов находится в глубине тканей тела – в данном случае в мышечных клетках сердца, которые сокращаются синхронно. Когда большое количество кардиомиоцитов синхронно деполяризируются, во внеклеточной среде вокруг них появляется источник отрицательного заряда (много положительных ионов уходит внутрь клетки), который можно зарегистрировать с поверхности. Сначала возбуждение (в виде отрицательного заряда) возникает в мышечных волокнах предсердий, а потом желудочков. И в желудочках возбуждение тоже распространяется постепенно: одни клетки уже деполяризованы (вокруг них отрицательный заряд), а другие расслаблены (положительный заряд). При этом образуется так называемый диполь, когда одна часть сердца имеет положительный заряд, а другая отрицательный. Если один из наших электродов находится ближе к положительному заряду, а другой к отрицательному, мы будем регистрировать разницу потенциалов на электродах. Эта разница потенциалов, изменяющаяся со временем, и представляет собой запись ЭКГ. Первым появляется зубец, обозначаемый латинской буквой «P»: он соответствует распространению возбуждения по предсердиям (в одной части предсердия образуется отрицательный заряд, а в другой положительный). Затем возбуждение

распространяется к атриовентрикулярному узлу (AB-узлу), расположенному на границе предсердий и желудочков. В AB-узле происходит задержка проведения возбуждения, благодаря чему желудочки сокращаются только после того, как закончилось сокращение предсердий. Во время атриовентрикулярной задержки на электрокардиограмме появляется сегмент PQ, расположенный на изолинии. Изолиния отражает отсутствие разницы потенциалов между разными частями сердца, когда не наблюдается и разницы потенциалов на наших электродах. Затем возбуждение от AB-узла распространяется по пучку Гиса и его ножкам, и по волокнам Пуркинье переходит на сократительные кардиомиоциты. Возбуждение по проводящей системе желудочков вначале распространяется на межжелудочковую перегородку, затем на верхушку сердца и в последнюю очередь – на основание желудочков. Процесс возбуждения и сокращения желудочков на электрокардиограмме отражает комплекс QRS, который состоит из двух небольших отрицательных зубцов (Q и S) и большого положительного зубца R между ними.

Когда в области межжелудочковой перегородки и пучка Гиса наблюдается отрицательный заряд (клетки уже деполяризовались), а в основании желудочков – положительный, мы в соответствии с этим видим и максимальную разницу напряжения на наших электродах – вершину зубца R. Далее появляется зубец T – он является результатом процесса восстановления (реполяризации) клеток сердца после прохождения электрического импульса. Какие-то клетки уже восстановились, а какие-то нет, отсюда и возникает разница зарядов, которую мы видим на наших электродах. К концу зубца T желудочки опустошаются, и начинается диастола сердца. В ЭКГ систоле соответствует интервал PT (от начала зубца P до конца зубца T), а диастоле – сегмент TP (от конца зубца T до начала следующего зубца P).

На рис. 11.1 изображена электрическая ось сердца, возникающая когда у клеток в разных частях сердца заряд оказывается разным. В данном случае вершина стрелки отображает положительный заряд, а ее основание – отрицательный. Такая картина наблюдается, когда возбуждение в предсердиях уже закончилось, а в желудочках достигло вершины.

Несмотря на то, что мы анализируем сигналы с поверхности тела, зная основы физики и распространение электрического поля, мы можем понять, как расположен источник возбуждения (диполь) в сердце.

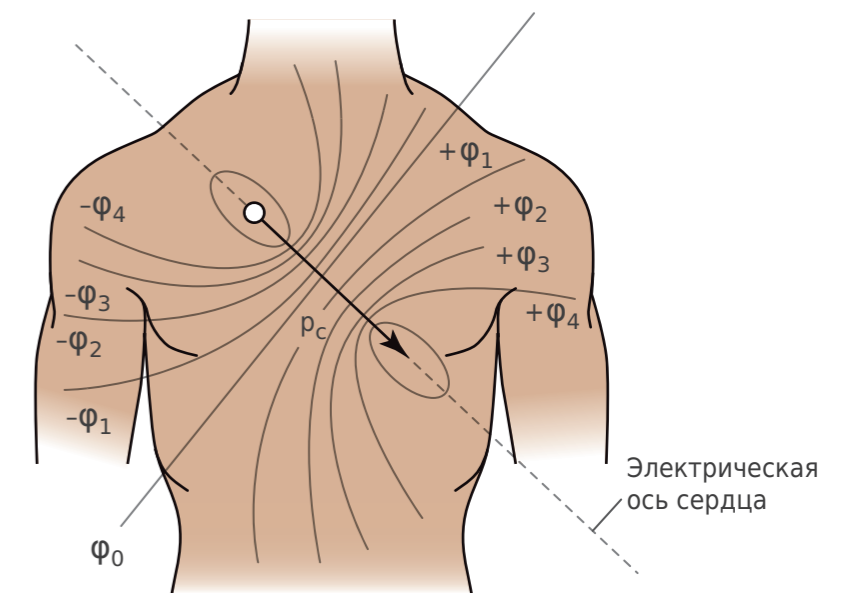


Рисунок 11.1.  
Электрическая ось сердца



Для этого ЭКГ регистрируется в стандартных отведениях, расположение которых известно. Первые три отведения были придуманы первооткрывателем ЭКГ Вильямом Эйнтховеном еще в начале XX века. Одним отведением называются два электрода, которые регистрируют разность потенциалов, создаваемую электрическим полем сердца. Воображаемая прямая, соединяющая эти два электрода, называется осью отведения. Ось каждого отведения имеет направление - от отрицательного полюса к положительному. Это позволяет строить на эту ось проекции вектора электрической оси сердца и предсказывать величину сигнала в отведениях при разной электрической активности в сердце. Верно и обратное - клинические электрофизиологи могут определить расположение сердца в грудной клетке пациента, анализируя величину сигнала в трех стандартных отведениях. По этому сигналу можно сказать о силе возбуждения в сердце, направлении сокращения и даже увидеть нарушения проводимости в нервной ткани, например при инфаркте.

При определении положения сердца в грудной клетке используется та же закономерность, что и на школьных уроках по физике при анализе направления электрического поля, создаваемого точечным зарядом: строится проекция вектора напряженности электрического поля на оси, образуемой электродами (рис. 11.2). Суммарный вектор возбуждения желудочков называется электрической осью сердца. Его, как правило, и рассматривают как положение сердца в грудной клетке. Различают

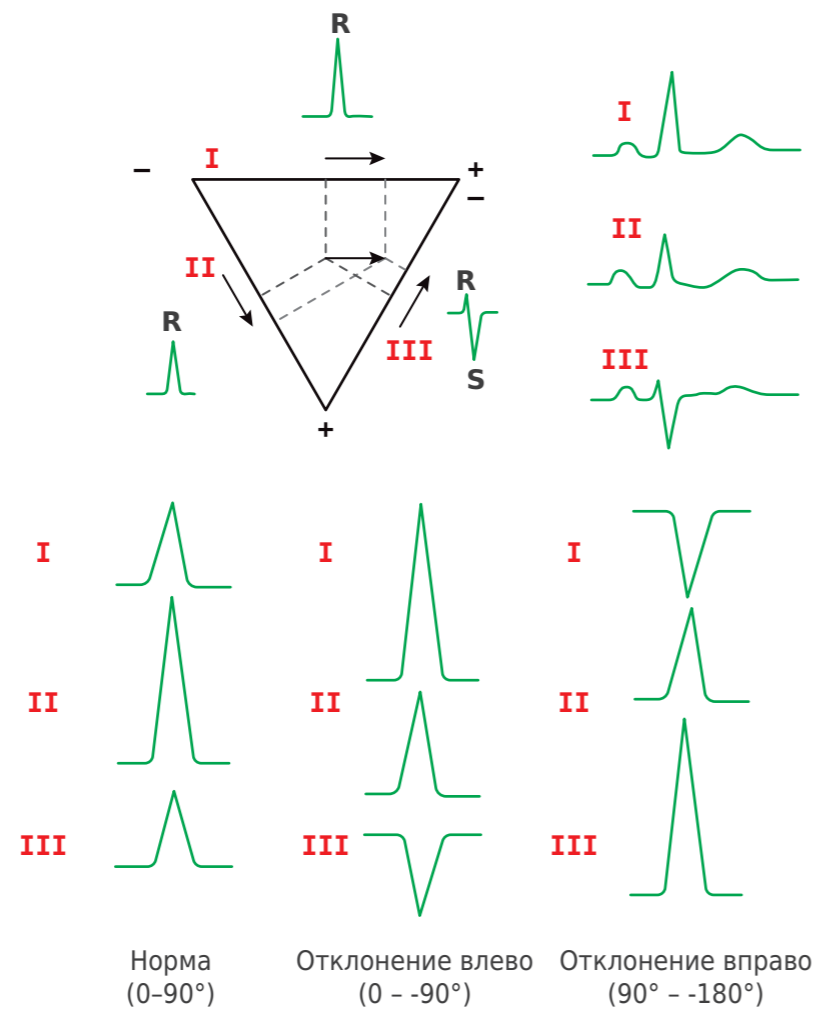


Рисунок 11.2.

Вектор электрической оси сердца (направление стрелки показывает направление от - к +) и его проекция на плоскости разных отведений ЭКГ. В соответствии с величиной проекции в этих отведениях образуются пики разного размера

несколько положений, которые отличаются по градусу наклона сердца относительно оси первого отведения (горизонтальной линии): нормальное положение -  $+30...+70^\circ$ , горизонтальное -  $0...+30^\circ$  (сердце как бы лежит на правом боку в грудной клетке), вертикальное -  $+70...+90^\circ$  (вершина сердца расположена строго вертикально в грудной клетке). Если направление электрической оси сердца совпадает с осью отведения, наблюдается самая большая амплитуда комплекса QRS. Если электрическая ось сердца перпендикулярна к оси какого-то из отведений, сигнал от изменений потенциала в сердце в таком отведении будет практически незаметен. Таким образом, зная величину сигнала от сокращения желудочков (QRS-комплекс) в трех классических отведениях, мы можем узнать положение сердца относительно всех этих отведений.

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

#### СБОРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Подключите сенсор ЭКГ к компьютеру, а электроды согласно схеме, приведенной на рис. 11.3 (I отведение), а затем согласно схеме, приведенной на рис. 11.4 (II отведение).

2. Для регистрации ЭКГ в I отведении (рис. 11.3) закрепите электроды на теле испытуемого: первый сигнальный электрод на запястье левой руки, а второй - на запястье правой руки. Опорный электрод закрепляется на лодыжке левой ноги (рис. 11.5). Для удобства можно заменить место крепления опорного электрода на запястье (рис. 11.6).

3. Для регистрации ЭКГ во II отведении закрепите электроды на теле испытуемого: первый сигнальный электрод на лодыжке левой ноги, а второй - на запястье правой руки. Опорный электрод закрепляется на запястье левой руки (рис. 11.4).

4. Эксперимент можно проводить также для I и III отведений ЭКГ. Для регистрации ЭКГ в III отведении закрепите электроды на теле испытуемого: первый сигнальный электрод на лодыжке левой ноги (рис. 11.7), а второй - на запястье левой руки. Опорный электрод закрепляется на запястье правой руки.

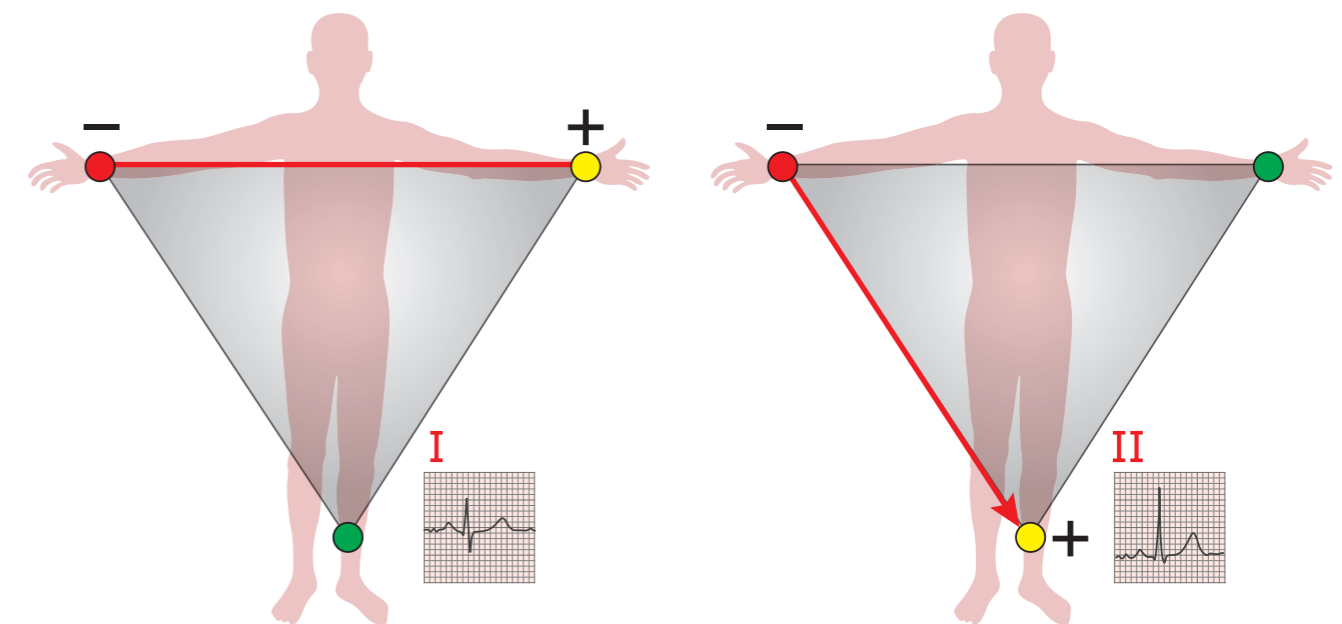


Рисунок 11.3.  
Крепление электродов для получения ЭКГ в I отведении

Рисунок 11.4.  
Крепление электродов для получения ЭКГ во II отведении



Рисунок 11.5.  
Подключение электрода на лодыжку для измерения ЭКГ в I отведении



Рисунок 11.7.  
Крепление сигнального электрода на лодыжке

#### ПРОВЕРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Запустите ПО «Цифровая лаборатория».
2. Перейдите во вкладку «ЭКГ». Вы должны увидеть сигнал ЭКГ в I отведении (рис. 11.8).



Рисунок 11.6.  
Подключение электродов для измерения ЭКГ в I отведении

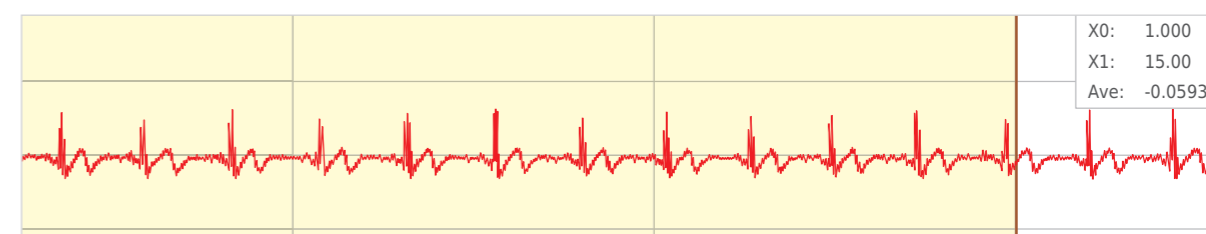


Рисунок 11.8.  
Сигнал ЭКГ в I отведении

3. Если *R*-зубцы направлены вниз (отрицательные *R*-зубцы), то нужно изменить полярность подключения электродов. Отсоедините от модуля ЭКГ сигнальный шлейф, при этом на графике сигнала ЭКГ вы увидите сильные помехи. Разверните разъем сигнального шлейфа на 180° и подключите его обратно к модулю ЭКГ. На графике сигнала вы должны увидеть сигнал ЭКГ правильной полярности (положительные *R*-зубцы). Если сигнал сильно зашумлен, обратитесь к учителю.
4. Остановите запись сигнала.

#### ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Положите руки перед собой на стол. Спокойно посидите 1 минуту и постарайтесь расслабиться.
2. Запустите эксперимент.



3. С помощью маркера определите величину *R*-зубца (расстояние от изолинии до верхней точки зубца), *Q*-зубца и *S*-зубца (расстояние от изолинии до нижней точки зубца, рис. 11.9) для каждого из двух отведений и запишите эти значения в табл. 11.1. Также можете сохранить характерную форму *QRS*-комплекса и добавить ее в таблицу.

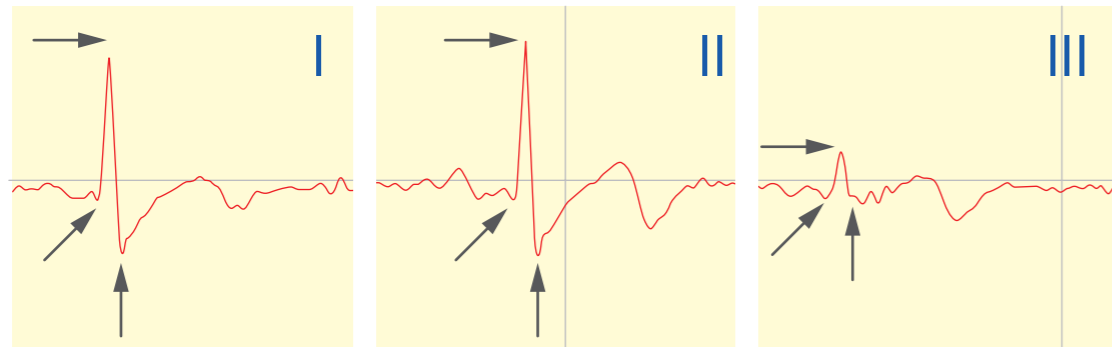


Рисунок 11.9.

QRS-комплекс ЭКГ в трех отведениях и измерение его отдельных компонентов. Стрелки указывают на те пики, расстояние до которых от изолинии измерялось

Таблица 11.1

Параметры QRS-комплекса

Параметр	I отведение	II отведение
Величина <i>Q</i> -зубца, мВ		
Величина <i>R</i> -зубца, мВ		
Величина <i>S</i> -зубца, мВ		
Сумма <i>Q+R+S</i>		
Сумма $(Q+R+S) \times 100$		
Форма <i>QRS</i> -комплекса (картинка)		

4. Измените положение электродов и повторите шаги 1-3 для другого отведения.

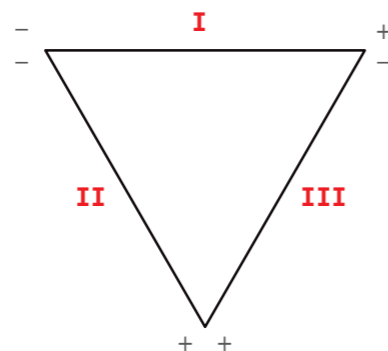


Рисунок 11.10. Построение треугольника Эйнтовена

5. Нарисуйте треугольник Эйнтовена (равносторонний треугольник, рис. 11.11).

6. Выберите точку *O* в центре треугольника, от которой вы будете рисовать электрическую ось сердца. От этой точки проведите перпендикуляры к трем плоскостям отведений (рис. 11.11). Для каждой оси это будет начальная точка для проекции электрической оси.

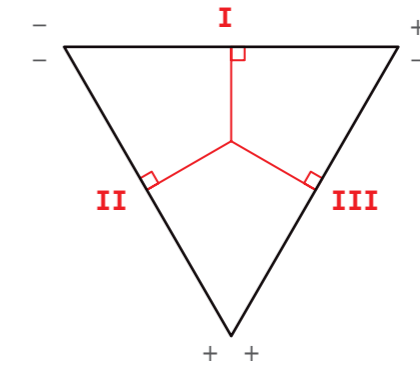


Рисунок 11.11.

Построение перпендикуляров к плоскостям отведений

7. Далее необходимо взять комплекс *QRS* I и III отведения, определить алгебраическую сумму зубцов в каждом отведении ( $Q + R + S$ ). Если полученная величина положительная, ваша проекция соответствует направлению от - к + на оси, если отрицательная - направлена в противоположную сторону. Если значение *QRS*-комплекса в данной проекции близко к нулю, электрическая ось проходит перпендикулярно ей, если значение большое - практически параллельно. Например, если в первом отведении получилось +12, а во втором +10, то отметки на плоскостях будут выглядеть как на рис. 11.12.

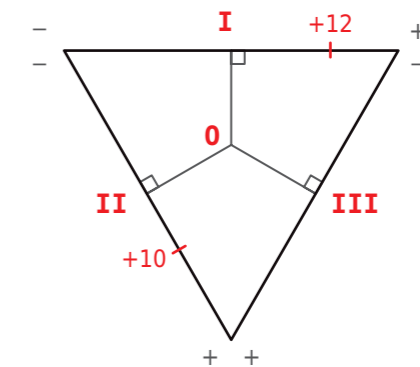


Рисунок 11.12.

Построение проекций для I и II отведений

8. Теперь восстановим сам электрический вектор, который таким образом проецируется на плоскости наших отведений. Проведите от конца каждой проекции перпендикуляр внутрь треугольника. Точка *A* их пересечения будет вершиной электрической оси. Нарисуйте электрическую ось сердца, соединив точки *O* и *A* (рис. 11.13).

9. Продолжите электрическую ось сердца до ее пересечения с I стандартным отведением. Посчитайте угол между ними. Теперь вы знаете, как наклонено в грудной клетке ваше сердце. Сопоставьте положение сердца (его угол наклона) с типичным положением.

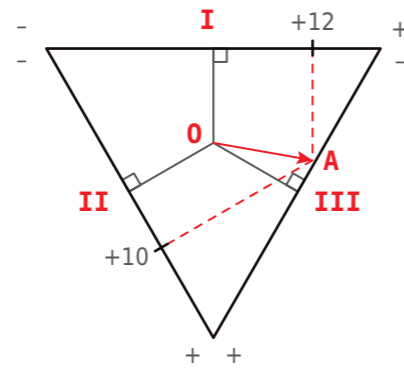


Рисунок 11.13.  
Восстановление электрического вектора

10. Дополнительное задание: попробуйте в одном из использованных отведений намеренно поменять местами электроды. Что происходит с пиками ЭКГ? Как это можно объяснить?

#### УКАЗАНИЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЮ

Учащиеся должны получить сигналы ЭКГ в трех стандартных отведениях по Эйнтовену и сопоставить их. При записи сигналов ЭКГ важно минимизировать электрические помехи и шумы, а для этой работы также удостовериться, что при измерении ЭКГ в пределах одного отведения величина пиков значительно не изменяется. Если помехи в сигнале ЭКГ значительны, то их можно уменьшить этими способами:

- сплести свободные концы соединительного провода для ЭМГ/ЭКГ в косичку или просто скрутить их;
- выключить посторонние электрические приборы;
- расположить экспериментальную установку на наибольшем удалении от работающих электрических приборов, в том числе от ПК;
- проверить и заменить или сменить расположение электродов;
- отключить ПК от сети (для ноутбуков);
- использовать сетевые фильтры для подключения к сети.

На кривой сигнала ЭКГ должны быть хорошо различимы зубец *R* и зубец *T*. Зубцы *Q* и *S* могут быть небольшими, в этом случае ширину комплекса *QRS* нужно определять по началу и концу отклонения зубца *R* от изолинии. Зубец *P*, как правило, имеет небольшую амплитуду, и при больших шумах и помехах его трудно определить. В этом случае длительность систолы сердца необходимо определять по интервалам *QT* и *QRS*, а диастолы – по интервалу *TQ*.

По записям ЭКГ учащиеся определяют величину пика *R* в разных отведениях и по этим данным восстанавливают расположение электрической оси сердца. Очень важно удостовериться, чтобы был выбран верный пик и измерения проводились правильно (от изолинии до верхней точки пика).

Учитывая, что данная работа также связана с физикой поля и понятием электрического диполя, можно попросить учащихся повторить данную тему перед занятием. Кроме того, сама постановка задачи сходна с физическими задачами на построение проекции векторов точечного заряда. Это позволяет проводить работу как межпредметную с учителем физики или обратить внимание учащихся на подобное сходство для облегчения восприятия.

Сделайте вывод о проделанной работе.

1. Какую фазу сердечного ритма отражает измеренный вами пик?
2. Что такое электрическая ось сердца, за счет чего она образуется?



3. Почему один и тот же пик в разных отведениях ЭКГ имеет разную величину?
4. Почему при постановке электродов наоборот пики в ЭКГ инвертируются?

Пример расчетных значений для таблицы 11.1

Параметр	I отведение	II отведение
Величина Q-зубца, мВ	-0,116	-0,035
Величина R-зубца, мВ	0,504	0,461
Величина S-зубца, мВ	-0,207	-0,321
Сумма Q+R+S	0,121	0,105
Сумма (Q+R+S) × 100	12,1	10,5
Форма QRS-комплекса (картинка)	См. рис. 11.10	См. рис. 11.10



Таблица 12.1

## Лабораторная работа № 12

## ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ В ОТВЕТ НА ФИЗИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ

**Оборудование:** Цифровая лаборатория по физиологии: мульти-датчик, сенсор пульса, устройство для измерения артериального давления; секундомер; ПК с ОС Windows и установленным программным обеспечением Z.Labs.

**Цель:** Оценить функциональное состояние сердечно-сосудистой системы путем проведения пробы Мартине-Кушелевского.

### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Использование физической нагрузки в качестве возмущающего действия позволяет достаточно объективно и надежно оценить функциональное состояние организма и его возможности адаптации.

Достоверным показателем тренированности и функционального состояния сердечно-сосудистой системы является частота сердечных сокращений (ЧСС), которую можно определить по пульсу. В норме у здорового человека ЧСС составляет 60–90 ударов в минуту. При этом ЧСС может изменяться с возрастом и в зависимости от состояния организма. Например, у новорожденных ЧСС составляет 110–150 ударов в минуту, у детей 10–12 лет – уже 60–100. А у натренированных спортсменов-атлетов частота сердцебиения в норме может составлять всего 50–60 ударов в минуту. Любая физическая нагрузка, даже небольшая, вызывает учащение пульса. Между ними установлена прямая связь.

Важным показателем функционального состояния сердечно-сосудистой системы является артериальное давление (АД). Работа сердца создает необходимое давление крови, которое в момент сокращения сердца (систола) равняется примерно 120 мм рт.ст. (максимальное систолическое давление), а в момент его расслабления (диастола) – 70–80 мм рт.ст. (минимальное диастолическое).

На основании реакции сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку разработана проба Мартине-Кушелевского.

Оценка пробы начинается с расчета прироста пульса (в %) и вычисления разницы по систолическому и диастолическому давлению (в мм рт.ст.) между показателями покоя и первыми максимальными значениями, измеренными сразу после нагрузки. На основе этих данных определяют тип реакции сердечно-сосудистой системы на нагрузочную пробу. Выделяют 5 типов реакции сердечно-сосудистой системы: нормотонический, гипотонический, гипертонический, дистонический и ступенчатый (табл. 12.1).

Изменения, которые характерны для нормотонического типа реакции, показывают, что в ответ на дозированную физическую нагрузку минутный объем крови увеличивается не только за счет прироста частоты сердечных сокращений, но и в связи с увеличением ударного объема. На это указывает выраженное повышение пульсового давления (разница

Типы реакции сердечно-сосудистой системы на дозированную физическую нагрузку (проба Мартине-Кушелевского)

Типы реакции				Время восстановления
	ЧП*	САД**	ДАД***	
Нормотонический	увеличивается на 50–70 %	повышается на 15–30 мм рт.ст. (на 15–30 %)	не изменяется или снижается на 5–10 мм рт.ст. (на 10–30 %)	до 3 минут
Гипотонический (астенический)	значительно увеличивается, (более 120 %) не изменяется	не изменяется, незначительно снижается или незначительно повышается	повышается или незначительно повышается	более 5–10 минут
Гипертонический	значительно увеличивается (более 100 %)	повышается до 180–200 мм рт.ст.	повышается до 90 мм рт.ст.	более 5 минут
Дистонический (феномен бесконечного тона)	значительно увеличивается (более 100 %)	повышается до 200 мм рт.ст. и выше	снижается до 0 мм рт.ст.	более 3 минут
Ступенчатый	значительно увеличивается (более 100 %)	повышается на 2-й или 3-й минуте восстановительного периода	не изменяется или повышается	более 3 минут

Примечание: \*ЧП – частота пульса \*\*САД – систолическое артериальное давление, \*\*\*ДАД – диастолическое артериальное давление.

между САД и ДАД). Количественный показатель взаимосвязи данных изменений можно рассчитать по формуле, предложенной Кушелевским Б. П.:

$$ПКР = ПД_1 - ПД_0 / ЧСС_1 - ЧСС_0,$$

где ПКР – показатель качества реакции ССС на нагрузку (усл. ед.);

ПД<sub>0</sub> – пульсовое давление в покое (мм рт.ст.);

ПД<sub>1</sub> – пульсовое давление первой минуты восстановления;

ЧСС<sub>0</sub> – частота сердечных сокращений в покое;

ЧСС<sub>1</sub> – частота сердечных сокращений первой минуты восстановления (сразу после нагрузки).

Если ПКР находится в диапазоне от 0,5 до 1 усл. ед., то реакция на физическую нагрузку считается нормотонической. На практике часто применяют и более дифференцированную оценку ПКР: 0,1–0,2 – нерациональная реакция, 0,3–0,4 – удовлетворительная реакция, 0,5–1,0 – хорошая реакция, более 1,0 – нерациональная реакция.

Кроме оценки изменений, которые наблюдались сразу после нагрузки, важным показателем является время восстановления. Период восстановления – это время в минутах, в течение которого показатели гемодинамики возвращаются к исходному уровню. В таблице 17.1 – это та минута посленагрузочного периода, где ЧП, САД и ДАД достигли исходного уровня. При нормотоническом типе реакции время восстановления не должно превышать 3 минут.

Нормотонический тип реакции сердечно-сосудистой системы на дозированную физическую нагрузку наблюдается у здоровых людей с достаточным уровнем физической подготовленности. Чем меньше сдвиги изучаемых показателей и короче восстановительный период, тем выше уровень тренированности человека.



1. Гипотонический (астенический) тип реакции обусловлен слабостью сердечной мышцы, которая может быть вызвана разными причинами. Увеличение систолического объема невелико и рост минутного объема крови происходит в основном за счет повышения ЧСС. Работа сердца малоэффективна при значительных энергетических затратах. Чаще всего такая реакция встречается у людей с низким уровнем физической подготовки (нетренированных), при недостаточной функциональной способности сердца. Гипотонический тип реакции ССС на нагрузку может наблюдаться в период выздоровления, при дистрофии миокарда, при хроническом тонзиллите, при диффузном увеличении щитовидной железы и др. У спортсменов подобные изменения будут указывать на состояние перетренированности, а также могут быть выявлены при различных предпатологических состояниях и пр.

2. При гипертоническом типе реакции на физическую нагрузку происходит повышение периферического сопротивления артериол: вместо необходимого расширения возникает их спазм. Значительно возрастает работа сердечной мышцы. Пульсовое давление и ударный объем изменяется менее выражено, чем при нормотоническом типе реакции. ПКТР – ниже 0,5. Этот тип реакции может быть признаком предгипертонического состояния, выявляться при начальных и симптоматических гипертензиях, при вегетососудистых дистониях по гипертоническому типу, при атеросклерозе сосудов, вызываться нервно-психическими стрессами, а также регистрироваться у больных гипертонической болезнью. Интенсивные физические нагрузки могут способствовать развитию гипертонического криза, инсульта, инфаркта и т.п. Во время медицинских осмотров данный тип реакции ССС чаще всего выявляют у лиц среднего и пожилого возраста, а также у спортсменов при переутомлении и перетренированности. Гипертоническая реакция достаточно часто бывает не выраженной и оценивается как пограничная. Например, если диастолическое давление повышается до 90 мм рт. ст. и выше при незначительном увеличении систолического давления. Лицам с гипертоническим типом реакции ССС для решения о допуске к занятиям физкультурой и спортом необходимо дополнительное обследование: оценка состояния сосудов, глазного дна, ЭКГ и др.

3. Дистонический тип реакции – феномен бесконечного тона – характеризуется снижением диастолического давления до 0 мм рт. ст. Сделать подобное заключение можно только, если данный феномен наблюдается в течение нескольких минут после выполненной нагрузки. У спортсменов (особенно стайеров) снижение ДАД до 0 мм рт. ст. в первые 1-2 минуты после интенсивной работы (и при быстром восстановлении) не рассматривается как патология. Это объясняется высокими сократительными возможностями миокарда, способного к значительному увеличению сердечного выброса. Раздражение рецепторов дуги аорты и каротидного синуса рефлекторно вызывает снижение тонуса периферических сосудов. Таким образом, у спортсменов феномен бесконечного тона связан с особенностями механической работы сердца (а быстрое восстановление гемодинамики указывает на высокие функциональные возможности ССС), в то время как у нетренированных он выявляется при нарушениях регуляции сосудистого русла. Дистонический тип реакции может быть установлен при вегетоневрозах, нейроциркуляторной дистонии, пороках сердца по типу недостаточности аортальных клапанов, у подростков, при переутомлении и перетренированности, а также у лиц, перенесших инфекционные заболевания. ПКТР обычно не рассчитывается.

4. Ступенчатый тип реакции указывает на инертность систем, регулирующих кровообращение. Сердечно-сосудистая система не справляется со своевременной доставкой кислорода работающим мышцам. ПКТР – менее 0,5. Часто такая реакция появляется при заболеваниях сердца (особенно у лиц старших возрастных групп), при переутомлении,

перетренированности и ухудшении функционального состояния организма спортсмена. Наряду с этим ступенчатый тип реакции ССС может наблюдаться у лиц, перенесших инфекционные заболевания, а также при хронических очагах инфекции (отит, тонзиллит, кариоз и др.).

## ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

### СБОРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Подсоедините сенсор пульса к мультидатчику, как показано на рис. 12.1, а мультидатчик к компьютеру.

2. Подсоедините датчик артериального давления к порту. Закрепите на левом плече спущенную манжету (откройте винт клапана на груше). Манжета должна плотно прилегать к коже, но с минимальным давлением. Ее нижний край должен быть на 2-3 см выше локтевой ямки (рис. 12.2). Положите манометр перед собой, чтобы было удобно определять его показания.



Рисунок 12.1.  
Подключение сенсора пульса



Рисунок 12.2.  
Положение манжеты на плече





### ПРОВЕРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Запустите ПО «Цифровая лаборатория».
2. Убедитесь, что между сенсором пульса и подушечкой пальца есть плотный контакт.
3. Перейдите во вкладку «Пульс» «Артериальное давление» для отслеживания показателей.

### ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Усадите обследуемого на стул.
2. Перед регистрацией исходных данных испытуемый должен в течение 3–5 минут находиться в состоянии покоя в положении сидя на стуле. Необходимо чтобы его поза была удобной, а мышцы максимально расслабленными. Не следует также разговаривать и двигаться.
3. По истечении трех минут зафиксируйте данные пульса и проведите измерение артериального давления и занесите данные в табл. 12.2.
4. Затем обследуемый выполняет 20 глубоких приседаний за 30 секунд в равномерном темпе (2 приседания за 3 секунды). Сразу после последнего приседания испытуемый садится на стул.
5. Зафиксируйте значение пульса на 10-й секунде, далее в течение 40 секунд проводите измерение АД. Данную схему измерений повторяйте до тех пор, пока все изучаемые величины не вернуться к показателям покоя. Занесите данные в табл. 12.2.
6. Проведите оценку пробы и выделите тип реакции сердечно-сосудистой системы используя табл. 12.1.
7. Рассчитайте показатель качества реакции ССС на нагрузку по формуле Кушелевского.

Таблица 12.2

Данные ортостатической пробы

Исходные данные								
ЧП*, уд./мин								
АД**, мм рт. ст.								
После нагрузки								
ЧП*, уд./мин								
АД**, мм рт. ст.								
Заключение:								

### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Сделайте вывод о проделанной работе.

1. Какие параметры могут оцениваться при тестировании сердечно-сосудистой системы на дозированную физическую нагрузку?
2. Какие типы реакций сердечно-сосудистой системы на дозированную физическую нагрузку существуют?
3. Как результаты теста с физической нагрузкой зависят от уровня здоровья и тренированности?

## Лабораторная работа № 13

### СПОСОБЫ ПОДСЧЕТА ЧАСТОТЫ ПУЛЬСА

*Оборудование:* Цифровая лаборатория по физиологии: сенсор пульса, мультидатчик; ПК с ОС Windows и установленным программным обеспечением Z.Labs; секундомер (не входит в набор).

*Цель:* Научиться измерять пульс вручную и с использованием метода фотоплетизмографии.

### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

В данной работе вы изучите механизм распространения пульсовых волн по сосудам и способы их регистрации. Вы узнаете о методе фотоплетизмографии и научитесь интерпретировать полученный сигнал.

Основная функция сердечно-сосудистой системы – транспорт газов и растворимых веществ с кровью по организму. Сердце создает давление, необходимое для прохождения крови через систему сосудов от самых крупных артерий (диаметром несколько мм) до самых мелких капилляров (диаметром несколько мкм). Стенка капилляров состоит всего из одного слоя клеток, что обеспечивает возможность обмена веществ между кровью и тканевой жидкостью. Стенки артерий и вен состоят из трех слоев и обладают эластичностью – могут растягиваться и сжиматься в зависимости от кровенаполнения. Кроме того, в среднем слое стенки артерий хорошо выражен гладкомышечный слой клеток, за счет которого эти сосуды не просто эластично растягиваются, но и способны активно изменять ширину просвета в зависимости от состояния организма (активации симпатической и парасимпатической нервной системы). Активное расширение и сужение просвета артерий мы так просто увидеть не сможем, но почувствуем по снижению или увеличению давления. А вот пассивное растяжение стенки сосудов при сокращении сердца можно заметить невооруженным глазом. Чем ближе к сердцу, тем сильнее выражены перепады давления крови, им создаваемые, и пульсация сосудов. Под воздействием увеличения объема крови артерии расширяются, а потом, при прохождении порции крови за счет упругости стенки возвращаются к исходному диаметру.

Пульс (пульсовая волна) – ритмические, толчкообразные колебания стенок сосудов, возникающие вследствие выброса крови из сердца в артериальную систему, как колебания стенки сосудов, связанные с изменением их кровенаполнения в течение сердечного цикла. На венах пульсовой волны не заметите (кровь в венах не пульсирует), а лучше всего ощущается на крупных артериях: на висках, шее, запястье, с внутренней стороны локтевой ямки. При прощупывании пульса на лучевой (на запястье) или сонной артерии (сбоку шеи) мы ощущаем под нашими пальцами как раз прохождение пульсовой волны по сосудам и буквально чувствуем, как работает наше сердце. Пульс учащается от положительных эмоций и во время стрессовых ситуаций, при физических нагрузках и при заболеваниях. Что бы ни стояло за частотой пульса, – это важнейший

биологический маркер человеческого самочувствия. Определяемое при этом количество пульсовых ударов отражает частоту сокращений желудочков сердца. Частота пульса в норме у здорового человека составляет 60–90 ударов в минуту. По частоте пульса можно определить тахикардию (учащение ЧСС), брадикардию (урежение ЧСС) и даже изменение давления в сосудах (рис. 13.1). По амплитуде пульсовой волны (силы, с которой ощущается пульс) можно судить о кровенаполнении, а по ритмическим характеристикам – о ритмах сердца. И все эти особенности врачи когда-то определяли просто на ощупь. Нарушения насосной функции сердца и критическое снижение давления врачи скорой помощи и сейчас определяют по очень слабому пульсу – «пустой пульс», или «нитевидный пульс».

#### Формы пульсовых волн бывают:

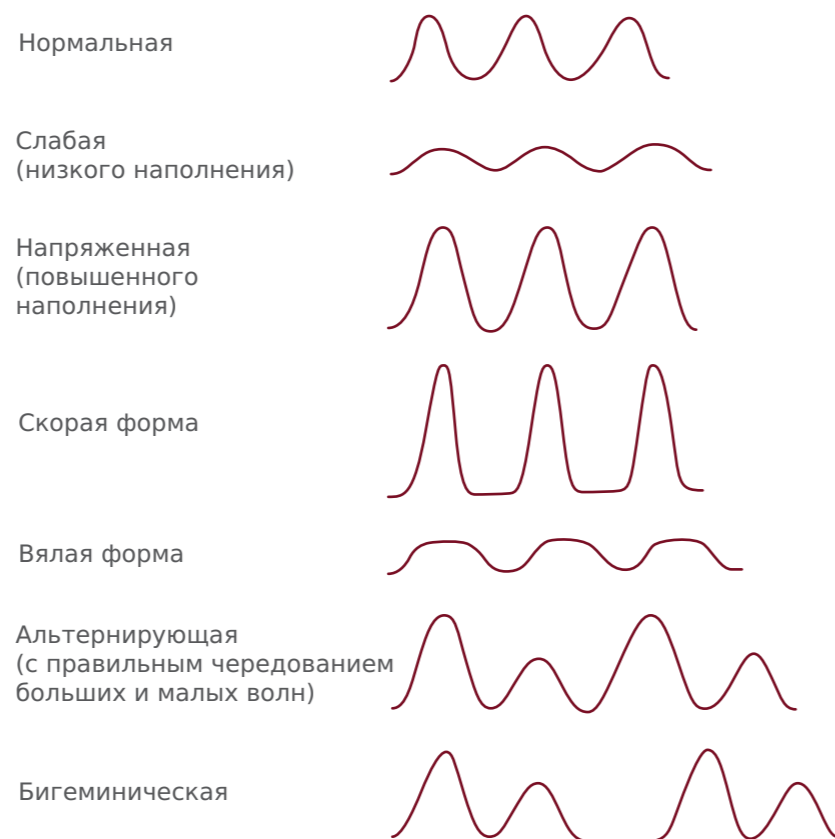


Рисунок 13.1.  
Формы пульсовых волн и их параметры

Все чаще измерение пульса как оценка сердечной деятельности используется людьми в повседневной жизни благодаря портативным пульсометрам (в телефонах, смарт-часах, фитнес-трекерах и т. д.), основанным на методе фотоплетизмографии. Подобные устройства позволяют оценить ЧСС в течение дня, во время сна, спортивных тренировок, и даже контролировать свое состояние в стрессовой ситуации с помощью биологической обратной связи.

Фотоплетизмография (ФПГ), или оптическая пульсометрия, является одним из способов подсчета пульса, или пульсометрии, и позволяет визуально оценить все параметры пульсовой волны. Этот метод подсчета пульса основан на изменении оптической плотности ткани вследствие изменения объема крови в сосудах. Для него нужен только светодиод (или даже фонарик телефона), освещающий кожу, и фотодетектор, регистрирующий отраженный свет. Если капиллярную сеть освещать

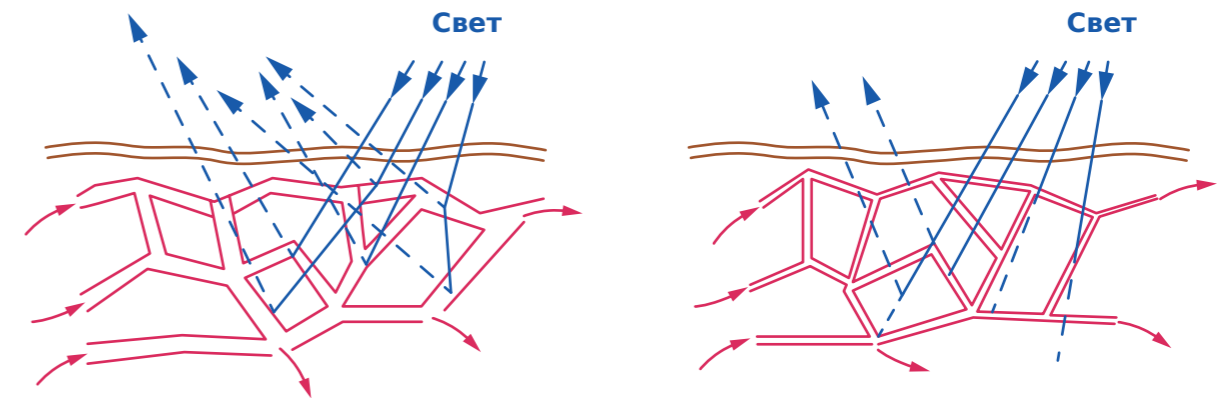


Рисунок 13.2.  
Интенсивность рассеивания света в зависимости от кровенаполнения капилляров. Слева капилляры расширены и количество эритроцитов велико, справа капилляры сужены

с помощью светодиода, прижатого к коже, и регистрировать с помощью фотодетектора рассеянный свет, то таким образом можно измерять зависимость кровенаполнения капилляров от времени (рис. 13.2).

Эритроциты в крови благодаря гемоглобину поглощают свет и снижают количество отраженного света, регистрируемого детектором. Изменение количества крови в сосудах сказывается на уровне поглощения света, что и фиксируется детектором. А специальный алгоритм на основе полученных данных определяет частоту сердечного ритма, а в некоторых устройствах (пульсоксиметры) – и насыщение гемоглобина крови кислородом. Мы же попробуем сравнить пульс, подсчитанный вручную, на ощупь, и ориентируясь по уровню сигнала фотоплетизмографа (ФПГ).

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

#### СБОРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Подсоедините сенсор пульса к мультидатчику, как показано на рис. 13.3, а мультидатчик к компьютеру.



Рисунок 13.3.  
Подключение сенсора пульса



#### ПРОВЕРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Запустите ПО «Цифровая лаборатория».
2. Убедитесь, что между светодиодами, фоторезистором и подушечкой пальца есть плотный контакт.
3. Перейдите во вкладку «Пульс».
4. Если фотоплетизмограмма искажена, имеет небольшую амплитуду или отсутствует, попробуйте изменить положение модуля на коже или измените давление модуля на кожу. Добейтесь устойчивых колебаний пульсовых волн, на которых вы можете четко выделить максимум.
5. Остановите эксперимент.

#### ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Потренируйтесь замерять пульс на запястье. Для этого положите левую руку расслабленно на стол ладонью вверх. Лучевая кость будет находиться на стороне большого пальца. Прижмите два пальца правой руки (или большой палец) к лучевой кости в области запястья чуть ниже основания большого пальца левой руки. Вы должны почувствовать пульсацию лучевой артерии. Замерьте количество пульсаций за 10 с и запишите полученное значение.

2. Потренируйтесь замерять каротидный пульс. Он исследуется на сонной артерии, расположенной в области верхней части шеи, сразу под нижней челюстью. Для этого нащупайте щитовидный хрящ под подбородком и отступите от него два пальца в любую сторону. Прижмите два пальца правой руки (или большой палец) к мышцам в этой области шеи (прямо под нижней челюстью). Будьте осторожны, не прижимайте слишком сильно, важно найти точку, в которой пульсации хорошо ощущаются. Вы должны почувствовать пульсацию сонной артерии. Замерьте количество пульсаций за 10 с и запишите полученное значение.

3. Запустите ПО «Цифровая лаборатория».
4. Запустите запись сигнала, нажав на кнопку «Подключить порт». Для удобства сохраните запись сигнала, нажав на кнопку «Начать запись данных», а потом при выполнении расчетов просмотрите записанный сигнал пульса, нажав кнопку «Запустить проигрыватель».
5. Замерьте количество пульсаций за 10 с и запишите полученное значение.
6. Остановите запись сигнала, нажав кнопку «Отключить порт».
7. Для подсчета ЧСС за 60 с нужно полученные в экспериментах значения умножить на 6. Сравните полученные с помощью разных способов значения.
8. Ответьте на вопросы по работе.

Сделайте вывод о проделанной работе.

1. Что такое пульсовая волна? Что она отражает?
2. Почему пульс лучше прощупывается в области сонной и лучевой артерии?
3. Где он ощущается сильнее?
4. Что отражают волны на фотоплетизмограмме?
5. Что вы можете сказать о работе своей сердечно-сосудистой системы по зарегистрированному сигналу?
6. Какое значение ЧСС оказывается более точным – измеренное вручную или с помощью ФПГ?

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

### Лабораторная работа № 14

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

*Оборудование:* Цифровая лаборатория по физиологии: мультидатчик, сенсор пульса; секундомер; степ-платформа (высота 40-45 см); метроном; ПК с ОС Windows и установленным программным обеспечением Z.Labs.

*Цель:* Научиться определять физическую работоспособность методом Гарвардского степ-теста.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Физическая работоспособность – это способность человека выполнить заданную работу с наименьшими физическими затратами с наивысшими результатами.

Уровень физической работоспособности считается одним из объективных показателей здоровья и, наоборот, низкая физическая работоспособность рассматривается как фактор риска для здоровья.

На практике физическая работоспособность определяется с помощью функциональных проб. Одним из тестов считается восхождение на ступеньку – вышагивание, предложенное учеными Гарвардского университета (США).

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

##### СБОРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Подсоедините сенсор пульса к мультидатчику, как показано на рис. 14.1, а мультидатчик к компьютеру.



Рисунок 14.1.  
Подключение сенсора пульса



#### ПРОВЕРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Запустите ПО «Цифровая лаборатория».
2. Убедитесь, что между сенсором пульса и подушечкой пальца есть плотный контакт.
3. Перейдите во вкладку «Пульс» для отслеживания показателей.

#### ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Зафиксируйте пульс у испытуемого в покое.
  2. Зафиксируйте пульс у испытуемого перед началом выполнения нагрузки.
  3. Испытуемый совершает восхождение и спуск со ступеньки в определенном темпе и заданной длительности. Каждое восхождение и спуск складывается из 4 двигательных компонентов:
    - «1» – подъем одной ноги на ступеньку;
    - «2» – испытуемый встает на ступеньку двумя ногами, принимает вертикальное положение;
    - «3» – опускает на пол ногу, с которой начал восхождение;
    - «4» – опускает другую ногу на пол.
- Для строгого дозирования частоты восхождений на ступеньку и спуска с нее используется метроном, частоту которого устанавливают равной 120 уд./мин. В этом случае каждое движение будет соответствовать одному удару метронома.
4. После окончания работы в восстановительном периоде в положении сидя у испытуемого фиксируется частота пульса на 30 с, вначале 2-й, 3-й, 4-й минуты после завершения нагрузки.
  5. Определите частоту сердечных сокращений за минуту в конце 5-й минуты восстановительного периода.
  6. Остановите запись сигнала, нажав кнопку «Отключить порт».
  7. Вычислите Индекс Гарвардского степ-теста (ИГСТ) по формуле:

$$\text{ИГСТ} = t \times 100 / (f_1 + f_2 + f_3),$$

где  $t$  – время восхождения на ступеньку в секундах;  
 $f_1 + f_2 + f_3$  – ЧСС, зафиксированные на 2, 3 и 4 минутах восстановительного периода.

Величина ИГСТ необходима для выражения ИГСТ в целых числах.

8. Проведите оценку проведенного теста.

Оценка ИГСТ:

- очень плохо – меньше 50;
- плохо – 51-60;
- удовлетворительно – 61-70;
- хорошо – 71-80;
- очень хорошо – 81-90;
- отлично – 91 и выше.

Величина ИГСТ характеризует скорость восстановительных процессов после достаточно напряженной физической нагрузки и используется для оценки общей физической работоспособности и выносливости. Так у спортсменов, тренирующихся на выносливость, ИГСТ превышает цифру 100-110. Гарвардский степ-тест является значительной нагрузкой. После 5 минут восхождения на ступеньку частота пульса достигает 170-180 уд./мин.

9. Ответьте на вопросы по работе.

1. Как можно оценить физическую работоспособность исследуемого?
2. Можно ли увеличить физическую работоспособность? За счет чего?
3. Какие показатели оцениваются при проведении Гарвардского степ-теста?

### Лабораторная работа № 15

## ИЗМЕРЕНИЕ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ МЕТОДОМ КОРОТКОВА

*Оборудование:* Цифровая лаборатория по физиологии: сенсор пульса, мультидатчик, датчик измерения артериального давления; ПК с ОС Windows и установленным программным обеспечением Z.Labs; механический сфигмоманометр (манжета, манометр, груша) (не входит в набор); фонендоскоп/стетоскоп (не входит в набор).

*Цель:* Определить артериальное давление методом Короткова.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

В этой работе вы научитесь измерять артериальное давление методом Короткова, узнаете о происхождении тонов Короткова и их связи с пульсовыми волнами.

Наиболее точный неинвазивный метод измерения артериального давления – метод Короткова. На руку надевают манжету, соединенную с манометром. С помощью груши в манжету накачивают воздух, повышая давление в ней. Если давление в манжете превысит систолическое давление, то во время всего сердечного цикла плечевая артерия будет пережата, и кровь не будет проходить по ней. Если давление в манжете уменьшать, стравливая воздух, то, как только давление станет меньше систолического, через артерию начнет проходить кровь. При дальнейшем уменьшении давления в манжете артерия будет все больше пропускать кровь, до тех пор пока давление в манжете не упадет ниже диастолического. В этот момент артерия будет полностью расправлена, а кровоток в ней восстановлен.

Если приложить к локтевой ямке над плечевой артерией мембрану стетоскопа, то мы не услышим никаких звуков, несмотря на то что кровь пульсирующим образом постоянно проходит по артерии. Все дело в ламинарном течении крови, при котором не происходит перемешивания слоев жидкости, то есть форменные элементы крови (тромбоциты, эритроциты, лейкоциты) движутся слоями вдоль оси сосуда. При таком движении крови никаких шумов не возникает. Если артерию полностью пережать, то мы также не услышим никаких звуков. Но если давление в манжете уменьшить до систолического, в стетоскопе появятся тихие тоны Короткова – мы будем слышать пульсации в такт сердцу (рис. 15.1).

Сосудистые тоны Короткова возникают в результате турбулентного движения крови при прохождении ее через искусственно суженное отверстие плечевой артерии. Кровь, преодолевая давление в манжете, проходит через суженное отверстие артерии с ускорением, в результате чего возникают завихрения движущихся частиц крови. Эти завихрения вызывают вибрацию стенок сосуда, что сопровождается появлением тонов Короткова. При снижении давления в манжете до уровня диастолического движение крови по артерии приобретает вновь ламинарный характер, поэтому сосудистые тоны исчезают. Показания сфигмоманометра в момент появления тонов Короткова соответствуют систолическому давлению, а в момент их исчезновения – диастолическому давлению.

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ



Из-за того, что под манжетой пульсовая волна распространяется с небольшой скоростью, при давлении в манжете чуть ниже систолического будет возникать пульсовая волна, будут слышны тоны Короткова, но за время систолы пульсовая волна не успеет дойти до конца манжеты и артерия останется закрытой. Артерия откроется, когда давление в манжете будет на 10–12 мм рт. ст. меньше систолического, и только тогда начнет прощупываться пульс на запястье. Поэтому артериальное давление нужно определять не по появлению пульсаций локтевой или лучевой артерии на запястье, а по появлению тонов Короткова.

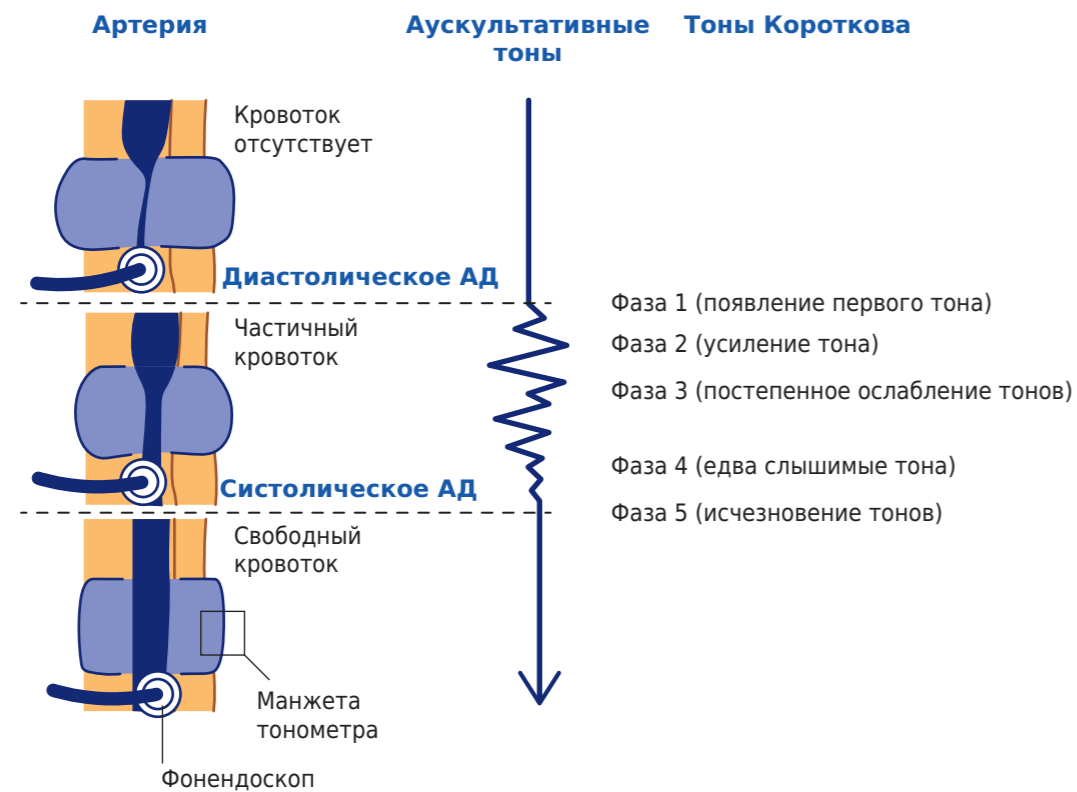


Рисунок 15.1.  
Схема измерения давления по методу Короткова

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

##### СБОРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Подсоедините сенсор пульса к мультидатчику, как показано на рис. 15.2, а мультидатчик к компьютеру.
2. Закрепите на левом плече спущенную манжету (откройте винт клапана на груше). Манжета должна плотно прилегать к коже, но с минимальным давлением. Ее нижний край должен быть на 2–3 см выше локтевой ямки (рис. 15.3). Положите манометр перед собой, чтобы было удобно определять его показания.

##### ПРОВЕРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Запустите ПО «Цифровая лаборатория».
2. Убедитесь, что между светодиодами, фоторезистором и подушечкой пальца есть плотный контакт.
3. Перейдите во вкладку «Пульс».
4. Завершите эксперимент.



Рисунок 15.2.  
Подключение сенсора пульса



Рисунок 15.3.  
Положение манжеты на плече

##### ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Вставьте оливы стетоскопа в уши и поместите головку стетоскопа над локтевой ямкой под манжетой так, как показано на рис. 15.4. В этом месте проходит плечевая артерия.
2. Положите руки перед собой на стол. Спокойно посидите 2 минуты и постарайтесь расслабиться.
3. Возьмите в правую руку грушу сфигмоманометра и закрутите винт клапана (рис. 15.5). Накачайте манжету до давления 140–160 мм рт. ст.
4. Слегка приоткройте винт, чтобы давление в манжете уменьшалось со скоростью 2–4 мм рт. ст./с.



Рисунок 15.4.

Расположение головки стетоскопа для выслушивания тонов Короткова

5. Внимательно следите за звуками в стетоскопе. В некоторый момент вы услышите тихие тоны Короткова, громкость которых будет нарастать по мере уменьшения давления в манжете. В некоторый момент эти тоны быстро затухнут и исчезнут.

6. Повторите эксперимент 1-2 раза с перерывом в 1-2 минуты. Отметьте показания манометра в те моменты времени, когда появляются

Рисунок 15.5.  
Винт клапана

первые тоны Короткова (это будет систолическое давление) и когда они исчезают (диастолическое давление). Запишите эти параметры в виде «систолическое давление»/«диастолическое давление».

7. Закрепите с помощью лент подушечку пальца левой руки к сенсору пульса. Запустите запись сигнала, нажав на кнопку «Начать запись».

8. Повторите процедуру измерения давления, отслеживая сигнал ФПГ. Вначале вы должны увидеть пульсовые волны. Когда давление в манжете повысится до систолического и превзойдет его, пульсовые колебания пропадут. Когда давление в манжете будет уменьшаться, отметьте момент появления первых тонов Короткова и момент появления первых пиков на ФПГ. Когда тоны Короткова пропадут, остановите запись ФПГ. Данные запишите в табл. 15.1.

9. Одновременно ли появляются тоны Короткова и пики ФПГ? Почему?

10. Опишите изменение амплитуды пульсовых волн на ФПГ. Когда их амплитуда становится постоянной?

Таблица 15.1

Измерение АД

Номер измерения АД	1	2	3
Систолическое давление			
Диастолическое давление			
Систолическое давление, при котором на ФПГ появляются пульсовые волны			

## УКАЗАНИЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЮ

Учащиеся должны научиться измерять артериальное давление методом Короткова и соотнести появление и исчезновение тонов Короткова с пульсовыми волнами в сосудах ниже манжеты.

Манжету нужно закрепить плотно, но без избыточного давления, чтобы не исказить измерения. Во время изменений нецелесообразно нагнетать давление в манжете выше 160 мм рт. ст. Выпускать воздух нужно, с одной стороны, не слишком быстро, чтобы можно было точно определить момент появления тонов Короткова (они возникают с периодом сердцебиения, т. е. 0,75–1 с), с другой стороны, продолжительное сдавливание плеча изменяет гемодинамику и местные характеристики сосудов, что также искажает результаты измерений давления, и на ФПГ пульсовые волны могут появиться слишком поздно. Оптимальная скорость уменьшения давления составляет 2 мм рт. ст./с.

Пульсации кровотока в сосудах ладони возникают при давлении в манжете на 10–12 мм рт. ст. меньше систолического, т. е. при измерении давления сначала появляются тоны Короткова, а только затем колебания на ФПГ. Тоны Короткова связаны с изменением течения крови. В норме характер движения крови в сосуде ламинарный, то есть слои жидкости не перемешиваются, кровь плавно движется вдоль стенки сосуда. Когда в манжете давление чуть ниже систолического, артерия начинает расправляться, и весь объем крови стремится пройти через суженный сосуд, из-за чего возникают «завихрения» движущихся частиц крови. В результате этих завихрений стенка артерии колеблется, вибрирует. Именно эти колебания сосудистой стенки мы слышим, когда появляются тоны Короткова.

Когда давление в манжете чуть меньше систолического, скорость распространения пульсовой волны крайне мала (менее 1 м/с), и пульсовая волна не успевает за время систолы пройти расстояние под манжетой. Это означает, что колебания стенки артерии возникают, но артерия не раскрывается полностью, и кровь не проходит в нижележащие сосуды руки.

Амплитуда пульсовых волн увеличивается при уменьшении давления в манжете до диастолического давления. Артерия расправляется все сильнее и сильнее, а значит, в предплечье поступает все больше и больше крови. Когда давление в манжете меньше диастолического, артерия всегда открыта и кровенаполнение сосудов руки практически не изменяется, поэтому амплитуда пульсовых волн становится постоянной. Чтобы увидеть нарастание амплитуды пульсовых волн, модуль пульса не должен смещаться или изменять давление на кожу. В противном случае артефакты движения сильно исказят картину ФПГ.



### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Сделайте вывод о проделанной работе.

1. Какое давление получилось при измерении методом Короткова?
2. Почему тоны Короткова и пики ФПГ не возникают одновременно?
3. Почему амплитуда пульсовых волн меняется при спускании воздуха из манжеты сфигмоманометра?

Пример расчетных значений для таблицы 15.1

Номер измерения АД	1	2	3
Систолическое давление	110	103	102
Диастолическое давление	70	75	71
Систолическое давление, при котором на ФПГ появляются пульсовые волны	95	93	95

### Лабораторная работа № 16

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ОСНОВНОГО ОБМЕНА

*Оборудование:* Цифровая лаборатория по физиологии: мультитачик, датчик сенсора пульса, устройство для измерения артериального давления; ПК с ОС Windows и установленным программным обеспечением Z.Labs.

*Цель:* Определение уровня основного обмена по формуле Рида.

### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Неотъемлемым свойством всех биологических систем является обмен веществ и энергии между организмом и средой. Обмен веществ – это процесс метаболизма веществ, поступивших в организм, в результате которого из этих веществ могут образовываться более сложные или, наоборот, более простые вещества. Другими словами – это совокупность физических, химических и физиологических процессов превращения веществ и энергии в организме человека и обмен между организмом и средой.

Поступающие с пищей в организм вещества метаболизируются (подвергаются изменениям), частично они превращаются в вещества самого организма. В этом состоит процесс ассимиляции (или анаболизм), обеспечивающий пластические потребности организма, т. е. построение новых структур и обновление клеток. Потребность организма в пластических веществах может быть удовлетворена тем минимальным уровнем их поступления с пищей, который будет уравнивать потери структурных белков, жиров, углеводов. Потребности в этих веществах строго индивидуальны. Обмен веществ характеризуется следующими параметрами: основной обмен, уровень основного обмена.

Основной обмен – минимальное количество энергии, необходимое для обеспечения нормальной жизнедеятельности в условиях относительно физического и психического покоя. Эта энергия расходуется на процессы клеточного метаболизма, кровообращение, дыхание, выделение, поддержание температуры тела, функционирование жизненно важных нервных центров мозга, постоянную секрецию эндокринных желез.

Печень потребляет 27 % энергии основного обмена; мозг – 19 %; мышцы – 18 %; почки – 10 %; сердце – 7 %; Остальные органы и ткани – 19 %. Любая работа – физическая или умственная, а также прием пищи, колебания температуры окружающей среды и другие внешние или внутренние факторы, изменяющие уровень обменных процессов, влекут за собой увеличение энергозатрат. Основной обмен выражается количеством энергозатрат из расчета 1 ккал на 1 кг массы тела в час [1 ккал/(кг×ч)].

Факторы, влияющие на величину основного обмена: возраст; рост; масса тела; пол человека; беременность, лактация; температура окружающей среды; эмоциональный статус; сон; уровень гормонов (щитовидной железы, катехоламинов и др.); инфекция; различные стресс-факторы.

Допустимое отклонение истинного основного обмена от должного – 10 %. Процент отклонения можно рассчитать по формуле Рида:



$$ПО = 0,75 \times (ЧП + ПД \times 0,74) - 72,$$

где *ПО* – процент отклонения основного обмена от нормы, *ЧП* – частота пульса, *ПД* – пульсовое давление, равное разности величин систолического и диастолического давления.

#### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

##### СБОРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Подсоедините сенсор пульса к мультидатчику, как показано на рис. 16.1, а мультидатчик к компьютеру.
2. Подсоедините датчик артериального давления к порту. Закрепите на левом плече спущенную манжету (откройте винт клапана на груше). Манжета должна плотно прилегать к коже, но с минимальным давлением. Ее нижний край должен быть на 2-3 см выше локтевой ямки (рис. 16.2). Положите манометр перед собой, чтобы было удобно определять его показания.



Рисунок 16.1.  
Подключение сенсора пульса



Рисунок 16.2.  
Положение манжеты на плече

##### ПРОВЕРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Запустите ПО «Цифровая лаборатория».
2. Убедитесь, что между сенсором пульса и подушечкой пальца есть плотный контакт.
3. Перейдите во вкладку «Пульс» «Артериальное давление» для отслеживания показателей.

##### ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

1. После 5-минутного пребывания сидя в покое зафиксируйте частоту пульса и измерьте артериальное давление.
2. Полученные значения внесите в формулу Рида и подсчитайте процент отклонения.
3. Для упрощения расчетов по формуле Рида существует специальная номограмма (рис. 16.3). С ее помощью, соединив линейкой значение частоты пульса и пульсового давления, на средней линии определите величину отклонения основного обмена от нормы. Сверьте результаты со значением, получившимся в формуле.

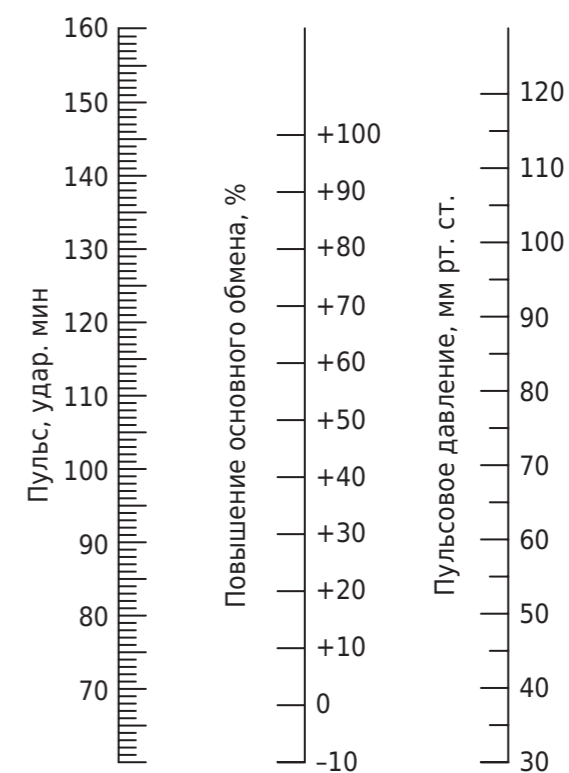


Рисунок 16.3.  
Номограмма Рида

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Сделайте вывод о проделанной работе.

1. За счет каких процессов в организме происходит основной обмен? Какие факторы влияют на величину основного обмена?
2. Какой орган человека потребляет больше всего энергии основного обмена?
3. Какой процент отклонения основного обмена от нормы получился в вашем исследовании? Соответствует ли он норме?





## Лабораторная работа № 17

## РЕГИСТРАЦИЯ ЧАСТОТЫ ДЫХАНИЯ

*Оборудование:* Цифровая лаборатория по физиологии: мультидатчик, датчик частоты дыхания; ПК с ОС Windows и установленным программным обеспечением Z.Labs.

*Цель:* Изучить, как изменяется сигнал датчика дыхания при грудном и брюшном дыхании, а также при максимальном вдохе и выдохе.

## ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

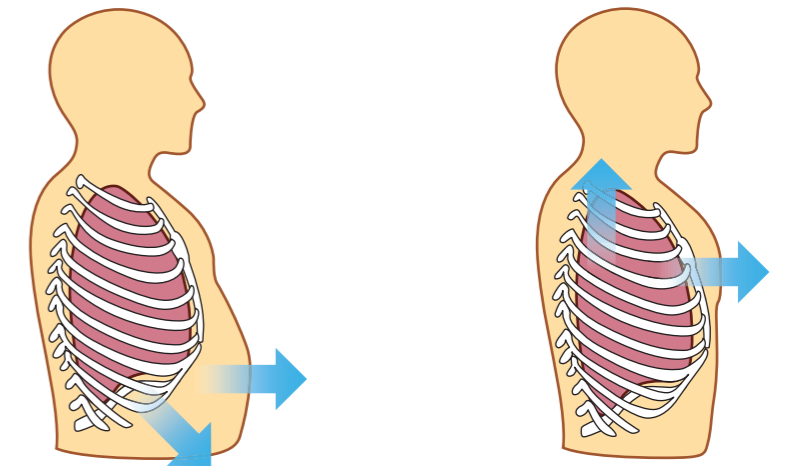
Дыхание – это совокупность процессов, обеспечивающих поступление в организм кислорода и удаление из организма углекислого газа, который образуется в результате тканевого метаболизма (обмена веществ). Главным органом, осуществляющим газообмен, являются легкие, которые постоянно изменяют свой объем. При вдохе стенки легких растягиваются, объем увеличивается, а давление становится ниже атмосферного, что обеспечивает входящий поток воздуха. Происходит вдох за счет активного сокращения межреберных мышц и диафрагмы, расширяющих объем всей грудной клетки. Выдох происходит пассивно, за счет эластичности стенок легких.

Стоит заметить, что обычно мы используем легкие всего на 10 %, связано это с небольшим объемом вдыхаемого-выдыхаемого воздуха, которого достаточно в покое. Общий объем легких составляет около 5 литров, в то же время дыхательный объем (сколько воздуха входит и выходит при дыхании) – только 0,3–0,5 литра. Существует резервный объем вдоха – при максимальном вдохе в легкие может поместиться еще до 2 литров воздуха. При максимальном выдохе из легких может выйти дополнительно до 2 литров воздуха – это резервный объем выдоха. Но даже после этого в легких остается около 1,5 литра воздуха, составляющих остаточный объем, необходимый для поддержания формы легких и постоянного газообмена.

Степень растяжения легких зависит от вовлечения в дыхательные движения разных групп мышц: межреберные мышцы как бы поднимают верхнюю часть легких и обеспечивают незначительное растяжение, а диафрагма обеспечивает гораздо более сильное растяжение снизу. Выделяют даже несколько типов дыхания: более поверхностное (грудное), более глубокое (диафрагмальное) и смешанное (рис. 17.1). Известно, что грудной тип дыхания преобладает у женщин, а брюшной – у мужчин.

Учитывая важность измерения функции дыхания для медицины, к настоящему моменту существует несколько различных методик, позволяющих измерить силу вдоха и выдоха. Самый простой, наверняка встречавшийся вам в поликлинике, это визуальное наблюдение за грудной клеткой и прослушивание с помощью фонендоскопа. Более сложные методы предполагают измерение колебаний грудной клетки с помощью тензометрии или биорадиолокации. Тензометрия – это метод обнаружения механических деформаций, растяжения или сжатия. Для измерения дыхания на грудной клетке располагается специальный

сенсор-ремешок. Биорадиолокация – это метод обнаружения биологических объектов (например, людей) и их движения (в том числе за преградами, непрозрачными для наших глаз) по отражению от них радиосигнала. Основное преимущество этого метода исследования человека заключается в его дистанционности, то есть не требуется плотного контакта между датчиком и объектом исследования, что обуславливает перспективность его применения. Посылаемый датчиком радиосигнал при столкновении с колеблющейся грудной клеткой изменяет свою амплитуду, что позволяет посчитать частоту дыхательных движений и даже отличить их амплитуду.



Брюшное дыхание

Грудное дыхание

Рисунок 17.1.  
Различные виды дыхания

## ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

## СБОРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Подключите датчик частоты дыхания к компьютеру, как показано на рис. 17.2.

Рисунок 17.2.  
Датчик измерения частоты дыхания

## ПРОВЕРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Запустите ПО «Цифровая лаборатория».
2. Возьмите одноразовую манжету и выдыхайте через нее воздух в сенсор дыхания мультидатчика.



3. Перейдите во вкладку «Дыхание». Попробуйте дышать реже или чаще и отследите, каким образом изменяется сигнал.

#### ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Попробуйте совершать дыхательные циклы (вдох-выдох) с разной частотой (сначала часто, потом реже) и силой (обычный вдох, глубокий вдох, глубокий выдох) и следите за изменениями сигнала.

2. Потренируйтесь совершать дыхательные движения только за счет межреберных мышц. Положите одну руку на середину грудной клетки, а другую на середину живота. Постарайтесь делать вдох так, чтобы чувствовать рукой колебания только грудной клетки, но не живота.

3. Потренируйтесь совершать дыхательные движения преимущественно за счет диафрагмы. Положите одну руку на середину грудной клетки, а другую на середину живота. Постарайтесь делать вдох так, чтобы чувствовать рукой более сильные колебания в области живота.

Сделайте вывод о проделанной работе.

1. Чем отличается дыхательный объем от резервного объема вдоха?
2. За счет чего совершается вдох и выдох?
3. Чем отличается грудное дыхание от брюшного?
4. При каком типе дыхания в легкие поступает больше воздуха?
5. Какие мышцы задействуются при глубоком вдохе? Глубоком выдохе?

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

### Лабораторная работа № 18

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ ДЫХАНИЯ ПРИ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ

*Оборудование:* Цифровая лаборатория по физиологии: мультидатчик, датчик частоты дыхания; ПК с ОС Windows и установленным программным обеспечением Z.Labs.

*Цель:* Изучить, как изменяется частота дыхания до и после физической нагрузки.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Поступление кислорода ко всем органам и тканям организма является жизненно необходимым для осуществления энергетического обмена, получения клетками энергии и осуществления ими соответствующей функции. Так, если мышечные клетки не получают достаточно кислорода во время физической нагрузки, они переходят к анаэробному (бескислородному) метаболизму, в результате чего эффективность их работы снижается и в них накапливается токсичная молочная кислота. Головной мозг потребляет 20–30 % кислорода, поступающего в организм, через 30–100 секунд без кислорода нервные клетки перестают функционировать нормально и начинают гибнуть, что проявляется при ишемическом инсульте.

Для поддержания оптимального поступления кислорода во все клетки организма кровеносная и дыхательная системы должны слаженно работать и быстро адаптироваться к любым нагрузкам. Поэтому ритм дыхания человека является важной составляющей любых спортивных тренировок – адаптация дыхания к физической нагрузке является не менее важной, чем гипертрофия мышц.

Дыхание человека можно охарактеризовать частотой и глубиной дыхательных движений. Частота дыхания измеряется количеством дыхательных циклов (1 дыхательный цикл = 1 вдох + 1 выдох) в 1 минуту, и ее величина в покое у взрослого человека варьирует от 12 до 20 в 1 мин. Частота дыхания возрастает при интенсивной физической нагрузке, при повышении температуры тела, нехватке кислорода, в норме изменяется с возрастом. Отдельно выделяют так называемую одышку – дыхание с частотой более 30 циклов в минуту. Она развивается как после сильных физических нагрузок, так и при дыхательной недостаточности, заболеваниях легких.

У тренированных спортсменов частота дыхания в покое, как и частота сердечных сокращений, может быть даже ниже, чем у обычных людей. Происходит это потому, что увеличивается количество кислорода, получаемого за один дыхательный цикл. Глубина дыхания определяется по объему вдыхаемого и выдыхаемого воздуха в течение одного дыхательного цикла. В медицине специально различают глубокое и поверхностное дыхание.

Оценка частоты и глубины дыхания (спирография) является важным диагностическим методом в медицине, а также при оценке психофизиологического состояния человека, например спортсмена на тренировке.



В настоящее время за счет доступности новых неинвазивных способов измерения частоты дыхания (браслеты, тензодатчики, биорадиолокация) этот физиологический показатель активно используется для выбора оптимальной нагрузки при индивидуальных тренировках. В этой работе вы сами увидите, как дыхание изменяется в зависимости от мышечной нагрузки.

## ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

### СБОРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Подключите датчик частоты дыхания к компьютеру, как показано на рис. 18.1.



Рисунок 18.1.  
Датчик измерения частоты дыхания

### ПРОВЕРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Запустите ПО «Цифровая лаборатория».
2. Возьмите одноразовую манжету и выдыхайте через нее воздух в сенсор дыхания мультидатчика.
3. Перейдите во вкладку «Дыхание». Попробуйте дышать реже или чаще и отследите, каким образом изменяется сигнал.

### ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Лабораторную работу следует выполнять в паре. Запишите показатели частоты дыхания (время эксперимента – 60 с). Испытуемый при этом должен не двигаться и спокойно дышать.
2. Далее предложите испытуемому выполнить 20 приседаний в быстром темпе (за 30–50 с), после чего:
  - зафиксируйте частоту дыхания за первую минуту после выполнения приседаний, за вторую минуту и за третью минуту;
  - данные получившихся измерений запишите в табл. 18.1.
3. По результатам экспериментов сделайте вывод, как частота дыхания изменяется под действием физической нагрузки.

Таблица 18.1

Изменение частоты дыхания до и после физической нагрузки

	Эксперимент 1	Эксперимент 2	Эксперимент 3	Ср. знач.
Частота дыхания в покое, мин <sup>-1</sup>				
	За 1-ю минуту	За 2-ю минуту	За 3-ю минуту	Ср. знач.
Частота дыхания после физической нагрузки, мин <sup>-1</sup>				

### УКАЗАНИЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЮ

Учащиеся должны посчитать количество дыхательных циклов. Необходимо посчитать количество таких циклов за 60 секунд. Можно также сделать подсчет за 20 секунд, а затем получить значение за одну минуту, умножив получившееся значение на три.

Учащимся при проведении эксперимента следует постараться не двигаться, чтобы не вносить в сигнал искажений.

Частота дыхания измеряется количеством дыхательных циклов (1 дыхательный цикл = 1 вдох + 1 выдох) в 1 минуту, и ее величина в покое у взрослого человека варьирует от 12 до 20 в 1 минуту.

При выполнении физической нагрузки частота дыхания увеличивается, а через 3 минуты у хорошо тренированных людей возвращается к норме. У людей с низкой физической активностью нормализация частоты дыхания может занять 5–7 минут.

## ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Сделайте вывод о проделанной работе.

1. Как изменилась частота дыхания сразу после выполнения приседаний?
2. Как изменилась частота дыхания через 3 минуты после выполнения физической нагрузки?

Пример расчетных значений для таблицы 18.1

	Эксперимент 1	Эксперимент 2	Эксперимент 3	Ср. знач.
Частота дыхания в покое, мин <sup>-1</sup>	15	15	18	16
	За 1-ю минуту	За 2-ю минуту	За 3-ю минуту	Ср. знач.
Частота дыхания после физической нагрузки, мин <sup>-1</sup>	28	22	18	22,7



## Лабораторная работа № 19

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО УРОВНЯ ФИЗИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ

**Оборудование:** Цифровая лаборатория по физиологии: мультидатчик, датчик пульса, устройство для измерения артериального давления; напольные весы и ростомер (не входят в комплект поставки); ПК с ОС Windows и установленным программным обеспечением Z.Labs.

**Цель:** Определение уровня физического состояния.

### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Оценка состояния здоровья человека – достаточно сложный процесс, так как единого критерия, по которому можно судить о здоровье, не существует. Согласно определению Всемирной организации здравоохранения, здоровье – это состояние полного психического и социального благополучия, а не только отсутствие болезней и физических дефектов. Под физическим здоровьем понимают такое состояние, при котором человек обладает совершенством саморегуляции функций организма, гармонией физиологических процессов и максимальной адаптацией к различным факторам внешней среды. Психическое здоровье предполагает отрицание болезни, ее преодоление, что должно являться «стратегией жизни человека». Под социальным здоровьем подразумевают меру социальной активности, деятельного отношения человека к миру.

Представление о здоровье отождествляют с понятием нормы, за которую принимают определенный стандарт, типичный образец или идеальный вариант. При оценке состояния здоровья пользуются возрастными и индивидуальными нормами. Возрастная норма соответствует измерению одного из показателей в различных возрастных группах с последующим вычислением его среднего значения для каждой обследованной группы, которое принимают за стандарт нормы. Однако входящие в одну и ту же группу люди существенно отличаются друг от друга, что определяется многими факторами: полом, профессией, местом жительства, образом жизни. В связи с этим понятие нормы, как и понятие здоровья, строго индивидуально. При оценке здоровья человека необходимо учитывать его субъективные отзывы, а также данные объективного обследования и психологического тестирования.

Физическое состояние человека является одной из характеристик его здоровья. Оно характеризуется степенью готовности человека выполнять мышечные и трудовые нагрузки различного характера в данный конкретный отрезок времени. Эта готовность зависит от уровня его физических (двигательных) качеств, особенностей физического развития, функциональных возможностей отдельных систем организма, наличия заболеваний и травм.

У практически здоровых лиц факторами, определяющими физическое состояние, являются физическое развитие, физическая работоспособность, функциональные возможности кислородно-транспортной (сердечно-сосудистой и дыхательной) системы и возраст. Физическое развитие человека характеризуется определенным сочетанием антропометрических и функциональных показателей. Для комплексной оценки

### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

#### СБОРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Подсоедините сенсор пульса к мультидатчику, а мультидатчик к компьютеру, как показано на рис. 19.1.
2. Подсоедините датчик артериального давления к порту. Закрепите на левом плече спущенную манжету (откройте винт клапана на груше). Манжета должна плотно прилегать к коже, но с минимальным давлением. Ее нижний край должен быть на 2-3 см выше локтевой ямки (рис. 19.2). Положите манометр перед собой, чтобы было удобно определять его показания.



Рисунок 19.1.  
Подключение сенсора пульса

физического развития разработаны методики, в которых учитываются показатели роста, массы тела, окружности грудной клетки, жизненной емкости легких, становой силы, относительного потребления кислорода и пола испытуемых. Вместе с тем получить представление об уровне физического развития позволяют и более простые методы.

Одним из факторов физического здоровья является физическое состояние человека. Методика определения физического здоровья (ФЗ) разработана Е.А. Пироговой в 1986 г. Она позволяет производить экспресс-оценку уровня физического состояния (УФС) по показателям системы кровообращения.

Расчет производится по формуле:

$$\text{УФС} = \frac{(700 - 3 \times \text{ЧСС} - 2,5 \times \text{АД диаст} + (\text{АД сист} - \text{АД диаст}) / 3 - 2,7 \times \text{В} + 0,28 \times \text{М}) / (350 - 2,7 \times \text{В} + 0,21 \times \text{Р})}{1}$$

где УФС – уровень физического состояния; ЧСС – частота сердечных сокращений; АД сист – систолическое артериальное давление; АД диаст – диастолическое артериальное давление; В – возраст; М – масса тела; Р – рост.



Рисунок 19.2.  
Положение манжеты на плече

#### ПРОВЕРКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

1. Запустите ПО «Цифровая лаборатория».
2. Убедитесь, что между сенсором пульса и подушечкой пальца есть плотный контакт.
3. Перейдите во вкладку «Пульс» «Артериальное давление» для отслеживания показателей.

#### ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Используя ростомер и весы, измерьте рост и вес исследуемого.
2. После 5-минутного пребывания сидя в покое зафиксируйте частоту пульса и измерьте артериальное давление.
3. Полученные значения внесите в формулу УФС и рассчитайте результат.
4. Полученный результат проанализируйте, используя уровни физического здоровья (табл. 19.1).

Таблица 19.1

Уровень физического здоровья

УФС	Диапазон значений
Низкий	0,375 и менее
Ниже среднего	0,376 - 0,525
Средний	0,526 - 0,675
Выше среднего	0,676 - 0,825
Высокий	0,826 и более

#### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Сделайте вывод о проделанной работе.
1. Какой уровень физического состояния отмечается у обследуемого?
  2. Какими факторами определяется физическое состояние здорового человека?
  3. Чем характеризуется физическое развитие человека?

#### Лабораторная работа № 20

### ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСВЕЩЕННОСТИ НА ФИЗИЧЕСКОЕ ЗДОРОВЬЕ ЛЮДЕЙ

*Оборудование:* Беспроводной мультидатчик для проведения биологического мониторинга и датчик освещенности.

*Цель:* Обследование уровня освещенности рабочего места учащихся в школе.

#### ■ ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

До 90 % информации, необходимой человеку для жизнедеятельности, воспринимается через органы зрения. Чувствительность глаза человека к свету обеспечивает способность человека видеть, воспринимать цвет и окружающие предметы. Нормальная жизнедеятельность невозможна без зрительной способности, требует создания условий, обеспечивающих зрительный комфорт.

Недостаточный уровень освещенности создает дискомфорт, способствует снижению работоспособности. Если долгое время находиться в таких условиях, то и у взрослых, и у детей отвлекается внимание, снижается способность сосредоточиться, зрительные органы перенапрягаются, возрастает общая утомляемость. Достаточный уровень освещенности необходим не только для нормальной производственной деятельности взрослого человека, но и для ребенка, который проводит много времени в школе.

От количества света, которое приходится на определенную площадь в помещении, зависит не только способность воспринимать окружающее пространство через органы зрения, но и общее состояние человека, его способность сопротивляться стрессам, преодолевать усталость, сопротивляться умственным и физическим нагрузкам.

Поэтому в санитарные нормы внесены жесткие требования по нормам освещенности в производственных, жилых и учебных помещениях, поскольку это влияет на экологическую обстановку, физическое и психологическое здоровье взрослых и детей. Освещение, удовлетворяющее гигиеническим и экономическим требованиям, называется рациональным.

Установлено, что производительность и качество труда находятся в прямой зависимости от уровня освещенности (до 15 % и более). В хорошо освещенных помещениях снижается травматизм, а на улицах и городских магистралях - аварийность. Расходы на повышение освещенности достаточно быстро окупаются.

Различают следующие способы обеспечения необходимого уровня освещенности:

- за счет естественных источников света, обеспечивая поступление светового потока в помещения через специально обустроенные в ограждающих конструкциях проемы;
- за счет рационального размещения источников искусственного освещения;
- за счет комплексного использования естественных и искусственных источников освещения.



Уровень освещенности, который создают искусственные и естественные источники света, измеряется по ГОСТ 24940-96 люксметром.

В строительстве уровень освещенности нормируется строительными нормами и правилами СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение», в соответствии с которыми для естественных, искусственных и совмещенных систем освещения применяются отдельные нормативы.

Таблица 20.1

## Нормы освещенности жилых помещений

Вид помещения	Освещение, лк
Лестничные сетки	20
Санузлы	50
Коридор, холл	50
Гардеробная	75
Жилая комната	150
Кухня	150
Тренажерный зал	150
Детская	200
Рабочий кабинет, библиотека	300
Бильярдная	300

Таблица 20.2

## Нормы освещенности офисов, производственных помещений, школьных кабинетов

Вид помещения	Освещение, лк
Архив	75
Конференц-зал	200
Офис, где работают за компьютерами	200-300
Офис, где работают с чертежами	500
Производственные помещения (в зависимости от вида выполняемой работы)	200-1250
Школьный класс - возле рабочего стола	300
Школьный класс - возле доски	500
Школа - комната отдыха	150
Детский сад, спальня	100
Детский сад, игровые комнаты, комнаты для занятий в группах	400

### ■ ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Определите точки проведения замера уровня освещенности, пронумеруйте их. Точка 1 - около входной двери на уровне 3-й парты, точка 2 - около окна на 5-й парте, точка 3 - около доски. Рекомендуется равномерно распределить их по всей площади помещений так, чтобы точки замера находились на удалении 1 м от стен.

2. Датчик определения освещенности подключите к ПК или планшетному регистратору.

3. В соответствии с инструкцией для пользователей подключите программу «Цифровая лаборатория», находясь в заранее определенной точке замера, запустите измерение (кнопка «Пуск»).

4. Повторите измерение уровня освещенности во всех точках.

5. Полученные результаты внесите в табл. 20.3.

Таблица 20.3

## Результаты измерений освещенности

Кабинет	Среднее освещение, лк	
	Естественное освещение	Искусственное освещение
Кабинет начальных классов		
Кабинет музыки		
Кабинет труда		
Кабинет информатики		
Преподавательская		
Кабинет физики		
Кабинет химии		
Холл школы		
Столовая		

6. Сравните результаты измерений с нормативами.

7. Проанализируйте лабораторную работу и сделайте выводы.

### ■ КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что обеспечивает организация рационального освещения в школе?
2. Дать определение видам естественного освещения.
3. Дать характеристику искусственному освещению, отметив наиболее важные факторы.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

