

**Тема: Изучение физических основ  
электрокардиографии. Определение  
амплитудных и временных параметров  
ЭКГ**

**ЛЕКТОР: доцент кафедры медицинской информатики**

**и физики МАЙОРОВ ЕВГЕНИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ**

## План лекции:

Механизм биоэлектrogenеза и источники электрической энергии в миокарде.

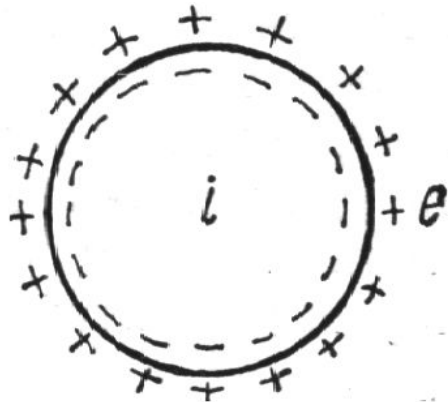
Автоматизм сердца.

Особенности структуры миокарда, мембранный потенциал ТМВ и АТМВ.

Токовый диполь и его характеристики. Сердце как электрический токовый диполь, графическое изображение электрического поля сердца, ИЭВС.

Теория отведений Эйнтховена, треугольник Эйнтховена. Амплитудные и временные характеристики ЭКГ.

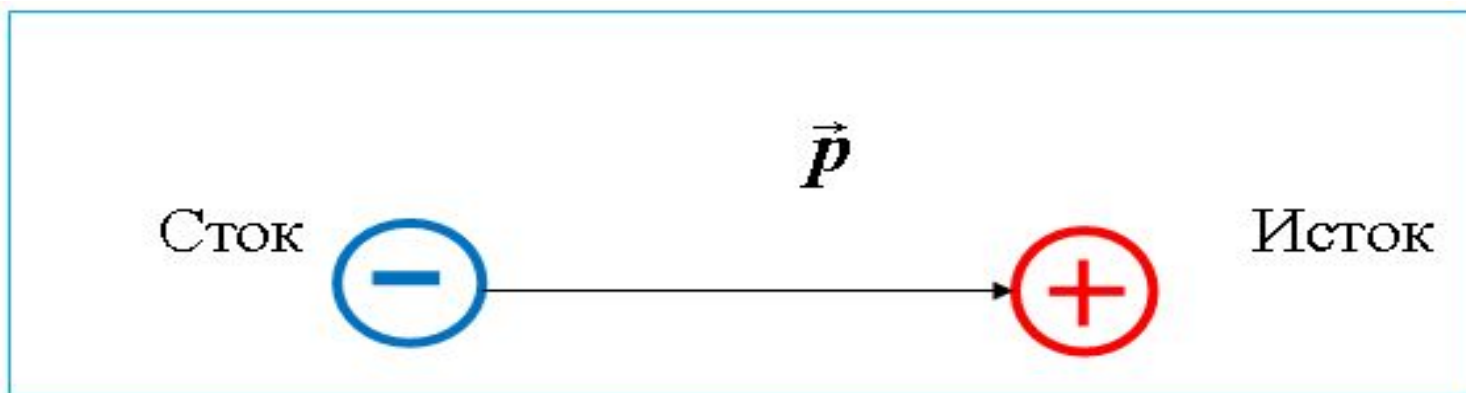
- Живые ткани и органы являются источниками электрических потенциалов (биопотенциалов). Биопотенциалы имеют мембранно-ионную природу и возникают вследствие разницы общих концентраций положительных и отрицательных ионов по обе стороны мембраны, окружающей клетку. Это явление называется поляризацией мембраны.
- В невозбужденной мышечной клетке, находящейся в состоянии покоя, наружная поверхность клеточной мембраны заряжена положительно.



Трансмембранная разность потенциалов покоя.  
Двойной слой зарядов на клеточной мембране.  
i-цитоплазма  
e-внеклеточная среда

- Если клетка находится в состоянии возбуждения, то заряд наружной поверхности мембраны становится отрицательным, т.к. при возбуждении изменяется проницаемость мембраны для ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Ca}^{2+}$ , которые быстро устремляются в клетку. И при этом, естественно, меняется заряд мембраны: внутренняя поверхность мембраны становится положительной, а наружная – отрицательной. Происходит *деполяризация* мембраны. Эти изменения называют *потенциалом действия (ПД)*.
- Потенциалы отдельных клеток, суммируясь, создают общую разность потенциалов, которая может быть измерена между отдельными точками органа или ткани. Регистрация биопотенциалов тканей и органов с диагностической целью называется *электрографией*.
- *Электрограммой* называют кривую, отображающую изменения во времени разности потенциалов, возникающих на поверхности органа, ткани или всего тела человека или животного, происходящие вследствие возбуждения соответствующих органов или тканей (*ЭКГ-электрокардиограмма*-следствие распространения возбуждения по сердечной мышце).

- Электрокардиография основывается на теории Эйнтховена, которая позволяет судить о биопотенциале сердца косвенно, путем измерения потенциалов в определенных точках на поверхности тела человека.
- Электрические явления, возникающие на поверхности возбудимой среды (волокна сердца), принято описывать с помощью понятия токового электрического диполя. *Токовым электрическим диполем* (дипольным электрическим генератором) называется двухполюсная система, состоящая из положительного полюса – **истока** (участок покоя) и отрицательного полюса – **стока** (возбуждённый участок), в которой поддерживается электрический ток. Для описания токового диполя вводится вектор – дипольный момент:
- $I$  – сила тока,  $l$  – расстояние между истоком и стоком. Условно принято считать, что вектор дипольного момента направлен от отрицательного полюса к положительному.





Диполь – электрический или токовый  
диполь - идеализированная  
электронейтральная модель, которая даёт  
приближенное описание распространения поля.

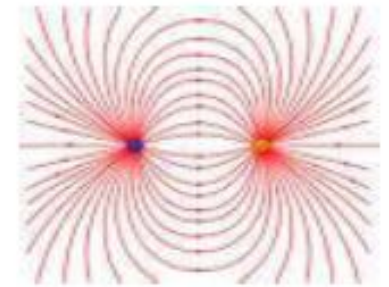
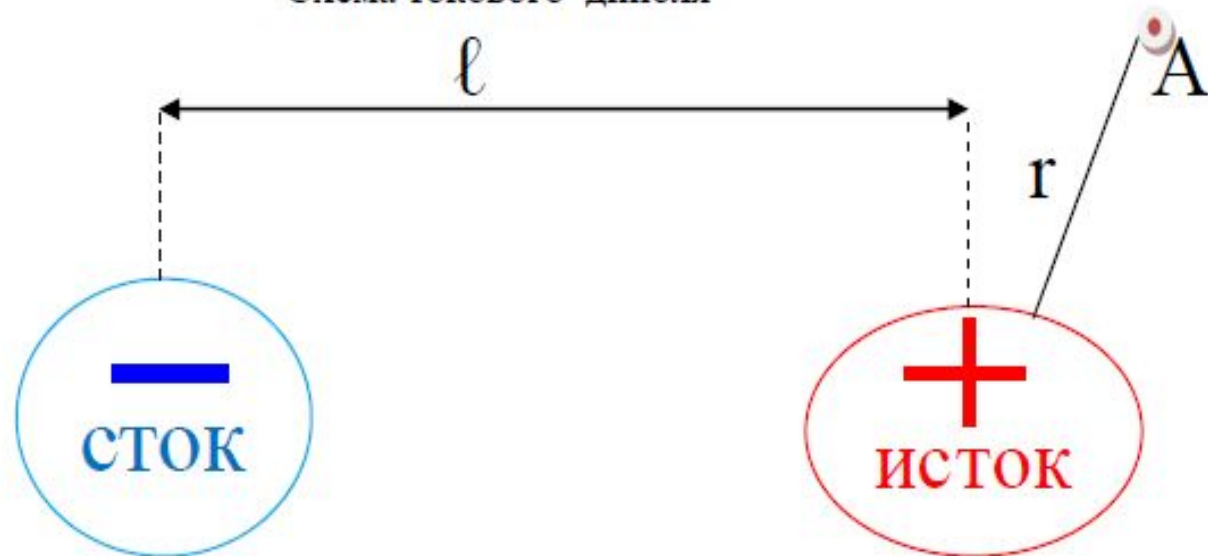


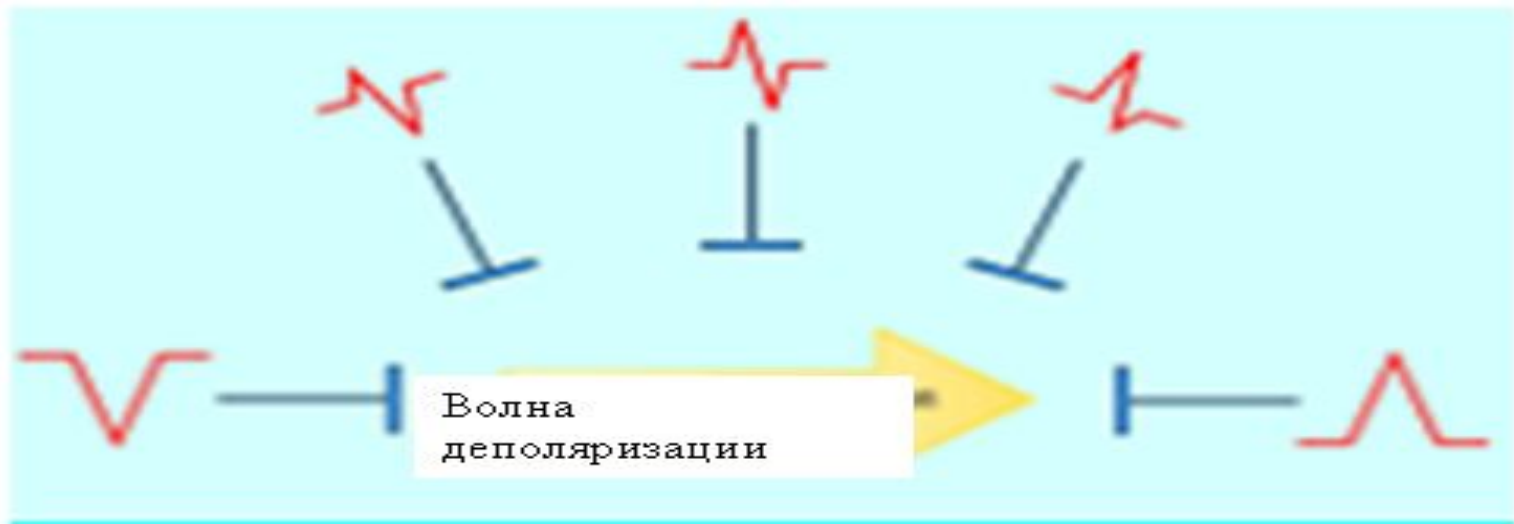
Схема токового диполя



$I$  – сила тока,  $\lambda$  – удельная электропроводность

$$\varphi = \frac{I}{\lambda \cdot r} \quad \varphi \text{ — потенциал электрического поля токового диполя в точке } A$$

- Процесс распространения волны деполяризации по мышечному волокну условно можно представить как перемещение двойного слоя зарядов, расположенных на границе возбужденного (-) и невозбужденного (+) участков волокна. Эти заряды, находящиеся на бесконечно малом расстоянии друг от друга представляют собой токовые электрические диполи.
- Направление вектора дипольного момента при деполяризации и реполяризации мышечного волокна и соответствующее взаимное расположение электродов формирует положительную или отрицательную волну (зубец) ЭКГ.



- Если в процессе распространения возбуждения вектор дипольного момента направлен в сторону положительного электрода, то на электрограмме (ЭГ) получают отклонение вверх от изолинии (положительный зубец), если в сторону отрицательного – то отклонение вниз (отрицательный зубец). Если же вектор дипольного момента направлен перпендикулярно электродам, то на ЭГ записывается изолиния.
- Распространение волны деполяризации и реполяризации по сердцу является несравненно более сложным процессом, чем движение фронта возбуждения по единичному мышечному волокну. Однако, согласно теории Эйнтховена, сердце можно представить как один точечный токовый диполь, который характеризуется *интегральным электрическим вектором сердца (ИЭВС)*.
- Эйнтховен предложил при электрокардиографии измерять разности потенциалов между каждыми двумя из 3-х точек, представляющих вершины равностороннего треугольника ABC, построенного симметрично по отношению к телу человека так, чтобы центр треугольника совпадал с точкой приложения ИЭВС. Каждая из трех измеренных разностей потенциалов пропорциональна проекции ИЭВС на стороны треугольника

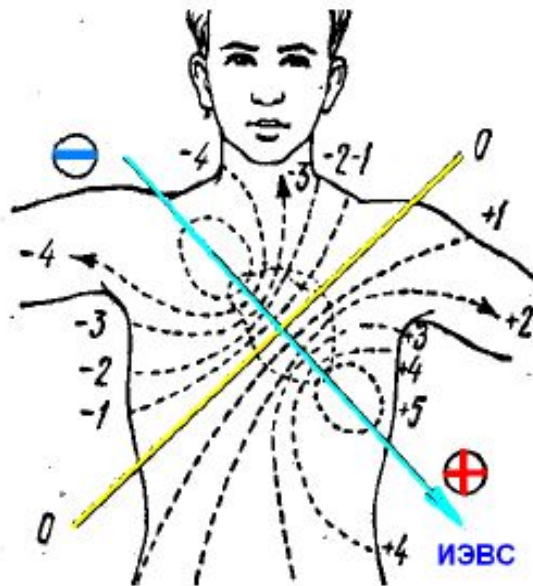


$$\text{ИЭВС} = \sum_{i=1}^n \vec{P}_i = \vec{P}_c$$

ИЭВС – интегральный электрический  
вектор сердца

$P_i$  – токовый  
электрический диполь

сердце – токовый диполь  
модель Эйнтховена



I – отведение (правая рука – левая рука)  
II – отведение (правая рука – левая нога)  
III – отведение (левая рука – левая нога)

**I, II, III стандартные биполярные отведения Эйнтховена**

## *Модель Эйнтховена*

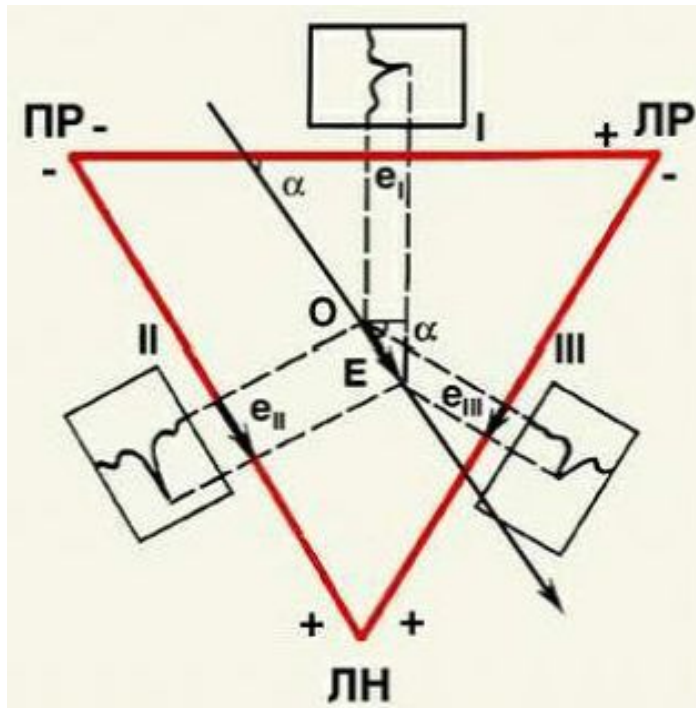
Она не является строгой и имеет ряд допущений:

1. Организм не является однородной электропроводной средой: кровь, лимфа, сосуды, мышцы и другие ткани имеют различные удельные проводимости. Кроме того, проводимость меняется со временем, например, при вдохе и выдохе.
2. Вектор  $E$ , вращаясь, создает сложную объёмную фигуру, а не проекцию лишь на одну плоскость, и начало его может смещаться.
3. Не представляется возможным точно описать изменения  $E$  сердца только изменением момента одного точечного диполя.

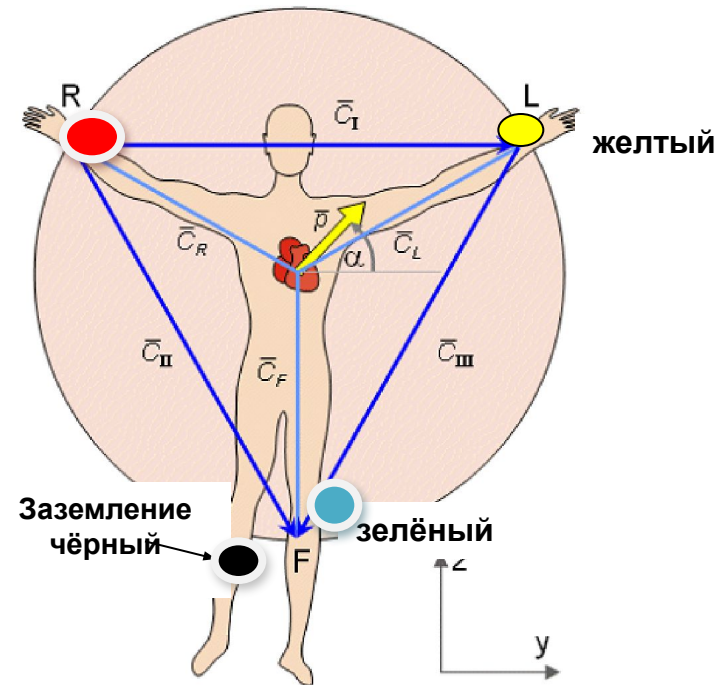
*Модель Эйнтховена* успешно используется в *электрокардиографии*.

В научных исследованиях разработана более точная мульти-польная модель сердца, учитывающая то, что сердце имеет конечные размеры. В этой модели сердце представляется не одним, а многими диполями.

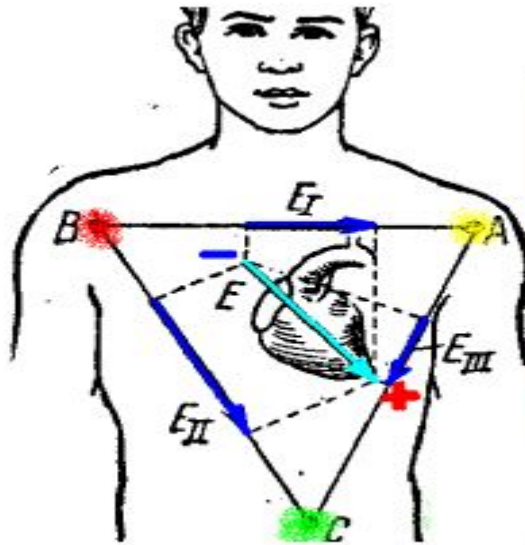
Схема стандартных отведений электрокардиограммы от конечностей (треугольник Эйнтховена). Проекция интегрального вектора  $E$  на ось отведения образуется при опускании на нее перпендикуляров из нулевой точки диполя ( $O$ ) и из конца вектора  $E$ ; проекция нулевой точки разделяет каждую из осей отведения на положительный и отрицательный компоненты. Угол  $\alpha$  между вектором  $E$  и осью I отведения определяет направление электрической оси сердца.



красный



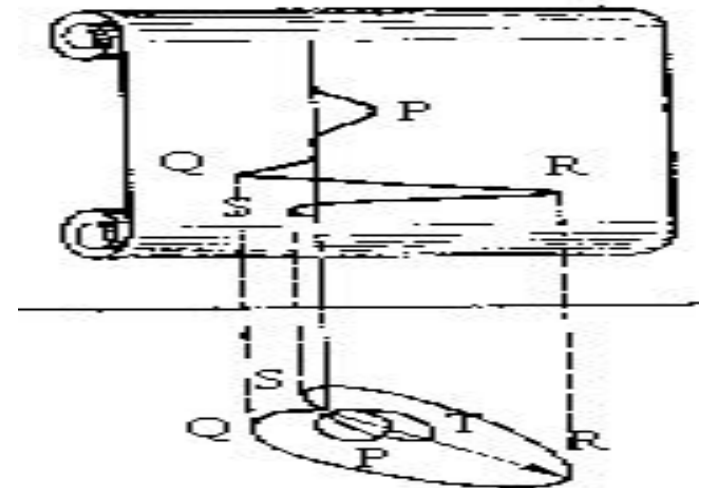
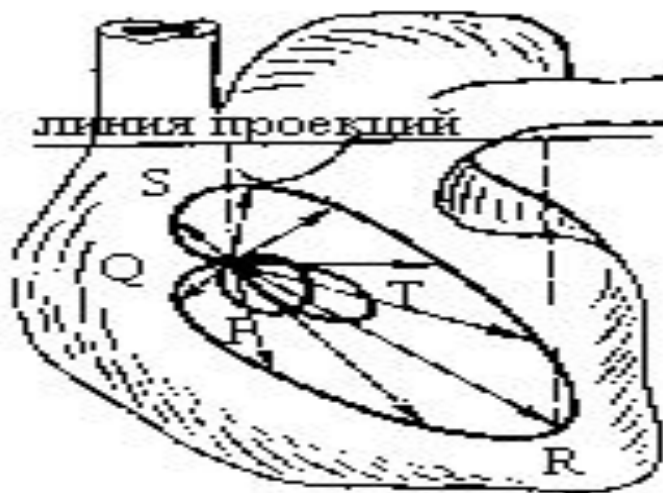
## Треугольник Эйнтховена



- $P_1$  - ПРОЕКЦИЯ ИЭВС НА 1  
ОТВЕДЕНИЕ**
- $P_2$  - ПРОЕКЦИЯ ИЭВС НА 2  
ОТВЕДЕНИЕ**
- $P_3$  - ПРОЕКЦИЯ ИЭВС НА 3  
ОТВЕДЕНИЕ**

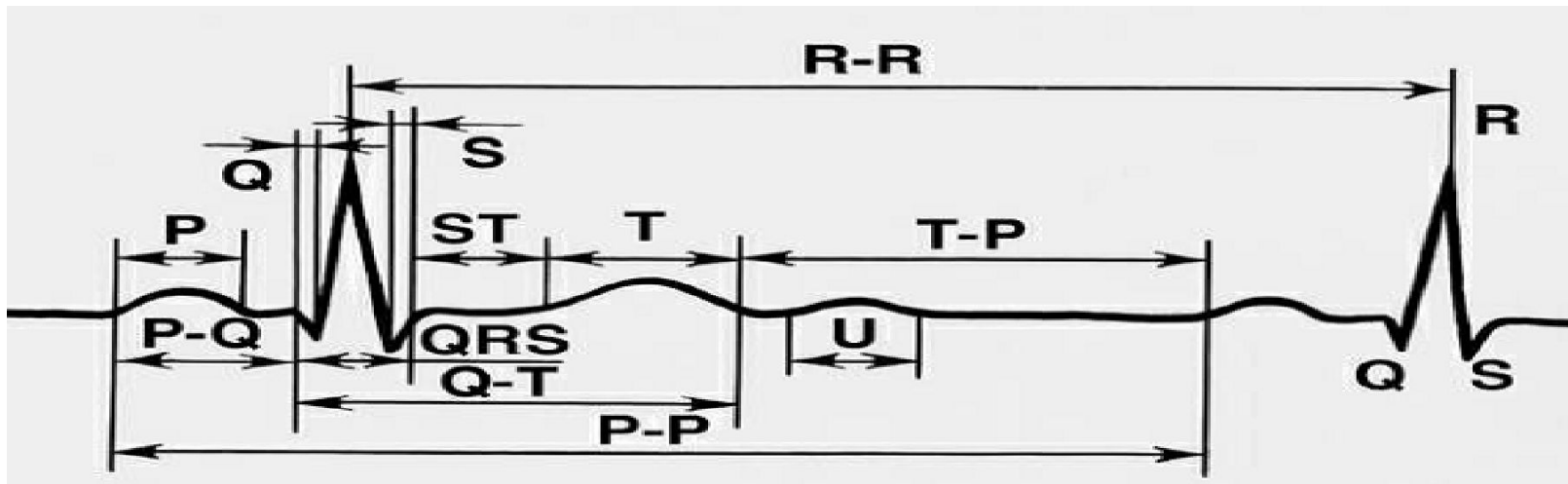
**Электрокардиограмма - это график временной зависимости разности потенциалов в соответствующем отведении, а значит и временной зависимости проекции ИЭВС на линию отведения. Электрокардиограмма представляет собой сложную кривую с, соответственно петлям, пятью зубцами P, Q, R, S, T и тремя интервалами нулевого потенциала различны.**

- В процессе возбуждения сердечной мышцы ИЭВС постоянно меняет свою величину и направление. Точку приложения ИЭВС можно считать постоянной – это нервный узел в межпредсердной перегородке. Конец вектора за цикл работы сердца описывает сложную пространственную кривую, которая в первом приближении принимается за плоскую кривую, расположенную во фронтальной плоскости тела и состоящую из трех петель, обозначаемых согласно стандарту буквами P, QRS и T
- Устанавливая электроды на поверхности тела, регистрируют изменение потенциалов, обусловленные изменением величины и ориентации ИЭВС на протяжении всего возбуждения сердца.
- Полученная кривая – график изменения во времени мгновенных значений разности потенциалов в соответствующем отведении называется *электрокардиограммой-(ЭКГ)*.

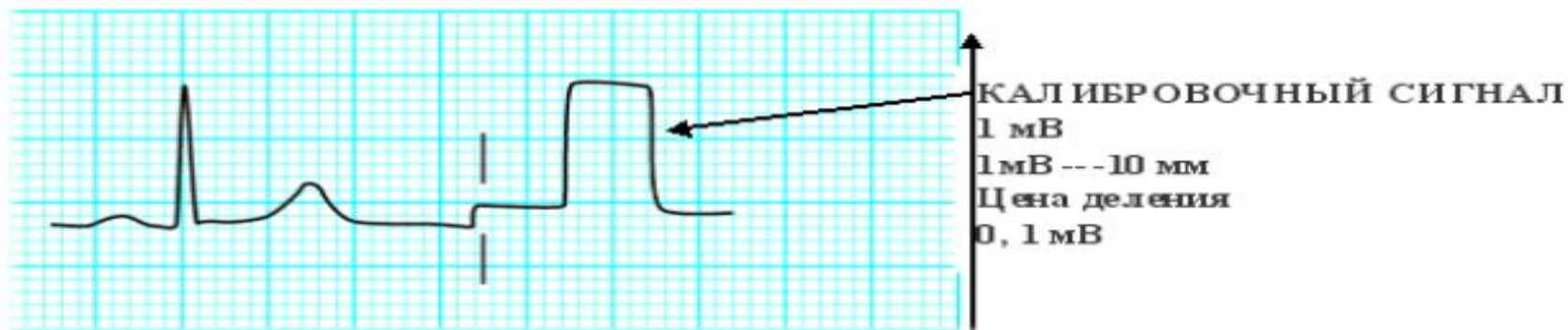
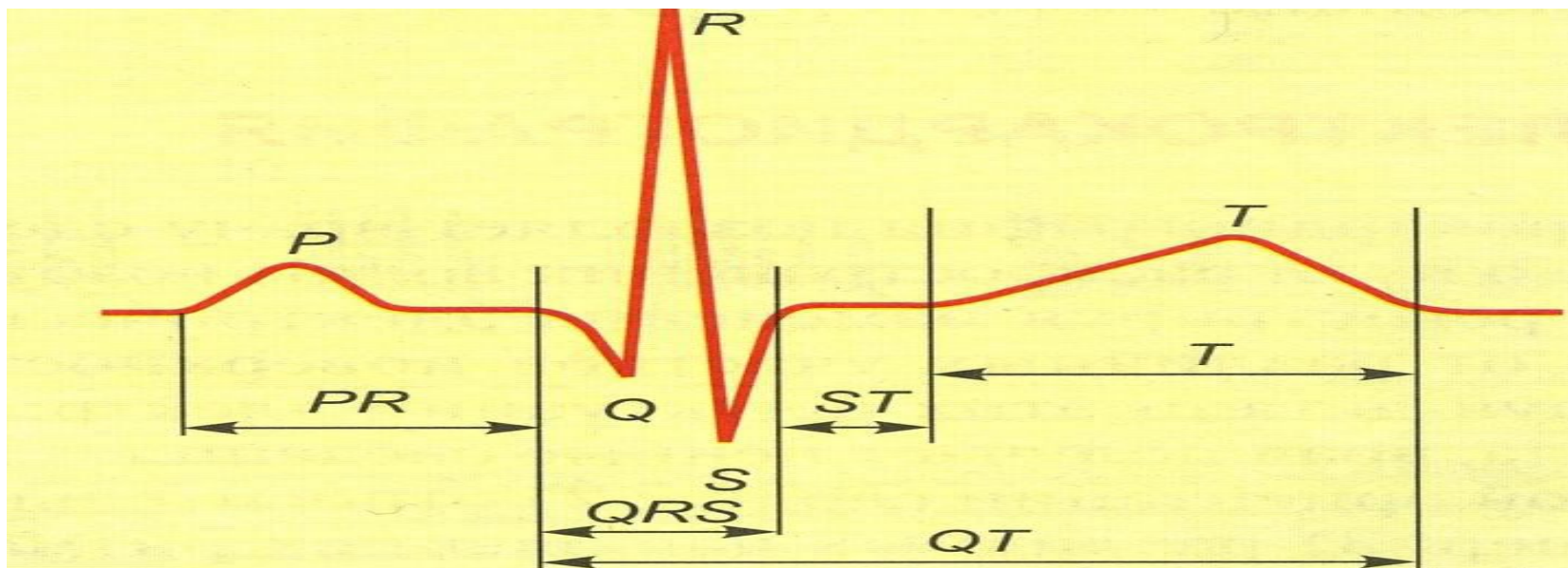


## Процесс формирования ЭКГ

- В норме возбуждение распространяется по предсердиям сверху вниз. Вначале возбуждается правое предсердие. Деполяризация предсердий регистрируется на ЭКГ в виде зубца Р. Процесс реполяризации предсердий имеет минимальное значение потенциала на поверхности тела, на ЭКГ он соответствует интервалу от конца зубца Р до начала комплекса QRS. Процесс деполяризации желудочков миокарда на ЭКГ регистрируется в виде комплекса зубцов QRS. Процесс быстрой конечной реполяризации желудочков соответствует на ЭКГ зубцу Т.
- Таким образом, на ЭКГ имеются характерные по форме волны: зубец Р, комплекс QRS и зубец Т (рис. 7), разделенные участками нулевого потенциала (в эти периоды потенциалы на различных участках сердечной мышцы взаимно компенсируются). Эти волны соответствуют трём петлям, которые описывает конец ИЭВС за цикл работы сердца.

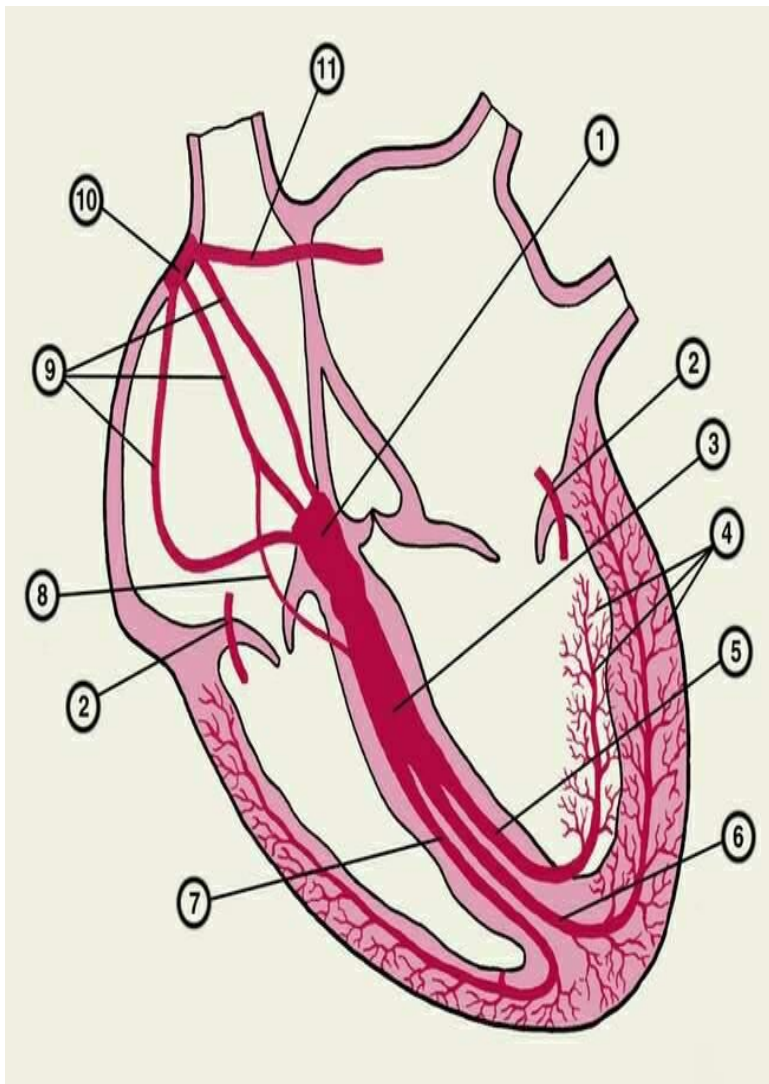






Скорость записи **25 мм/с** -----цена деления опорной линии (изолинии) **0,04с**

Скорость записи **50 мм/с** -----цена деления опорной линии (изолинии) **0,02с**



Схематическое изображение центров автоматизма и проводящей системы сердца:

- 1 — предсердно-желудочковый узел;
  - 2 — дополнительные пути быстрого предсердно-желудочкового проведения (пучки Кента);
  - 3 — пучок Гиса;
  - 4 — мелкие разветвления и анастомозы левых ветвей пучка Гиса;
  - 5 — левая задняя ветвь пучка Гиса;
  - 6 — левая передняя ветвь пучка Гиса;
  - 7 — правая ветвь пучка Гиса;
  - 8 — дополнительный путь предсердно-желудочкового проведения — пучок Джеймса;
  - 9 — межузловые пути быстрого проведения;
  - 10 — синусно-предсердный узел;
  - 11 — межпредсердный путь быстрого проведения (пучок Бахмана);
- ЛП — левое предсердие, ПП — правое предсердие, ЛЖ — левый желудочек, ПЖ — правый желудочек. Сино-аурикулярный узел генерирует потенциал действия

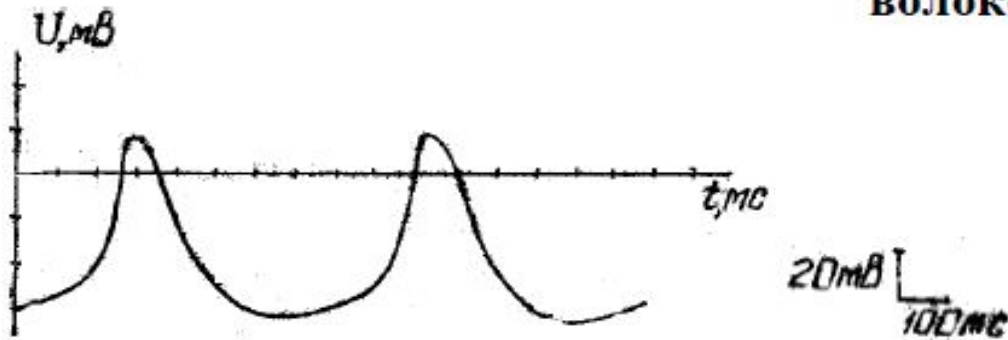


Клетки сердца обладают автоматизмом и способны возбуждать колебания с определенными частотами, выполняя роль водителя ритма.

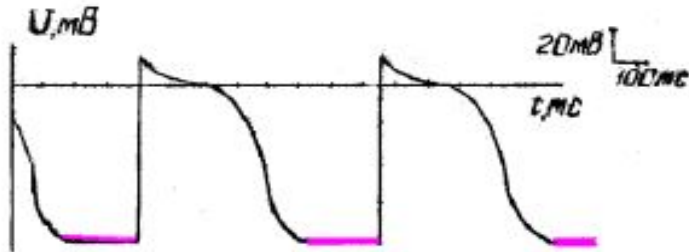
Клетки сердца в норме		
<i>водитель ритма</i>	<i>Частота сокращений Число ударов в минуту</i>	<i>Частота сокращений</i>
<b>Клетки синусового узла</b>	60-100 имп/мин	1 – 1,7 Гц
Клетки сердца в случае различных патологий, как водитель ритма		
<b>Предсердно-желудочковый узел</b>	40-50 имп/мин	0,7 – 0,8 Гц
<b>Пучок Гиса</b>	30-40 имп/мин	0.5-0.7 Гц,
Клетки сердца в редких особо тяжелых случаях, как водитель ритма		
<b>Волокна Пуркинье</b>	20 имп/мин	0.3 Гц

Поэтому отклик сердечнососудистой системы следует ожидать на частотах, обусловленных пульсациями всех вышеуказанных узлов и волокон.

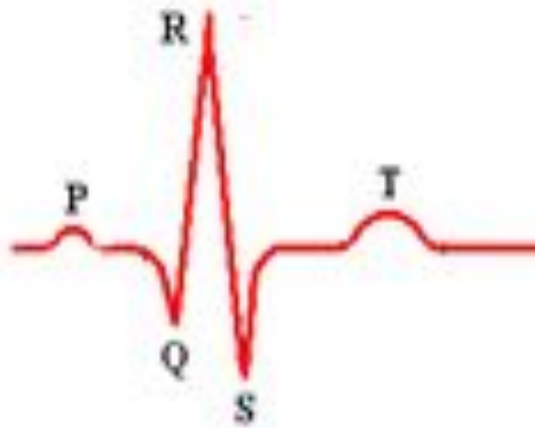
## Мембранный потенциал АТМВ – атипичных миокардиальных волокон



## Мембранный потенциал ТМВ – типичных миокардиальных волокон



Возбуждение спонтанно зарождается стимулятором пульса (СП) в СА и распространяется вдоль предсердий (на ЭКГ при этом возникает зубец Р) к предсердно-желудочковому узлу - АВ узел, а в желудочках ПД распространяется в трех направлениях – на ЭКГ при этом возникают три зубца: Q, R, S.



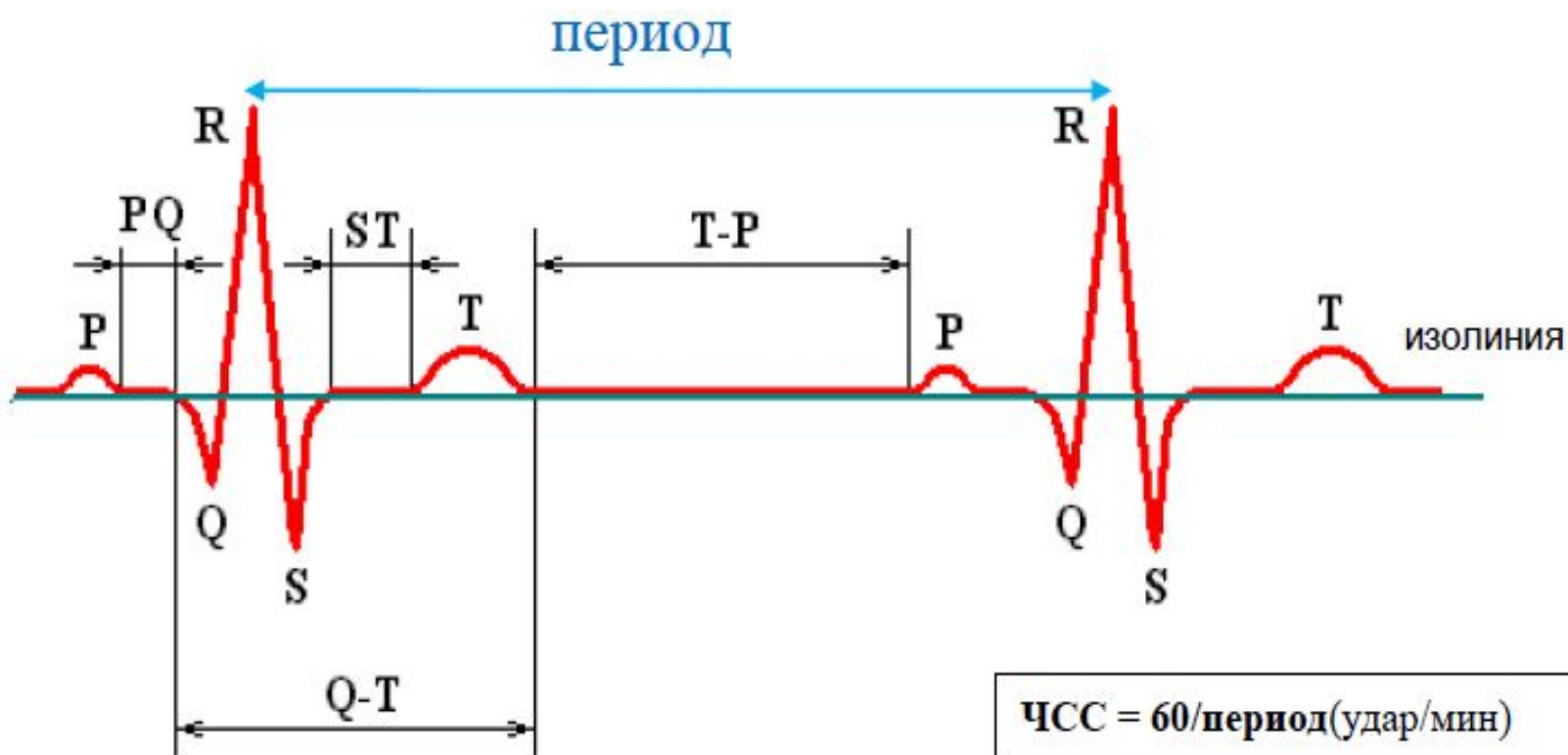
Отдельное АТМВ действует на ТМВ как точечный источник тока. Поэтому от точки контакта между ними деполяризация распространяется в виде сферической волны. В ходе движения волн деполяризации и реполяризации фронты этих волн имеют значительные градиенты напряженности. Такие участки представляют собой токовые диполи.

**дипольный момент  $P$**  - характеристика токового диполя

$\vec{P}$  вычисляется как произведение вектора  $\vec{l}$ , проведённого от отрицательного заряда к положительному на абсолютную величину зарядов  $q$  (для статического

диполя):  $\vec{P} = q \cdot \vec{\ell}$

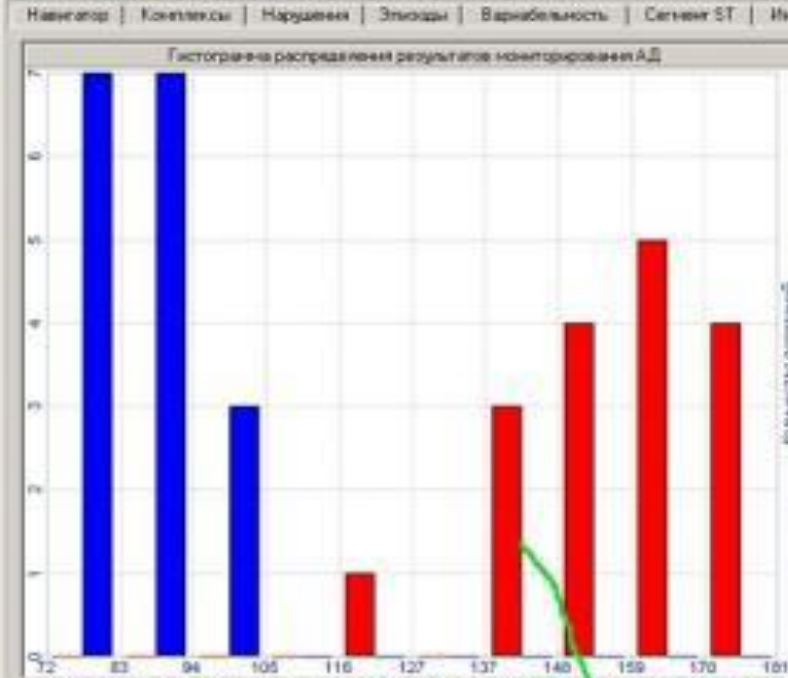
Для токового диполя  $\vec{p} = I \times \vec{\ell}$



Современная Диагностическая система предназначена для регистрации и анализа ЭКГ и/или АД у свободно передвигающихся пациентов в течение длительного промежутка времени.







Корреляция параметров: 0.73  
 Уравнение регрессии:  
 Y по X:  $Y = 0.42 * X + 18.61$   
 X по Y:  $X = 1.28 * Y + 50.69$   
 Среднее сист. давление:  
 Ось X: 159.76 мм рт.ст.  
 Ось Y: 89.12 мм рт.ст.  
 Среднее диаст. давление:  
 Ось X: 15.69 мм рт.ст.  
 Ось Y: 8.60 мм рт.ст.

**Показатели**

Категория показателей:

- Систолеское АД
- Среднее АД
- Диастолеское АД
- Пульсовое АД
- Частота пульса
- Двойное произведение

Ось X:

Ось Y:

Период времени:  
 Сери: 13.23.48 - 18.25.51  
 День: 7 00:00 - 23 00:00  
 Ночь: 23 00:00 - 7 00:00  
 Дополнительный интервал:

**Параметры**

Интервал скариграммы:

Показать числовые значения

Таблица измерений АД (Основные показатели) (Утренние данные) (Ночные данные) (Среднеарифметический анализ) (Статистический анализ)



**Отображение**

- Отведение № 1 (канал I)
- Отведение № 2 (канал II)
- Отведение № 3 (канал III)
- Развернутый вид
- Разметка QRS-T

Амплитуда:

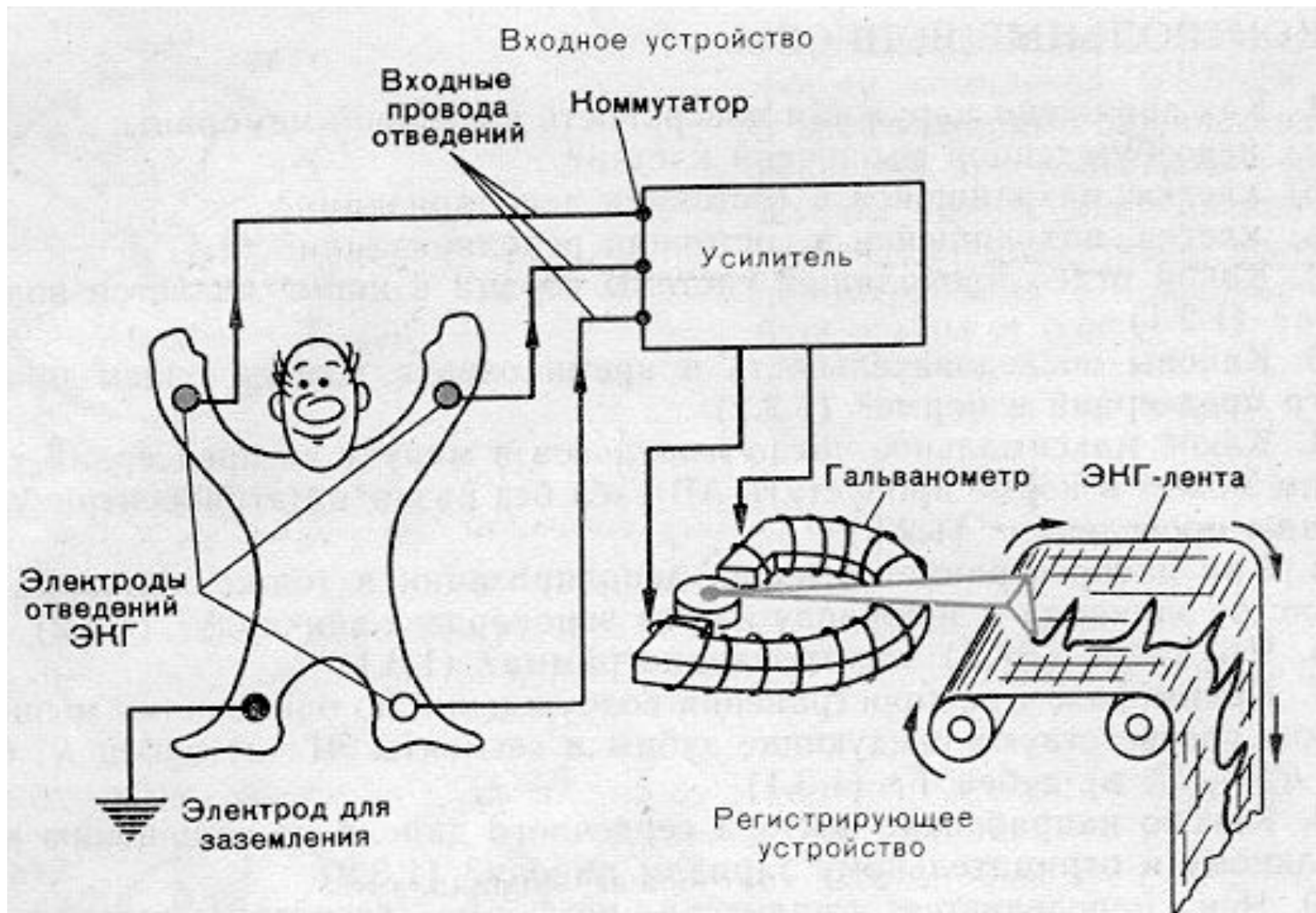
Скорость:

**Коррекция**

# ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФ

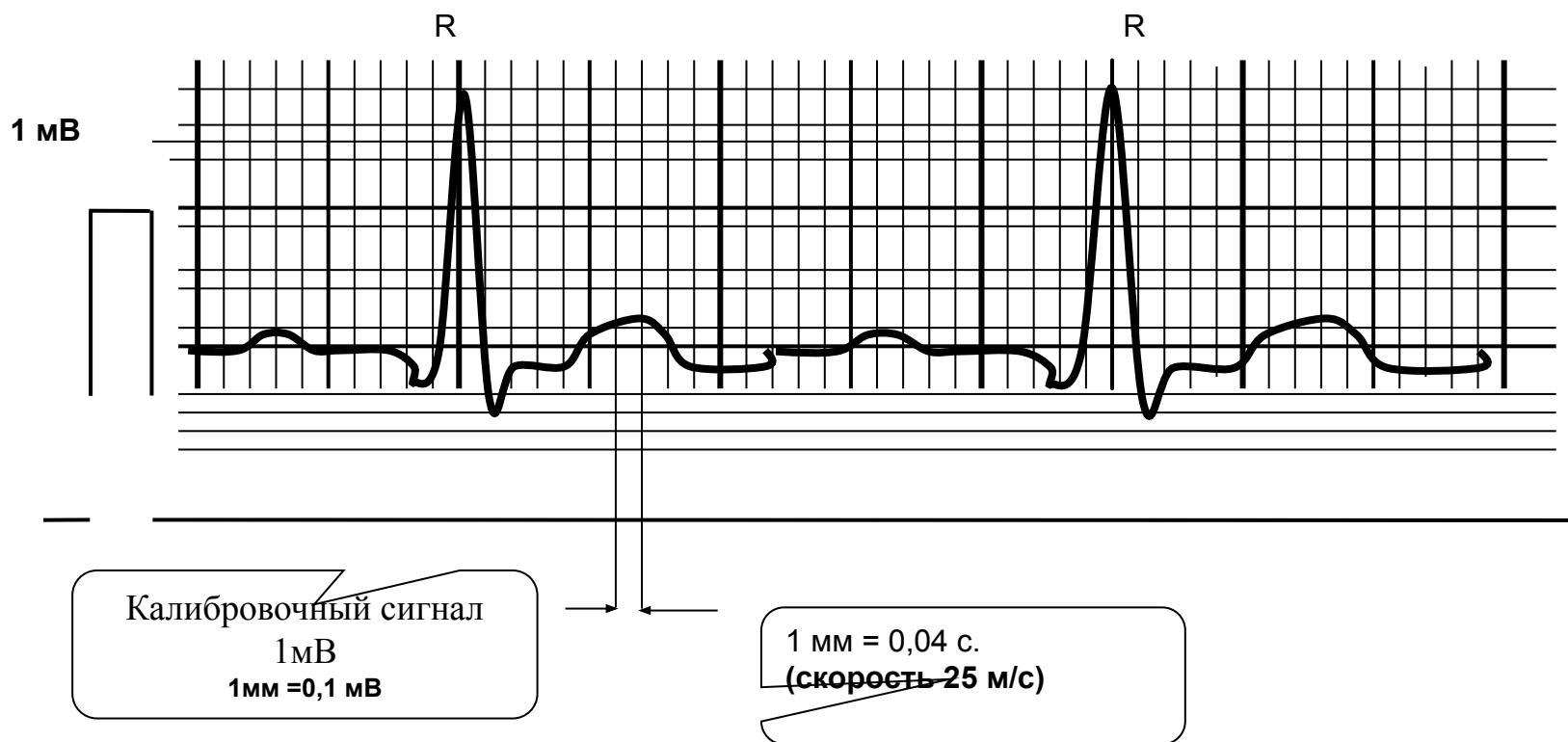
Приборы, регистрирующие изменение разности потенциалов между двумя точками в электрическом поле сердца называются *электрокардиографами*.

Разность потенциалов, возникающая на поверхности тела, регистрируется с помощью системы металлических электродов, укрепленных на участках тела резиновыми ремнями. Через входные провода сигнал подается на коммутатор, а затем на вход усилителя. Малое напряжение усиливается во много раз и подается в регистрирующее устройство, где электрические колебания преобразуются в механические смещения и записываются на движущейся ленте. Лентопротяжные механизмы в электрокардиографах обеспечивают движение бумаги со скоростью 25 мм/с и 50 мм/с (при скорости 50 мм/с ЭКГ будет более растянута во времени). Современные цифровые кардиографы печатают электрокардиограмму на неподвижном листе.





- Для определения амплитудных параметров ЭКГ перед ее регистрацией необходимо записать калибровочный сигнал — прямоугольный импульс напряжением 1 мВ. Если калибровочный сигнал равен 10 мм следовательно цена одного деления соответствует 0,1 мВ.



Результаты *холтеровского мониторинга ЭКГ* представляются в виде таблиц и графиков. Любые табличные и графические данные синхронизированы по времени с соответствующими интервалами или комплексами ЭКГ. Данные или области для редактирования доступны из таблиц, графиков или записи ЭКГ сигнала. Возможно снимать ЭКГ покоя и проводить пробы с физической нагрузкой. Обработывающая программа компьютера обеспечивает быстрый анализ ЭКГ и/или АД.

Возникает множество болезней от курения табака. Регулярное употребление никотина, как известно, является одной из главных причин болезни кровеносных сосудов. Курение оказывает действие на кровеносные сосуды, вследствие чего, они начинают сужаться, и появляются изменения на их стенках, что приводит к заболеванию атеросклерозом. Сужение сосудов происходит из-за того, что их внутренняя оболочка начинает усиленно разрастаться, это приводит к тому, что участки тела, более отдалённые от сердца, а это, прежде всего ноги, они начинают плохо снабжаться кровью, что в конечном результате может привести даже к гангрене.

Сердце курильщика работает практически на износ, как было установлено, каждая выкуренная сигарета человеком, увеличивает биение сердце на 18-20 ударов за минуту, а сердечное скрепление увеличивается на 15-20 тысяч раз в сутки. Курящие люди по статистике более подвержены таким заболеваниями как отит, конъюнктивит, ларингит, фарингит, частые ангины, разнообразные язвы, рак, а также и заболеваниям сердца как стенокардия, и у курильщика увеличивается риск инсульта. Также результатом, при регулярном отравлении никотином, становится "бронхит курильщика" в течение времени он может привести к развитию эмфиземы легких.

При длительном употреблении табачных изделий, человек может потерять вкусовые ощущения, а также способность различать запахи, курение может вызывать нарушение зрения, ухудшение состояния кожного покрова, и может способствовать разрушению зубов и дёсен. Следует предупредить курящих женщин, что данная привычка может вызывать серьёзные нарушения менструального цикла и бесплодие.

Большой массив научных исследований показывает, что вторичный табачный дым (вдыхание окружающего воздуха с содержащимися в нём продуктами курения табака других людей) ведёт к развитию многих заболеваний включая сердечнососудистые заболевания, рак лёгкого и заболевания респираторной системы.

### **Литература, рекомендуемая для самоподготовки:**

- 1.«Физика и биофизика. Курс лекций для студентов медицинских вузов. 3-е изд., перераб.и доп» Антонов В.Ф., Коржуев А.В Издательство ГЭОТАР-Медиа. 2010. 240 стр.
- 2.«Физика и биофизика» Антонов В.Ф., Козлова Е.К., Черныш А.М., Коржуев А.В. Учебник. Издательство ГЭОТАР-Медиа. 2009. 480 стр.
- 3.«Медицинская и биологическая физика». Максина А.Г., Потапенко А.Я., Ремизов А.Н. Учебник для ВУЗов. Издательство Дрофа. 2008. 558 стр.( можно более ранние издания)
- 4.«Медицинская биофизика» Самойлов В.О. СПб: Издательство: СпецЛит Учебник для вузов - 2007. 559стр.
- 5.«Биофизика» - Антонов В. Ф., и другие. Издательство: Владос. 2006
- 6.«Краткий курс медицинской и биологической физики с элементами реабилитации: Лекции и семинары.» - Федорова В.Н., Степанова Л.А. Издательство: Физматлит. 2005. 624 стр.