



**“InterNICHE” –  
Международная сеть  
за гуманное образование**



**Голландское общество против  
тестирования на животных**

**Грабовская Е.Ю., Мишин Н.П., Назар М.О.А.Р.**

**Использование альтернативных методов при  
изучении физиологии  
сердечно-сосудистой и дыхательной системы**

**СИМФЕРОПОЛЬ  
2012**

**Данное методическое пособие издано в рамках проекта, выигравшего грант: «Гуманное образование» (“Humane Education Award”) от "InterNICHE" ([www.interniche.org](http://www.interniche.org)) при финансовой поддержке "Proefdiervrij" ([www.proefdiervrij.nl](http://www.proefdiervrij.nl))**

## **Благодарность**

Авторы методического пособия выражают благодарность главе Международной сети за гуманное образование «ИнтерНИЧ» Нику Джуксу (Nick Jukes), а также ее представителю в Украине - Дмитрию Лепорскому за понимание, поддержку, техническую и финансовую помощь в реализации проекта.

Авторы благодарны первому проректору Таврического национального университета им. В.И. Вернадского, профессору Чуян Е.Н., за активную популяризацию и внедрение гуманных методов в образовательный процесс, а также за всестороннюю поддержку в реализации данного проекта.

Грабовская Е.Ю., Мишин Н.П., Назар М.О.А.Р.

«Использование альтернативных методов при изучении физиологии сердечно-сосудистой и дыхательной системы»

В методическом пособии рассматривается возможность использования альтернативных, исключающих использование животных методов, при изучении дисциплин физиологического профиля; в частности «Физиологии человека и животных» на биологическом факультете и факультете физической культуры и спорта Таврического национального университета им. В.И.Вернадского.

Первая часть методического пособия включает теоретические положения необходимые для более полного усвоения материала, а также список литературы. Вторая часть содержит лабораторные работы.

К пособию прилагается DVD-диск с видеофильмами по темам лабораторных работ, а также наглядными материалами в виде изображений и таблиц для индивидуальной работы студентов.

Для студентов профессионального направления подготовки 6.010201 – «физическое воспитание», 6.010203 – «здоровье человека», 6.040102 – «физиология», аспирантов, преподавателей ВУЗов.

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	5
<b>Часть 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ</b>	
<b>Раздел 1. Сердце. Проводящая система сердца и ее роль в распространении возбуждения.</b>	
Основы электрокардиографии.....	6
1.1. Строение сердца.....	6
1.2. Основы электрокардиографии.....	9
1.2.1. Историческая справка.....	10
1.2.2. Теоретические основы электрокардиографии.....	11
1.2.3. Зубцы ЭКГ.....	15
1.2.4. Нормальные параметры ЭКГ.....	18
1.2.5. Электрическая ось сердца.....	20
1.3. Анализ ЭКГ.....	23
Литература.....	30
<b>Раздел 2. Нагрузочное тестирование. Физиологическое обоснование применения нагрузочного тестирования в спорте.....</b>	
2.1. Методика проведения нагрузочного тестирования.....	33
2.2. Порядок проведения тестирования.....	34
2.3. Оценка результатов нагрузочного тестирования.....	37
Литература.....	41
<b>Раздел 3. Вентиляционная функция легких. Spiрография.....</b>	
3.1. Основные статические объемы и емкости.....	43
3.2. Динамические исследования вентиляции легких.....	44
3.3. Динамические объемы и потоки, регистрирующиеся при форсированных маневрах.....	44
3.4. Методика проведения спирографии.....	46
3.5. Функциональные пробы.....	47
3.5.1. Измерение дыхательного объема или проба «Спокойное дыхание».....	47
3.5.2. Измерение жизненной емкости легких.....	49
3.5.3. Форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ).....	50
3.5.4. Определение максимальной вентиляции легких.....	53
Литература.....	58

<b>Часть 2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ.....</b>	<b>59</b>
Лабораторная работа 1.	
Тема: «Регистрация электрокардиограммы в норме».....	59
Лабораторная работа 2.	
Тема: «Проведение пробы с физической нагрузкой».....	65
Лабораторная работа 3.	
Тема: «Исследование легочной вентиляции в покое и при форсированном дыхании методом спирографии».....	71

## **ПРИЛОЖЕНИЯ (на DVD):**

Учебные фильмы:

Часть 1. «Электрокардиография»

Часть 2. «Велоэргометрия»

Часть 3. «Спирография»

Наглядные материалы к лабораторным работам:

1. Варианты ЭКГ
2. Варианты нагрузочного тестирования
3. Варианты спирограммы

## ПРЕДИСЛОВИЕ

До недавнего времени при обучении на биологических факультетах и факультетах физического воспитания и спорта в классических университетах большая часть лабораторных работ по физиологии человека и спортивной физиологии проводилась с обязательным использованием экспериментов на лабораторных животных. Считалось, что стать хорошим специалистом в области биологии и медицины можно только благодаря проведению опытов на животных.

14 марта 2006г. в Украине вступил в действие закон «О защите животных от жестокого обращения», предусматривающий урегулирование вопросов использования животных в процессе обучения. В связи с этим в учебный процесс активнее стали внедряться альтернативные методы обучения – т.н. альтернативы.

Альтернативами называются гуманные средства обучения (компьютерные программы, видеофильмы, манекены животных, людей и модели их органов, и др.), а также методы обучения, которые позволяют заменить использование животных, при котором им причиняется вред, или дополняют уже существующее гуманное образование.

Учебные видеофильмы и экспериментирование студентов на самих себе достаточно широко используются в качестве обычной практики в большинстве университетов. Однако, в связи с ограниченностью финансирования, большая часть современного диагностического оборудования недоступна для использования в учебном процессе.

В связи с этим, предложенные вашему вниманию лабораторные работы по изучению сердечно-сосудистой и дыхательной системы с использованием самоэкспериментирования в качестве основного альтернативного метода, могут оказать существенный вклад в развитие образования на гуманной основе.

## Часть 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### Раздел 1. Сердце. Проводящая система сердца и ее роль в распространении возбуждения. Основы электрокардиографии

#### 1.1. СТРОЕНИЕ СЕРДЦА

**Сердечная мышца (миокард)** – это центральный двигатель кровообращения. Благодаря периодическим сокращениям сердца кровь движется по кровеносным сосудам.

Сердце человека представляет собой полый мышечный орган, разделенный на четыре камеры: два предсердия и два желудочка. Обычно оно находится в левой половине грудной полости, на уровне второго-пятого ребер, и лежит в околосердечной сумке, образованной соединительной тканью. Внутренняя поверхность околосердечной сумки выделяет жидкость, уменьшающую трение при сердечных сокращениях.

**Сердце как орган** состоит из трех оболочек:

- **эндокарда**, самой глубокой тонкой оболочки, представленной эндотелиальными клетками, расположенными на соединительнотканном слое с эластическими волокнами и гладкомышечными клетками;
- **миокарда**, состоящего из сердечной мышечной ткани, имеющей поперечнополосатое строение;
- **эпикарда**, наружной серозной оболочки, построенной из соединительной ткани и покрытой на свободной поверхности мезотелием.

**Миокард** имеет ряд особенностей, связанных с самой функцией сердца как в целом, так и его отделов (предсердий и желудочков):

- В различных отделах толщина сердечной мышцы неодинакова. Например, в левом желудочке стенка толще, чем в правом.
- Мышцы предсердия обособлены от мышц желудочков.
- В желудочках и предсердиях существуют общие мышечные пласты.
- В области венозных устьев преддверий располагаются сфинктеры.
- Наличие в миокарде двух морфофункциональных типов мышечных волокон (типичные волокна рабочего миокарда и атипичные волокна проводящей системы).

**Сокращения сердца** происходят вследствие периодически возникающих в сердечной мышце процессов возбуждения. Сердечная мышца обладает рядом свойств, обеспечивающих ее непрерывную ритмическую деятельность, а именно: **автоматией, возбудимостью, рефрактерностью, проводимостью и сократимостью.**

Возбуждение в сердце возникает периодически под влиянием процессов, протекающих в нем самом. Это явление получило название **автоматии**. Способностью к автоматии обладают определенные участки миокарда, состоящие из специфической (атипической) мышечной ткани, бедной миофибриллами, богатой саркоплазмой и напоминающей эмбриональную мышечную ткань. Специфическая мышечная ткань образует в сердце **проводящую систему** (рис. 1).

В проводящей системе сердца выделяют следующие узлы и пути:

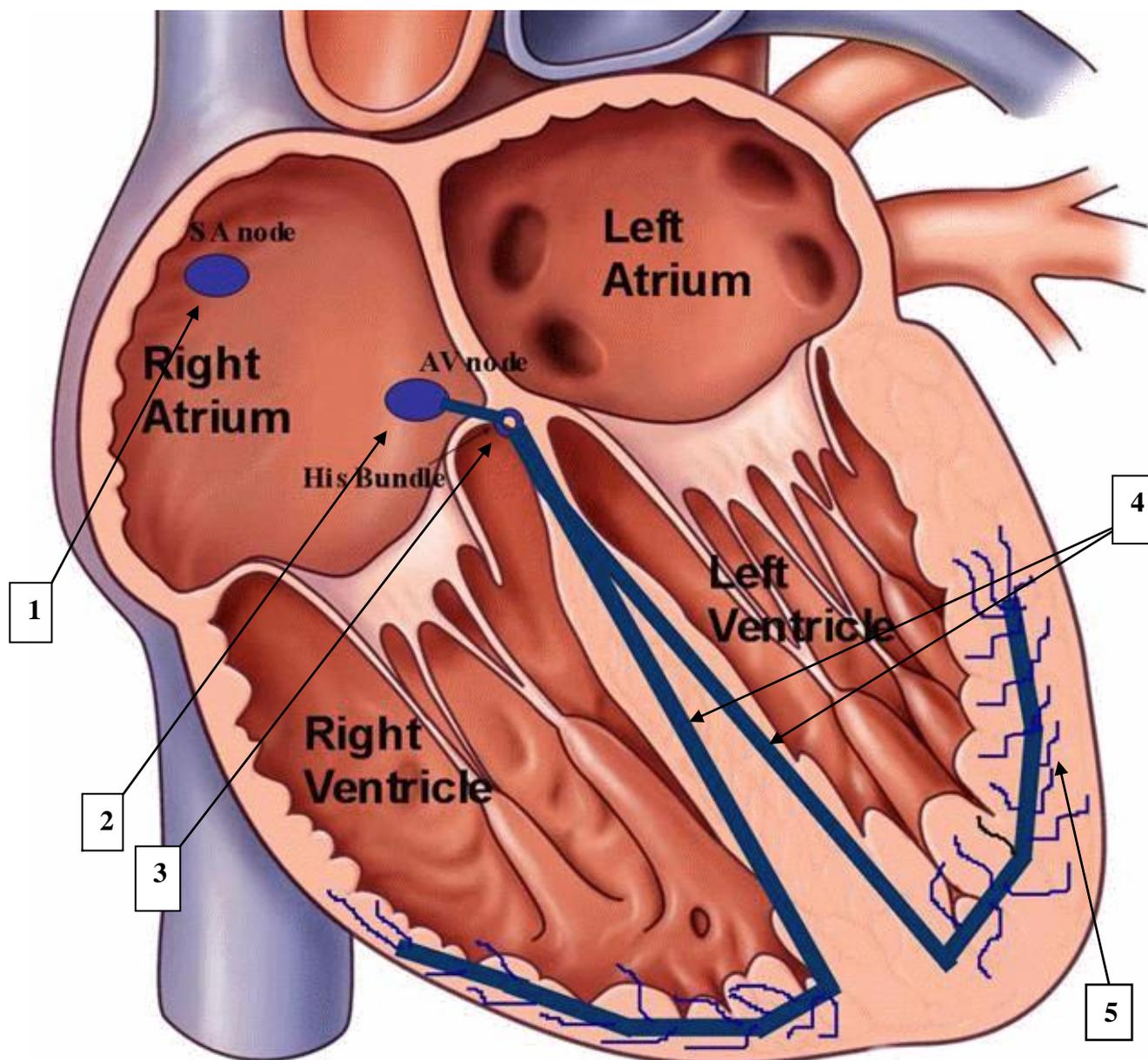
**1. Синоатриальный узел (синусно-предсердный узел, узел Кейс-Флека, SA-узел).** Он расположен в венозном синусе, т.е. при впадении полых вен в правое предсердие, и является источником возникновения электрических импульсов в норме. Именно здесь импульсы возникают и отсюда распространяются по сердцу. Поэтому нормальный ритм сердца называется **синусовым**.

**2. Атриовентрикулярный узел (предсердно-желудочковый узел, Ашофф-Тавара, AV-узел).** Находится в нижней части межпредсердной перегородки под эндокардом правого предсердия. В атриовентрикулярном узле благодаря небольшой толщине его мышечных волокон и особому способу их соединения существует **самая низкая скорость распространения** электрических импульсов во всей проводящей системе сердца. Она равна примерно 10 см/с (для сравнения: в предсердиях и пучке Гиса импульс распространяется со скоростью 1 м/с, по ножкам пучка Гиса и всем нижележащим отделах вплоть до миокарда желудочков – 3-5 м/с).

Задержка проведения возбуждения в атриовентрикулярном узле составляет около 0,08 с и необходима для того, чтобы предсердия успели сократиться раньше и перекачать кровь в желудочки. Следовательно, атриовентрикулярная задержка обеспечивает необходимую последовательность (координацию) сокращений предсердий и желудочков.

**3. Атриовентрикулярный пучок (пучок Гиса).** Идет от атриовентрикулярного узла до верхней части межжелудочковой перегородки (имеет длину 2 см). Затем он делится на два пучка – ножки Гиса, правую и левую. Они образуют ветви в миокарде желудочков. Поскольку левый желудочек работает интенсивнее и больше по размерам, то левая ножка делится на две ветви – **переднюю** и **заднюю**.

**4. Межузловые и межпредсердные проводящие пути** Бахмана, Венкенбаха и Торелла. Проходят по миокарду предсердий и межпредсердной перегородке.



**Рис. 1. Схематическое изображение проводящей системы сердца:**  
 1 – синоатриальный узел; 2 – атриовентрикулярный узел; 3 – атриовентрикулярный пучок (пучок Гиса); 4 – правая и левая ножки Гиса; 5 – волокна Пуркинье

**5. Волокна Пуркинье.** Это концевые разветвления ветвей ножек пучка Гиса, которые образуют контакты с клетками сократительного миокарда желудочков. Скорость распространения возбуждения в предсердно-желудочковом пучке и диффузно расположенных сердечных миоцитах достигает 4,5-5 м/с, что в 5 раз превышает скорость распространения возбуждения по рабочему миокарду. Благодаря этому клетки миокарда желудочков вовлекаются в сокращение синхронно. Синхронность

сокращения клеток повышает мощность миокарда и эффективность нагнетательной функции желудочков.

Все части проводящей системы сердца обладают способностью самостоятельно генерировать электрические импульсы (т.е. автоматизмом). Синусовый узел является **водителем ритма первого порядка** (или **пейсмекером** – *pacemaker*, от англ. *pace* – скорость, темп) и генерирует импульсы с частотой 60-70 раз в минуту. Если по какой-то причине синусовый узел выйдет из строя, станет активным атриовентрикулярный узел – **водитель ритма второго порядка**, генерирующий импульсы 40-50 раз в минуту. Водителем ритма **третьего порядка** являются ножки и ветви пучка Гиса, а также волокна Пуркинье. Автоматизм водителя ритма третьего порядка равен 15-40 импульсов в минуту. Следовательно, существует **градиент автоматии** сердца, согласно которому степень автоматии тем выше, чем ближе расположен данный участок проводящей системы к синоатриальному узлу. В обычных условиях автоматия всех нижерасположенных участков проводящей системы подавляется более частыми импульсами, поступающими из синоатриального узла. В случае поражения и выхода из строя этого узла водителем ритма может стать атриовентрикулярный узел.

Следовательно, проводящая система сердца обеспечивает:

- 1) Ритмическую генерацию импульсов.
- 2) Необходимую последовательность сокращений предсердий и желудочков.
- 3) Синхронное вовлечение в процесс сокращения клеток миокарда желудочков.

Возбуждение предсердий происходит в продольном направлении путем распространения импульса по мышечным волокнам. Миокард желудочков возбуждается в поперечном направлении от эндокарда (внутренняя поверхность сердечной мышцы, обращенная в полость желудочка) к эпикарду (наружная поверхность). Характер возбуждения предсердий может отражать их дилатацию, а возбуждения желудочков – их гипертрофию [2-4].

## 1.2. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ

**Электрокардиография** – это метод электрофизиологического исследования деятельности сердца в норме и патологии, основанный на регистрации и анализе электрической активности миокарда, распространяющейся по сердцу в течение сердечного цикла. Регистрация производится с помощью специальных приборов – электрокардиографов.

Записываемая кривая – электрокардиограмма (ЭКГ) отражает динамику в течение сердечного цикла разности потенциалов в двух точках электрического поля сердца, соответствующих местам наложения на теле обследуемого двух электродов, один из которых является положительным полюсом, а другой отрицательным (соединены соответственно с полюсами «+» и «-» электрокардиографа). Определенное взаимное расположение этих электродов называют электрокардиографическим отведением, а условную прямую линию между ними – осью данного отведения. На обычной ЭКГ величина электродвижущей силы (ЭДС) сердца и ее направление, меняющиеся в течение сердечного цикла, отражаются в виде динамики проекции вектора ЭДС на ось отведения.

### 1.2.1. Историческая справка

Впервые наличие электрических явлений в сокращающемся сердце лягушки предположили немецкие исследователи А. Келликер и Г. Мюллер (1856г.), которые при наложении на сердце нерва, подходящего к мышце, наблюдали ритмическое сокращение скелетной мышцы в такт с сердцем.

В 1872г. Г. Липпман изобрел ртутный капиллярный электрометр, который давал возможность под микроскопом наблюдать изменения потенциала действия. Первая ЭКГ человека была записана в 1887г. английским исследователем А. Уоллером при помощи капиллярного электрометра.

Первый достаточно совершенный электрокардиограф был создан голландским физиологом, профессором Утрехтского университета У. Эйнтховеном (*W. Einthoven*). В 1903г. он сконструировал электрокардиограф на основе струнного гальванометра, изобретенного ранее И. Швейггером (*J. S. C. Schweigger*).

Этот инструмент состоит из тонкой электропроводящей струны, помещенной в поле сильного электромагнита. Проходящий по струне электрический ток, взаимодействуя с электромагнитным полем, отклоняет эту струну. Колебания струны могут быть спроецированы на движущуюся фотографическую бумагу, создавая непрерывную кривую. Такой прибор обеспечивает большую чувствительность по сравнению с обычным гальванометром, и позволяет регистрировать электрическую деятельность сердца с поверхности тела.

Электрокардиограф У. Эйнтховена позволил детально, без искажений записать ЭКГ, определить временные и амплитудные характеристики зубцов, интервалов и сегментов.

Большая часть современной электрокардиографической номенклатуры была разработана У. Эйнтховеном. Его обозначения зубцов **P, Q, R, S, T** и **U** используются до сих пор. Им также были предложены три стандартные отведения от конечностей и описана ЭКГ в норме.

### 1.2.2. Теоретические основы электрокардиографии

**Теоретические основы электрокардиографии** строятся на законах электродинамики, приложимых к электрическим процессам, происходящим в сердце в связи с ритмичной генерацией электрического импульса водителем ритма сердца и распространением электрического возбуждения по проводящей системе сердца и миокарду.

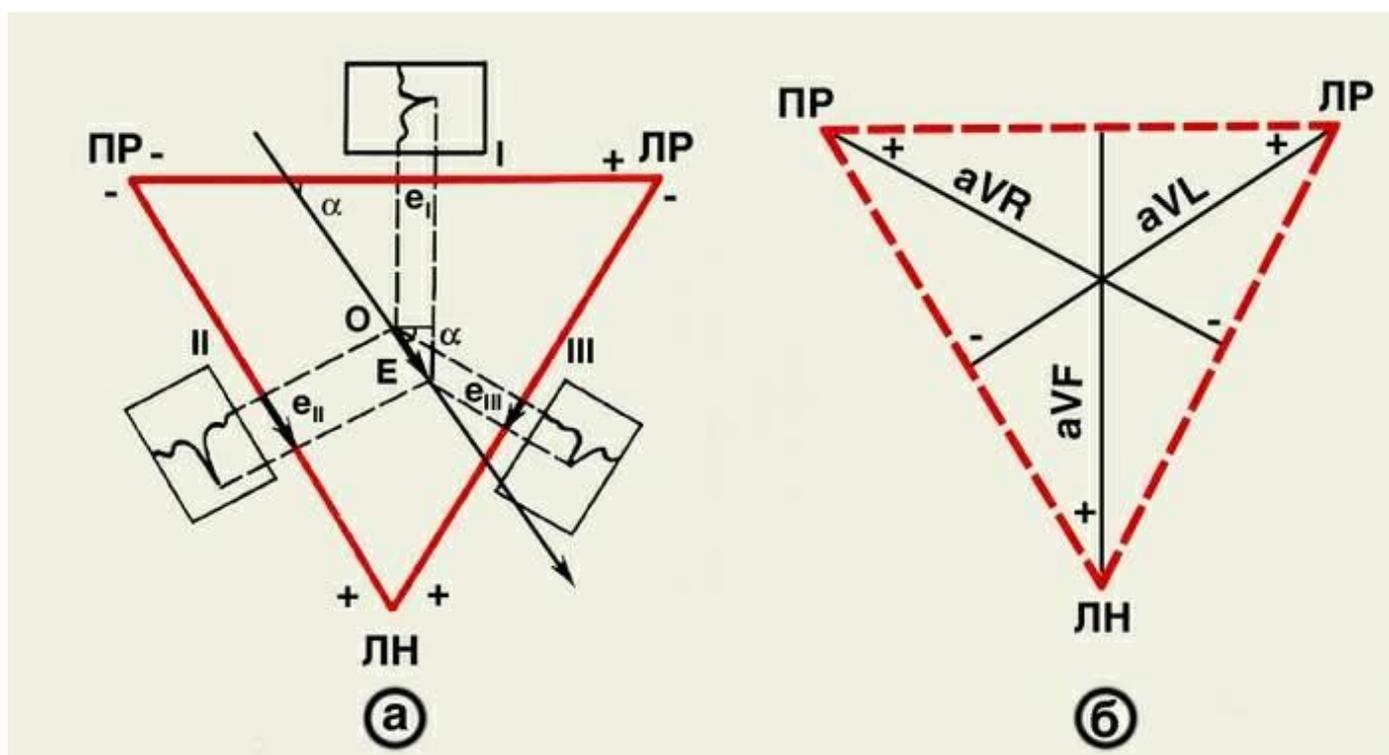


Рис. 2. Схемы отведений электрокардиограммы от конечностей:

**а** – стандартные отведения (треугольник Эйнтховена); проекция интегрального вектора **E** на ось отведения образуется при опускании на нее перпендикуляров из нулевой точки диполя (0) и из конца вектора **E**; проекция нулевой точки разделяет каждую из осей отведения на положительный и отрицательный компоненты; ПР – правая рука, ЛР – левая рука, ЛН – левая нога,  $e_I$ ,  $e_{II}$ ,  $e_{III}$  – проекции вектора **E** соответственно на оси отведения ПР – ЛР, ПР – ЛН и ЛР – ЛН (I, II и III отведения). Рядом с осями отведений схематически изображены варианты ЭКГ. Угол  $\alpha$  между вектором **E** и осью I отведения определяет направление электрической оси сердца;

**б** – схема расположения осей усиленных однополюсных отведений от конечностей; **aVR**, **aVL** и **aVF** (сплошные линии); знаками «+» и «-» обозначены положительный и отрицательный полюса отведений.

После генерации импульса в синусовом узле возбуждение распространяется вначале на правое, а через 0,02 с и на левое предсердие. Затем после недлительной задержки в атриовентрикулярном узле оно переходит на перегородку и синхронно охватывает правый и левый желудочки сердца, вызывая их сокращение. Каждая возбужденная клетка становится элементарным диполем (двухполюсным генератором). Сумма элементарных диполей в данный момент возбуждения составляет так называемый эквивалентный диполь (рис. 2а).

Распространение возбуждения по сердцу сопровождается возникновением в окружающем его объемном проводнике (теле) электрического поля. Изменение за сердечный цикл разности потенциалов в двух точках этого поля воспринимается электродами электрокардиографа и регистрируется в виде зубцов ЭКГ, направленных от изоэлектрической (нулевой) линии вверх (положительные зубцы) или вниз (отрицательные зубцы) в зависимости от направления ЭДС между полюсами электродов. При этом амплитуда зубцов, измеряемая в милливольтгах или в миллиметрах (обычно запись производится в режиме, когда стандартный калибровочный потенциал 1 mV отклоняет перо регистратора на 10 мм), отражает величину разности потенциалов по оси отведения ЭКГ [2-4].

Стандартная ЭКГ записывается в **12-ти отведениях**:

- **3 стандартных отведения (I, II, III),**
- **3 усиленных отведения от конечностей (aVR, aVL, aVF),**
- **и 6 грудных отведений (V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub>, V<sub>4</sub>, V<sub>5</sub>, V<sub>6</sub>).**

**1) Стандартные отведения.** У. Эйнтховен предложил в 1913г. регистрировать разность потенциалов во фронтальной плоскости тела в **трех стандартных отведениях**, т.е., как бы, с вершин равностороннего треугольника за которые он принял правую руку, левую руку и лонное сочленение (в практической электрокардиографии в качестве третьей вершины используется левая нога). Линии между этими вершинами, т.е. стороны треугольника, являются осями стандартных отведений.

I отведение - между левой рукой и правой рукой,

II отведение - между левой ногой и правой рукой,

III отведение - между левой ногой и левой рукой (рис. 2а).

Взаимоотношение величины зубцов в трех стандартных отведениях было установлено У. Эйнтховеном. Он нашел, что электродвижущая сила сердца, регистрируемая во II стандартном отведении, равна сумме электродвижущих сил в I и III отведениях. Так как выражением электродвижущей силы является высота зубцов, зубцы II отведения по своей величине равны алгебраической сумме зубцов I и III отведений.

Стандартные отведения от конечностей регистрируют разность потенциалов сердца через электроды, расположенные на двух конечностях. Поэтому эти отведения также называют биполярными. При этом на одной конечности располагается положительный, а на другой – отрицательный электрод.

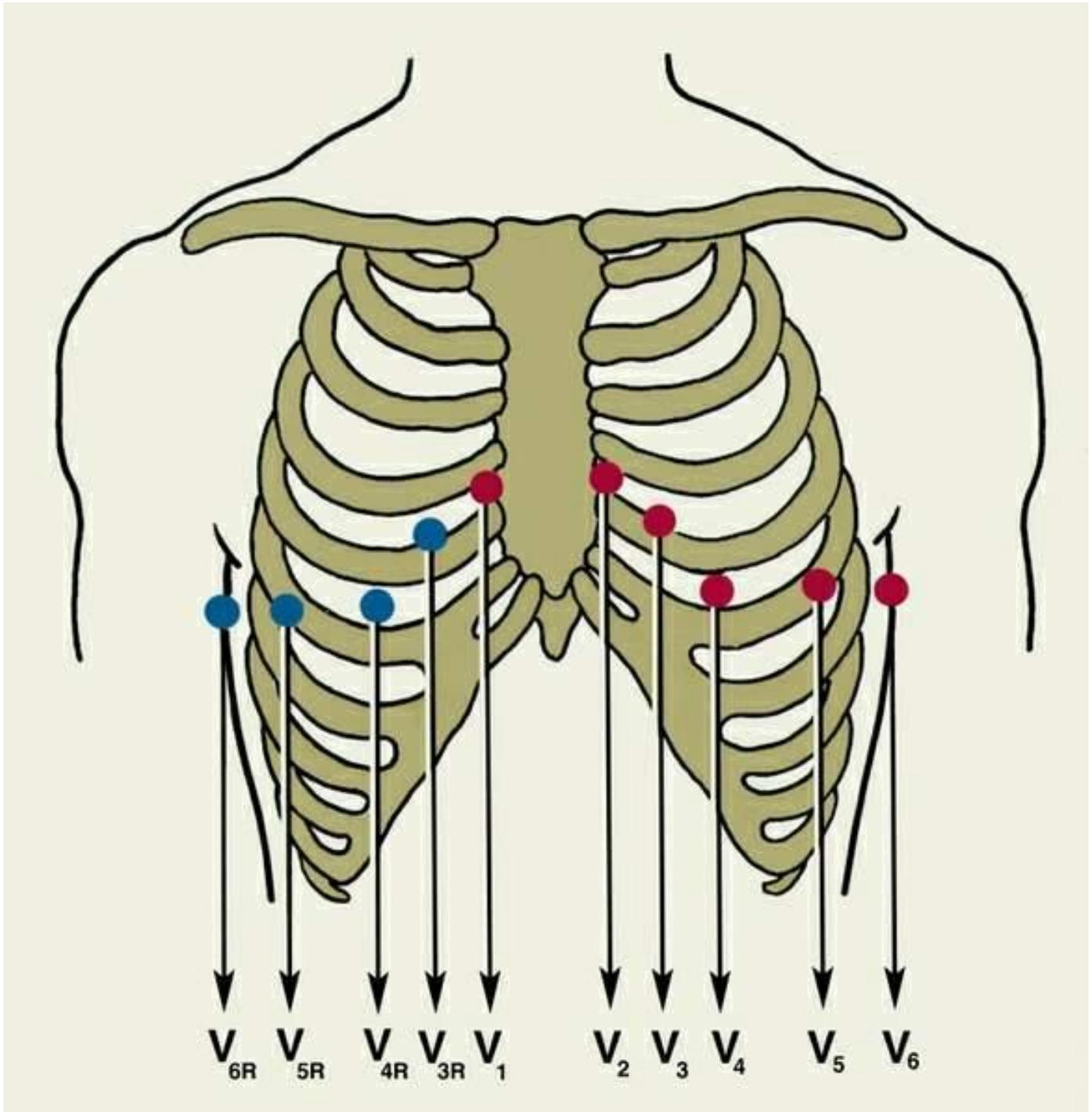


Рис. 3. Схема расположения электродов при регистрации однополюсных грудных отведений ЭКГ:  $V_1$ - $V_6$  – общепринятые грудные отведения;  $V_{3R}$ - $V_{6R}$  – дополнительные правые грудные отведения.

**2) Усиленные отведения от конечностей** были предложены Е. Гольдбергером (E. Goldberger, 1942г.). При регистрации усиленных отведений два электрода, используемые для регистрации стандартных отведений, объединяются в один, и регистрируется разность потенциалов между объединенными и активными электродами. Так, при aVR активным является электрод, наложенный на правую руку (сокращение от *augmented voltage right* – усиленный потенциал справа), при aVL – на левую руку (*left* – левый), при aVF – на левую ногу (*foot* – нога) (рис.2б).

Поскольку усиленные отведения от конечностей регистрируют разность потенциалов сердца через электрод, расположенный на одной из конечностей, их также называют униполярными.

**3) Грудные или прекардиальные отведения** были предложены Ф. Вильсоном (F. Wilson, 1931г.) и записываются между грудным электродом, и объединенным электродом от всех трех конечностей.

Точки расположения грудного электрода находятся последовательно по переднебоковой поверхности грудной клетки от средней линии тела к левой руке.  $V_1$  – в четвертом межреберье по правому краю грудины;  $V_2, V_3, V_4$  – на уровне верхушки сердца;  $V_5, V_6$  – по левой среднеподмышечной линии на уровне верхушки сердца (рис.3).

Все грудные отведения имеют общий отрицательный полюс (отрицательный электрод электрокардиографа, объединяющий электроды правой руки, левой руки и левой ноги), потенциал которого близок к нулю. Положительные полюса соответствуют положению грудных электродов: ось каждого отведения проходит между центром сердца и положением соответствующего грудного электрода [2-4].

**12 отведений** являются **стандартными** и дают основную и, в большинстве случаев, достаточную диагностическую информацию. При необходимости регистрируют и **дополнительные** отведения:

- **по Небу** (между точками на поверхности грудной клетки). Отведения Неба часто применяют при проведении велоэргометрической и других функциональных электрокардиографических проб с физической нагрузкой;

- $V_7-V_9$  (продолжение грудных отведений на левую половину спины);

- $V_3R-V_6R$  (зеркальное отражение грудных отведений  $V_3-V_6$  на правую половину грудной клетки; рис. 3). Эти отведения используют при смещении сердца в грудной полости или при наличии патологий сердца.

ЭКГ состоит из серии зубцов. Отрезок изолинии от конца одного зубца до начала другого называется **сегментом**. Отрезок, состоящий из сегмента и прилегающего зубца, называется **интервалом** [2-4].

### 1.2.3. ЗУБЦЫ ЭКГ

Нормальная ЭКГ человека, полученная во II стандартном отведении, приведена на рис. 4. При анализе ЭКГ определяют амплитуду зубцов в мВ (mV), время их протекания в секундах (с), длительность сегментов – участков изопотенциальной линии между соседними зубцами, и интервалов, включающих в себя зубец и прилегающий к нему сегмент.

ЭКГ состоит из **комплекса зубцов**, к которым относятся: **P, Q, R, S, T** и **U** (рис.4).

Зубцы **P, T** и **U** принято обозначать только прописными буквами, тогда как зубцы **Q, R** и **S** могут также обозначаться и строчными буквами в зависимости от их амплитуды. Зубцы с амплитудой менее 5 мм обозначаются строчными буквами – **q, r, s** [1, 5].

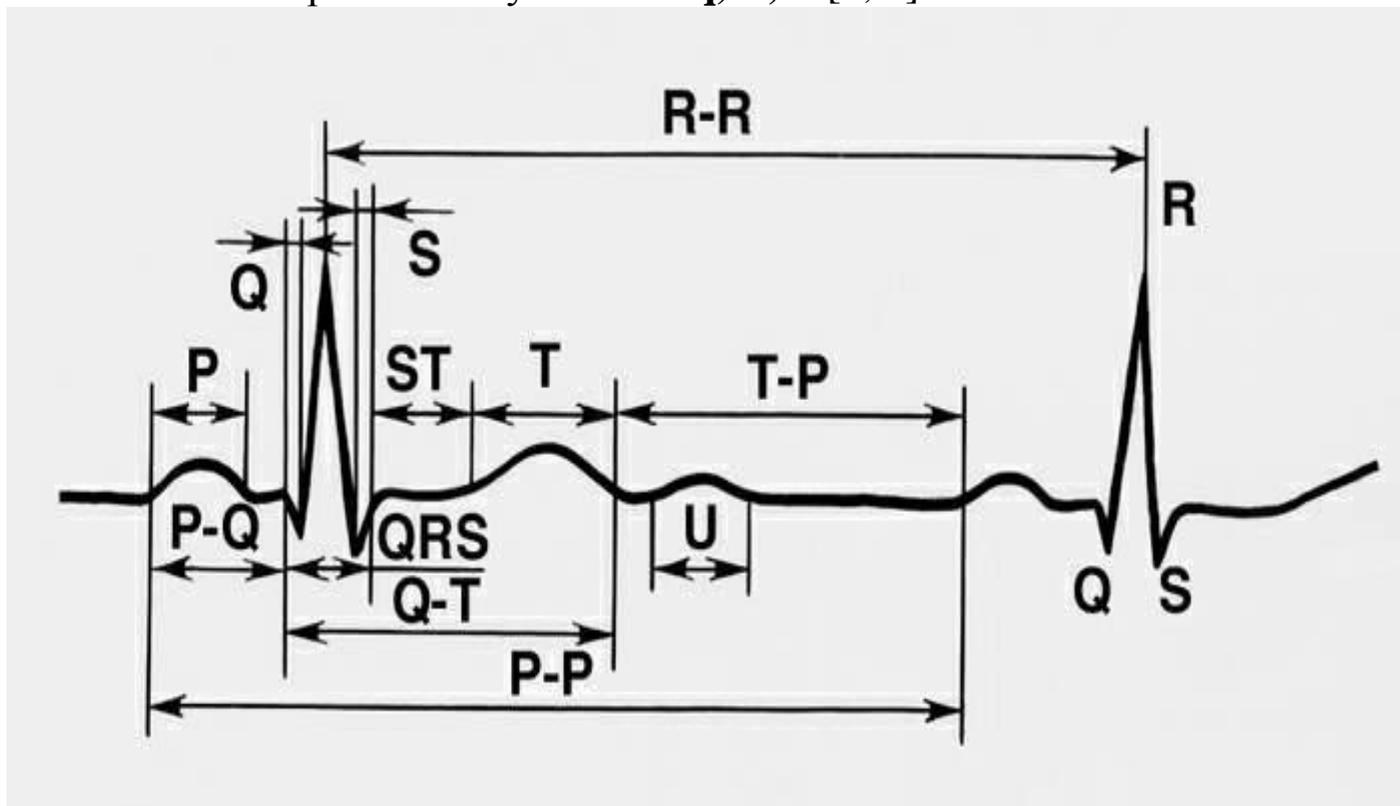


Рис. 4. Схематическое изображение нормальной электрокардиограммы:

**P** – зубец, отражающий ход распространения возбуждения по предсердиям; интервал **P-Q** – время от начала возбуждения предсердий до начала возбуждения желудочков; интервал **Q-T** – время электрической систолы желудочков, включающей распространение возбуждения по желудочкам сердца (комплекс **QRS**, сегмент **RST** и зубец **T**); волна **U**, которая в норме наблюдается не всегда; **R-R (P-P)** – межцикловый интервал; **T-P** – диастолический интервал.

## ЗНАЧЕНИЕ ЗУБЦОВ ЭКГ

**Зубец Р** (рис. 4) отображает охват возбуждением предсердий и получил название предсердного (**деполяризация предсердий**). Далее возбуждение распространяется на предсердно-желудочковый узел и движется по проводящей системе желудочков. В это время электрокардиограф регистрирует изопотенциальную линию (оба предсердия полностью возбуждены, оба желудочка еще не возбуждены, а движение возбуждения по проводящей системе желудочков не улавливается электрокардиографом – **сегмент PQ** на ЭКГ).

В предсердиях возбуждение распространяется преимущественно по сократительному миокарду лавинообразно от синусно-предсердной к предсердно-желудочковой области. Скорость распространения возбуждения по специализированным внутрисердечным пучкам в норме примерно равна скорости распространения по сократительному миокарду предсердия. Поэтому охват возбуждением предсердий отображается монофазным зубцом **P** [1,5].

Охват возбуждением желудочков осуществляется посредством передачи возбуждения с элементов проводящей системы на сократительный миокард, что обуславливает сложный характер **комплекса QRS**, отражающего охват возбуждением желудочков (**деполяризация желудочков**).

При этом зубец **Q** обусловлен возбуждением верхушки сердца, правой сосочковой мышцы и внутренней поверхности желудочков; зубец **R** – возбуждением основания сердца и наружной поверхности желудочков. Процесс полного охвата возбуждением миокарда желудочков завершается к окончанию формирования зубца **S**. Теперь оба желудочка возбуждены, и **сегмент ST** находится на изопотенциальной линии вследствие отсутствия разности потенциалов в возбудимой системе желудочков (рис. 4).

**Зубец T** отражает процессы **реполяризации желудочков**, т. е. восстановление нормального мембранного потенциала клеток миокарда. Эти процессы в различных клетках возникают не строго синхронно. Вследствие этого появляется разность потенциалов между еще деполяризованными участками миокарда (т.е. обладающими отрицательным зарядом) и участками миокарда, восстановившими свой положительный заряд.

Указанная разность потенциалов регистрируется в виде зубца **T** (рис.4). Этот зубец – самая изменчивая часть ЭКГ. Между зубцом **T** и последующим зубцом **P** регистрируется изопотенциальная линия, так как в

это время в миокарде желудочков и в миокарде предсердий нет разности потенциалов [1, 5, 7].

Видимого отображения на ЭКГ зубца соответствующего реполяризации предсердий нет в связи с тем, что он по времени совпадает с мощным комплексом **QRS** и поглощается им. Однако этот зубец называется **Ta (Т-атриум)** и следует за зубцом **P**.

**Зубец U** соответствует реполяризации системы Пуркинье и не всегда присутствует на ЭКГ.

Общая продолжительность электрической систолы желудочков (**Q-T**) почти совпадает с длительностью механической систолы (механическая систола начинается несколько позже, чем электрическая).

### **ЗНАЧЕНИЕ ИНТЕРВАЛОВ ЭКГ**

Расстояния между зубцами ЭКГ определяют временную связь процессов, составляющих сердечный цикл. Интервалом называется расстояние между зубцами ЭКГ, выраженное в секундах (с).

**Интервал P-R** (рис. 4) измеряется от начала зубца **P** до начала комплекса **QRS** (истинное название этого интервала **P-Q**). Продолжительность зубца **P** является составной частью данного интервала. Интервал **P-R** характеризует степень задержки проведения импульса в атриовентрикулярном узле. Следовательно, интервал **P-Q** включает в себя: деполяризацию предсердий, задержку импульса в атриовентрикулярном узле и время, необходимое для распространения импульса к проводящей системе желудочков до начала их деполяризации.

**Интервал Q-T** (рис. 4) измеряется от начала зубца **Q** и до конца зубца **T**. В этот интервал включены длительность комплекса **QRS**, сегмента **ST** и продолжительность зубца **T**. Комплекс **QRS** отражает деполяризацию желудочков, зубец **T** процесс реполяризации желудочков. Следовательно, интервал **Q-T** характеризует всю систолу желудочков.

В том случае, если учитывается длительность зубца **U**, интервал называется **Q-U**. Этот интервал включает в себя также и время необходимое для реполяризации волокон Пуркинье [1, 5, 7].

### **Сегменты ЭКГ**

Амплитуда и направление зубцов ЭКГ рассчитываются по отношению к **изоэлектрической линии**, которая отражает период электрической стабильности миокарда между очередными сердечными циклами, при котором не регистрируются зубцы ЭКГ. Изолинией называют промежуток между концом зубца **T** или **U** (если он регистрируется) и началом зубца **P** следующего сердечного цикла (рис. 4).

### Сегмент P-R

Сегмент **P-R** является частью изоэлектрической линии от конца зубца **P** до начала комплекса **QRS**. В отличие от интервала **P-R**, он не включает в себя длительность зубца **P**.

### Сегмент ST

Сегмент **ST** – это участок изолинии между концом зубца **S** и началом зубца **T**. Точка перехода комплекса **QRS** в сегмент **S-T** называется точкой **j** (от слова *junction* – соединение). Степень отклонения точки **j** от изолинии используется, например, для диагностики ишемии миокарда [1, 5, 7].

## 1.2.4. НОРМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭКГ

**Зубец P** – небольшой, округлой формы; характеризует возбуждение сначала правого, а затем и левого предсердий. Во всех отведениях ЭКГ, кроме двух ( $aVR$ ,  $V_1$ ), зубец **P** положительный. В норме зубец **P** имеет один пик без зазубрины между правым и левым компонентом и обладает следующими характеристиками:

- положительный во всех отведениях, кроме  $aVR$ ,  $V_1$ ;
- одинаковой формы от цикла к циклу;
- полукруглый и имеет один пик;
- амплитуда зубца **0,15-0,25 мВ (1,5-2,5 мм)**;
- ширина зубца менее **0,1 с (2,5 мм)** [3,4].

**Комплекс QRS** – основной положительный комплекс ЭКГ, соответствующий деполяризации правого и левого желудочка. Поскольку правый и левый желудочки активируются синхронно, комплекс **QRS** узкий и имеет заостренные зубцы. Максимальная длительность желудочкового комплекса равна **0,07-0,09 с (до 0,10 с)**, т.е. в среднем составляет **0,08 с (2 мм)**.

**Зубец Q (q)** – отрицательный зубец, и может регистрироваться во всех стандартных и усиленных отведениях от конечностей, а также в  $V_4-V_6$ , и его выявление зависит от ориентации суммарного вектора деполяризации миокарда.

Критерии физиологического зубца **Q**:

- ширина зубца не более **0,04 с**;
- амплитуда не более **25%** от амплитуды зубца **R** [3, 4].

**Зубец R (r)** – основной положительный зубец комплекса **QRS**. Он направлен вверх во всех отведениях за исключением  $aVR$ , в котором зубцы **P** и **T** также инвертированы. Если зубцов несколько, последующие зубцы обозначают **штрихами**:  $R, R', R''$  и т. д.

В отведениях от конечностей амплитуда зубца **R** обычно не превышает 5 мм, тогда как в грудных отведениях она может быть более 10 мм. В норме амплитуда зубца **R** постепенно нарастает от отведения  $V_1$  к отведению  $V_4$ , а затем снижается в  $V_5$  и  $V_6$ .

В отведении  $V_1$  зубец **R** не превышает **0,4 мВ (4 мм)**, а в отведении  $V_6$  достигает **2,5 мВ (25 мм)**.

**Зубец S** – первый отрицательный зубец, следующий за зубцом **R**. Он отражает окончание процесса деполяризации миокарда желудочков и может быть самой разной амплитуды, но обычно не больше **20 мм**. Зубец **S** снижается от  $V_1$  до  $V_4$ , а в  $V_5$ - $V_6$  даже может отсутствовать. В отведении  $V_3$  (или между  $V_2$ - $V_4$ ) обычно регистрируется так называемая “**переходная зона**” (равенство зубцов **R** и **S**) [3-5].

Соотношение амплитуды зубцов **R** и **S** отражает относительный вклад левого и правого желудочков.

**Зубец T** имеет округлую форму и соответствует реполяризации миокарда желудочков. В норме в большинстве отведений зубец **T** положительный (в I, II, aVF,  $V_2$ - $V_6$ , причем  $T_I > T_{III}$ , а  $T_{V6} > T_{V1}$ ). Всегда отрицательный зубец **T** в отведении **aVR**, в котором также инвертированы зубец **P** и комплекс **QRS**.

Амплитуда зубца **T** в норме обычно не превышает **5 мм (0,5 мВ)** в отведениях от конечностей и **10 мм (1 мВ)** в грудных отведениях.

**Зубец U** отражает реполяризацию волокон Пуркинье и регистрируется как небольшой округлый зубец. Часто зубец **U** на ЭКГ отсутствует. По величине зубец **U** значительно меньше зубца **T** и в норме положительный [3-5].

### **Интервал P-R (P-Q)**

Длительность интервала **P-R** измеряется от начала зубца **P** до начала комплекса **QRS**, т.е. до первого зубца этого комплекса – **Q** или **R**.

Поскольку зубец **P** отражает процесс деполяризации предсердий, а комплекс **QRS** формируется в результате деполяризации желудочков, интервал **P-R** характеризует время проведения импульса по АВ-пути. Последнее, в свою очередь, включает в себя деполяризацию предсердий, время физиологической задержки импульса в атриовентрикулярном узле и время, необходимое для распространения возбуждения по пучку Гиса перед началом деполяризации миокарда желудочков.

В норме длительность интервала **P-R** варьирует в пределах **0,12-0,2 с**. При увеличении частоты сердечных сокращений длительность интервала **P-R** сокращается, а при снижении частоты сердечных сокращений интервал **P-R** удлиняется.

## Интервал Q-T

Интервал Q-T измеряется от начала зубца Q до конца зубца T. Комплекс QRS характеризует деполяризацию желудочков, а зубец T реполяризацию желудочков. Следовательно, интервал Q-T отражает процесс систолы обоих желудочков, и поэтому его называют **электрической систолой желудочков**.

Интервал Q-T включает в себя ширину комплекса QRS, длительность сегмента S-T, а также длительность зубца T.

В норме длительность интервала Q-T составляет от 0,35 с до 0,43 с (или  $0,39 \pm 0,04$  с) и зависит от следующих факторов: возраста, пола и частоты сердечных сокращений. При увеличении частоты сердечных сокращений интервал Q-T укорачивается, а при ее замедлении удлиняется.

Сегменты P-R и S-T в норме должны находиться на изолинии [3-5].

### 1.2.5. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ОСЬ СЕРДЦА (ЭОС)

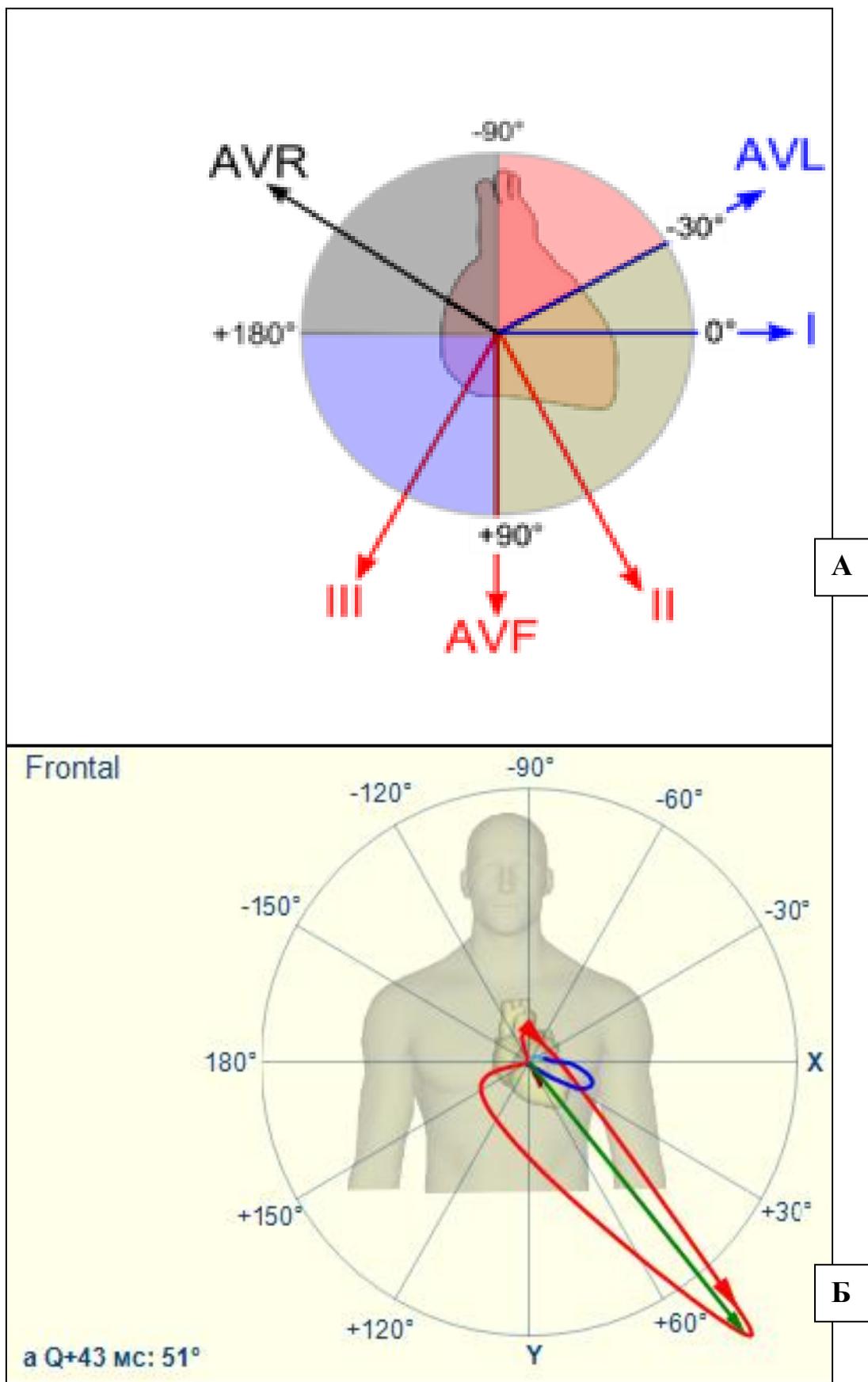
Если нарисовать круг и через его центр провести линии, соответствующие направлениям трех стандартных и трех усиленных отведений от конечностей, то получим **шестиосную систему координат** (рис. 5). При записи ЭКГ в этих шести отведениях записывают 6 проекций суммарной электродвижущей силы (ЭДС) сердца, по которым можно оценить расположение патологического очага и электрическую ось сердца. Отсутствующие отведения заменяются продолжением уже имеющихся.

**Электрическая ось сердца** – это суммарный вектор деполяризации сердца, приводящей к сокращению сердечной мышцы и формирующей зубцы ЭКГ. Учитывая то, что комплекс QRS является основным комплексом ЭКГ, говорят об электрической оси комплекса QRS. Количественно электрическая ось сердца выражается **углом  $\alpha$**  между самой осью и положительной (правой) половиной оси первого стандартного отведения, расположенной горизонтально.

**Правила определения** положения ЭОС во фронтальной плоскости следующие: электрическая ось сердца **совпадает** с тем из шести первых отведений, в котором регистрируются **самые высокие положительные зубцы**, и **перпендикулярна** тому отведению, в котором величина положительных зубцов **равна** величине отрицательных зубцов (рис. 5).

Варианты положения электрической оси сердца:

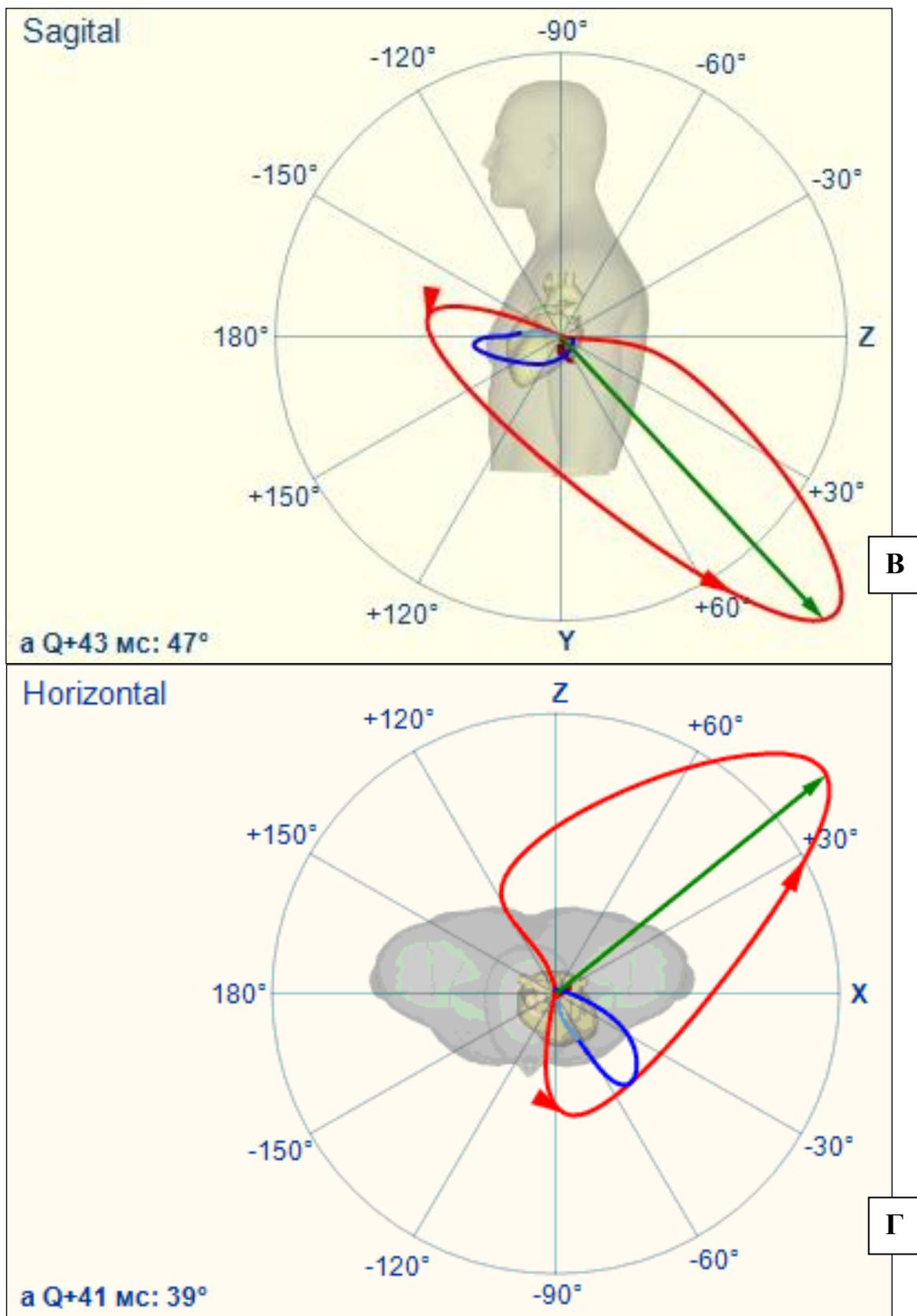
- **нормальное:**  $+30^\circ > \alpha < +69^\circ$ ,
- **вертикальное (вариант нормы):**  $+70^\circ > \alpha < +90^\circ$ ,
- **горизонтальное (вариант нормы):**  $0^\circ > \alpha < -29^\circ$ ,



**Рис. 5. Электрическая ось сердца:**

**А – формирование шестисносной системы координат;**

**Б–схематическое изображение проекции электродвижущей силы сердца во фронтальной плоскости.**



**Рис. 5. Электрическая ось сердца (продолжение рисунка):  
 В, Г – схематическое изображение проекций электродвижущей силы сердца в  
 сагиттальной и горизонтальной плоскостях соответственно.**

- **отклонение оси вправо:**  $+91^\circ > \alpha < +180^\circ$ .

Причинами отклонения ЭОС вправо могут быть: тонкая грудная стенка, заболевания легких, гипертрофия правого желудочка, блокада задней ветви левой ножки пучка Гиса или инфаркт миокарда боковой стенки левого желудочка.

- **отклонение оси влево:**  $-30^\circ > \alpha < -90^\circ$ .

Причинами отклонения ЭОС влево могут быть: ожирение, беременность, асцит, гипертрофия левого желудочка, блокада передней ветви левой ножки пучка Гиса или инфаркт миокарда нижней стенки левого желудочка.

- **резкое отклонение оси вправо:**  $-91^\circ > \alpha < \pm 180^\circ$ .

Причины: врожденные пороки сердца, аневризма левого желудочка.

### 1.3. АНАЛИЗ ЭКГ

Существует общая **схема расшифровки ЭКГ**, которой необходимо придерживаться при анализе любой электрокардиограммы (рис. 6):

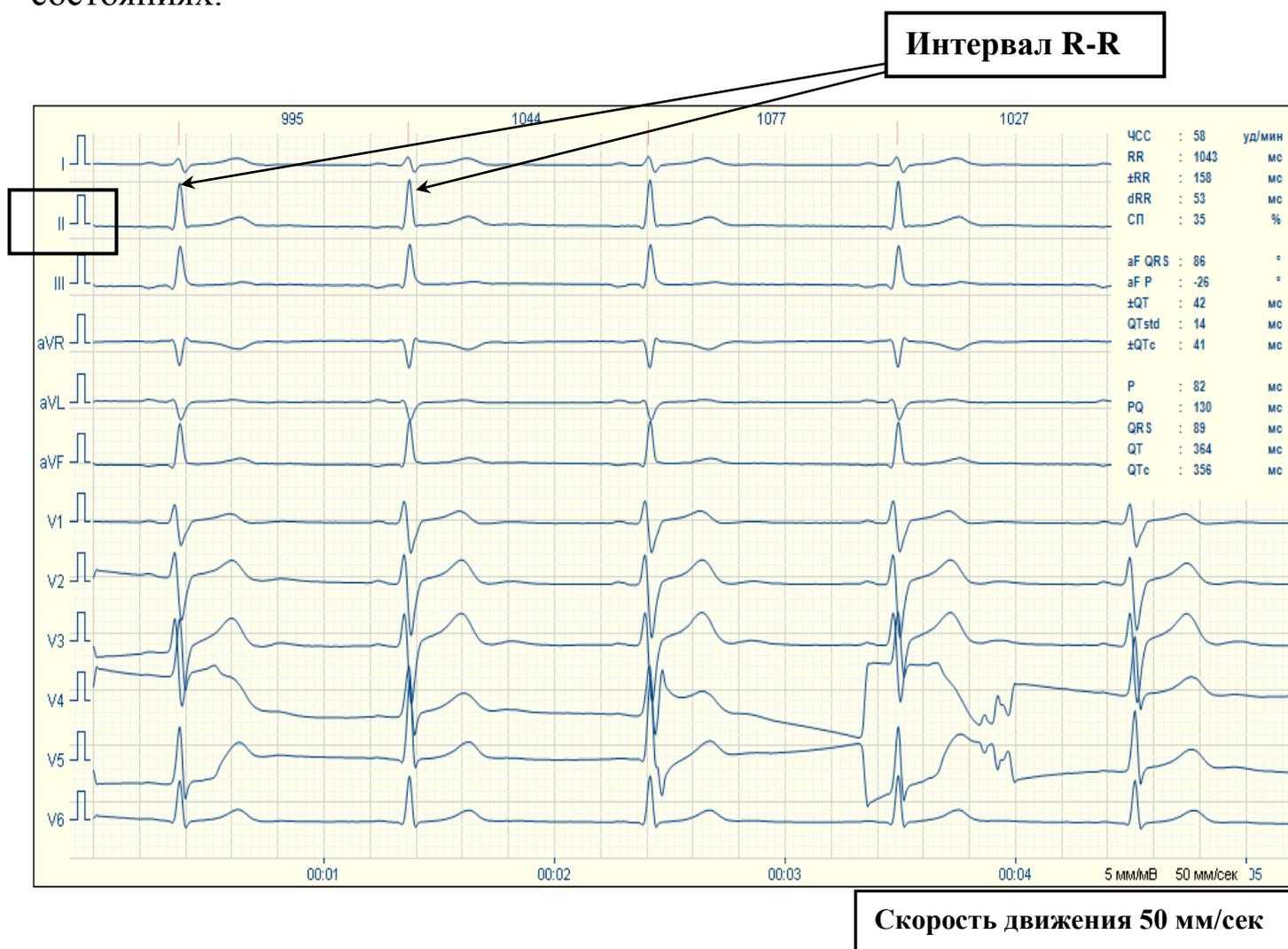
1. Проверка правильности регистрации ЭКГ.
2. Анализ сердечного ритма и проводимости:
  - оценка регулярности сердечных сокращений,
  - подсчет частоты сердечных сокращений (**ЧСС**),
  - определение источника возбуждения,
  - оценка проводимости.
3. Определение электрической оси сердца.
4. Анализ предсердного зубца **P** и интервала **P-Q**.
5. Анализ желудочкового комплекса **QRST**:
  - анализ комплекса **QRS**,
  - анализ сегмента **RS-T**,
  - анализ зубца **T**,
  - анализ интервала **Q-T**.
6. Электрокардиографическое заключение [4].

#### 1) Проверка правильности регистрации ЭКГ.

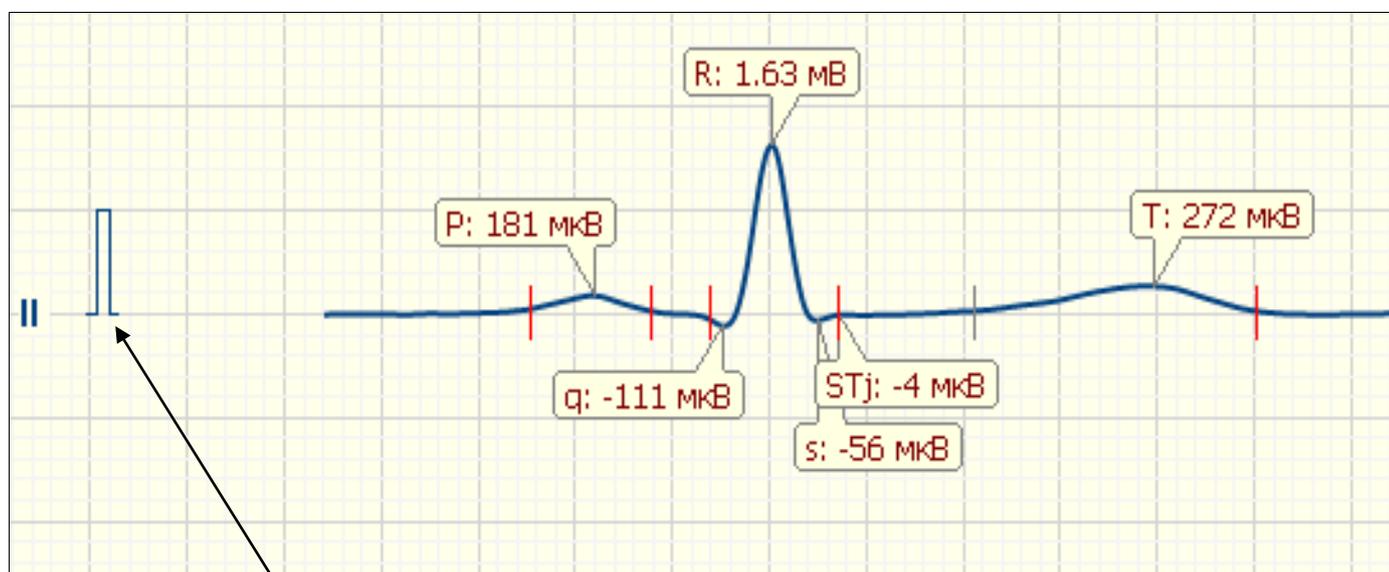
В начале каждой ЭКГ-ленты должен регистрироваться **калибровочный сигнал**, или так называемый **контрольный милливольт** (рис. 7). Для этого в начале записи подается стандартное напряжение в **1 мВ**, которое должно отобразить на ленте отклонение в **10 мм**. Без калибровочного сигнала запись ЭКГ считается неправильной.

В норме, по крайней мере, в одном из стандартных или усиленных отведений от конечностей амплитуда должна превышать **5 мм**, а в грудных отведениях **8 мм**. Если амплитуда ниже, это называется «**сниженный**

**вольтаж ЭКГ», который бывает при некоторых патологических состояниях.**



**Рис. 6. Нормальная электрокардиограмма при регистрации на 12-канальном электрокардиографе.**



**Рис. 7. Контрольный милливольт на ЭКГ (в начале записи).**

## 2) Анализ сердечного ритма и проводимости:

### • оценка регулярности сердечных сокращений

Регулярность ритма оценивается по интервалам **R-R**. Если зубцы находятся на равном расстоянии друг от друга, ритм называется регулярным, или правильным. Допускается разброс длительности отдельных интервалов **R-R** не более  $\pm 10\%$  от их средней длительности. Если ритм синусовый, он обычно является правильным.

### • подсчет частоты сердечных сокращений (ЧСС)

На ЭКГ-ленте напечатаны большие квадраты, каждый из которых включает в себя 25 маленьких квадратиков: 5 по вертикали  $\times$  5 по горизонтали. Один маленький квадратик по вертикали соответствует 0,2 мВ, один маленький квадратик по горизонтали соответствует 0,04 с.

На ЭКГ, представленной на рис.6, во II отведении интервал **R-R** равен примерно 5 больших (или 25 маленьких) клеточек. В данном случае, при скорости 50 мм/с длительность интервала **R-R** будет примерно равна 1 секунде ( $0,04\text{с} \times 25$ ). Следовательно, **ЧСС** будет равна примерно **60 уд/мин.**

При правильном ритме **ЧСС** определяют по формуле:  $\text{ЧСС} = 60/\text{R-R}$ , где **60** – число секунд в минуте, **R-R** – длительность интервала, выраженная в секундах. Гораздо удобнее определять **ЧСС** с помощью специальных таблиц в которых каждому значению интервала **R-R** соответствует заранее вычисленная **ЧСС** (табл. 1).

Таблица 1.

Зависимость ЧСС от длительности интервала R-R

Длительность интервала R-R, с	ЧСС, уд/мин.	Длительность интервала R-R, с	ЧСС, уд/мин.
1.50	40	0.85	70
1.40	43	0.80	75
1.30	46	0.75	80
1,25	48	0.70	86
1.20	50	0.65	82
1.15	52	0.60	100
1.10	54	0.55	109
1.05	57	0.50	120
1.00	60	0.45	133
0.95	63	0.40	150
0.90	66	0.35	172

При неправильном ритме обычно считают максимальную и минимальную ЧСС согласно длительности самого маленького и самого большого интервала **R-R** соответственно.

- **определение источника возбуждения**

Необходимо определить, где находится **водитель ритма**, который вызывает сокращения предсердий и желудочков. Иногда это один из самых сложных этапов, т.к. различные нарушения возбудимости и проводимости могут очень запутанно сочетаться, что способно привести к неправильному диагнозу и неправильному лечению. Чтобы правильно определять источник возбуждения на ЭКГ, нужно хорошо знать проводящую систему сердца.

**Синусовый ритм** – это нормальный ритм возникновения и распространения возбуждения. Источник возбуждения находится в **синусно-предсердном узле**, возбуждение распространяется по предсердиям сверху вниз.

Признаки на ЭКГ:

- во II стандартном отведении зубцы **P** всегда положительные и находятся перед каждым комплексом **QRS**;
- зубцы **P** в одном и том же отведении имеют постоянную одинаковую форму.

**Предсердный ритм.** Если источник возбуждения находится в нижних отделах предсердий, то волна возбуждения распространяется на предсердия снизу вверх (ретроградно), поэтому:

- во II и III отведениях зубцы **P** отрицательные;
- зубцы **P** есть перед каждым комплексом **QRS**.

**Ритмы из атриовентрикулярного узла.** Если водитель ритма находится в атриовентрикулярном (**предсердно-желудочковом**) узле, то желудочки возбуждаются как обычно (сверху вниз), а предсердия ретроградно (т.е. снизу вверх). При этом на ЭКГ:

- зубцы **P** могут отсутствовать, потому что наслаиваются на нормальные комплексы **QRS**;
- зубцы **P** могут быть отрицательными, располагаясь после комплекса **QRS**;
- ЧСС при ритме из атриовентрикулярного узла меньше синусового ритма и равна примерно 40-60 уд./мин [1, 5-7].

**Желудочковый, или идиовентрикулярный ритм** (от лат. *ventriculus* – желудочек). В этом случае источником ритма является проводящая система желудочков. Возбуждение распространяется по желудочкам неправильными путями и потому медленнее.

Особенности идиовентрикулярного ритма:

– комплексы **QRS** расширены и деформированы (выглядят “страшновато”). В норме длительность комплекса **QRS** равна **0,06-0,10 с**, поэтому при таком ритме **QRS** превышает **0,12 с**;

– нет никакой закономерности между комплексами **QRS** и зубцами **P**, потому что атриовентрикулярный узел не выпускает импульсы из желудочков, а предсердия могут возбуждаться из синусового узла как и в норме;

– **ЧСС** менее 40 уд./мин.

#### • оценка проводимости

Для правильного учета проводимости учитывают скорость записи.

Для оценки проводимости измеряют:

○ длительность зубца **P** (отражает скорость проведения импульса по предсердиям). В норме составляет до **0,1 с**.

○ длительность интервала **P-Q** (отражает скорость проведения импульса от предсердий до миокарда желудочков). Интервал **P-Q** равен длительности зубца **P** и сегмента **P-Q**. В норме он составляет **0,12-0,20 с**.

○ длительность комплекса **QRS** (отражает распространение возбуждения по желудочкам). В норме составляет **0,06-0,10 с**.

○ **интервал внутреннего отклонения** в отведениях  $V_1$  и  $V_6$  (время между началом комплекса **QRS** и зубцом **R**). В норме в  $V_1$  - до **0,03 с** и в  $V_6$  - до **0,05 с**. Используется в основном для распознавания блокад ножек пучка Гиса и для определения источника возбуждения в желудочках в случае желудочковой экстрасистолы (внеочередного сокращения сердца) [1,5-7].

### 3) Определение электрической оси сердца.

Для быстрого нахождения ЭОС необходимо определить направления преобладающих зубцов комплекса **QRS** в отведениях  $I$  и  $aVF$  (положительные или отрицательные), и отложить их в шестиосной системе. В секторе, заключенном между отложенными векторами, располагается электрическая ось сердца (рис.5) [4-7].

### 4) Анализ предсердного зубца **P**.

В норме в отведениях  $I$ ,  $II$ ,  $aVF$ ,  $V_2-V_6$  зубец **P** всегда **положительный**. В отведениях  $III$ ,  $aVL$ ,  $V_1$  зубец **P** может быть положительным или двухфазным (одна часть зубца положительная, а другая отрицательная). В отведении  $aVR$  зубец **P** всегда **отрицательный**.

В норме длительность зубца **P** не превышает **0,10 с**, а его амплитуда **1,5-2,5 мм**.

Патологические отклонения зубца **P**:

- Заостренные высокие зубцы **P** нормальной продолжительности в отведениях II, III, aVF характерны для **гипертрофии правого предсердия**, например, при “легочном сердце”.

- Расщепленный с двумя вершинами, расширенный зубец **P** в отведениях I, aVL, V<sub>5</sub>, V<sub>6</sub> характерен для **гипертрофии левого предсердия**, например, при пороках митрального клапана.

Интервал **P-Q**: в норме **0,12-0,20 с**.

Увеличение данного интервала бывает при нарушенном проведении импульсов через предсердно-желудочковый узел (**атриовентрикулярная блокада**) [1, 5-7].

## **5) Анализ желудочкового комплекса QRST.**

### **- анализ комплекса QRS:**

Максимальная длительность желудочкового комплекса равна **0,07-0,09с** (до 0,10 с). Длительность увеличивается при любых блокадах ножек пучка Гиса.

В норме зубец **Q** может регистрироваться во всех стандартных и усиленных отведениях от конечностей, а также в V<sub>4</sub>-V<sub>6</sub>. Амплитуда зубца **Q** в норме не превышает **1/4 высоты зубца R**, а длительность **0,03 с**. В отведении aVR в норме бывает глубокий и широкий зубец **Q** и даже комплекс **QS**.

Зубец **R**, как и **Q**, может регистрироваться во всех стандартных и усиленных отведениях от конечностей. От V<sub>1</sub> до V<sub>4</sub> амплитуда нарастает (при этом зубец r<sub>V1</sub> может отсутствовать), а затем снижается в V<sub>5</sub> и V<sub>6</sub>.

Зубец **S** может быть самой разной амплитуды, но обычно не больше 20 мм. Зубец **S** снижается от V<sub>1</sub> до V<sub>4</sub>, а в V<sub>5</sub>-V<sub>6</sub> даже может отсутствовать. В отведении V<sub>3</sub> (или между V<sub>2</sub>-V<sub>4</sub>) обычно регистрируется “**переходная зона**” (равенство зубцов **R** и **S**) [1, 5-7].

### **- анализ сегмента RS-T:**

Сегмент **S-T** (RS-T) является отрезком от конца комплекса **QRS** до начала зубца **T**. Сегмент **S-T** особенно внимательно анализируют при ИБС, так как он отражает недостаток кислорода (ишемию) в миокарде.

В норме сегмент **S-T** находится в отведениях от конечностей на изолинии (**± 0,5 мм**). В отведениях V<sub>1</sub>-V<sub>3</sub> возможно смещение сегмента **S-T** вверх (не более 2 мм), а в V<sub>4</sub>-V<sub>6</sub> вниз (не более 0,5 мм) [1,5-7].

### - анализ зубца Т:

Зубец Т отражает процесс реполяризации миокарда желудочков. В большинстве отведений, где регистрируется высокий R, зубец Т также положительный. В норме зубец Т всегда положительный в I, II, aVF, V<sub>2</sub>-V<sub>6</sub>, причем T<sub>I</sub> > T<sub>II</sub>, а T<sub>V6</sub> > T<sub>V1</sub>. В aVR зубец Т всегда отрицательный.

### - анализ интервала Q-T:

Интервал Q-T называют электрической систолой желудочков, потому что в это время возбуждаются все отделы желудочков сердца. Иногда после зубца Т регистрируется небольшой зубец U, который образуется из-за кратковременной повышенной возбудимости миокарда желудочков после их реполяризации.

## б) Электрокардиографическое заключение.

Должно включать:

1. Источник ритма (синусовый или нет).
2. Регулярность ритма (правильный или нет). Обычно синусовый ритм является правильным, хотя возможна дыхательная аритмия.
3. ЧСС.
4. Положение электрической оси сердца.
5. Наличие 4-х синдромов:
  - нарушение ритма,
  - нарушение проводимости,
  - гипертрофия и/или перегрузка желудочков и предсердий,
  - повреждение миокарда (ишемия, дистрофия, некрозы, рубцы).

### Примеры ЭКГ-заключений:

- Синусовый ритм с ЧСС 65 уд/мин. Нормальное положение электрической оси сердца. Патологии не выявлено.
- Синусовая тахикардия с ЧСС 100 уд/мин. Единичная наджелудочковая экстрасистолия.
- Ритм синусовый с ЧСС 70 уд/мин. Неполная блокада правой ножки пучка Гиса, умеренные метаболические изменения в миокарде.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дощицин В.Л. Практическая электрокардиография / Дощицин В.Л. – М.: Медицина, 1987. – 336с.
2. Зудбинов Ю.И. Азбука ЭКГ / Зудбинов Ю.И. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2003. – 161с.
3. Лутра А. ЭКГ понятным языком / Лутра А.: пер. с англ. – М.: Практическая медицина, 2010. – 208 с.
4. Мурашко В.В. Электрокардиография / Мурашко В.В., Струтынский А.В. – М.: МЕДпресс-информ, 2007. – 317с.
5. Орлов В.Н. Руководство по электрокардиографии / Орлов В.Н. – М.: МИА, 1997. – 605с.
6. Хемптон Д.Р. Основы ЭКГ / Хемптон Д.Р.: пер. с англ. Плешкова Ф.И. – М.: Медицинская литература, 2006. – 223с.
7. Циммерман Ф. Клиническая электрокардиография / Циммерман Ф.: пер. с англ. – М.: Бином, 2006. – 424с.

## Раздел 2. НАГРУЗОЧНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ. ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ НАГРУЗОЧНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ В СПОРТЕ

**Функциональные пробы сердечно-сосудистой системы** специфичны для практики медицины, спортивной медицины, спортивной физиологии, реабилитации. Функциональные пробы с физической нагрузкой, являющиеся одним из главных разделов комплексной методики обследования спортсменов, дают представление о приспособительных механизмах организма к выполнению физических нагрузок.

**О функциональной способности организма спортсмена** в значительной мере судят по состоянию сердечно-сосудистой системы, которая лимитирует транспорт кислорода при физических нагрузках и тесно связана с регуляторными нейроэндокринными механизмами. Таким образом, состояние аппарата кровообращения в наибольшей степени отражает реакцию организма как целого на физическую нагрузку.

**Использование функциональных проб** с физическими нагрузками дает возможность получать объективные данные о функциональном состоянии сердечно-сосудистой системы и организма спортсмена в целом, выявлять ранние нарушения работоспособности. Исследования в динамике с применением проб позволяют наблюдать за изменениями функционального состояния спортсменов на протяжении длительного периода занятий спортом, а также изучать адаптацию сердечно-сосудистой системы к изменениям условий внешней среды.

Как известно, физическая нагрузка требует существенного повышения функциональной активности сердечно-сосудистой системы, от которой (вместе с системами дыхания и крови) зависит обеспечение работающих мышц достаточным количеством кислорода и выведение из тканей углекислоты. Иначе говоря, при физической нагрузке необходимо доставлять на периферию возможно большее количество крови.

**Сердечно-сосудистая система обладает рядом механизмов**, обеспечивающих выполнение этой задачи. Прежде всего, это гемодинамические факторы: увеличение ЧСС, систолического выброса за счет расширения полостей сердца, ускорение кровотока в 3 раза (эритроциты проходят большой круг кровообращения за 8 с вместо 24 с в покое), увеличение массы циркулирующей крови, а также изменение АД. Степень изменения гемодинамических показателей в значительной мере зависит от их исходных величин в состоянии покоя. Из всех

гемодинамических показателей наиболее простыми и нашедшими широкое применение являются исследование ЧСС и АД.

Линейная взаимосвязь между ЧСС и интенсивностью нагрузки наблюдается при мощности нагрузки соответствующей 50-90% от максимального потребления кислорода (МПК). При нагрузках средней интенсивности начальный прирост ЧСС может быть более выраженным. Стабилизация пульса у нетренированных лиц наблюдается при таких нагрузках, когда ЧСС не превышает так называемую границу выносливости – 130 уд/мин. При более тяжелой работе пульс все время продолжает учащаться [1].

Сердце спортсмена обладает способностью приспособливаться к длительной физической нагрузке в основном за счет увеличения систолического объема и, в меньшей степени, за счет увеличения ЧСС. В норме при функциональной пробе с физической нагрузкой происходят однонаправленные изменения АД и ЧСС.

АД реагирует на нагрузку повышением максимального давления, что указывает на увеличение силы сердечных сокращений, а также некоторым снижением минимального АД (так как уменьшается периферическое сопротивление вследствие расширения артериол, что обеспечивает доступ большего количества крови к работающим мышцам). Соответственно повышается пульсовое давление, что косвенно свидетельствует об увеличении ударного объема сердца, учащается пульс. Все эти изменения возвращаются к исходным данным в течение 3-5 мин. Причем, чем быстрее это происходит, тем лучше функциональная активность сердечно-сосудистой системы.

#### **Задачей проведения нагрузочных тестов является:**

- ✓ Детальная оценка функционального состояния и резервов сердечно-сосудистой и дыхательной систем;
- ✓ Определение вероятности развития сердечно-сосудистых заболеваний. В первую очередь – это выявление доклинических форм коронарной недостаточности, а также прогнозирование течения подобных заболеваний;
- ✓ Определение эффективности и подбор оптимальных профилактических, терапевтических и реабилитационных мероприятий для больных сердечно-сосудистыми заболеваниями;
- ✓ Оценка функционального состояния и эффективности физической реабилитации выздоравливающих после хронических заболеваний.

## 2.1. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ НАГРУЗОЧНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

**Нагрузочное тестирование** проводят в присутствии врача знакомого с основами спортивной кардиологии. Он выбирает величину нагрузки и дает указания для ее прекращения. Тестированию с максимальными нагрузками обязательно должно предшествовать медицинское обследование (анамнез, физикальное исследование, ЭКГ) на основании которого выдается допуск.

**Основные противопоказания к нагрузочному тестированию спортсменов:**

- ✓ острые заболевания (простуда и др.);
- ✓ повышенная температура тела (выше 37,5 °С);
- ✓ частота сердечных сокращений выше 100 уд./мин в покое;
- ✓ отсутствие разрешения врача принимать участие в тестах с максимальными и субмаксимальными нагрузками.

Примечание:

- ✓ менструация не является противопоказанием;
- ✓ для мужчин старше 40 лет обязательно снятие ЭКГ.

**Требования к помещению для тестирования.**

Помещение, в котором проводится нагрузочное тестирование, должно быть достаточно просторным, чтобы в нём могло свободно разместиться необходимое оборудование. Рекомендуемая площадь должна составлять не менее 46,4 м<sup>2</sup>. Помещение должно быть чистым, хорошо освещенным и вентилируемым, оснащенным термометром, гигрометром и барометром для контроля температуры, влажности воздуха и атмосферного давления.

Комфортной считается температура 18-22 °С, а при достаточной вентиляции и непродолжительном тесте допускается повышение температуры до 26 °С. Прохладная и сухая среда (менее 50% влажности) увеличивает теплоотдачу кожи. Наличие вентилятора способствует контролю температуры и влажности в помещении.

Современные кардиопульмональные системы автоматически учитывают состояние окружающей среды. Уровень постороннего шума должен быть минимизирован [7].

**Подготовка к проведению тестирования.**

- ✓ обследуемый должен быть проинструктирован, что в день тестирования за 3 часа до проведения пробы необходимо съесть легкий завтрак, исключая кофе, крепкий чай и алкоголь;

- ✓ в последующее время между завтраком и тестированием он не должен больше ничего есть. Также исключаются кофе, чай, никотин и алкоголь;
- ✓ одежда обследуемого должна быть удобной. Особенно это касается обуви (легкие кроссовки, кеды);
- ✓ обследуемый должен исключить тяжелые физические нагрузки как минимум за 12 часов до проведения исследования;
- ✓ в день тестирования физическая активность должна быть минимальной. За час до начала исследования обследуемый должен отдыхать;
- ✓ перед тестом обследуемый не должен принимать лекарств (за исключением специальных целей).

## **2.2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ**

### **1) Запись ЭКГ.**

#### ***Подготовка кожи***

Наиболее уязвимым местом в системе электрод-усилители-запись является контакт между электродом и кожей. При использовании современных одноразовых электродов после бритья (если необходимо) кожа протирается влажной салфеткой. Это обеспечивает ее дальнейшее обезжиривание и одновременно способствует гидратации ее наружного слоя [6].

#### ***Регистрируемые отведения***

При записи ЭКГ в 12-ти отведениях (модифицированные отведения) электроды с рук располагаются по возможности как можно ближе к плечам (или на область ключиц), а электроды с ног – ниже пупка на область подвздошных костей или в поясничной области, или на спину в области угла лопаток. Последний вариант удобен тем, что для фиксирования многоцветных электродов ( $V_1$ - $V_6$  и электроды, перемещенные с ног на область лопаток) может быть использована одна широкая лента [5]. Учитывая, что использование указанных модификаций смещения электродов может повлиять на амплитуду зубцов и сегмент ST, для выявления этих изменений необходимо до начала теста записать ЭКГ покоя в положении больного лежа на спине. Используемая модификация размещения электродов должна быть отмечена в заключении.

## **2) Контроль артериального давления.**

Мануальное определение артериального давления остается наиболее простым и точным способом его измерения. Существует целый ряд автоматизированных устройств, позволяющих измерять АД во время нагрузки, но из-за помех, связанных с движением, они не позволяют правильно оценить уровень АД при нагрузках высокой интенсивности.

Желательно иметь манжеты различных размеров, включая большой и детский. Манометр должен устанавливаться на уровне сердца. Сфигмоманометры и манжеты вместе с другим оборудованием должны чиститься и регулярно проверяться.

## **3) Подбор нагрузки и проведение тестирования.**

**Нагрузка должна быть с одной стороны плавно-нарастающей, а с другой – достаточной для достижения потребления кислорода, составляющего 70-75% от МПК (соответствует приблизительно 75-85% от максимальной возрастной ЧСС) [2,3].** Только в этом случае достигается достаточно точная оценка физической работоспособности и адекватности реакции АД и ЧСС на нагрузку. При этом необходимо учитывать индивидуальные характеристики обследуемых: пол, возраст, массу тела, рост, тренированность (рис.8).

При выполнении нагрузки на велоэргометре обычно **ступени увеличивают на 25 Вт каждые 3 минуты** до появления у обследуемого критериев прекращения нагрузки.

**Общая длительность выполнения** должна быть не менее 6 мин, но и не более 12 мин.

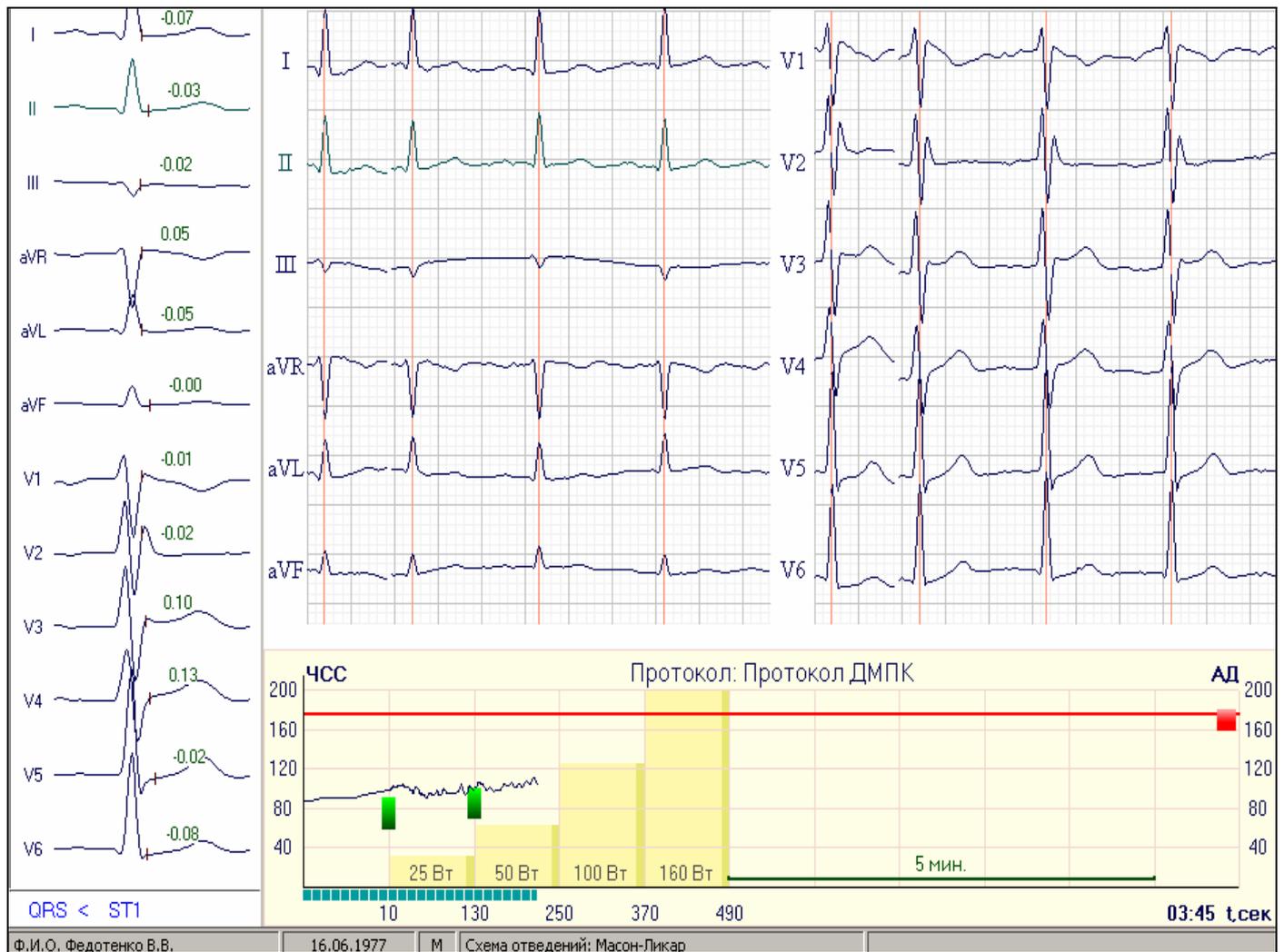
**Самые максимальные величины потребления кислорода ( $VO_2$ ) и ЧСС достигаются при скорости вращения педалей 50-80 об/мин. (обычно 60 об/мин).** Велоэргометры калибруются в килопондо- или килограммометрах (кп, кгм), или ваттах.

**1 ватт (1 W) эквивалентен 6,1 килопондо-метрам за минуту (кпм/мин, кгм/мин).**

$$1 \text{ кгм} = 1 \text{ Джоуль} = 10 \text{ эрг.}$$

**Уровень первой ступени желателен следующий:**

- а) 25-50 Вт для детей, подростков, женщин и старых людей;
- б) 50-100 Вт для мужчин от 20 до 30 лет;
- в) 50-100 Вт для тренированных женщин;
- г) 100-200 Вт для тренированных мужчин.



**Рис. 8. Пример анализа пробы со ступенчато повышающейся нагрузкой с использованием автоматизированного комплекса «КардиоЛаб Вело».**

**Измеряемые параметры в течение каждой минуты выполнения теста:**

- пульс (ЧСС),
- ЭКГ,
- артериальное давление.

**Показания к прекращению пробы:**

- ✓ испытуемый не в состоянии продолжать работу из-за утомления (отказ от выполнения пробы);
- ✓ снижение артериального давления на 25-30% ниже исходного уровня;
- ✓ чрезмерное, не соответствующее возрасту, повышение систолического артериального давления (240-250 мм рт.ст.);

- ✓ диастолическое артериальное давление превышает 125 мм рт.ст.;
- ✓ приступ удушья, недомогание, бледность или цианоз кожи лица, холодный пот, головокружение, тошнота, боль за грудиной;
- ✓ достижение максимальной или субмаксимальной возрастной частоты сердечных сокращений;
- ✓ отклонения в ЭКГ (снижение интервала ST больше чем на 0,2 мВ, появление желудочковых экстрасистолических комплексов, нарушение проводимости и др.);

При резком прекращении нагрузки иногда наблюдается гипотензия позы (гравитационный шок), которая может вызвать аритмию. Поэтому нагрузку следует снижать постепенно и регистрировать ЭКГ еще 5-6 мин после ее окончания.

### **2.3. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАГРУЗОЧНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ**

#### **Физиологическая реакция на нагрузку:**

**1. Увеличение ЧСС** (в меньшей степени выражено у спортсменов).

**2. Увеличение систолического АД** (у молодых людей систолическое давление обычно не превышает 200 мм рт. ст., а у пожилых 230 мм рт. ст.). Одновременно имеет место снижение или небольшое увеличение диастолического АД. У спортсменов иногда имеются признаки более быстрого увеличения систолического и более выраженного снижения диастолического давления.

#### **3. Физиологические изменения ЭКГ:**

- С повышением мощности нагрузки наблюдается пропорциональное увеличение ЧСС, укорочение интервалов **P-Q** и **Q-T**;

- Появление заостренных зубцов **P** и депрессия (снижение) сегмента **P-R** при значительной ЧСС, небольшое снижение вольтажа зубца **R**, изменение сегмента **S-T** – слегка нарастающая депрессия сегмента **S-T** (1-2 мм и длительностью менее 0,06 с) с депрессией точки **J**;

- Увеличение или снижение амплитуды зубца **T**, возникновение отрицательных зубцов **T** – признаки неспецифические. Наибольшая депрессия сегмента **S-T** может наблюдаться при изменениях положения тела и у здоровых лиц после нагрузки.

**4. Появление одышки, утомляемости, потливости, головной боли, ощущения жара и т.д.**

Заключения о нарушениях сердечного ритма, проводимости, возбудимости и др. базируются на положениях, используемых при оценке ЭКГ покоя.

По характеру изменения пульса и АД различают два типа реакций на выполненную нагрузку: благоприятные и неблагоприятные, или атипические.

**К благоприятным относятся:** нормотонический тип реакции и дистонический с феноменом бесконечного тона на первой минуте отдыха и полным восстановлением в отведенный срок [7] (рис. 9, табл.2).

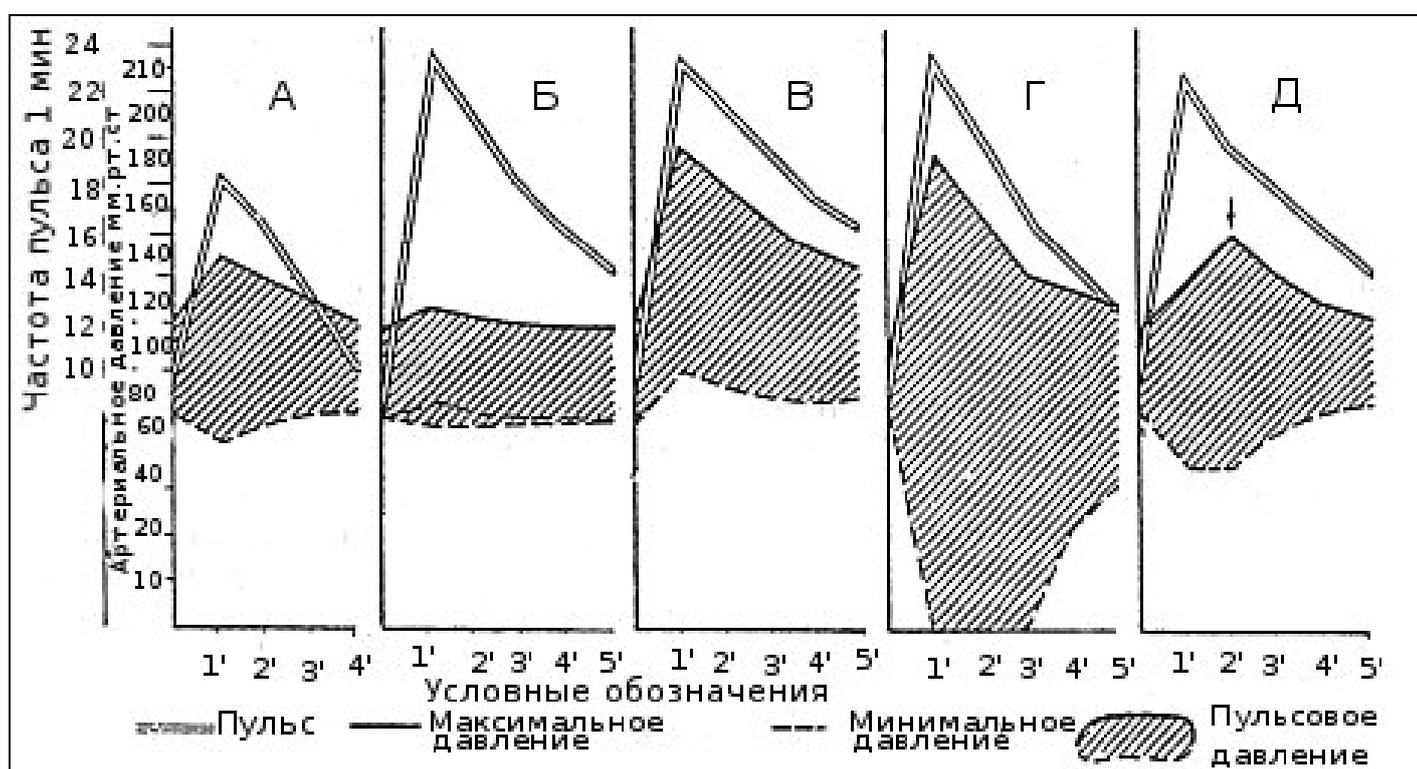


Рис. 9. Типы реакций сердечно-сосудистой системы на физическую нагрузку и их оценка: А – нормотонический, Б – гипотонический, В – гипертонический, Г – дистонический, Д – ступенчатый (Карпман В.Л., Белоцерковский З.Б., Гудков И.А., 1988) [2].

**К неблагоприятным реакциям относятся:**

- дистонический с феноменом бесконечного типа на второй-третьей минуте восстановления;
- гипертонический;
- со ступенчатым возрастанием систолического артериального давления (САД);

- астенический (гипотонический) [4,7] (рис. 9, табл.2).

Исследователь обязан определять тип реакции при обследовании спортсменов, и при наличии атипичных реакций выяснить их причину. Спортсмен с атипичными реакциями на физическую нагрузку к соревнованиям или тренировкам не допускается.

**Таблица 2.**

**Постнагрузочные изменения ЧСС и АД при различных типах реакции сердечно-сосудистой системы (Макарова Г.А., 2003) [4]**

Тип реакции	Постнагрузочные изменения				
	ЧСС	САД	ДАД	ПД	Время восстановления
<b>Соответствуют норме</b>					
Нормотонический 1-я нагрузка	Возрастает на 60-80%	Повышается на 15-30%	Снижается на 10-35%	Повышается на 60-80%	До 3 минут
Нормотонический 2-я нагрузка	Возрастает на 80-100%	Повышается адекватно	Снижается на 10-35%	Повышается на 80-100%	До 4 минут
Нормотонический 3-я нагрузка	Возрастает на 100-120%	Повышается адекватно	Снижается на 10-35%	Повышается на 100-120%	До 5 минут
<b>Атипичские</b>					
Дистонический	Умеренно возрастает	Повышается до 180-200 мм Hg	«феномен бесконечного тона»	Не определяется	1-2 минуты (вариант нормы)
Гипертонический	Резко возрастает	Резко повышается до 200-220 мм Hg	Значимых изменений нет	Резко повышается за счет подъема САД	Резко увеличено
Со ступенчатым подъемом АД	Резко возрастает	Повторно повышается на 2-3 мин. отдыха	Значимых изменений нет	Повышается вследствие подъема САД	Увеличено т.к. продолжается подъем САД
Гипотонический	Резко возрастает на 120-150%	Значимых изменений нет	Значимых изменений нет	Значимых изменений нет (-25% +12%)	Резко увеличено

**Нормальный ответ ЭКГ на нагрузку при неизменной ЭКГ покоя.**

**Зубец Р.** Во время нагрузки вектор зубца Р становится более вертикальным, и величина зубца Р возрастает в нижних отведениях. Нет существенных изменений продолжительности зубца Р.

**PR-сегмент.** Сегмент **PR** во время нагрузки укорачивается и снижается в нижних отведениях. Снижение его связано с предсердной реполяризацией и может оказаться причиной ложноположительной депрессии **ST** в нижних отведениях. У обследуемых с ложноположительным результатом теста, обусловленным этой причиной, обычно отмечается высокая **ЧСС** на пике нагрузки, отсутствие боли в груди и хорошо видимое снижение сегмента **PR** в нижних отведениях.

**Комплекс QRS.** Зубец **Q** меняется незначительно в сравнении с **Q**-покоя, однако он становится немного более глубоким на максимальных нагрузках. Изменения амплитуды **R** отмечаются при близких к максимальным нагрузкам. Резкое снижение **R** наблюдается в боковых отведениях ( $V_5$ ) на максимуме нагрузки при максимальном тесте и в первую минуту восстановления.

В боковых и вертикальных отведениях ( $V_5$  и  $aVF$ ) зубец **S** становится большим по глубине, наиболее глубоким оказывается при максимальном усилии, а затем постепенно возвращается к исходным значениям в период восстановления. Соответственно снижению зубца **R** увеличивается глубина зубца **S**.

**Депрессия точки J.** Точка **J** при увеличении нагрузки смещается вниз с наибольшей выраженностью в боковых отведениях и постепенно возвращается к исходному уровню в периоде восстановления. Ее депрессия наблюдается во всех отведениях с максимумом на первой минуте отдыха.

У лиц с исходным подъемом точки **J** на ЭКГ покоя (при исходном синдроме ранней реполяризации желудочков) на фоне нагрузки она может снизиться до изолинии. Это является обычным явлением и не свидетельствует о патологической реакции. При последующем отдыхе точка **J** возвращается к предтестовому уровню.

**Сегмент ST.** В норме вектор сегмента **ST** как при тахикардии, так и при физической нагрузке направлен вправо и вверх, т.е. сегмент **ST** имеет косовосходящее направление.

**Зубец T.** Постепенное снижение амплитуды зубца **T** наблюдается во всех отведениях на ранних ступенях нагрузки. На максимуме нагрузки **T** начинает повышаться, а к первой минуте отдыха в боковых отведениях его амплитуда возвращается к исходной.

**Волна U.** Не отмечается существенных изменений волны **U** на фоне нагрузки. Кроме того, на фоне учащения **ЧСС** ее трудно распознать из-за близкого расположения зубцов **T** и **P** [7].

Исследователь не только определяет тип реакции, он еще дает ей оценку. Реакция сердечно-сосудистой системы на функциональную пробу считается хорошей, если при нормальных исходных данных ЧСС и АД после нагрузки наблюдается нормотоническая реакция.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Аулик И. В. Определение физической работоспособности в клинике и спорте / И. В. Аулик. – М.: Медицина, 1990. – 192 с.
2. Карпман В. Л. Тестирование в спортивной медицине / В. Л. Карпман, З.Б. Белоцерковский, И.А. Гудков. – М.: ФиС, 1988. – 208 с.
3. Липовецкий Б. М. Функциональная оценка коронарного кровотока у человека / Б. М. Липовецкий. – Л.: Медицина, 1985. – 164 с.
4. Макарова Г. А. Спортивная медицина: учебник / Г. А. Макарова. – М.: Советский спорт, 2003. – 480 с.
5. Михайлов В. М. Нагрузочное тестирование под контролем ЭКГ: велоэргометрия, тредмилл-тест, степ-тест, ходьба / В. М. Михайлов. – Иваново: А-Гриф, 2005. – 440 с.
6. Рогоза А. Н. Современные одноразовые электроды для регистрации ЭКГ / А. Н. Рогоза, Н. И. Чаус // Функциональная диагностика. – 2005. – № 1. – С. 47-57.
7. Тавровская Т. В. Велоэргометрия: Пособие для врачей. / Т. В. Тавровская. – Санкт-Петербург, 2007. – 134 с.

### Раздел 3. ВЕНТИЛЯЦИОННАЯ ФУНКЦИЯ ЛЕГКИХ. СПИРОГРАФИЯ

**Дыхание** представляет собой процесс, сопровождающийся обменом дыхательных газов (кислорода и углекислого газа) между тканями и окружающей средой. Дыхание включает легочную вентиляцию, легочный газообмен, транспорт газов кровью и тканевое дыхание.

**Вентиляция и газообмен** в легких составляют внешнее или легочное дыхание, основной задачей которого является перенос газов между атмосферой и кровью легочных капилляров, или артериализация крови. Система, обеспечивающая эту функцию, носит название **системы внешнего дыхания**. Она объединяет органы, которые выполняют воздухоносную (полость рта, носоглотка, гортань, трахея, бронхи) и дыхательную, или газообменную функции (легкие, малый круг кровообращения, грудную клетку с дыхательной мускулатурой и систему регуляции дыхания). Нарушение любой из составляющих этой системы может приводить к развитию дыхательной недостаточности.

Для осуществления **эффективной легочной вентиляции** необходимо беспрепятственное прохождение воздуха по бронхиальному дереву до респираторного отдела и наличие достаточной площади (через которую происходит газообмен), включающей достаточное количество альвеол, способных к газообмену и адекватное увеличение их объема при дыхании.

Вентиляционная функция легких доступна для исследования широко распространенными приборами и методами. Ее в первую очередь характеризуют статические, динамические и производные легочные объемы и скоростные показатели дыхания.

Один из современных методов, позволяющих регистрировать эти показатели, – спирография.

**Спирография** (лат. *spiro* – дышать и греч. *graphō* – писать, изображать) – это метод графической регистрации изменений легочных объемов при выполнении естественных дыхательных движений и волевых форсированных дыхательных маневров.

Спирография позволяет получить ряд показателей, которые описывают **вентиляцию легких**. В первую очередь, это статические объемы и емкости, которые характеризуют упругие свойства легких и грудной стенки, а также динамические показатели, которые определяют количество воздуха, вентилируемого через дыхательные пути во время вдоха и выдоха за единицу времени. Основные показатели определяют в

режиме спокойного дыхания, а некоторые из них при проведении форсированных дыхательных маневров.

### 3.1. ОСНОВНЫЕ СТАТИЧЕСКИЕ ОБЪЕМЫ И ЕМКОСТИ

**ДО (дыхательный объем)** – объем воздуха, поступающий в легкие за 1 вдох при спокойном дыхании (норма 500-800 мл). Показатели ДО изменяются в зависимости от напряжения и уровня вентиляции.

Часть ДО, участвующая в газообмене, называется **альвеолярный объем (АО)** и составляет примерно  $2/3$  ДО. Остальная  $1/3$  его составляет объем **функционального мертвого пространства (ФМП)**. В свою очередь, **ФМП** состоит из анатомического мертвого пространства, включающего объем верхних дыхательных путей и бронхов первых 16-ти генераций (примерно 150-200 мл), и альвеолярного мертвого пространства, включающего объем альвеол, участвующих в легочной вентиляции, но не перфузирующихся кровью легочных капилляров.

**Ровд. (резервный объем вдоха)** – максимальный объем, который можно дополнительно вдохнуть после спокойного вдоха.

**Ровыд. (резервный объем выдоха)** – максимальный объем, который можно дополнительно выдохнуть после спокойного выдоха.

**Евд. (емкость вдоха)** – сумма ДО и Ровд. Характеризует способность легочной ткани к растяжению.

**ЖЕЛ (жизненная емкость легких; ЖЕЛ = ДО + Ровд. + Ровыд.)** – максимальный объем, который можно выдохнуть после максимально глубокого вдоха. В норме составляет от 3000 до 5000 мл. **ЖЕЛ отражает функциональные возможности системы внешнего дыхания** в целом, косвенно указывает на максимальную площадь дыхательной поверхности легких, обеспечивающей газообмен.

**Форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ)** – объем воздуха, который можно выдохнуть при форсированном выдохе после максимального вдоха (в норме составляет 70-80 % ЖЕЛ). **ФЖЕЛ отражает состояние проходимости воздухоносных путей** и позволяет получить информацию о механических свойствах дыхательной системы.

В **ФЖЕЛ** наиболее отчетливо проявляется динамика взаимосвязи объема легких, сопротивления дыхательных путей и внутригрудного давления. Отношения скорости воздушного потока, объема легких и бронхиального сопротивления изменяются в зависимости от фазы форсированного выдоха.

Наименование показателей легочной вентиляции на русском и английском языках представлены в табл. 4 (стр.56). Коэффициенты для определения должных спирографических показателей (ДСП) для взрослых представлены в табл. 5 (стр.57).

### **3.2. ДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ**

При проведении исследования в режиме «Спокойное дыхание» с помощью спирометра можно зарегистрировать ДО, определить ЧД и рассчитать МОД покоя, где:

**ЧД (частота дыхания)** – число дыхательных движений в минуту при спокойном дыхании. У здоровых людей ЧД составляет **16-18дых/мин.**

**МОД (минутный объем дыхания)** – количество воздуха, вентилируемое через легкие за 1 минуту при спокойном дыхании. Обычно у взрослых людей МОД составляет **6-8 л/мин** в условиях покоя.

МОД является крайне вариабельной величиной и зависит от частоты дыхания и дыхательного объема, величина каждого из которых индивидуальна. При определении МОД требуется соблюдение условий покоя, приближенных к условиям основного обмена, т. к. этот показатель зависит от уровня обмена веществ в организме.

Если МОД превышает должную величину, определяемую уровнем метаболизма, то говорят об общей гипервентиляции. В обратном случае можно предполагать наличие общей гиповентиляции.

### **3.3. ДИНАМИЧЕСКИЕ ОБЪЕМЫ И ПОТОКИ, РЕГИСТРИРУЮЩИЕСЯ ПРИ ФОРСИРОВАННЫХ МАНЕВРАХ**

**Максимальная вентиляция легких (МВЛ)** – максимальный объем воздуха, который может быть провентилирован легкими за 1 мин. Этот показатель характеризует предельные возможности аппарата дыхания, зависящие как от механических свойств легких, так и от способности хорошо выполнить пробу в связи с общей физической тренированностью испытуемого.

В норме МВЛ составляет **150-180 л.**

$$\text{МВЛ} = \text{ДО}_{\text{макс}} \times \text{ЧД}_{\text{макс}}$$

МВЛ отражает проходимость дыхательных путей, дыхательный резерв, состояние дыхательных мышц и общий психологический настрой.

Ее определение важно при исследовании здоровых людей, в частности спортсменов.

При исследовании форсированного выдоха с помощью приемов для определения **ФЖЕЛ** наиболее часто используются следующие показатели:

**ПОС, ОФВ1, МОС25, МОС50, МОС75, СОС25-75.**

**Пиковая объемная скорость (ПОС)** – наибольшее значение скорости потока воздуха, которое при выдохе достигается менее чем через **0,1с** от начала выдоха.

**Объем форсированного выдоха за первую, третью и пятую секунду (ОФВ1, ОФВ3, ОФВ5)** – объем воздуха, который выдыхается за первую, третью и пятую секунду при максимально быстром выдохе; он измеряется в мл и высчитывается **в процентах к ФЖЕЛ**.

**ОФВ1** служит для оценки проходимости дыхательных путей и мощности дыхательной мускулатуры в начальной и средней части форсированного выдоха. Здоровые люди за первую секунду выдыхают **не менее 70 % ФЖЕЛ**.

**Индекс Тиффно** – отношение объема, выдыхаемого за первую секунду форсированного выдоха (**ОФВ1**), выполняемого из положения максимального вдоха, к **ЖЕЛ**, выраженной в процентах. В норме составляет не менее 70-75 %.

$$\text{ИТ} = \text{ОФВ1 (мл)} / \text{ЖЕЛ (мл)} \times 100 \%$$

Вычисление скоростных показателей имеет большое значение в выявлении признаков бронхиальной обструкции. Уменьшение **индекса Тиффно** и **ОФВ1** является характерным признаком снижения бронхиальной проходимости.

**Максимальная объемная скорость воздуха на уровне выдоха 75%-50%-25% ФЖЕЛ (МОС75, МОС50, МОС25)** оставшейся в легких указывает на скорость прохождения воздуха на уровне мелких, средних и крупных бронхов.

Степень снижения **МОС** по мере выдоха **от 25 до 75% ФЖЕЛ** отражает динамику сопротивления, оказываемого аппаратом вентиляции дыхания. Эти показатели имеют наибольшую ценность при диагностике начальных нарушений бронхиальной проходимости. Обычно за нижний предел нормы показателей потока принимается 60% от должной величины.

**Средняя объемная скорость форсированного выдоха, вычисленная в интервале измерения от 25 до 75 % ФЖЕЛ (СОС25-75)** дает представление о прохождении воздуха в бронхах среднего калибра. Этот показатель является наиболее ранним и чувствительным маркером

нарушения проходимости верхних дыхательных путей. В норме величина **СОС25-75** превышает 75% от должной величины.

**СОС75-85** отражает проходимость воздуха в бронхах мелкого калибра.

**Спирография** осуществляется с помощью приборов закрытого и открытого типов (водных, воздушных).

Простейший **прибор закрытого типа – спирограф** представляет собой герметически закрытую емкость с подвижной частью в виде легкого, уравновешенного противовесом, и связанного с регистратором колокола или меха. При выдохе обследуемого в спирограф количество содержащегося в приборе воздуха увеличивается, в связи с чем соответственно перемещается колокол или мех.

При вдохе количество воздуха в спирографе уменьшается, вследствие чего колокол или мех смещается в противоположном направлении. Движение колокола или меха передается перу регистратора, вычерчивающему кривую, отражающую изменение объема воздуха легких (спирограмма). Направленная циркуляция и перемешивание воздуха в спирографе обеспечиваются воздушной помпой или (реже) с помощью клапанов, расположенных в воздуховодах.

**Приборы открытого типа – спирографы, пневмотахографы** регистрируют объемные и скоростные параметры вдыхаемого и выдыхаемого воздуха. Для исследования потребления кислорода и выделения двуокиси углерода они могут быть снабжены физическими газоанализаторами.

В современных **спирографах** (как открытого, так и закрытого типов), регистрирующих изменения объема легких при дыхании, имеются электронные вычислительные устройства для автоматической обработки результатов измерений.

### **3.4. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ СПИРОГРАФИИ**

Обследуемый должен быть правильно подготовлен и должны быть учтены все индивидуальные особенности.

Необходимо определить: возраст, рост и вес (измеряются в легкой одежде и без обуви), которые понадобятся позже для расчета должных величин.

Исследование проводят в первой половине дня, не менее чем через 1,5-2 часа после приема пищи, в положении сидя. Перед исследованием

испытуемый должен находиться в спокойном состоянии на протяжении 30 мин.

Испытуемый освобождает грудь и живот от стягивающей одежды, одной рукой держит спирограф, другая свободно опущена или лежит на коленях. Во время исследования запрещается закидывать ногу на ногу, равно как и исключается запрокидывание головы или наклон шеи вперед. Обязательным условием проведения исследования является одетый на нос зажим.

Повторные исследования проводятся в сходных условиях на том же аппарате и, желательно, тем же оператором.

### **3.5. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЫ**

В качестве обязательного комплекса функциональных нагрузок в спирографии выполняется проба «Спокойное дыхание» и три специальных дыхательных маневра для определения жизненной емкости легких (**ЖЕЛ**), форсированной жизненной емкости легких (**ФЖЕЛ**) и максимальной вентиляции легких (**МВЛ**). При более глубоких исследованиях может выполняться также ряд дополнительных фармакологических и нагрузочных проб (табл.3).

#### **3.5.1. Измерение дыхательного объема или проба «Спокойное дыхание»**

Как правило, спирографические исследования начинаются с регистрации **спирограммы «Спокойное дыхание»** обследуемого и измерения его дыхательного объема. Для этого испытуемый должен дышать в загубник спокойно и без усилия.

По команде оператора обследуемый поворачивает прибор загубником ко рту, фиксирует мундштук зубами и плотно обхватывает его губами. Далее он начинает дышать через трубку прибора с естественной для него частотой и глубиной дыхания в течение 40-60 с (рис.10, табл.3).

По данным проведенной пробы рассчитываются следующие средние величины:

- средний дыхательный объем, **ДО**;
- средняя длительность вдоха, **Дл.вд.**;
- средняя длительность выдоха, **Дл.выд.**;
- отношение **Дл.вд./Дл.выд.**;

- средняя частота дыхания, ЧД;
- средний минутный объем дыхания, МОД.

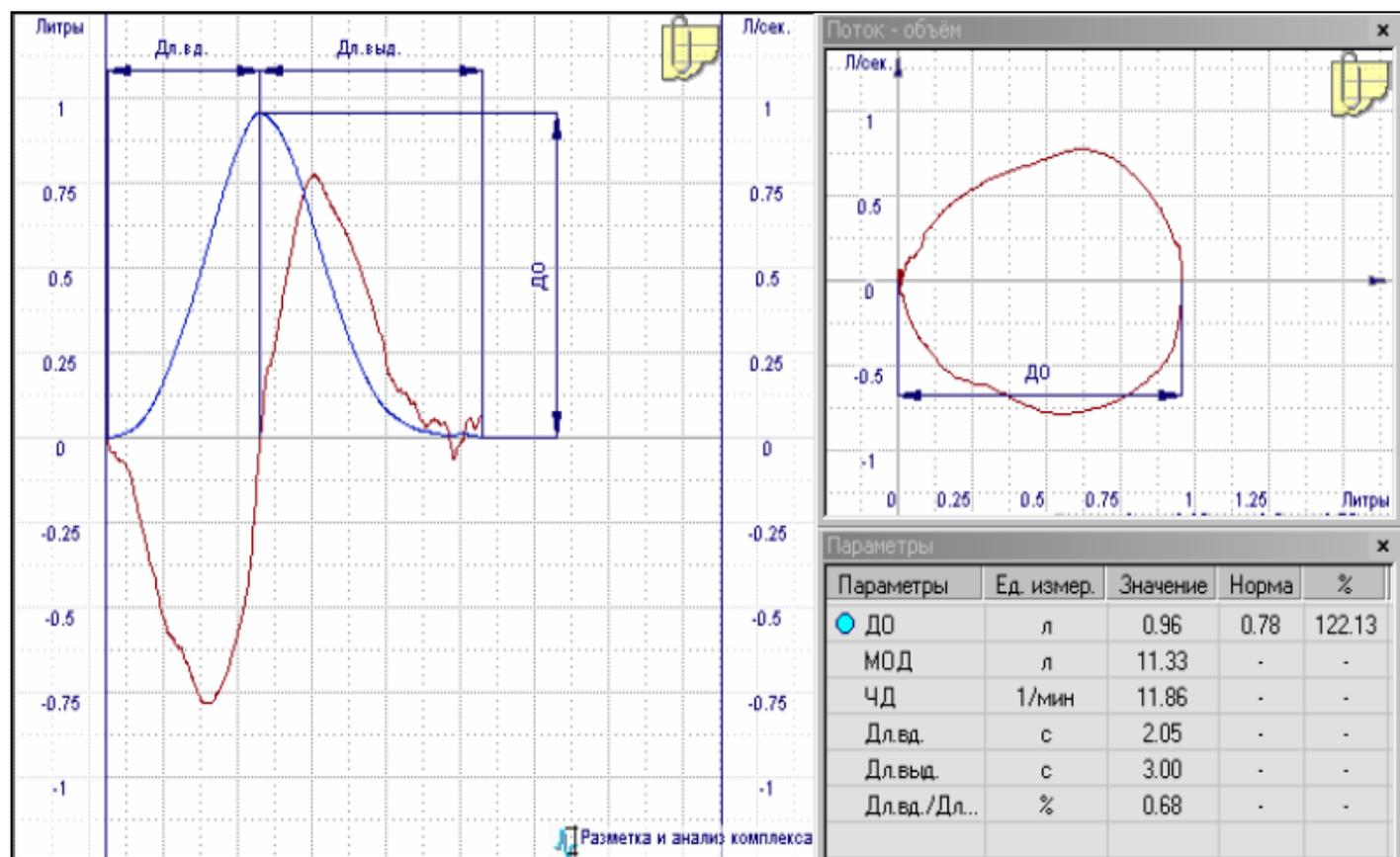


Рис 10. Пример обработки и анализа пробы «Спокойное дыхание».

По истечении заданного в программе времени, в зависимости от произведенных дополнительных установок, регистрация спирограммы может прекратиться либо автоматически, либо по соответствующей команде оператора.

Программа проведет необходимую обработку данных пробы, выведет на экран результаты обработки, и, затем, в соответствии с заданным протоколом исследования, проведет подготовку к регистрации следующей пробы.

**Примечание:** при полностью автоматической обработке спирограммы проба «Спокойное дыхание» всегда должна выполняться первой в исследовании, т.к. данные этой пробы используются при автоматическом распознавании дыхательных маневров в последующих пробах.

### 3.5.2. Измерение жизненной емкости легких

**ЖЕЛ** – это максимальный объем воздуха, который можно вдохнуть (выдохнуть) после максимально глубокого выдоха (вдоха). Определяться **ЖЕЛ** может двумя способами – на вдохе и на выдохе.

Для измерения **ЖЕЛ вдоха** (**ЖЕЛвд.**) пациенту предлагается сначала от уровня спокойного дыхания выполнить полный глубокий выдох, а затем полный глубокий вдох.

**ЖЕЛ выдоха** (**ЖЕЛвыд.**) выполняется в обратном порядке. Сначала от уровня спокойного дыхания проводится полный глубокий вдох, а затем полный глубокий выдох.

Поскольку для определения **ЖЕЛвд.** и **ЖЕЛвыд.** необходимо выполнение принципиально различных маневров, измерение жизненной емкости легких обычно производится в двух различных пробах.

По данным проведенных проб рассчитываются следующие величины:

- жизненная емкость легких вдоха, **ЖЕЛвд.**;
- жизненная емкость легких выдоха, **ЖЕЛвыд.**;
- резервный объем вдоха, **Ровд.**;
- резервный объем выдоха, **Ровыд.**

**Тест ЖЕЛ** (рис. 11, табл.3) для каждого метода в отдельности **проводят трижды** с интервалом 25-30 секунд. Предварительно на нос пациента накладывается носовой зажим. Для расчета и оценки рекомендуется использовать наилучший результат.

После объяснения обследуемому сути дыхательного маневра для определения **ЖЕЛвыд.** оператор включает режим записи пробы и обследуемый, после двух-трех спокойных дыханий, делает спокойный максимально глубокий вдох, за которым следует спокойный максимально глубокий выдох. Потом опять выполняется несколько спокойных дыханий, и опять – глубокий вдох и глубокий выдох, и т.д.

Стандартная методика определения жизненной емкости легких требует выполнения, как минимум, трех дыхательных маневров. При этом в двух маневрах значения **ЖЕЛ** не должны отличаться более чем на 5%.

Если при выполнении трех дыхательных маневров данное условие не выполняется, следует продолжить регистрацию пробы, выполняя четвертый, пятый и т.д. дыхательные маневры, пока указанное условие не будет выполнено.

В дальнейшем в качестве результата будет принято максимально достигнутое значение.

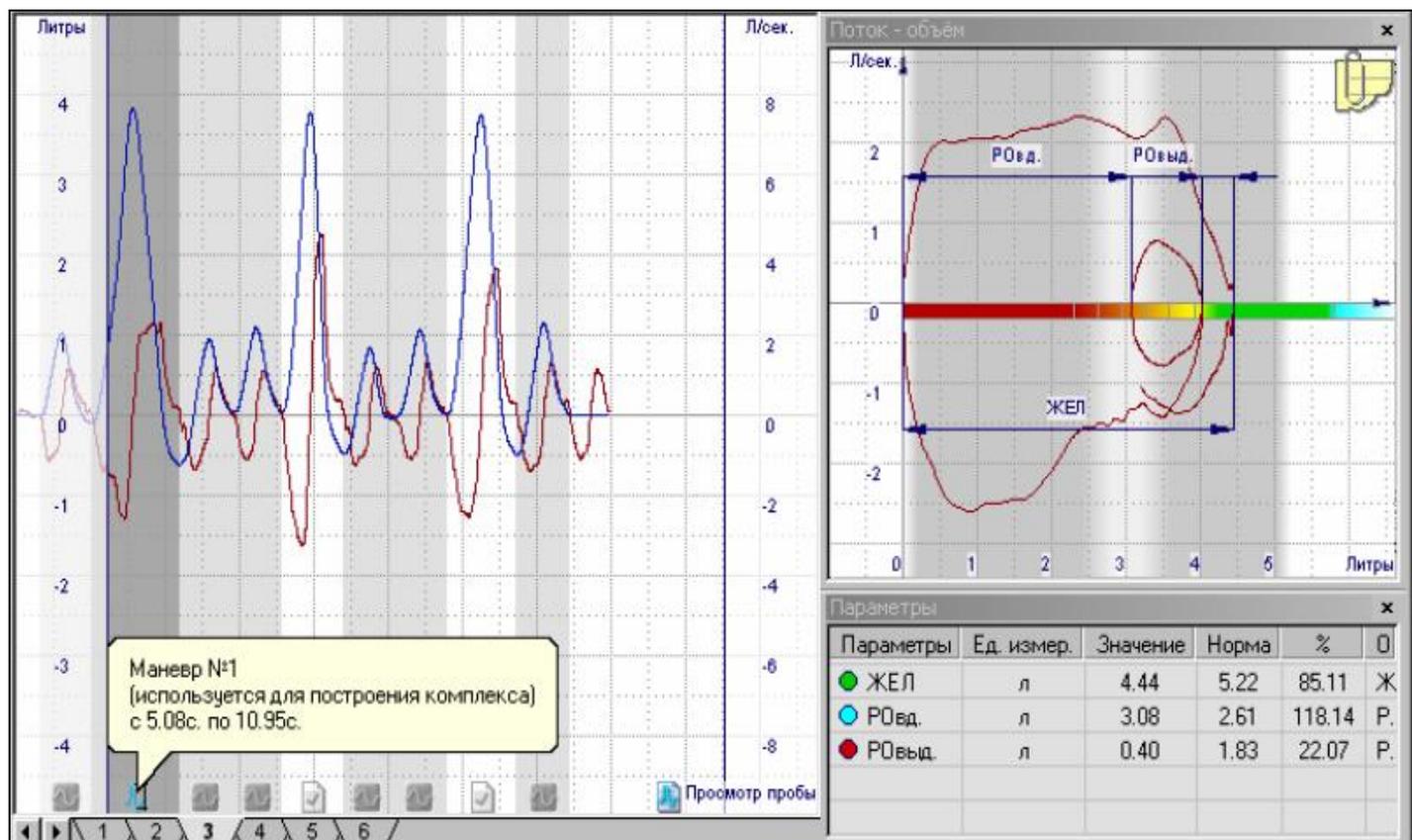


Рис 11. Пример обработки и анализа пробы «Жизненная емкость легких».

Следует помнить, что в режиме полностью автоматического распознавания маневров пробы **ЖЕЛвд.** или **ЖЕЛвыд.** могут выполняться только после выполнения пробы «Спокойное дыхание».

### 3.5.3. Форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ)

Форсированная жизненная емкость легких, **ФЖЕЛ** (рис.12, табл.3) – это объем воздуха, который можно выдохнуть (вдохнуть) при форсированном выдохе (вдохе) после максимального вдоха (выдоха).

Как и в предыдущей пробе, определяться **ФЖЕЛ** может двумя способами: на вдохе и на выдохе, и проводиться в двух различных пробах.

Для измерения **ФЖЕЛ вдоха** пациенту предлагается сначала от уровня спокойного дыхания выполнить полный глубокий выдох, а затем полный глубокий вдох (при максимальном прикладываемом усилии и поддержании его постоянным на протяжении всего маневра).

**ФЖЕЛ выдоха** выполняется в обратном порядке. Сначала от уровня спокойного дыхания проводим полный глубокий вдох, а затем полный

глубокий выдох. Как и в предыдущем случае, должно выполняться требование о максимальном прикладываемом усилии и поддержании его постоянным на протяжении всего маневра.

По данным проведенных проб рассчитываются следующие величины:

- **форсированная ЖЕЛ (ФЖЕЛ)** – объем максимального, быстрого и полного выдоха (вдоха) после глубокого вдоха (выдоха);

- **объем форсированного выдоха (вдоха) за первую секунду (ОФВ1)**. Начало форсированного выдоха (вдоха) определяется как точка пересечения уровня максимального (нулевого) объема и экстраполированной наиболее крутой части кривой **ФЖЕЛ**;

- классический **индекс Тиффно** (отношение **ОФВ1/ЖЕЛвд.**);

- отношение **ОФВ1/ФЖЕЛ**;

- **пиковая объемная скорость выдоха (вдоха), ПОС** – наибольшее значение скорости потока воздуха, которое (при выдохе) достигается, как правило, до выдоха первых **20% ФЖЕЛ** менее чем через **0,1с** от начала выдоха;

- **объем форсированного выдоха (вдоха), при котором достигается ПОС-ОФВпос.**;

- **время достижения ПОС - Тпос.**;

- **средняя объемная скорость середины ФЖЕЛ** или выдоха (вдоха) от **25 до 75% ФЖЕЛ - СОС25-75**. Она определяется как наклон линии, соединяющей точки, соответствующие выдоху (вдоху) **25 и 75% ФЖЕЛ**;

- **средняя объемная скорость конца ФЖЕЛ** или выдоха (вдоха) от **75 до 85% ФЖЕЛ - СОС75-85**;

- **мгновенные объемные скорости форсированного выдоха (вдоха) в моменты выдоха (вдоха) 25, 50 и 75% ФЖЕЛ - МОС25, МОС50 и МОС75**.

В некоторых источниках **СОС25-75** называется средневыдыхаемым потоком и обозначается как **СВП**. Утверждается, что этот параметр более четко отражает состояние бронхиальной проходимости, чем **индекс Тиффно**.

После объяснения обследуемому сути дыхательного маневра для определения **ФЖЕЛвд.** оператор включает режим записи пробы. В это время обследуемый после двух-трех спокойных дыханий делает максимально глубокий вдох, за которым следует максимально глубокий выдох, но с максимальным усилием (должно быть достигнуто в начале маневра и поддерживаться постоянным на всем его протяжении).

При этом начало форсированного выдоха должно быть быстрым и резким, без колебаний. Важным условием является достаточная продолжительность выдоха (не менее 6 секунд) и поддержание максимального экспираторного усилия в течение всего выдоха до момента его полного завершения.

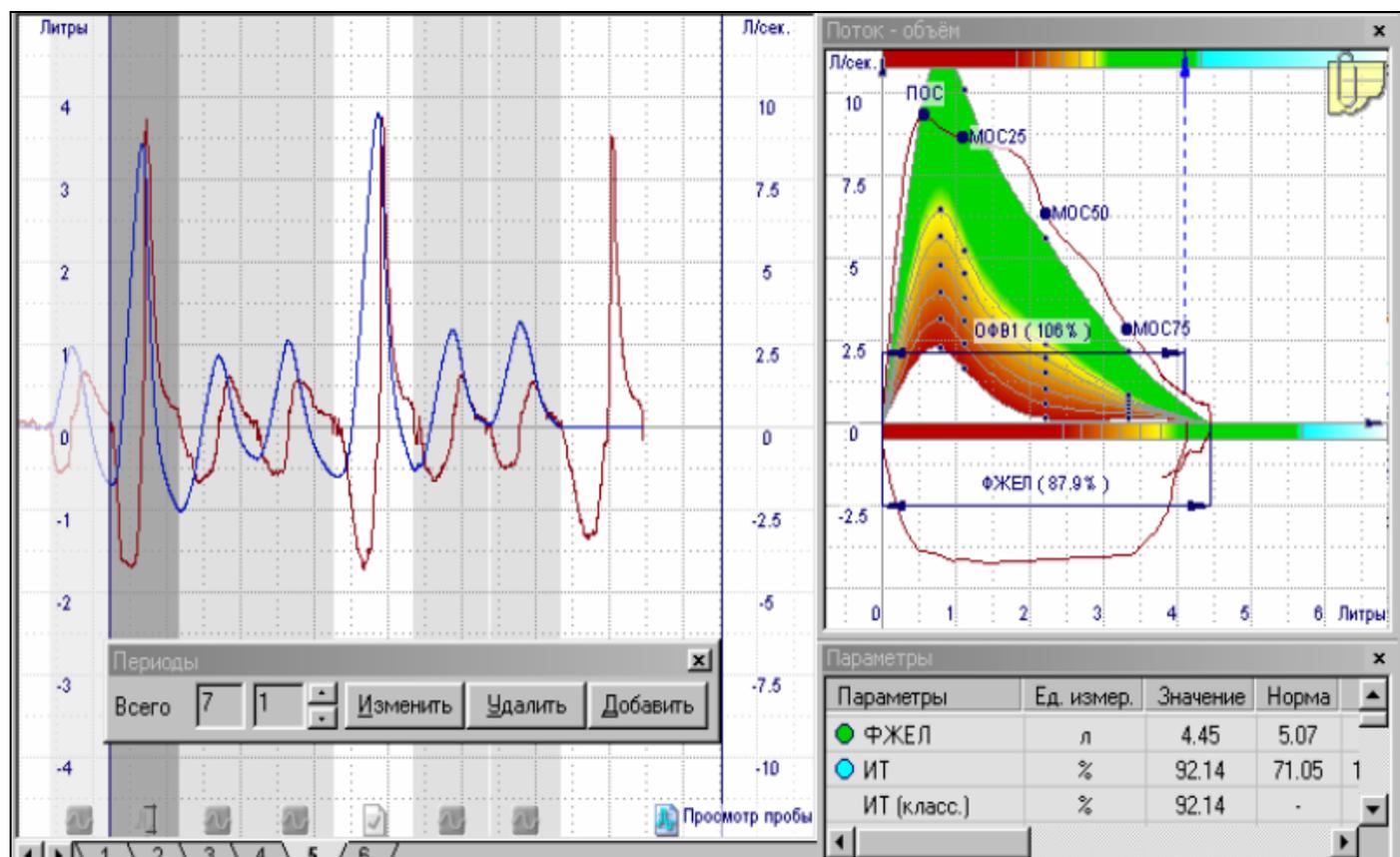


Рис 12. Пример обработки и анализа пробы «Форсированная жизненная емкость легких»

Тест повторяется 3-4 раза под визуальным контролем регистрируемой кривой. При правильном выполнении теста кривые “поток-объем” должны иметь схожий угол наклона.

Обязательным условием корректного выполнения пробы является наличие двух маневров в которых рассчитанные величины **ФЖЕЛ** и **ОФВ1** максимальны, и отличаются не более чем на **5%**.

При выполнении пробы форсированного выдоха правильность выполнения маневра лучше прослеживается при наблюдении зависимости “поток-объем” в процессе регистрации маневра.

Так, максимальный поток должен достигаться до выдоха **20% ФЖЕЛ**, а затем, по мере выполнения маневра, поток должен прогрессивно уменьшаться.

Если усилие развивается не в начале маневра, а позже, то характерной треугольной формы кривой не получается. Образовавшаяся кривая напоминает волну синусоиды (происходит завышение потоков второй половины **ФЖЕЛ**).

Одним из важных критериев правильности выполнения маневра является сопоставление объемов **ЖЕЛ** и **ФЖЕЛ**. Общей закономерностью является превышение объема **ЖЕЛ** над объемом **ФЖЕЛ**. У здоровых людей **ЖЕЛ** и **ФЖЕЛ** равны, либо **ЖЕЛ** больше **ФЖЕЛ** на **100-150** мл.

Еще одним критерием правильности выполнения маневра является каскад снижения объемных скоростей **ПОС-МОС25-МОС50-МОС75**. Каждый последующий параметр в этом каскаде должен быть меньше предыдущего. В исключительно редких случаях **ПОС** и **МОС25** бывают равны. Все случаи, когда последующий параметр каскада больше предыдущего, требуют повторного выполнения исследования.

Программа обеспечивает автоматическое (или полуавтоматическое) нахождение временных участков выполнения маневров, их прорисовку при отображении, маркировку временного участка наилучшего маневра, возможность переопределения пользователем выбранного временного участка, автоматическую расстановку маркеров и расчет всех указанных выше параметров проб.

#### **3.5.4. Определение максимальной вентиляции легких**

Конечным этапом является измерение максимальной вентиляции лёгких (**МВЛ**). При его проведении обследуемый должен в течение 10 секунд дышать максимально возможно глубоко и быстро. Обработка результатов сходна с обработкой результатов первой пробы.

Определяются следующие параметры:

- средний максимальный дыхательный объем, **ДОм**,
- средняя максимальная частота дыхания, **ЧДм**,
- средняя максимальная вентиляция легких:

$$\mathbf{МВЛ = ДОм \times ЧДм}$$

Ориентировочно частота дыхания (**ЧД**) должна быть более 70 дых./мин., а средний дыхательный объем за одно дыхание (**ДОм**) более 1,5 л. Тест проводится в течение 10 секунд.

Таблица 3.

## Пример протокола спирометрического обследования

## Hospital

## ПРОТОКОЛ ОБСЛЕДОВАНИЯ

Пробы выдоха(1)

Пациент: **Иванов Иван Александрович**Дата рождения: **26 Ноября, 1990**      Возраст: **21г.**      Пол: **Муж.**      Рост: **184**      Вес: **79**Дата обследования: **16 ноября, 2011 11:13**

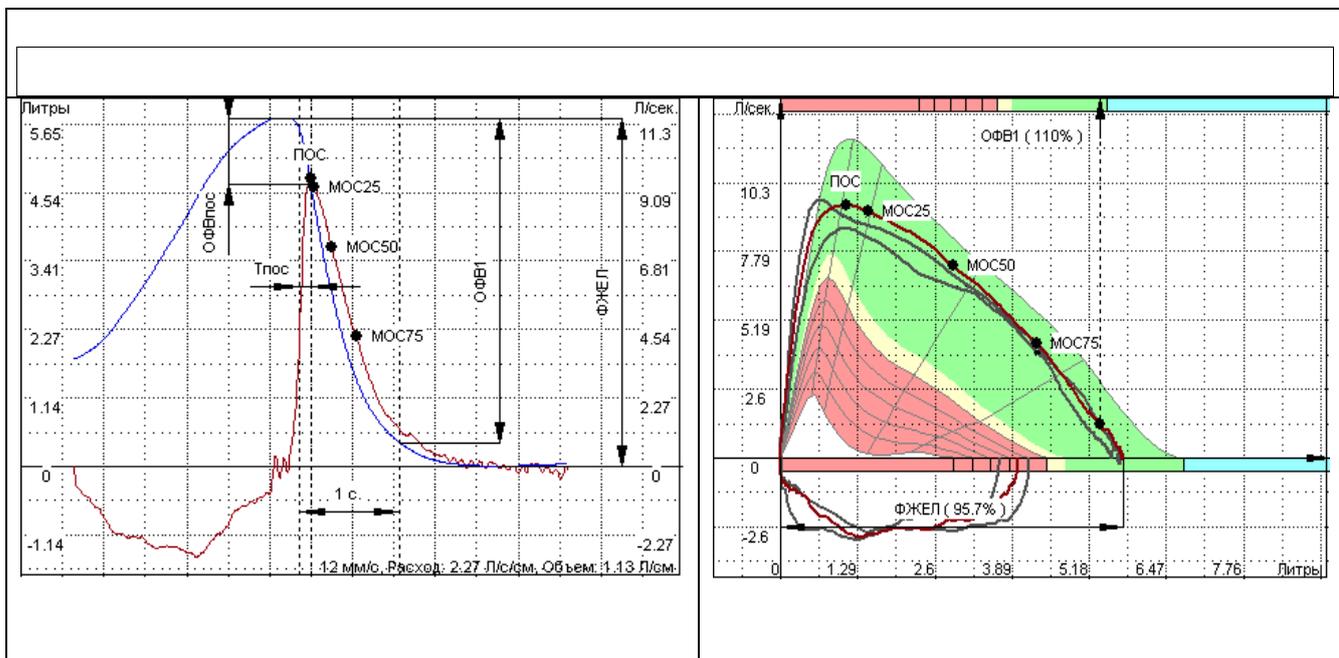
## "Спокойное дыхание" и "Максимальная вентиляция легких"

Назв.	ед.изм.	знач.	норма	%	Назв.	ед.изм.	знач.	Назв.	ед.изм.	знач.	норма	%
ДО	л	1.53	0.909	168	Дл.вд.	с	1.66	ДОм	л	3.67		
МОД	л	25.7	15.4	167	Дл.выд.	с	1.9	ЧДм	1/мин	55.7		
ЧД	1/мин	16.8			Дл.вд/Дл.выд	без разм.	0.874	МВЛ	л/мин	204	151	135

## "ЖЕЛ" и "ФЖЕЛ" выдоха

Назв.	ед.изм.	знач.	норма	%	Отклонение	Заключение
ЖЕЛ	л	5.69	6.06	94	<input type="checkbox"/>	норма
Ровд.	л	2.32				
Ровыд.	л	1.84				
ФЖЕЛ	л	5.76	6.02	96	<input type="checkbox"/>	норма
ОФВ0.5	л	3.99				
ОФВ1	л	5.36	4.88	110	<input type="checkbox"/>	норма
ОФВ2	л	5.76	5.69	101	<input type="checkbox"/>	норма
ОФВ3	л	5.76	5.88	98	<input type="checkbox"/>	норма
ОФВпос	л	1.09				
ИТ	%	94.3	80.5	117	<input type="checkbox"/>	больше нормы
ОФВ1/ФЖЕЛ	%	93.1	80.4	116	<input type="checkbox"/>	больше нормы
ПОС/ОФВпос	1/с	8.7				
ПОС	л/с	9.52	10.4	92	<input type="checkbox"/>	норма
МОС25	л/с	9.25	9.33	99	<input type="checkbox"/>	норма
МОС50	л/с	7.23	5.92	122	<input type="checkbox"/>	норма
МОС75	л/с	4.31	2.9	149	<input type="checkbox"/>	больше нормы
СОС0.2-1.2	л/с	8.33				
СОС25-75	л/с	6.77	5.29	128	<input type="checkbox"/>	больше нормы
СОС75-85	л/с	3.41	2.28	150		
Тпос	с	0.11				

Продолжение таблицы 3.



**Комментарий:** В пробах выдоха нарушений вентиляции нет.

Фактические данные за 10 с экстраполируются к 1 минуте и выражаются в литрах за минуту, приведенные к стандартным внутрилегочным условиям.

### Обработка полученных результатов

Обработка данных в программе спирографа максимально автоматизирована.

Сразу же после регистрации данных программа выводит на экран усредненный период спиросигналов в пробах «Спокойное дыхание» и «Максимальная вентиляция легких», графики наилучших (по принятым критериям) маневров в пробах ЖЕЛ и ФЖЕЛ, соответствующие графики в координатах «поток – объем» (рис.11, рис.12).

Программа производит автоматическую расстановку маркеров и выводит результаты расчета необходимых спирографических показателей и их должных значений.

Таблица 4.

Наименование показателей легочной вентиляции на русском и английском языках.

Наименование показателя на русском языке	Принятое сокращение	Наименование показателя на английском языке	Принятое сокращение
Жизненная емкость легких	ЖЕЛ	Vital capacity	VC
Дыхательный объем	ДО	Tidal volume	TV
Резервный объем вдоха	Ровд.	Inspiratory reserve volume	IRV
Резервный объем выдоха	Ровыд.	Expiratory reserve volume	ERV
Максимальная вентиляция легких	МВЛ	Maximal voluntary ventilation	MW
Форсированная жизненная емкость легких	ФЖЕЛ	Forced vital capacity	FVC
Объем форсированного выдоха за первую секунду	ОФВ1	Forced expiratory volume 1 sec	FEV1
Индекс Тиффно	ИТ, или ОФВ1/ЖЕЛ %		FEV1 % = FEV1/VC %
Максимальная объемная скорость в момент выдоха 25 % ФЖЕЛ, оставшейся в легких	МОС25	Maximal expiratory flow 25 % FVC	MEF25
		Forced expiratory flow 75 % FVC	FEF75
Максимальная объемная скорость в момент выдоха 50 % ФЖЕЛ, оставшейся в легких	МОС50	Maximal expiratory flow 50 % FVC	MEF50
		Forced expiratory flow 50 % FVC	FEF50
Максимальная объемная скорость в момент выдоха 75 % ФЖЕЛ, оставшейся в легких	МОС75	Maximal expiratory flow 75 % FVC	MEF75
		Forced expiratory flow 25 % FVC	FEF25
Средняя объемная скорость выдоха в интервале от 25 % до 75 % ФЖЕЛ	СОС25-75	Maximal expiratory flow 25-75 % FVC	MEF25-75
		Forced expiratory flow 25-75 % FVC	FEF25-75

Таблица 5.

Коэффициенты для определения должных спирографических показателей  
(ДСП) для взрослых (Р.Ф. Клемент и соавторы, 1986).

Спирографические показатели (СП)	Пол	Возраст. Годы	К1	К2	К3
ЖЕЛ, л	М	18-25	5,8	0,085	-6,908
ЖЕЛ, л	М	25-70	5,8	-0,029	-4,063
ЖЕЛ, л	Ж	18-25	3,8	0,029	-3,190
ЖЕЛ, л	Ж	25-70	3,8	-0,017	-2,043
ФЖЕЛ, л	М	18-25	5,8	0,079	-6,940
ФЖЕЛ, л	М	25-70	5,8	-0,030	-4,188
ФЖЕЛ, л	Ж	18-25	3,8	0,021	-3,096
ФЖЕЛ, л	Ж	25-70	3,8	-0,019	-2,093
ОФВ1, л	М	18-25	4,3	0,043	-4,222
ОФВ1, л	М	25-70	4,3	-0,029	-2,423
ОФВ1, л	Ж	18-25	2,9	0,014	-1,896
ОФВ1, л	Ж	25-70	2,9	-0,021	-1,019
ОФВ1/ЖЕЛ, %	М	18-25	-5,0	-0,570	105,060
ОФВ1/ЖЕЛ, %	М	25-70	-5,0	-0,170	95,050
ОФВ1/ЖЕЛ, %	Ж	18-25	-6,7	-0,290	103,682
ОФВ1/ЖЕЛ, %	Ж	25-70	-6,7	-0,170	100,700
ПОС, л/с	М	18-25	8,0	0,129	-7,502
ПОС, л/с	М	25-70	8,0	-0,046	-3,130
ПОС, л/с	Ж	18-25	4,7	0,029	-1,464
ПОС, л/с	Ж	25-70	4,7	-0,031	0,033
МОС25, л/с	М	18-25	8,3	0,129	-8,960
МОС25, л/с	М	25-70	8,3	-0,040	-4,738
МОС25, л/с	Ж	18-25	34,	0,021	-1,226
МОС25, л/с	Ж	25-70	4,3	-0,034	0,152
МОС50, л/с	М	18-25	5,7	0,093	-6,126
МОС50, л/с	М	25-70	5,7	-0,040	-2,802
МОС50, л/с	Ж	18-25	3,5	0,021	-1,488
МОС50, л/с	Ж	25-70	3,5	-0,033	-0,135
МОС75, л/с	М	18-25	2,7	0,014	-2,274
МОС75, л/с	М	25-70	2,7	-0,020	-1,422
МОС75, л/с	Ж	18-25	1,3	0,007	0,206
МОС75, л/с	Ж	25-70	1,3	-0,027	1,051
СОС25-75, л/с	М	18-25	4,2	0,043	-3,286
СОС25-75, л/с	М	25-70	4,2	-0,036	-1,312
СОС25-75, л/с	Ж	18-25	2,8	0,007	-0,734
СОС25-75, л/с	Ж	25-70	2,8	-0,033	0,267

Примечание: формула для вычисления.

$$\text{ДСП} = (\text{К1} \times \text{Рост(м)} + \text{К2} \times \text{Возраст (годы)} + \text{К3})$$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по применению формул и таблиц должных величин основных спирографических показателей / [Клемент Р.Ф., Лаврушин Л.А., Тер-Погосян П.А., Котегов Ю.М.]. – Л.: Наука, 1986. – 79 с.
2. Зиневич А.Н. Приборные методы исследования органов дыхания / А.Н. Зиневич – Л.: ЛенГИДУВ, 1991. – 18с.
3. Организация работы по исследованию функционального состояния легких методами спирографии и пневмотахографии, и применение этих методов в клинической практике. [Методическое указание] / [Турина О.И., Лаптева И.М., Калечиц О.М. и др.] – Минск: НИИ пульмонологии и фтизиатрии Министерства здравоохранения Республики Беларусь, 2002. – 74 с.
4. Симоненко В.Б. Функциональная диагностика / В.Б Симоненко, А.В. Цоколов, А.Я. Фисун. – М: Медицина, 2005. – 304 с.
5. Современные технологии в исследовании функции внешнего дыхания / Калециц О.М., Толстик С.И., Маничев И.А., Щербицкий В.Г. // Медицинская панорама. – 2002. – №7(22). – С. 5-7.
6. Старшов А.М. Спирография для профессионалов: пособие [для врачей, студ. и мед. раб. в каб. функц. диаг-ки] / А.М. Старшов, И.В. Смирнов. – М.: Познавательная книга пресс, 2003. – 76 с.
7. Функціональна діагностика: методичні рекомендації до проведення лабораторних робіт / О. О. Виноградов. – Луганськ: ДЗ ЛНУ імені Тараса Шевченка, 2010. – 57 с.

## Часть 2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

### Лабораторная работа 1

#### Тема: «Регистрация электрокардиограммы в норме»

**Цель работы:** изучить теоретические аспекты электрокардиографии, научиться регистрировать электрокардиограмму в покое.

**Оборудование:** компьютерный электрокардиограф «КардиоЛаб», электроды лимбические (прищепки), электроды торсионные (присоски), лабораторная кушетка, спирт, марлевые прокладки, 5-10% раствор хлорида натрия.

#### Ход работы:

**I. Записать в тетрадь стандартный порядок подготовки и регистрации ЭКГ.**

**1) Перед проведением ЭКГ-исследования** необходимо внести индивидуальные сведения об обследуемом в соответствующие окошки протокола обследований.

**2) Положение обследуемого во время регистрации.**

Обследуемого кладут горизонтально на спину, оголяют запястья, голени и грудь. Необходимо помнить, что исследование проводится после 10–15-минутного отдыха и не ранее, чем через 2 ч. после еды.

Необходимо устранить все помехи, приводящие к эмоциональному возбуждению обследуемого: не разговаривать с самим обследуемым и посторонними, исключить телефонные звонки, и т.д.

**3) Заземление аппарата.**

Если аппарат имеет питание от сети 220 В, его обязательно заземляют.

**4) Наложение электродов на конечности.**

Проводится наложение электродов в соответствии со стандартной схемой наложения электродов:

- красный электрод – правая рука;
- желтый электрод – левая рука;
- зеленый электрод – левая нога;
- черный электрод – правая нога.

**Порядок наложения электродов:** наложение электродов всегда начинается с правой руки (красный электрод). Далее по принципу

светофора: левая рука – **желтый электрод**, левая нога – **зеленый электрод**. На правую ногу накладывается **черный электрод** – заземление.

Для улучшения качества ЭКГ и уменьшения количества наводных токов кожу под электродами предварительно обезжирить спиртом, затем смазать специальной токопроводящей пастой или подложить под электроды марлевые прокладки, смоченные 5-10% раствором хлорида натрия.

Лимбические (пластинчатые) электроды располагаются на прищепках и прикрепляются на внутренние поверхности голеней и предплечий (где меньше выражен волосяной покров) в нижней их трети.

#### **5) Наложение грудных электродов.**

Торсионные или грудные электроды (присоски) накладываются по стандартной схеме.

#### **Точки установки электродов:**

- $V_1$  – четвертое межреберье по правому краю грудины;
- $V_2$  – четвертое межреберье по левому краю грудины;
- $V_3$  – на середине линии соединяющей отведения  $V_2$  и  $V_4$ ;
- $V_4$  – пятое межреберье по левой срединно-ключичной линии;
- $V_5$  – на том же горизонтальном уровне, что и  $V_4$  по левой передней подмышечной линии;
- $V_6$  – по левой средней подмышечной линии на том же горизонтальном уровне, что и  $V_4$  и  $V_5$ .

#### **6) Включение питания аппарата.**

Сетевой электрический шнур не должен перекрещиваться с проводами электродов, т. к. это может вызвать помехи.

#### **7) Запись контрольного милливольта.**

Прежде чем начинать запись ЭКГ, на всех каналах электрокардиографа необходимо установить одинаковое усиление электрического сигнала. Обычно усиление каждого канала подбирается таким образом, чтобы напряжение **1 мВ** вызывало отклонение гальванометра и регистрирующей системы равное **10 мм**.

Регулируют усиление электрокардиографа и регистрируют калибровочный милливольт.

#### **8) Последовательная запись отведений с I по aVF.**

Запись ЭКГ проводят при спокойном дыхании и, как правило, при скорости движения бумаги 50 мм в секунду.

Производят последовательную запись стандартных отведений с I по III (рис.13, рис.14). Затем записывают усиленные отведения от конечностей aVR, aVL и aVF.

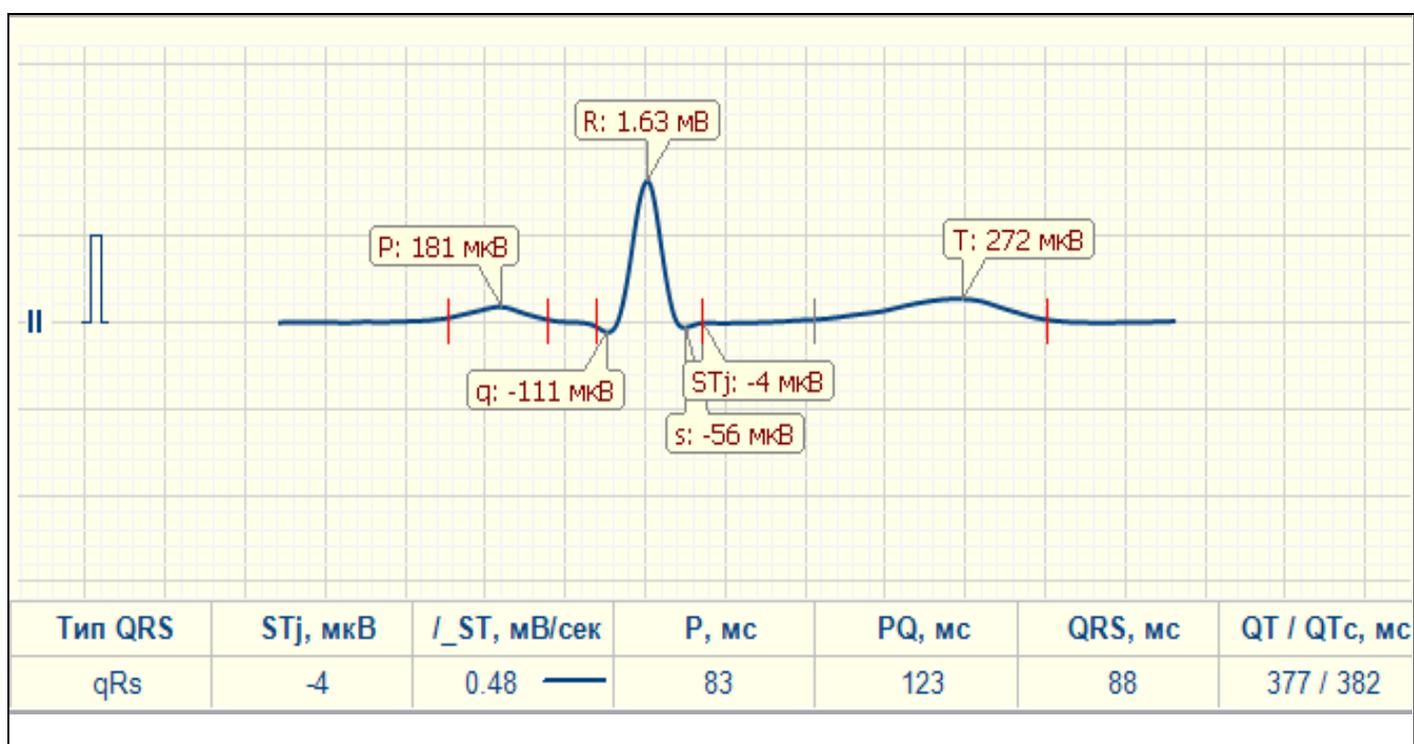
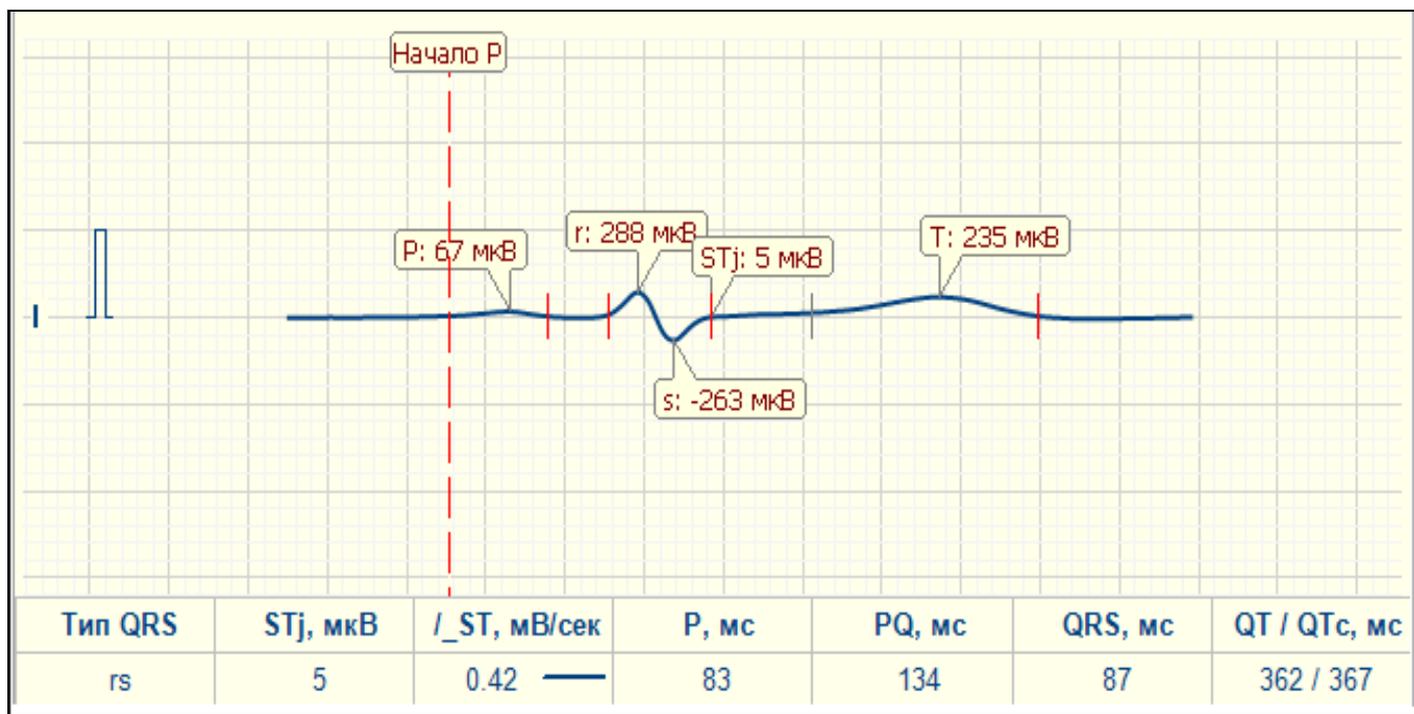


Рис. 13. Пример записи I, II стандартных отведений при регистрации ЭКГ.

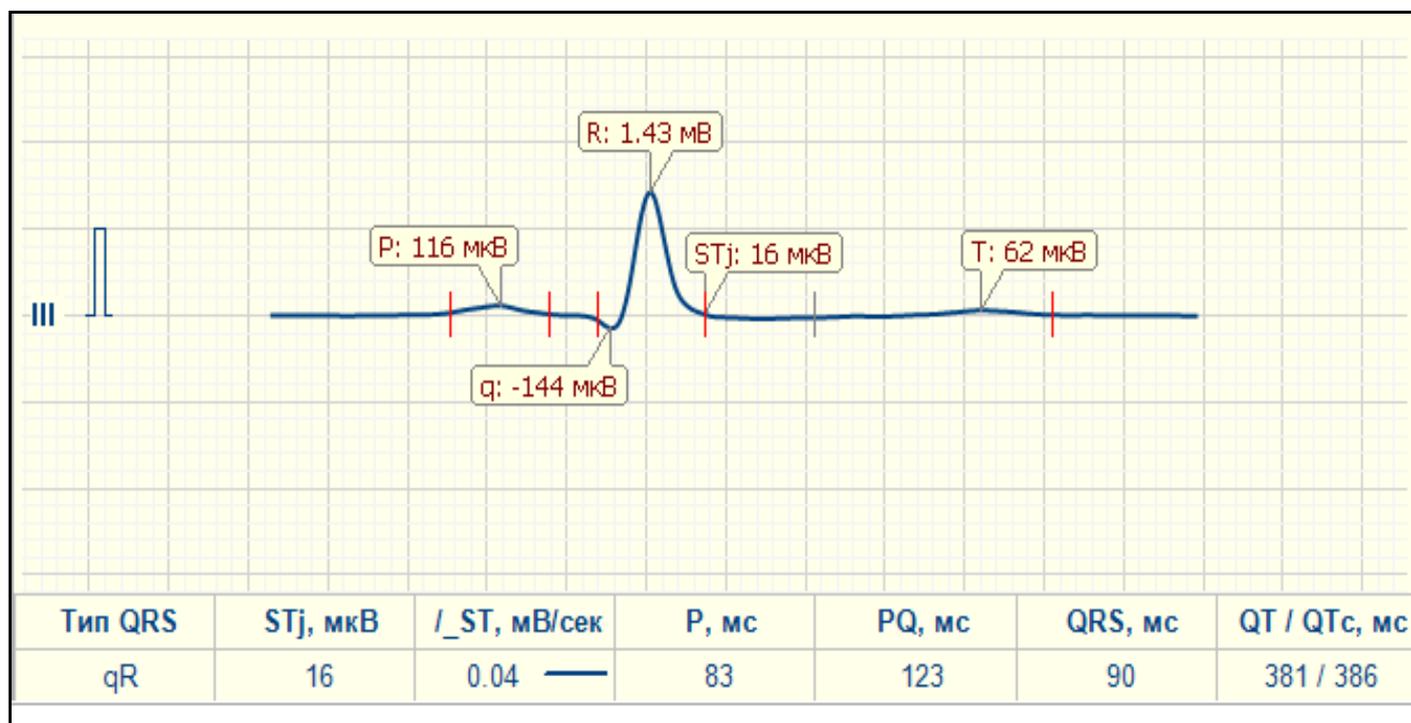


Рис. 14. Пример записи III стандартного отведения при регистрации ЭКГ.

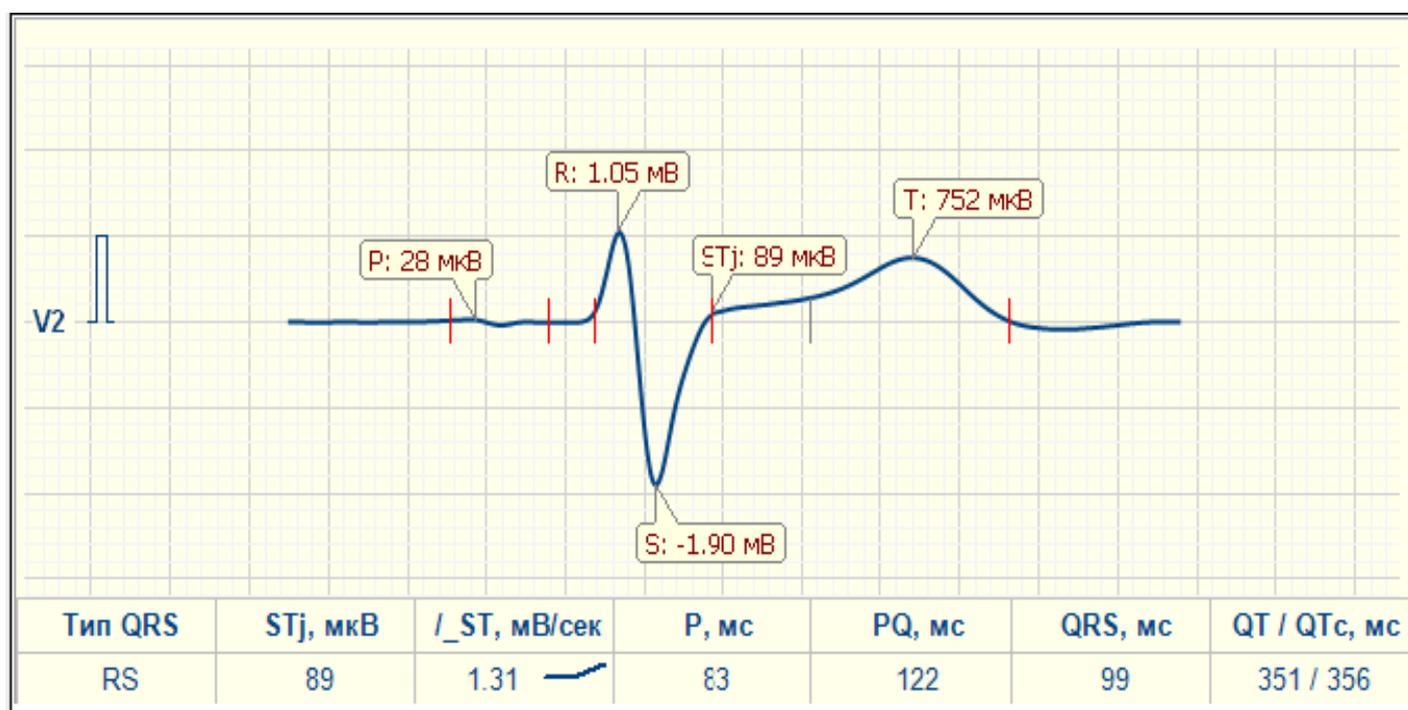


Рис. 15. Пример записи V<sub>2</sub> - грудного отведения при регистрации ЭКГ.

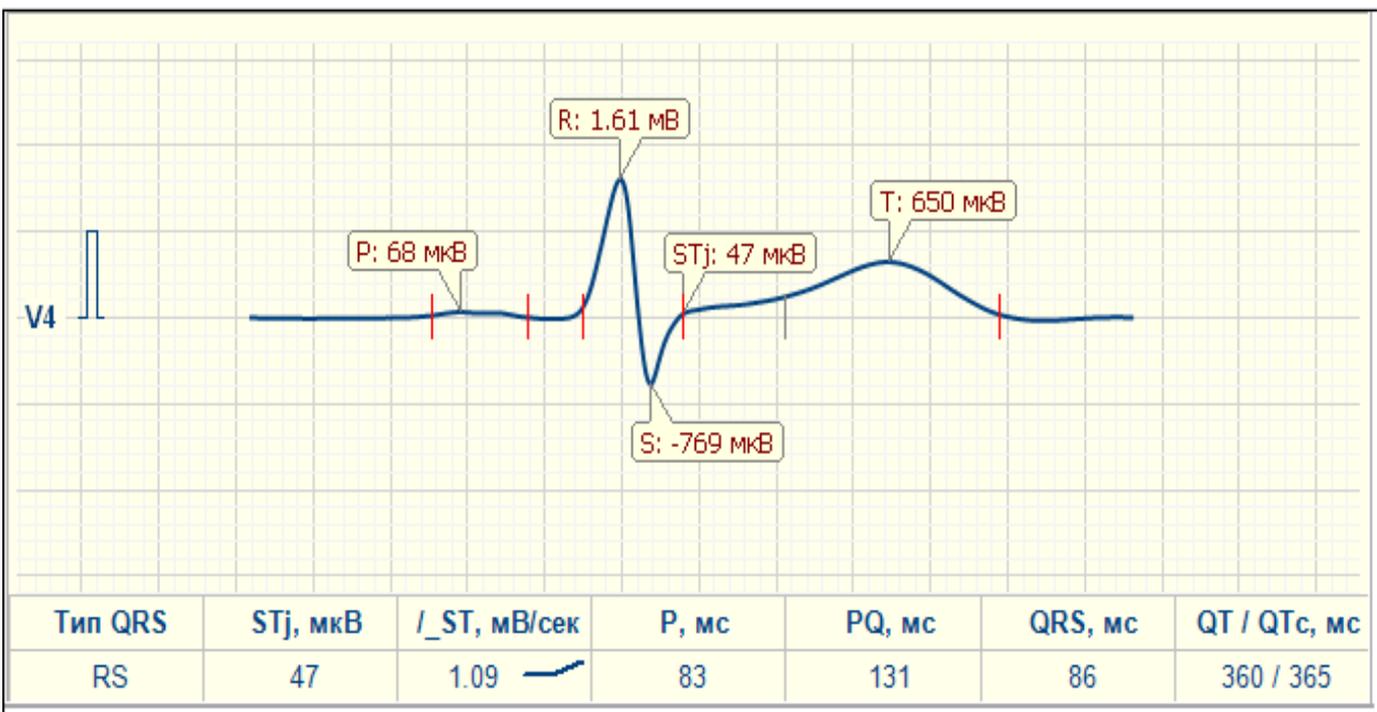
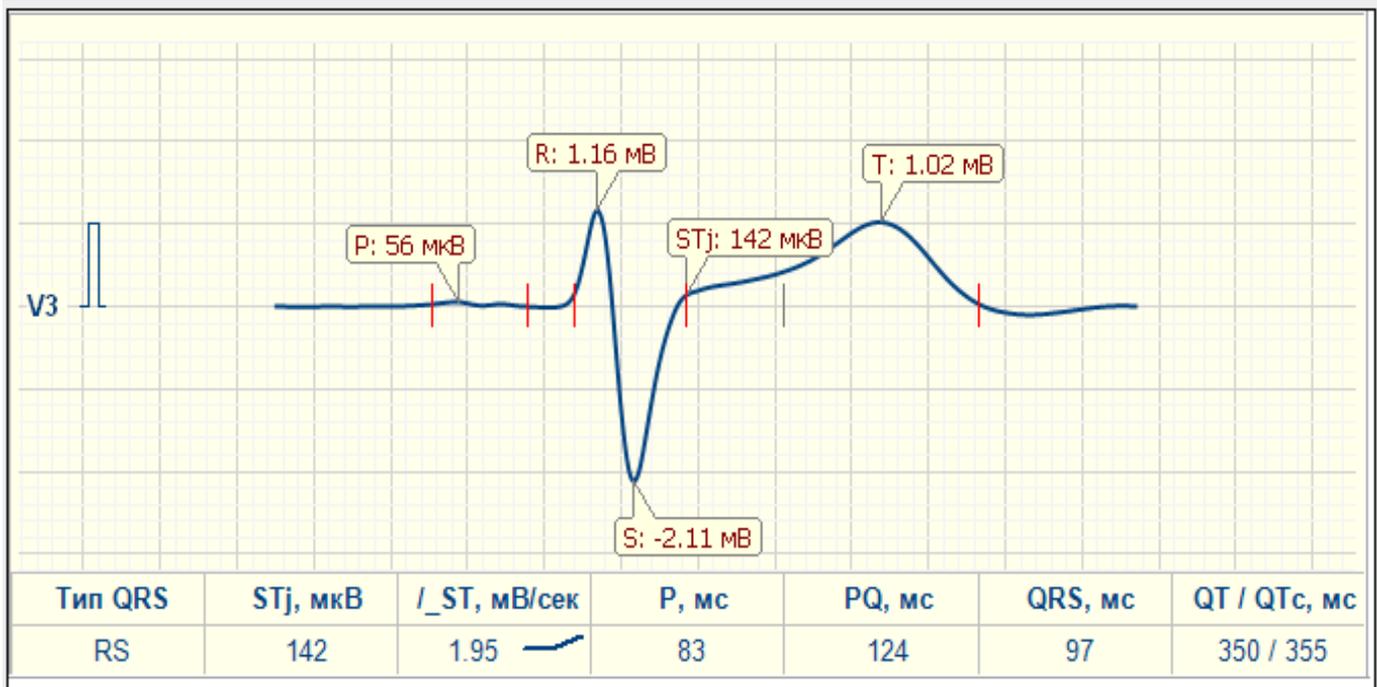


Рис. 16. Пример записи V<sub>3</sub>, V<sub>4</sub>- грудных отведений при регистрации ЭКГ.

### 9) Запись грудных отведений.

Аналогичным образом записываются 6 грудных отведений: V<sub>1</sub>-V<sub>6</sub> (на рис.15, 16 представлены примеры записи V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub>, V<sub>4</sub> грудных отведений).

### 10) Выключение питания, снятие электродов, оформление результатов ЭКГ обследования.

Выключают питание, снимают электроды.

При записи ЭКГ с нестандартной скоростью или нестандартным мВ это следует обязательно отметить.

Результат ЭКГ исследования распечатывают и выдают обследуемому.

**II. Используя предложенный вариант записи ЭКГ (см. папку «Наглядные материалы» на DVD), самостоятельно провести анализ зубцов и интервалов ЭКГ.**

**Полученные результаты записать в тетрадь.**

## Лабораторная работа 2

### Тема: «Проведение пробы с физической нагрузкой»

**Цель работы:** изучить теоретические аспекты проведения проб со ступенчато повышающейся физической нагрузкой, научиться определять уровень резистентности к физическим нагрузкам и физическую работоспособность.

**Оборудование:** велоэргометр, компьютерный электрокардиограф «КардиоЛаб», электропроводный гель, тонометр, фонендоскоп, весы медицинские, ростомер, спирт, вата.

### Ход работы:

**I. Записать в тетрадь стандартный порядок подготовки и проведения пробы с физической нагрузкой.**

**Подготовить обследуемого к проведению пробы, провести инструктаж.**

В день тестирования рекомендуют легкий завтрак не менее чем за 2-3 часа до начала обследования. Перед тестом обследуемый не должен принимать лекарств (за исключением специальных целей). Исключаются также кофе, чай, никотин и алкоголь, тяжелая мышечная работа. В день тестирования физическая активность должна быть минимальной, а за час до начала исследования обследуемый должен отдохнуть.

Необходимо устранить все помехи, приводящие к эмоциональному возбуждению обследуемого: не разговаривать с самим обследуемым и посторонними, исключить телефонные звонки, и т.д.

**1) Измерить рост и вес** обследуемого с помощью ростомера и медицинских весов.

**2) Определить исходный уровень ступенчатой нагрузки** в зависимости от возраста, пола и уровня тренированности.

**3) Провести наложение электродов в 12-ти отведениях** (модифицированные отведения). Электроды с рук располагаются по возможности как можно ближе к плечам (или на область ключиц), а электроды с ног – ниже пупка, на область подвздошных костей, или в поясничной области, или на спину в области угла лопаток.

#### 4) Включение питания аппарата.

Сетевой электрический шнур не должен перекрещиваться с проводами электродов, т. к. это может вызвать помехи.

#### 5) Запись контрольного милливольт.

Прежде чем начинать запись ЭКГ, на всех каналах электрокардиографа необходимо установить одинаковое усиление электрического сигнала. Обычно усиление каждого канала подбирается таким образом, чтобы напряжение **1 мВ** вызывало отклонение гальванометра и регистрирующей системы равное **10 мм**. Регулируют усиление электрокардиографа и регистрируют калибровочный милливольт.

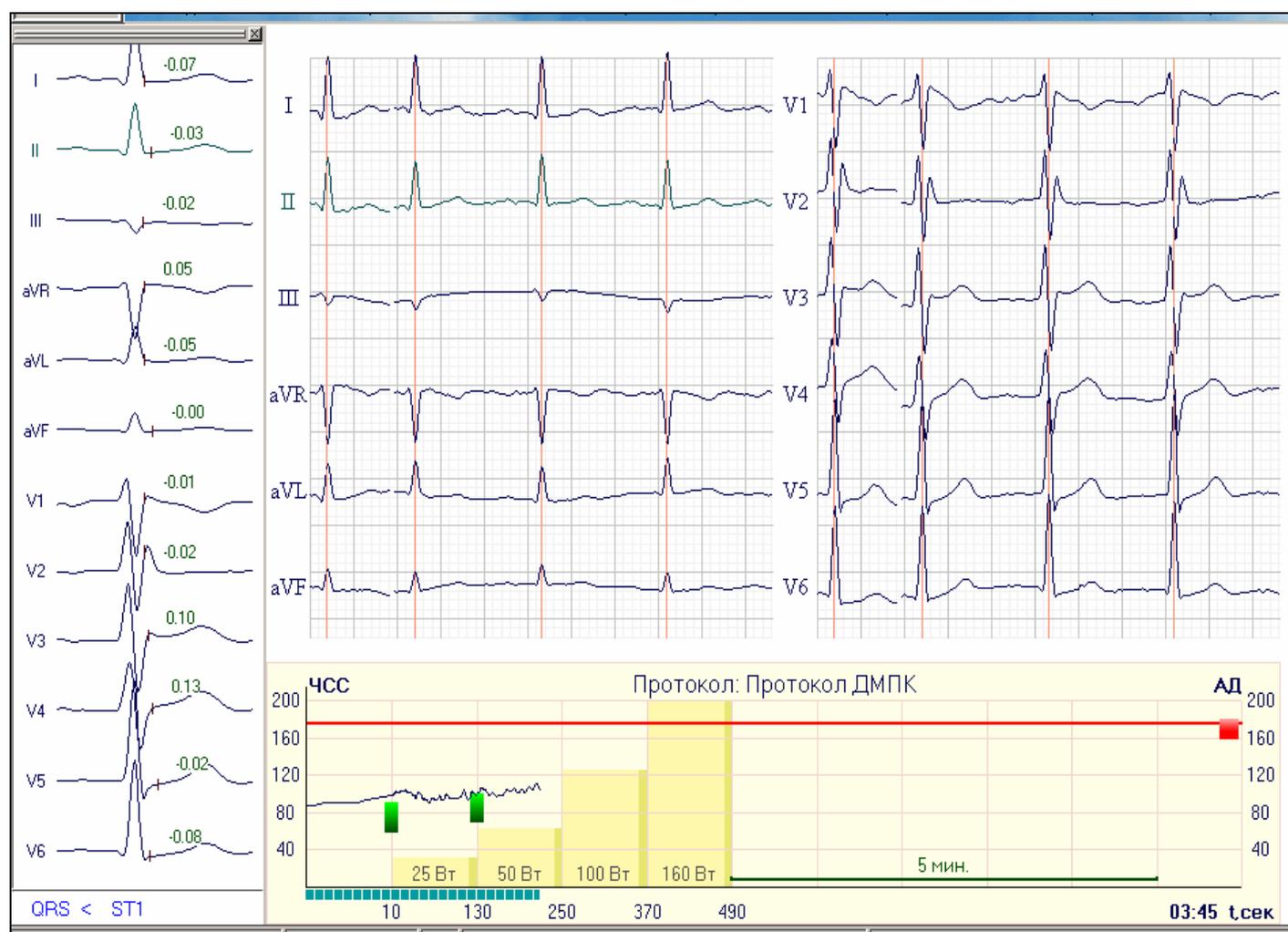


Рис. 17. Анализ усредненных зубцов ЭКГ в разных отведениях (графическая регистрация).

#### 6) Последовательная запись отведений.

Проводится последовательный анализ усредненных зубцов ЭКГ в разных отведениях (рис.17); анализ усредненных зубцов ЭКГ на разных этапах нагрузочного тестирования (рис.18); анализ усредненных зубцов ЭКГ в

отведении  $\alpha VR$ , первом отведении (рис.19, рис.20); анализ показателя МПК (рис.21); анализ длительности интервалов (QT, QRS, PQ, мс) и амплитуды зубцов (R, Q, мВ), полученных при записи ЭКГ в первом отведении (рис.22).

### 7) Выключение питания, снятие электродов, оформление результатов ЭКГ обследования.

Выключают питание, снимают электроды. При записи ЭКГ с нестандартной скоростью или нестандартным мВ это следует обязательно отметить.

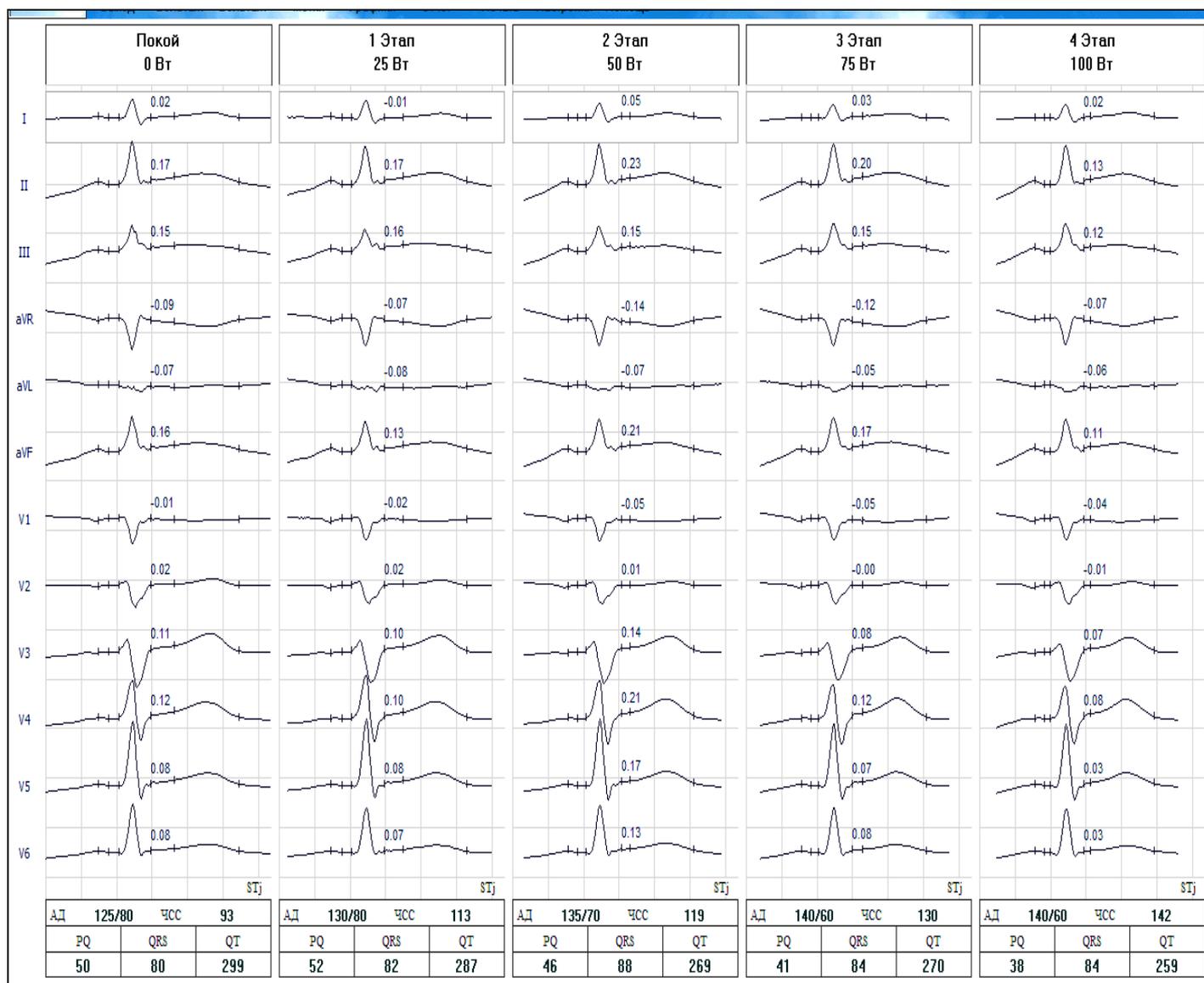


Рис. 18. Анализ усредненных зубцов ЭКГ на разных этапах нагрузочного тестирования (графическая регистрация).

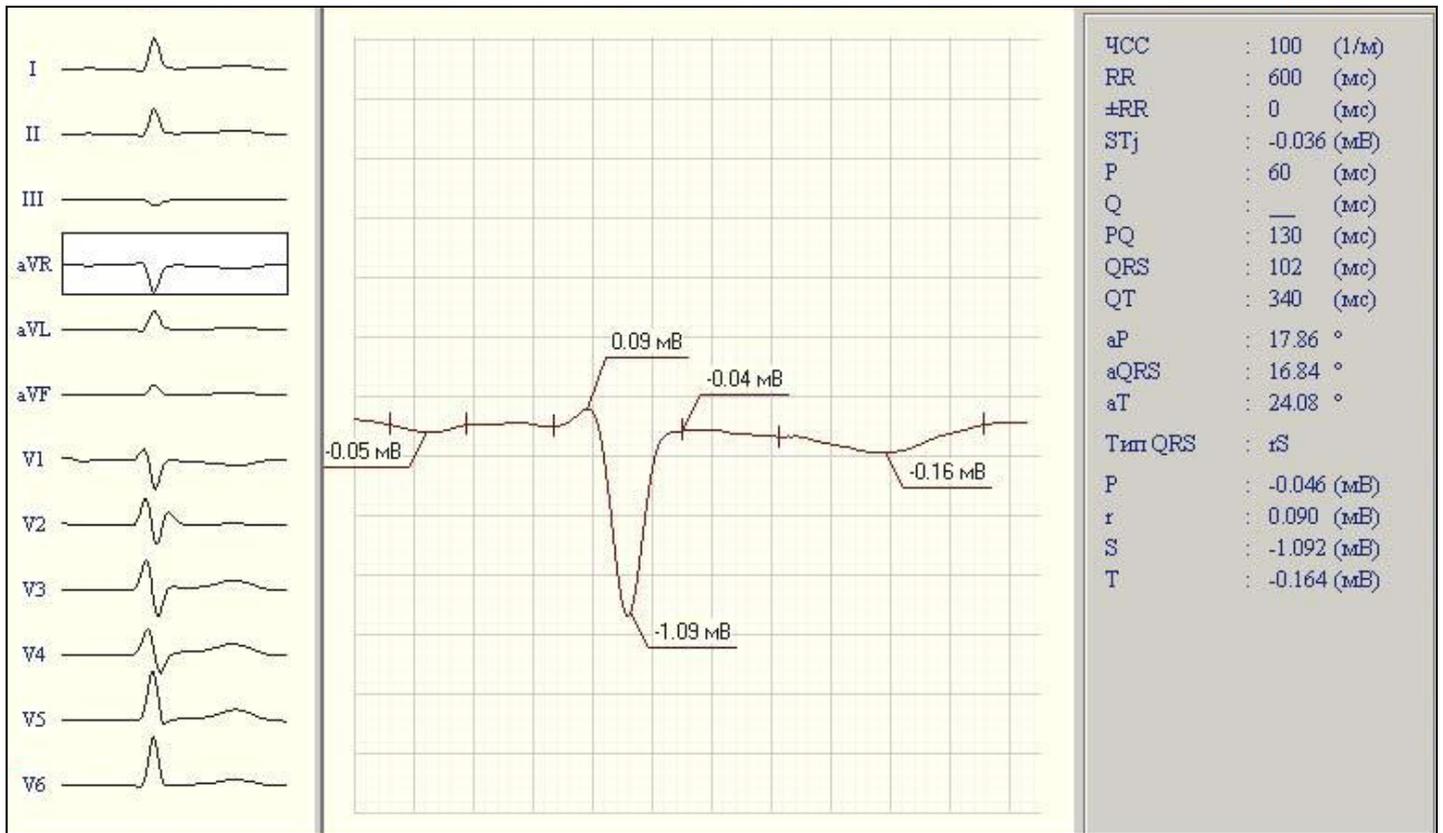


Рис. 19. Анализ усредненных зубцов ЭКГ в отведении aVR (графическая регистрация).

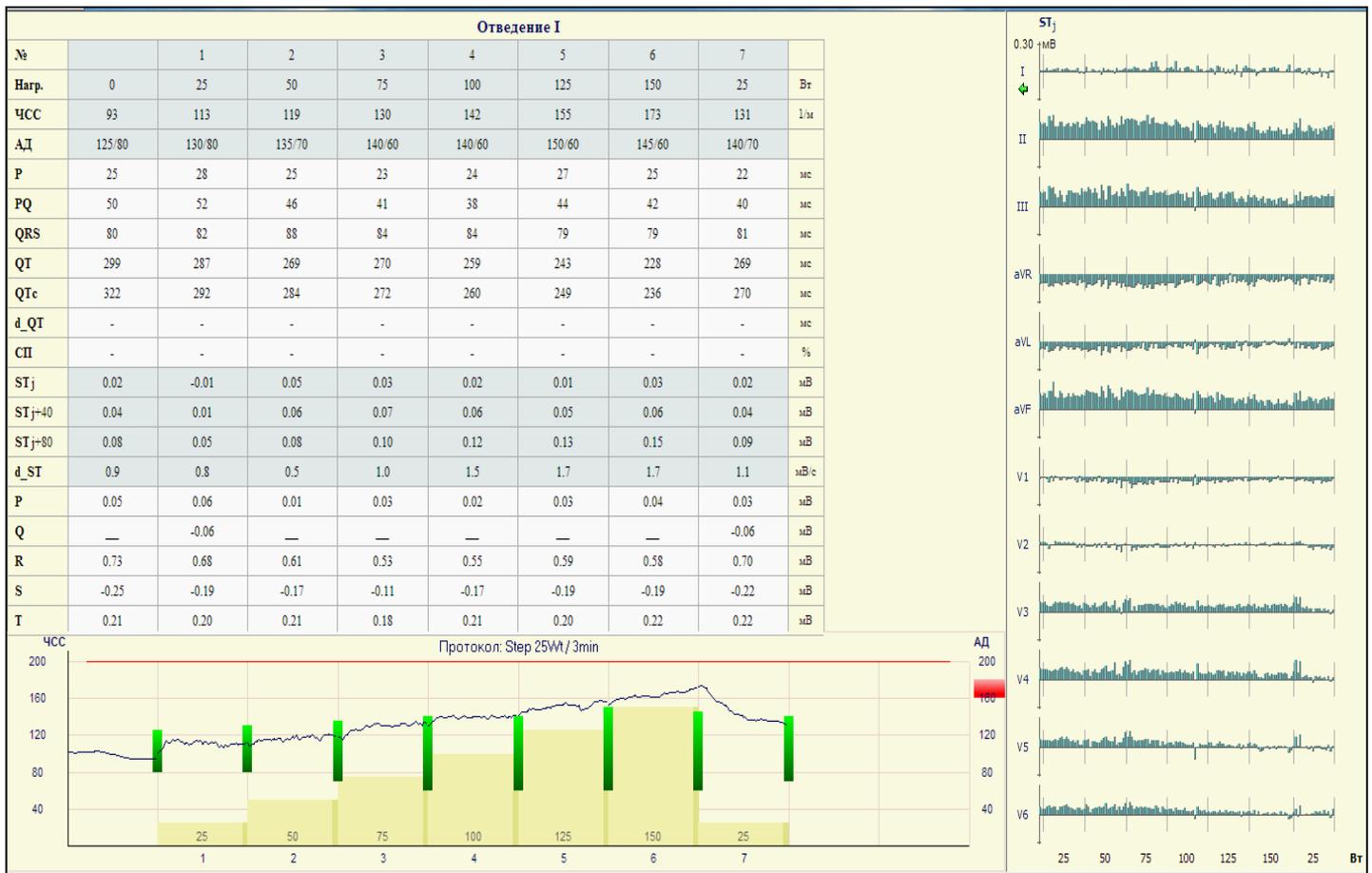


Рис. 20. Анализ усредненных зубцов ЭКГ в первом отведении (табличный вариант).



Рис. 21. Анализ показателя МПК при проведении нагрузочного тестирования.



Рис. 22. Анализ длительности интервалов (QT, QRS, PQ, мс), амплитуды зубцов (R, Q, мВ), полученных при записи ЭКГ в первом отведении.

**II. Используя предложенный вариант записи ЭКГ при проведении пробы с физической нагрузкой (см. папку «Наглядные материалы» на DVD), самостоятельно провести анализ зубцов и интервалов ЭКГ.**

**Полученные результаты записать в тетрадь.**

## Лабораторная работа 3

### Тема: «Исследование легочной вентиляции в покое и при форсированном дыхании методом спирографии»

**Цель работы:** изучить теоретические аспекты спирографии, научиться проводить пробу «Спокойное дыхание» и три специальных дыхательных маневра для определения жизненной емкости легких (ЖЕЛ), форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ) и максимальной вентиляции легких (МВЛ).

**Оборудование:** компьютерный спирограф «СпироКом», спирт, вата, зажим для носа, дыхательная измерительная трубка, весы и ростомер, термометр, барометр, гигрометр.

#### Ход работы:

Обследуемый должен быть **правильно подготовлен** и должны быть учтены все индивидуальные особенности. Следует записать: возраст, рост и вес (измеряются в легкой одежде и без обуви), которые понадобятся позже для расчета должных величин.

Исследование проводят в первой половине дня, не менее чем через 1,5-2 часа после приема пищи. Перед исследованием испытуемый должен находиться в спокойном состоянии на протяжении 30 мин.

Исследование проводится в положении сидя. Необходимо чтобы одежда не стягивала грудь и живот обследуемого.

Обследуемый одной рукой держит спирограф, а другая свободно опущена или лежит на коленях. Во время исследования запрещается закидывать ногу на ногу, равно как и исключается запрокидывание головы и наклон шеи вперед.

Обязательным условием проведения исследования является одетый на нос зажим.

Повторные исследования проводятся в сходных условиях на том же аппарате и, желательно, тем же оператором.

**I. Записать в тетрадь стандартный порядок подготовки и проведения спирографии.**

## 1. Измерение роста и массы тела обследуемого:

**а) измерение роста** происходит в положении стоя при помощи ростомера. Обследуемый становится на площадку ростомера спиной к вертикальной стойке, выпрямившись, прикасаясь к стойке затылком, межлопаточной областью, ягодицами и пятками. Скользящая горизонтальная планка прикладывается к голове без надавливания;

**б) измерение массы тела** проводится на рычажных или напольных весах.

## 2. Изучить методику проведения дыхательной пробы «Спокойное дыхание» и трех специальных дыхательных маневров для определения жизненной емкости легких (ЖЕЛ), форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ) и максимальной вентиляции легких (МВЛ).

**а) «Спокойное дыхание»** (рис.23). Дыхательную трубку спирографа необходимо держать строго горизонтально, плотно обхватив губами мундштук. Дышать через него нужно с естественной частотой и глубиной дыхания. Обязательно использовать носовой зажим;

**б) жизненная емкость легких (ЖЕЛ)** (рис.23). Дыхательную трубку спирографа необходимо держать строго горизонтально, плотно обхватив губами мундштук. После 2-3-х спокойных дыхательных движений необходимо сделать как можно более полный вдох, а затем максимально глубокий выдох. Опять дышать спокойно. И вновь – полный вдох и полный выдох. Повторяйте маневр 3 раза. Обязательно использовать носовой зажим;

**в) форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ)** (рис.23). Дыхательную трубку спирографа необходимо держать строго горизонтально, плотно обхватив губами мундштук.

После 2-3-х спокойных дыхательных движений необходимо сделать как можно более полный вдох, а затем глубокий выдох с максимальным усилием, которое должно быть достигнуто в начале маневра, и поддерживаться постоянным на всем его протяжении.

Обратить внимание на полноту выдоха. Опять дышать спокойно и вновь – полный вдох и полный выдох. Повторяйте маневр 3 раза. Обязательно использовать носовой зажим;

**г) максимальная вентиляция легких** (рис.23). Дыхательную трубку спирографа необходимо держать строго горизонтально, плотно обхватив губами мундштук, и дышать через него с максимально возможной частотой и глубиной дыхания. Обязательно использовать носовой зажим.

## Hospital

### ПРОТОКОЛ ОБСЛЕДОВАНИЯ

### Пробы выдоха(1)

Пациент: **Гаращук Сергей Сергеевич**

Дата рождения: **13 Июля, 1993**

Возраст: **18л.**

Пол: **Муж.**

Рост: **170**

Вес: **64**

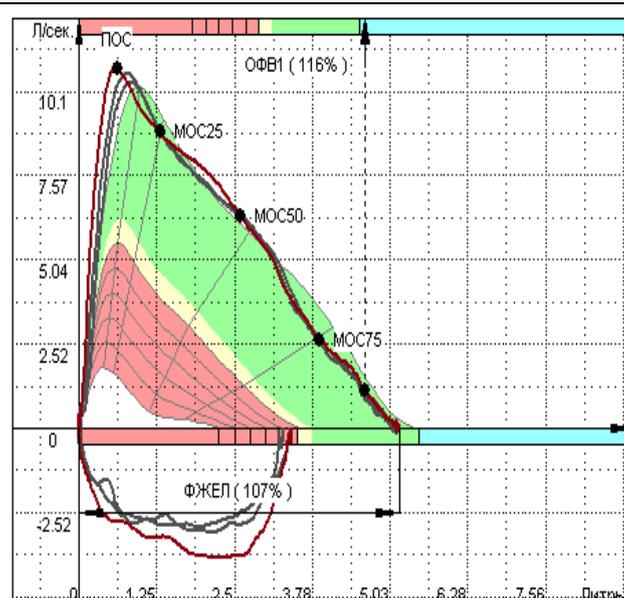
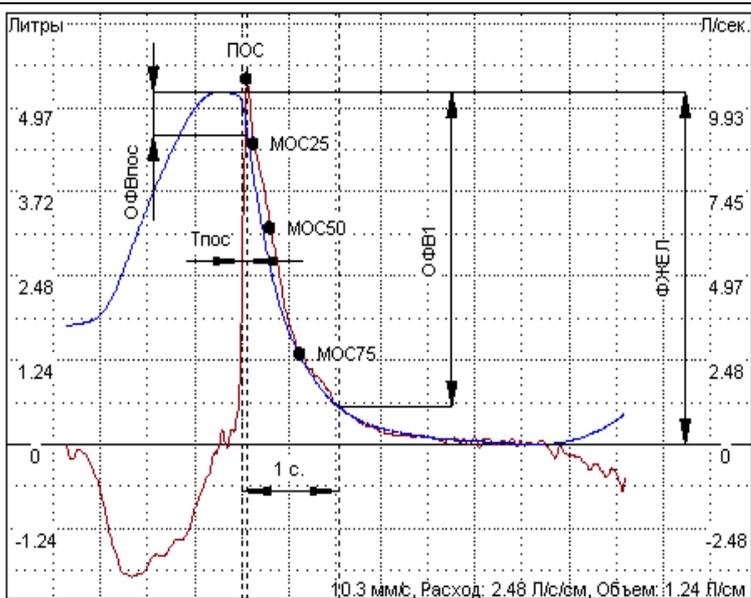
Дата обследования: **7 Декабря, 2011 10:47**

#### "Спокойное дыхание" и "Максимальная вентиляция легких"

Назв.	ед.изм.	знач.	норма	%	Назв.	ед.изм.	знач.	Назв.	ед.изм.	знач.	норма	%
ДО	л	0.886	0.738	120	Дл.вд.	с	2.72	ДОм	л	3.27		
МОД	л	10.3	12.5	82	Дл.выд.	с	2.44	ЧДм	1/мин	64		
ЧД	1/мин	11.6			Дл.вд/Дл.выд	без разм.	1.11	МВЛ	л/мин	209	123	170

#### "ЖЕЛ" и "ФЖЕЛ" выдоха

Назв.	ед.изм.	знач.	норма	%	Отклонение	Заключение
ЖЕЛ	л	5.15	4.92	105		норма
Ровд.	л	2.65				
Ровыд.	л	1.62				
ФЖЕЛ	л	5.18	4.85	107		норма
ОФВ0.5	л	3.58				
ОФВ1	л	4.63	4.01	116		больше нормы
ОФВ2	л	5.09	4.63	110		норма
ОФВ3	л	5.18	4.77	108		норма
ОФВпос	л	0.63				
ИТ	%	89.9	81.8	110		больше нормы
ОФВ1/ФЖЕЛ	%	89.4	82.6	108		норма
ПОС/ОФВпос	1/с	17.1				
ПОС	л/с	10.7	8.73	123		больше нормы
МОС25	л/с	8.84	7.86	112		норма
МОС50	л/с	6.33	4.98	127		больше нормы
МОС75	л/с	2.63	2.44	107		норма
СОС0.2-1.2	л/с	9.09				
СОС25-75	л/с	5.48	4.48	122		норма
СОС75-85	л/с	2.18	1.92	114		



**Комментарий:** В пробах выдоха нарушений вентиляции нет.

**Врач:** Doctor

**Рис. 23.** Пример оформления протокола при проведении спирографического исследования. Пробы «Спокойное дыхание», «Максимальная вентиляция легких», «ЖЕЛ», «ФЖЕЛ».

### **3. Обработка данных.**

После проведения регистрации проб в окошке «настройка обработки» вводим показатели ВТРС (температура воздуха, атмосферное давление, относительная влажность воздуха) и создаем отчет по посещению.

**II. Используя предложенный вариант спирограммы (см. папку «Наглядные материалы» на DVD), самостоятельно провести анализ пробы «Спокойное дыхание» и пробы «Максимальная вентиляция легких».**

**Полученные результаты записать в тетрадь.**

**Для заметок:**