

Министерство образования и науки РФ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)  
Кафедра конструирования узлов и деталей РЭА (КУДР)

## Измерение электрокардиограмм

Методические указания к лабораторному занятию по дисциплине  
«Основы медицинской электроники»

для специальности 210201 (200800) - Проектирование и технология радио-  
электронных средств, специализации 200803 - Конструирование и технология  
биомедицинской аппаратуры.

Разработчик:  
профессор каф. КУДР  
\_\_\_\_\_ Еханин С.Г.

2010

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 История развития электрокардиографии.....	3
2 Анатомо-физиологическое функционирование сердца.....	5
3 Электроды и отведения.....	10
3.1 Электроды .....	11
3.2 Стандартные отведения при снятии ЭКГ.....	11
4 Электрокардиографы.....	14
5 Порядок выполнения лабораторной работы.....	17
6 Список рекомендуемой литературы.....	18

## ВВЕДЕНИЕ

Электрокардиограф был первым электрическим прибором, который нашел широкое применение в медицинской диагностике. Он и до сих пор остается важнейшим орудием диагностики сердечных болезней. Хотя он обеспечивает получение неоценимо важной диагностической информации, особенно при диагностике аритмий и инфаркта миокарда, некоторые болезни, например болезни, при которых затрагиваются сердечные клапаны, не могут быть диагностированы с помощью ЭКГ. Другие методы диагностики, например, ангиография и эхокардиография, позволяют получить информацию, которую нельзя получить с помощью электрокардиографии. Первые электрокардиографы появились в больницах примерно в 1910 г., и, хотя с тех пор они существенно усовершенствованы, сам метод по существу претерпел лишь незначительные изменения. Большая часть терминологии и некоторые методы, используемые в настоящее время, ведут свою историю с самых первых дней электрокардиографии, и их лучше рассматривать в историческом аспекте.

## 1 ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ

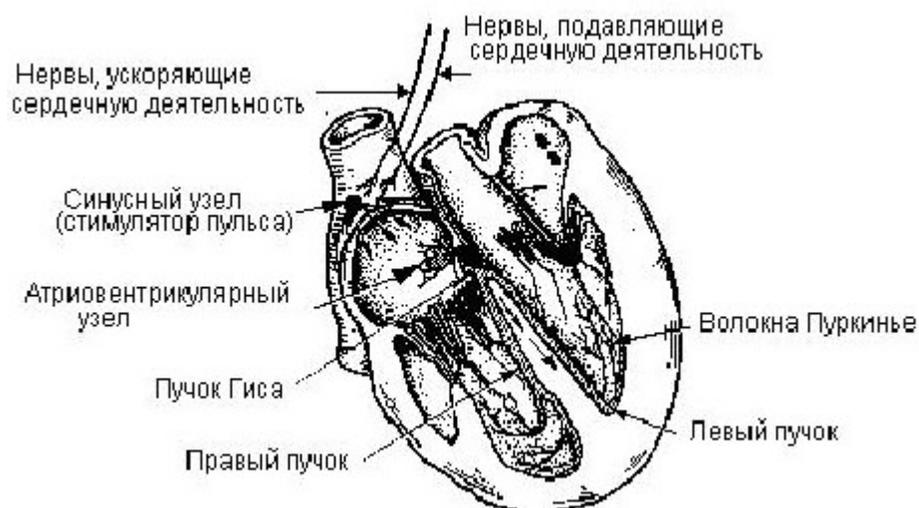
Как уже отмечалось ранее, открытие самого факта, что мышечные сокращения связаны с электрическими явлениями, относится к 18 в. Однако в те времена техника была развита так слабо, что не позволяла количественно исследовать электрические напряжения, возникающие при сокращении сердечной мышцы. И только в 1887 г. Уоллером была записана первая ЭКГ, использованный для этой записи прибор - капиллярный электрометр - был хрупким, настройка его представляла значительные трудности, и это ограничило его использование. Введение в электрокардиограф струнного гальванометра, которое осуществил в 1903 г. Эйнтховен, было важным шагом вперед. Но вклад Эйнтховена в электрокардиографию не ограничивается только этим. Он объяснил взаимосвязь различных фаз сокращения сердца и хода кривой ЭКГ и предложил определенную систему расположения

электродов, которая используется до сих пор. Поэтому Эйнтховена можно с полным правом считать отцом электрокардиографии. В приборах начала века отсутствовал электронный усилитель, и ток, который должен отклонять гальванометр, должен быть получен непосредственно с электродов. Следовательно, для такого прибора необходимы были электроды с очень низким импедансом (погружные). Сама ЭКГ в таких приборах записывалась на фотопленке. Так как чувствительность этого метода зависела от настройки гальванометра и от сопротивления электродов, то перед записью каждой ЭКГ для стандартизации записи на прибор подавалось калибровочное напряжение 1 мВ. Приблизительно в 1920 г. появились электрокардиографы с электронными усилителями. Повышенная чувствительность этих приборов позволила заменить погружные электроды более удобными небольшими пластинчатыми электродами которые используются по сей день. Это позволило также заменить деликатные струнные гальванометры более грубыми гальванометрами других типов. Несмотря на эти усовершенствования в электрокардиографах все еще использовалась в качестве средства регистрации фотопленка или фотобумага. Это препятствие было преодолено примерно в 1946 г, введением в практику регистрирующих устройств с прямой записью ЭКГ на перемещающейся бумажной ленте чернилами или на покрытой красителем ленте. Позднее была разработана специальная теплочувствительная бумага. В настоящее время в качестве средства регистрации ЭКГ используется только такая бумага. Первые регистраторы с прямой записью не позволяли воспроизводить тонкие детали ЭКГ так же хорошо, как фотографические регистраторы. Поэтому некоторые специалисты, несмотря на неудобства фоторегистраторов, использовали, их в своей практике. В последние годы технические усовершенствования позволили создать электрокардиографические аппараты с прямой записью, которые регистрируют все тонкие детали кривой ЭКГ, необходимые для медицинской диагностики.

## **2 АНАТОМО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СЕРДЦА**

Как уже говорилось, биопотенциалы, генерируемые мышцами сердца, формируют электрокардиограмму. Чтобы понять ее происхождение и значение, необходимо рассмотреть анатомию сердца и его функционирование в общей сердечно-сосудистой системе. Четыре камеры сердца действуют как два синхронизированных двухступенчатых насоса. Правая часть сердца подает кровь в легкие для насыщения ее кислородом (легочная циркуляция), а левая - к остальным системам (системная циркуляция). Поступающая в сердце кровь заполняет правое предсердие, после чего оно сокращается и выталкивает кровь через правый предсердно-желудочковый клапан в правый желудочек, который затем сокращается и выталкивает кровь в систему легочной циркуляции. Из легочной системы насыщенная кислородом кровь поступает в левое предсердие. Отсюда кровь через левый предсердно-желудочковый клапан (митральный) поступает в левый желудочек. При сокращении мышц левого желудочка кровь поступает в круг системной циркуляции. Работа сердца синхронизована таким образом, что оба предсердия сокращаются одновременно, после этого одновременно сокращаются оба желудочка. Возбуждение сердца не производится непосредственно центральной нервной системой (как это имеет место для большинства других систем иннервации мышц), оно осуществляется синусным узлом, или стимулятором пульса, который представляет собой специальную группу возбудимых клеток. Стимулятор пульса спонтанно генерирует с постоянным ритмом потенциалы действия (см. рис.1). Од-

нако на этот ритм влияют нервы, которые увеличивают или уменьшают его. для того, чтобы инициировать сокращения сердца, потенциал действия, сформированный стимулятором пульса, распространяется во всех направлениях ( из синусного узла ) вдоль поверхности обоих предсердий по направлению к месту соединения предсердий и желудочков, т.е. к предсердно-желудочковому узлу. В этой точке специальные нервные волокна замедляют распространение, обеспечивая соответствующую временную задержку между сокращениями предсердий и желу-



дочков.

Рисунок 1 – Схема управления деятельностью сердца

В течение этого времени предсердия завершают сокращения, выталкивают кровь в желудочки, наполняя их. После этого предсердно-желудочковый узел создает импульс в желудочках, проходящий через пучок Гиса в ветви пучка, которые соединяются с волокнами Пуркинью в миокарде. Однако волновой фронт в желудочках распространяется не вдоль поверхности, а перпендикулярно ей - от внутренней к внешней части стенки желудочка - до тех пор, пока весь желудочек не станет деполяризованным. Тогда желудочки сокращаются, выталкивая кровь в системы легочной и системной циркуляции. За волной деполяризации следует волна реполяризации (с интервалом 0,2 - 0,4 с). Причем каждая клетка возвращается к потенциалу покоя независимо.

На рис. 2 показана типичная ЭКГ. Каждой ее характерной особенности произвольно даны буквенные обозначения. Эти особенности могут быть сопоставлены с определенными этапами процесса распространения потенциала действия. Для удобства изучения этой кривой ее горизонтальный участок рассматривается как изопотенциальная, или изоэлектрическая линия.

Зубец Р характеризует электрическую активность, связанную с деполяризацией предсердной мускулатуры по мере того, как потенциалы действия распространяются от синусного узла, где они возникают, к предсердно-желудочковому узлу. Вектор зубца Р представляет волну деполяризации определенной амплитуды, которая распространяется от синусного узла к предсердно-желудочковому узлу. По мере распространения волны область вокруг предсердно-желудочкового узла становится электрически положительной, а область вблизи синусного узла - отрицательной. Так как результирующее электрическое поле проявляется и на поверхности тела, то во время возбуждения предсердия нижняя часть грудной клетки становится положительной, а верхняя - отрицательной. Если используемый для измерения ЭКГ электрокардиограф правильно подключен с помощью электродов к этим областям, результирующий зубец будет иметь вид положительной волны.

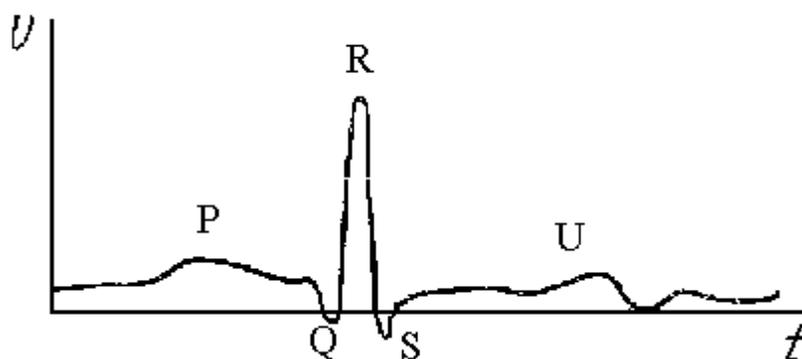


Рисунок 2 – Типичный вид ЭКГ

Деполяризация предсердия происходит в одном основном направлении, а желудочков - в трех направлениях. Непосредственно после окончания периода задержки импульса начальная деполяризация желудочков начинается с септальной зоны, лежащей непосредственно ниже предсердно-желудочкового узла.

Так как стенки левого желудочка толще стенок правого, волна деполяризации распространяется слева направо, что приводит к тому, что левая часть грудной клетки становится отрицательной, а правая - положительной. Этот процесс регистрируется в виде зубца Q, который лежит ниже опорной линии, т.е. он отрицателен. Обычно амплитуда зубца Q намного меньше амплитуды зубца R, поэтому на некоторых ЭКГ его вообще не видно.

Вектор зубца R представляет деполяризацию большей (но не всей) части желудочковых мышц. Так как желудочковые мышцы более массивны по сравнению с мышцами предсердия, то вектор зубца R длиннее вектора P, но их направления практически совпадают (от вершины сердца к его нижнему краю). Поэтому на рис. 2 зубец R, как и зубец P, будут совпадать по полярности (положительны), но амплитуда зубца R значительно больше. Зубец R обычно является наиболее характерной чертой ЭКГ. Обычно пиковая амплитуда зубца R составляет около 1 мВ при измерении на поверхности грудной клетки и около 40 мВ при измерении внутри сердца.

Вектор зубца S характеризует деполяризацию остальной части желудочков. Так как при формировании этого зубца нижняя часть сердца становится отрицательной, а зона предсердно-желудочкового узла - положительной, то зубец S будет на ЭКГ отрицательным. В общем случае амплитуда зубца S больше амплитуды зубца Q. Однако, у некоторых пациентов амплитуда зубца Q так мала, что ее на ЭКГ и не видно.

Комплекс QRS отображает суммарный результат деполяризации желудочков. До начала этого интервала времени предсердие реполяризуется. Однако, из-за малой амплитуды сигнал, соответствующий волне реполяризации предсердия, на ЭКГ практически не виден. Поэтому в интервале от конца зубца P до начала

комплекса QRS ЭКГ имеет вид горизонтальной прямой, совпадающей с опорной линией. Как только желудочки начинают деполяризоваться, они сокращаются. Затем они реполяризуются.

Реполяризация характеризуется зубцом T. Зубец U, если он присутствует на ЭКГ, обычно приписывают остаточным потенциалам желудочковой мышцы (послепотенциалам). Зубец U чаще присутствует на ЭКГ детей, чем взрослых. Однако его можно наблюдать и у взрослых пациентов с дисбалансом калия или с увеличенным сердцем. Вслед за реполяризацией желудочки расслабляются. Типичные значения максимальных амплитуд для нормальной ЭКГ следующие:

- зубец P - 0,2 мВ,
- зубец Q (если присутствует) - 0,1 мВ,
- зубец R - 0,5...1,5 мВ,
- зубец S (если присутствует) - 0,2 мВ,
- зубец T - 0,1... 0,5 мВ.

Другими важными параметрами ЭКГ являются длительности интервалов сегментов. Типичные значения для здорового взрослого пациента с частотой сердечных сокращений 60 в минуту (одно в секунду):

#### Интервалы

P-R	0,12...0,20 с
QRS	0,06...0,10 с
S-T	0,18...0,30 с
Q-T	0,35...0,40 с

#### Сегменты

P-R	0,04...0,80 с
S-T	0,12...0,16 с

### 3 ЭЛЕКТРОДЫ И ОТВЕДЕНИЯ

Чтобы записать ЭКГ, к телу пациента необходимо прикрепить несколько (обычно пять) электродов. Их подключают к аппарату ЭКГ с помощью такого же

числа проводов. Эти провода и электроды, к которым они подсоединены, обычно называют отведениями. Электрод, прикрепленный например, к правой ноге пациента называется ПН (RL) отведением. Для записи ЭКГ ко входу регистрирующего усилителя подключают два электрода или один электрод и соединенные между собой несколько электродов. Некоторых специалистов смущает, что и отдельные электроды, и группы специальным образом соединенных электродов рассматриваются как отведения. Для того чтобы избежать такой неоднозначности, термин отведение будет использоваться только для обозначения специальной группы электродов и способа, которым они связаны с усилителем. Для отдельных отводящих проводов, а также для физического подсоединения к телу пациента мы будем использовать термин **э л е к т р о д**. Однако следует иметь в виду возможность двойного толкования термина отведение при использовании его на практике.

Как указывалось выше, напряжение, возникающее при работе сердца, в действительности представляет собой векторную величину у которой абсолютное значение и ориентация в пространстве изменяются во времени. Так как сигнал ЭКГ измеряется с помощью электродов, закрепленных на поверхности тела, то вид кривой этого сигнала очень сильно зависит от их размещения. На рис. 2 показана типичная запись сигнала ЭКГ. При определенном размещении электродов некоторые сегменты этой кривой могут практически исчезать, другие - четко выделяться. Поэтому при обычном электрокардиографическом исследовании производится запись ЭКГ от нескольких различных отведений, обычно от 12. Такой метод гарантирует, что при записи не будут опущены некоторые важные детали истинной ЭКГ. Места размещения электродов, а также названия и конфигурация отведений в настоящее время стандартизированы, их используют во всех странах мира.

### 3.1 ЭЛЕКТРОДЫ

В ходе экспериментов Эйнтховен установил, что наибольшие преимущества дает запись ЭКГ с помощью электродов, разнесенных по вертикальной и по

горизонтальной осям тела. Как было сказано ранее, его пациенты погружали в керамические сосуды, используемые в качестве погружных электродов, не только обе руки, но и одну ногу. Эйнтховен выбрал левую ногу, вероятно, потому, что она расположена на вертикали проходящей через сердце. Таким образом, у первых электрокардиографов было три электрода, из которых только два использовались одновременно. При введении в практику электронных усилителей возникла необходимость применить дополнительный электрод, закрепленный на теле, в качестве опорной (заземленной) точки. Хотя этот электрод можно располагать почти в любой точке тела, общепринято размещать его на "свободной" правой ноге. Грудной или предсердный электрод был введен позднее. Обычно в качестве электродов на конечностях используют пластинчатые, а в качестве грудного - электрод на присоске. Следует отметить, что сокращенные обозначения, относящиеся к электродам на конечностях, применяются для обозначения электродов даже тогда, когда они в действительности расположены на груди. Так, например, обозначены электроды при наблюдении за пациентом с помощью монитора.

### 3.2. СТАНДАРТНЫЕ ОТВЕДЕНИЯ ПРИ СНЯТИИ ЭКГ

При нормальном размещении для записи ЭКГ используют четыре электрода; электрод на правой ноге используется только в качестве опорного. Так как вход электрокардиографа имеет только две клеммы, то из имеющихся активных электродов нужно выбрать два. Существует 12 стандартных отведений, которые используются наиболее часто. Три биполярных отведения - от конечностей, впервые введенные Эйнтховеном, показаны на рис. 3, они определяются следующим образом:

Отведение 1: левая рука (ЛР, LA) - правая рука (ПР, RA)

Отведение 11: левая нога (ЛН, LL) - правая рука (ПР, RA)

Отведение 111: левая нога (ЛН, LL) - левая рука (ЛР, LA).

Эти три отведения называются биполярными, так как при каждом отведении ЭКГ записывается с двух электродов, а третий электрод не подключается. Другие отведения из 12 являются униполярными. Этот тип отведений был впервые использован Вильсоном в 1944 г.

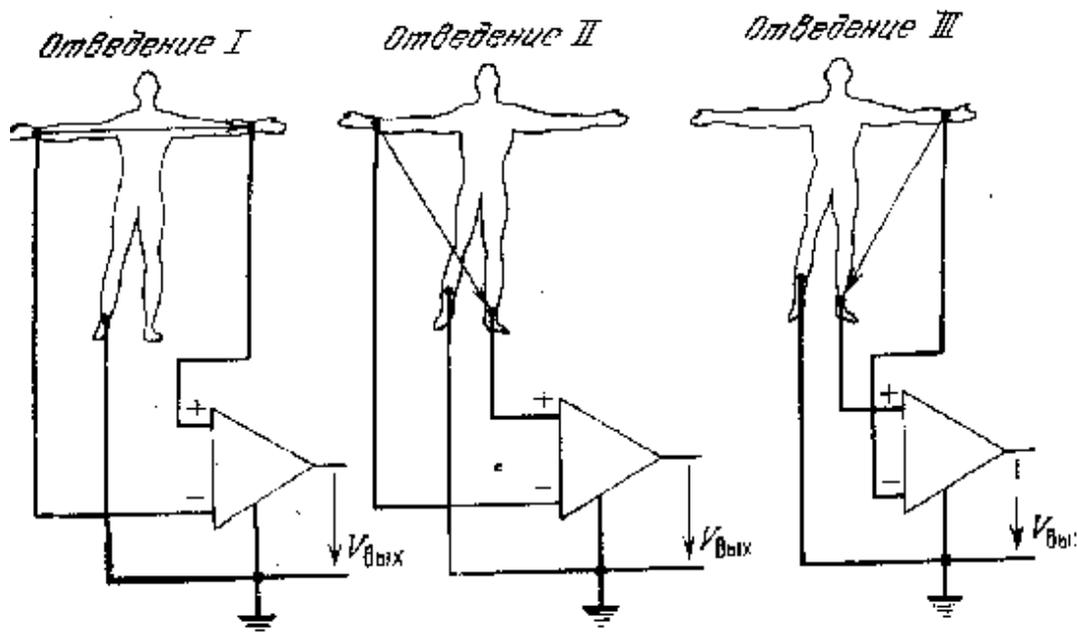


Рисунок 3 – Стандартные биполярные отведения

При униполярных отведениях ЭКГ записывается между единственным исследовательским электродом и центральной точкой (центральным отводом), которая имеет потенциал, соответствующий центру тела. Центральный отвод образуется соединением трех активных электродов на конечностях через резисторы с одинаковыми сопротивлениями. Потенциал в точке соединения резисторов соответствует среднему значению потенциалов на этих трех электродах. При униполярных отведениях от конечностей один из электродов на конечностях применяется в качестве исследовательского, в то же время он вносит свой вклад в потенциал центрального отвода. Такое двойное использование приводит к тому, что сигнал ЭКГ имеет очень малую амплитуду. При усиленных униполярных отведениях от конечностей электрод на конечности, используемый в качестве исследователско-

го, не подключается к центральному отводу; при этом амплитуда сигнала ЭКГ возрастает, а форма его не претерпевает сколько-либо заметных изменений.

Эти отведения обозначаются как усиленные aVR, aVL и aVF (foot - нога). При униполярных грудных отведениях все три активных электрода на конечностях используются для образования центрального отвода, а в качестве исследовательского применяется отдельный грудной электрод.

Следует отметить, что кривые, полученные от отведений I и II более всего приближаются к идеализированной, показанной на рис. 2; некоторые кривые существенно отличаются от идеализированной кривой.

Кроме уже рассмотренных систем отведений существуют определенные дополнительные модификации, которые достаточно широко используются в кардиологических отделениях. Для непрерывного наблюдения ЭКГ наиболее широко применяется модификация, получившая название "модифицированное грудное отведение (МГО 1) или «Отведение Мариотта» (по имени впервые использовавшего его специалиста). При этой системе отведений электроды расположены следующим образом: положительный электрод на правом краю грудины в четвертом межреберном промежутке; отрицательный - ниже внешней части левой ключицы; опорный электрод можно размещать где угодно, но обычно ниже правой ключицы. Монитор подключают на отведение 1 для снятия биполярной кривой. Получаемые таким образом кривые очень полезны для дифференциации эктопических (неправильных) ритмов левого желудочка от аномальных ритмов правого желудочка и суправентрикулярных (наджелудочковых) ритмов. Первая ситуация требует немедленного терапевтического вмешательства, последняя имеет меньшее клиническое значение.

#### 4 ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФЫ

Рассмотрим рис. 4, на котором изображена схема электрокардиографа. На рисунке показаны органы управления электрокардиографа; штриховые линии указывают тот блок, управление которым осуществляет данная ручка (или лимб).

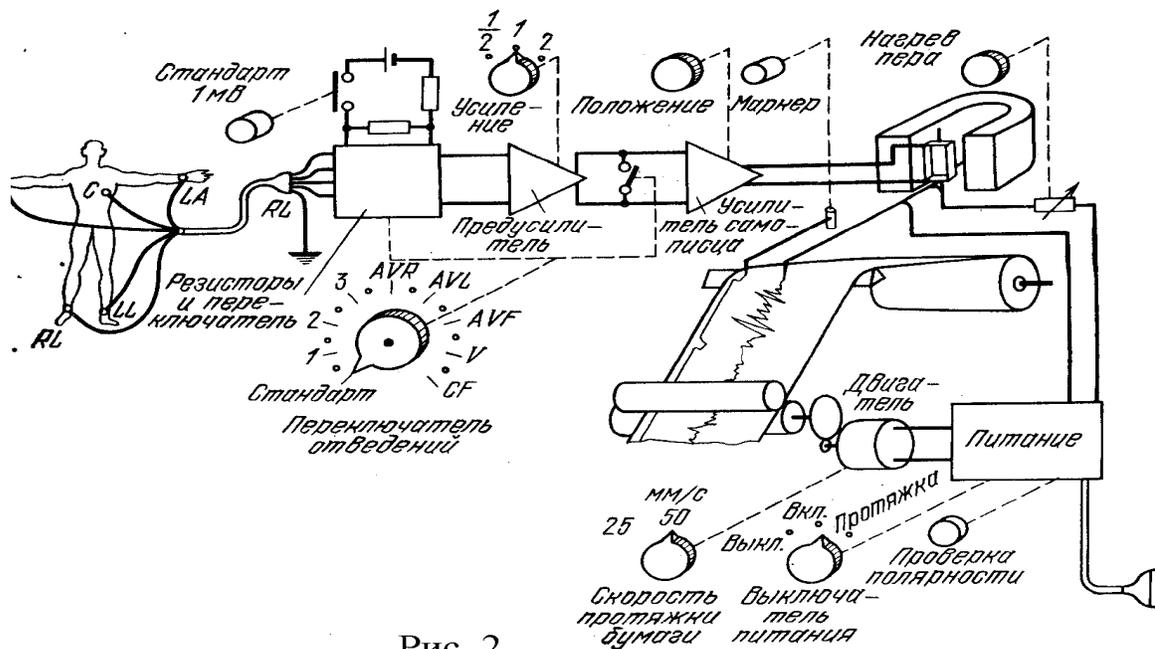


Рис. 2

Соединительные провода, ведущие к электродам, выходят из конца кабеля пациента, другой конец которого включается в электрокардиограф. Провода от электродов соединены с переключателем отведений, в состав которого входят и резисторы необходимые для униполярных отведений. Нажимная кнопка «Стандарт 1 мВ» на передней панели позволяет ввести калибровочное напряжение 1 мВ для калибровки электрокардиографа. Хотя современные электрокардиографы стабильны и их чувствительность не изменяется со временем, введение калибровочного импульса до или после каждой записи при снятии ЭКГ на 12 отведениях все еще практикуется. Изменение установки переключателя отведений приводит к появлению в записи артефактов. Специальный контакт на переключателе моментально отключает усилитель, когда этот переключатель смещается, и включа-

ет его снова после того, как это смещение исчезнет. От переключателя отведенный сигнал ЭКГ попадет в предусилитель. Это устройство представляет собой дифференциальный усилитель с высокой степенью подавления (режекции) общего (синфазного) сигнала. Предусилитель также имеет переключатель для регулировки чувствительности или усиления. Для большинства пациентов этот переключатель остается в положении «1». Если кривая ЭКГ имеет слишком малый размах, то чувствительность можно удвоить, переместив переключатель в положение «2».

Для пациентов с большими сигналами ЭКГ интенсивность сигналов можно уменьшить вдвое, установив переключатель в положение «1/2». Более старые аппараты ЭКГ имели непрерывную регулировку чувствительности, которая иногда помечалась «Настройка калибровки». С помощью такой настройки можно так подобрать чувствительность электрокардиографа, чтобы калибровочный импульс 1 мВ вызывал отклонение пера на 10 мм (при положении «1» переключателя усиления). В современных усилителях усиление обычно остается стабильным если его однажды отрегулировали, поэтому непрерывную регулировку усиления сейчас можно встретить лишь изредка и то в виде настроечного винта (который можно регулировать с помощью отвертки), расположенного на боковой или на задней стенке электрокардиографа.

За предусилителем следует усилитель постоянного напряжения, называемый усилителем самописца, обеспечивающий необходимую мощность для перемещения регистрирующего пера, которое осуществляет запись ЭКГ. На вход этого усилителя обычно можно подать и сигнал от внешнего источника, что делается с помощью специального разъема. Вспомогательный вход располагается на боковой или на задней стенке электрокардиографа. Таким образом, электрокардиограф можно использовать и для записи выходных сигналов других приборов. Ручка «Положение», относящаяся к усилителю, позволяет устанавливать положение пера относительно регистрирующей бумаги (центрировать перо). Обычно во всех современных электрокардиографах используется теплочувствительная бумага, перо представляет собой иглу с электрическим нагревом, температуру которой

можно регулировать с помощью ручки «Нагрев пера», что позволяет получить оптимальную запись сигнала. Наряду с записывающим пером в приборе существует и маркерное (отметчик времени), которое включается с помощью кнопки. Это позволяет оператору наносить кодированную метку записываемого отведения в начале ЭКГ. Обычно ЭКГ записываются при скорости перемещения бумаги 25 мм/с, но в приборе предусмотрена и более высокая скорость 50 мм/с, которая позволяет получить лучшее разрешение QRS комплекса при очень высоком ритме сердцебиения или в тех случаях, когда нужно исследовать некоторые специфические детали записанной кривой.

Выключатель питания имеет три положения. В положении «Включено» питание к усилителю подается, но бумага не перемещается. Чтобы включить протяжку бумаги, выключатель необходимо установить в положение "Протяжка".

## 5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

- Ознакомиться с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации самописца « Endim 620.02.»

- Подготовить к измерению электрокардиограмм самописец: определить места подсоединения, коэффициенты усиления, скорость развертки, порядок включения самописца. Подготовить кабели, электроды, марлевые салфетки, места подсоединения электродов протереть спиртом (запястья рук и щиколотки добровольца-студента).

- Провести пробные измерения электрокардиограммы одного из подсоединений без разделительного конденсатора и эмиттерного повторителя, используя усилитель самописца. По результатам измерений сделать выводы.

- Провести измерения электрокардиограмм трех подсоединений с разделительным конденсатором и эмиттерным повторителем.

- По результатам измерений сравнить (качественно и количественно) полученные ЭКГ друг с другом и с теоретическими (типовыми) ЭКГ, выполнить необходимые расчеты, определить положение вектора электрической оси сердца, сделать выводы, написать отчет.
- Сдать отчет по лабораторной работе с защитой (ответами на тестовые вопросы преподавателя).

## 6 СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ремизов А.Н. Курс физики. Учебник. - М.: Высшая школа, 2001. – 500 с.
2. Ремизов А.Н. Курс физики, электроники и кибернетики для медицинских институтов: Учебник. – М.: Высшая школа, 1982. – 607 с.
3. Медицинская электронная аппаратура для здравоохранения: Пер. с англ./ Л. Кромвел, М. Ардитти, Ф. Вейбел и др.; Пер под ред. Утямышева Р.И. – М.: Радио и связь, 1981. – 344 с.
4. Фомин Н.А. Физиология человека: Учебное пособие для студентов фак. физ. воспитания пед. институтов. – М.: Просвещение, 1982. – 320 с.
5. Брин В.Б. Физиология человека в схемах и таблицах. – Ростов н/Д: изд-во «Феникс», 1999. – 352 с.