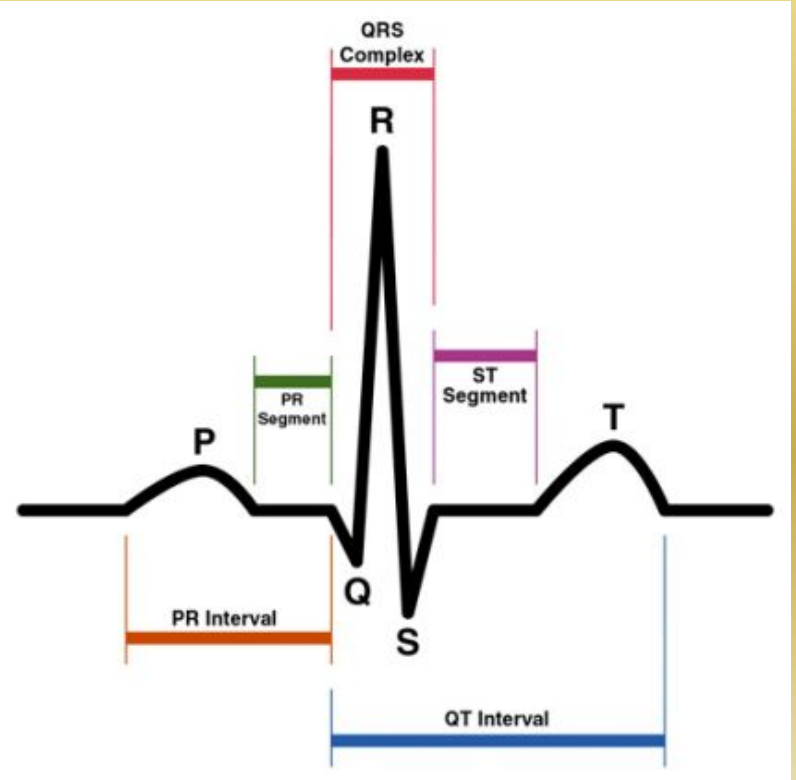
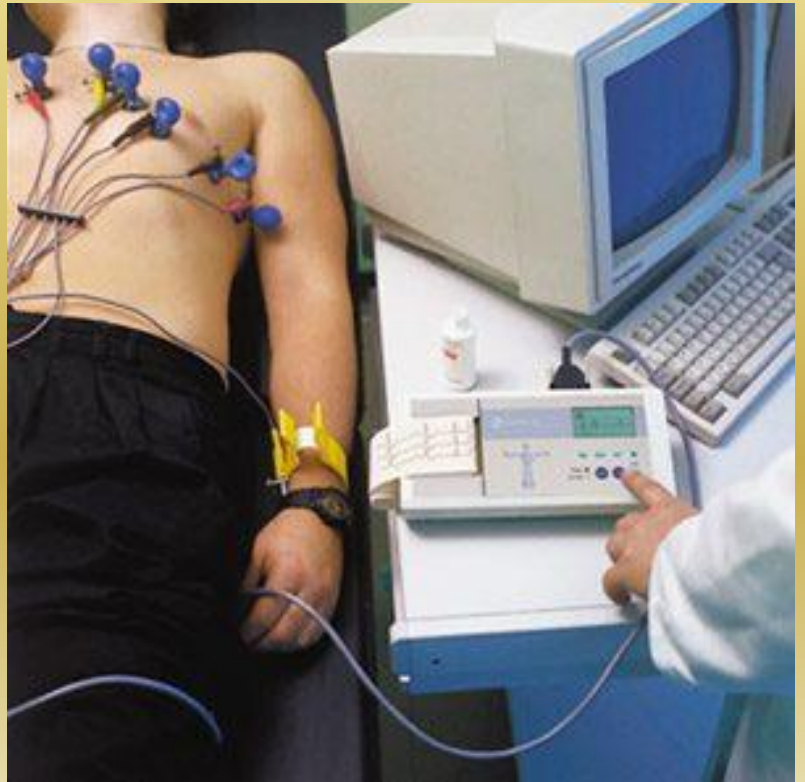
Физические основы электрокардиографии





Литература:

В.В. Мурашко «Электрокардиография»

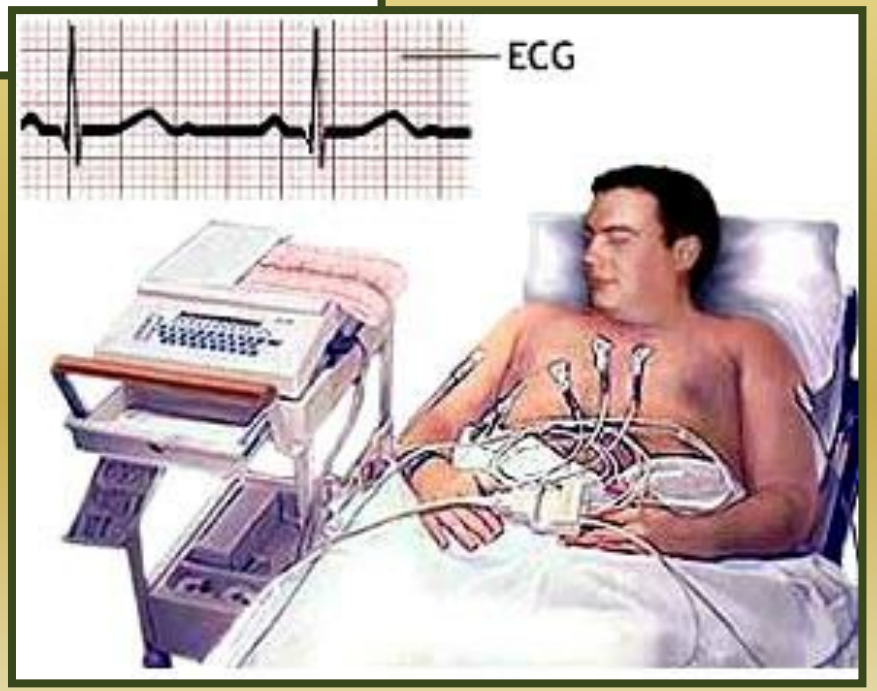
План

1. Потенциал действия кардиомиоцитов.
2. Основные функции сердца: автоматизм, возбудимость, проводимость, сократимость.
3. Электрический диполь. Электрический диполь как источник электрического поля. Потенциал поля диполя.
4. Токовый диполь. Потенциал поля токового диполя.
5. Дипольный эквивалентный электрический генератор сердца.
7. Генез электрокардиограмм в рамках модели дипольного эквивалентного электрического генератора сердца.
   - Теория Эйтховена, её основные положения.
   - Распределение эквипотенциальных линий на поверхности тела человека.
   - Треугольник Эйтховена. Стандартные отведения.
   - ЭКГ здорового сердца. Природа зубцов, интервалов, сегментов.
8. Блок - схема ЭКГ. Виды ЭКГ.

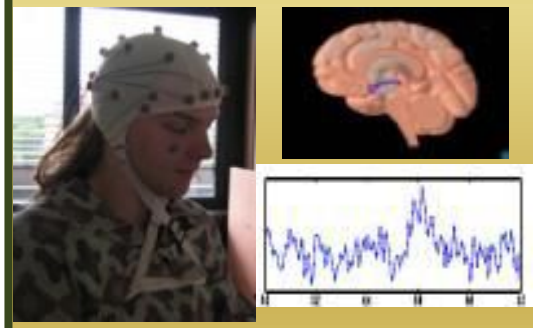
- При функционировании некоторых тканей и органов генерируются электрические поля, в результате на поверхности тела возникают разности электрических потенциалов (биопотенциалов).
- **Электрография**–регистрация зависимости биопотенциалов, возникающих при функционировании тканей и органов, от времени.
- Применяется в диагностике.

Виды электрографии:

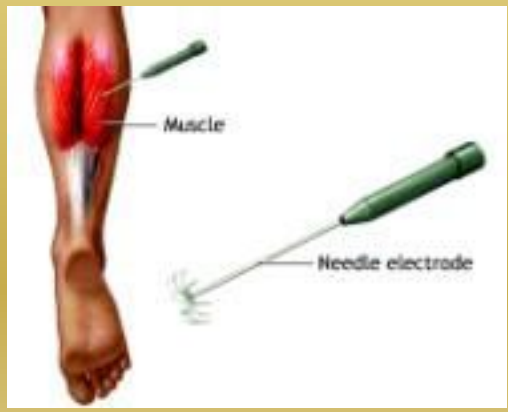
Электрокардиография (ЭКГ)– регистрация на поверхности тела биопотенциалов, возникающих в результате возбуждения сердечной мышцы



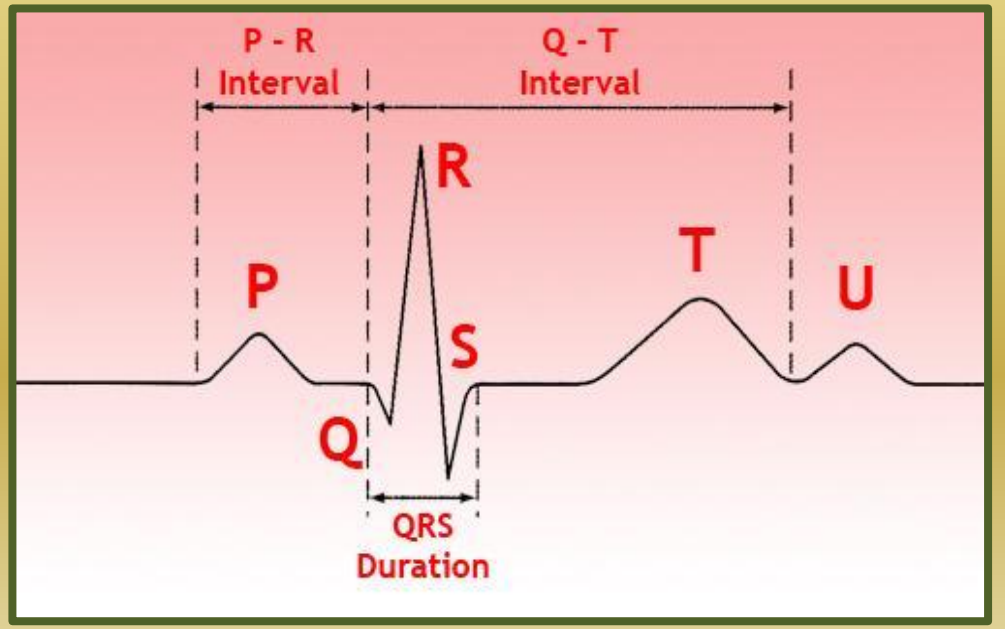
- **Электроэнцефалография (ЭЭГ)**–регистрация биоэлектрической активности головного мозга



Электромиография (ЭМГ)– регистрация биоэлектрической активности мышц



Электрокардиография-графическая запись электрических потенциалов, меняющихся с течением времени и обусловленных работой сердца



1. **Потенциал действия кардиомиоцитов (ПД)**

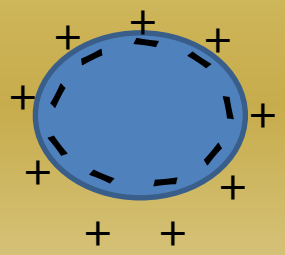
Клетка живого организма имеет два состояния:

1. покой
2. возбуждение

Покой

Стационарная разность электрических потенциалов, регистрируемая между внутренней и наружной поверхностями мембраны в состоянии покоя для клеток сердца

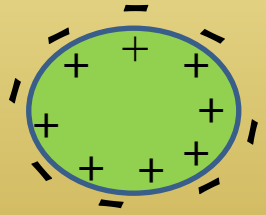
$$\Delta\phi = -70\ mB$$



Клетка внутри имеет отрицательный заряд, снаружи- положительный

Возбуждение:

При возбуждении клетки возникает потенциал действия и меняется полярность клетки



Потенциал действия клеток сердца состоит из пяти фаз:

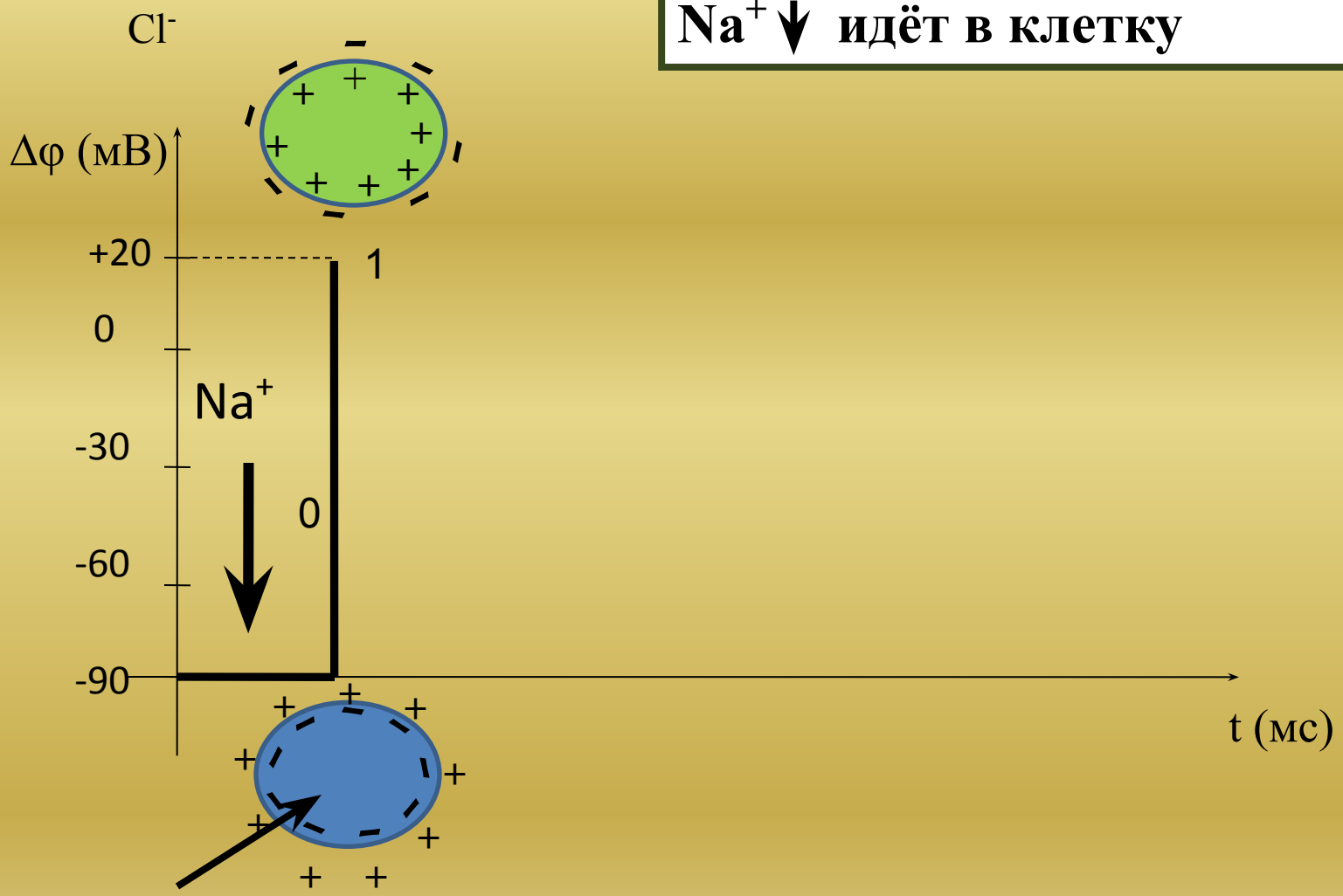
- 0- фаза: деполяризация
- 1,2,3 -фазы: - реполяризация
- 4 – фаза: диастола

0- фаза: деполяризация

- Если клетку возбудить, открываются ионные каналы для натрия и натрий заходит в клетку
- Это пассивный транспорт ионов по градиенту концентрации
- Клетка приобретает положительный заряд внутри и отрицательный снаружи

0- фаза: деполяризация

Na^+ ↓ идёт в клетку

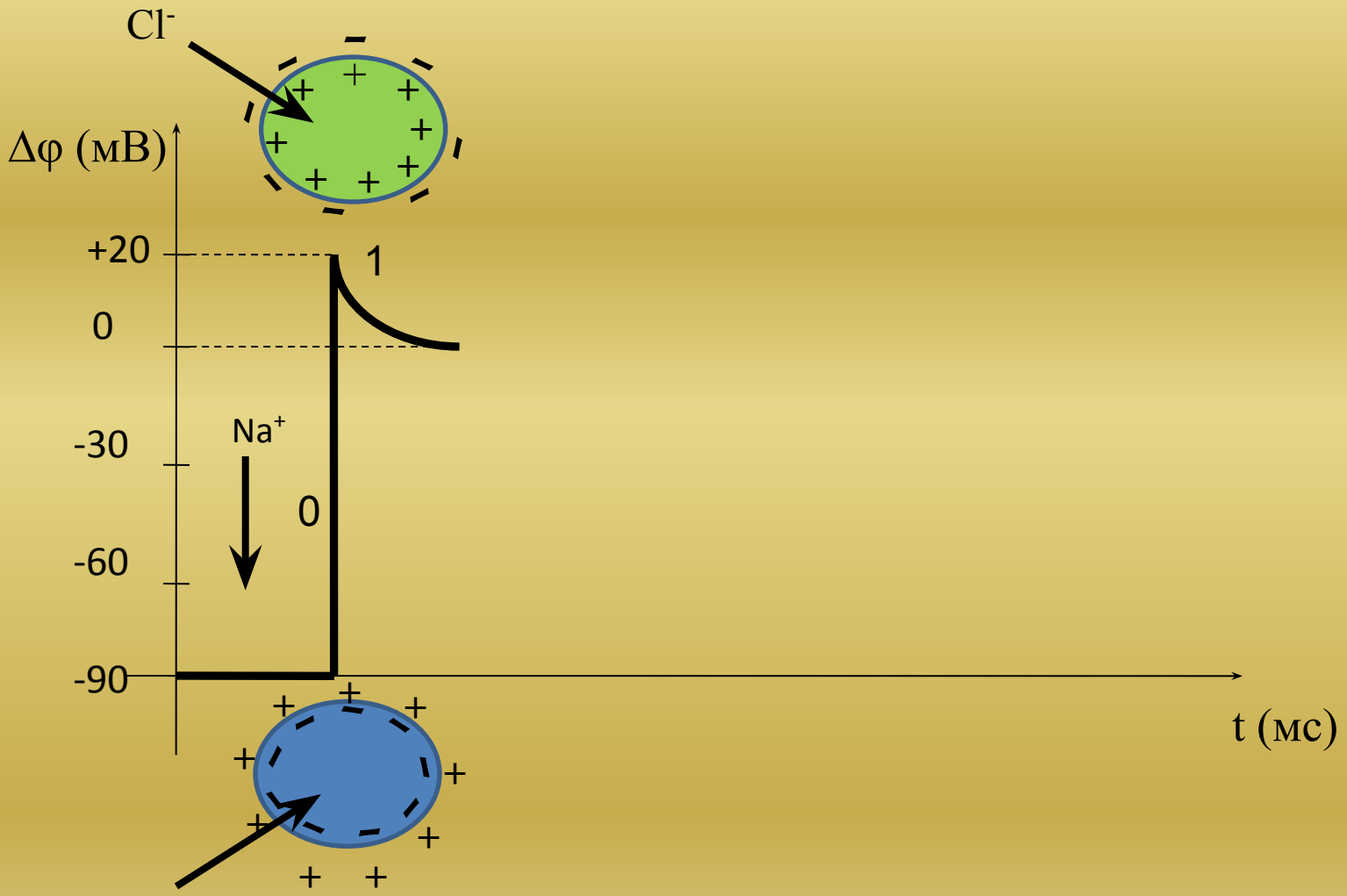


раздражитель

1 – фаза: реполяризация

- Открываются ионные каналы для хлора и хлор заходит в клетку.
- Это пассивный транспорт ионов по градиенту концентрации.
- Клетка приобретает заряд равный нулю внутри

Cl^- ↓ -идёт в клетку



Раздражитель

2 – фаза:реполяризация

- **Открываются ионные каналы и натрий с кальцием заходят в клетку, а калий выходит из клетки**
- **Это пассивный транспорт ионов по градиенту концентрации**
- **Заряд клетки не изменяется**

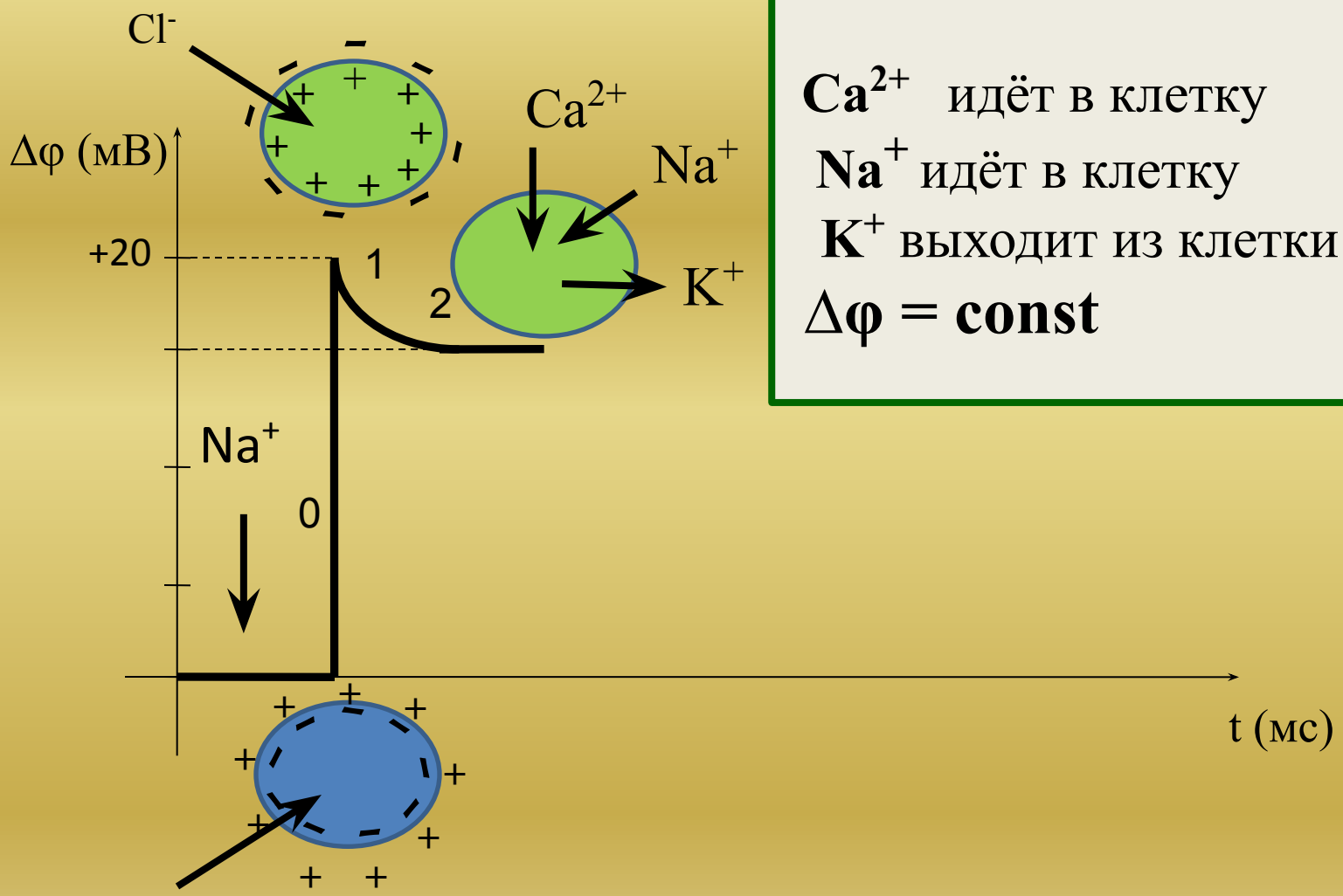
2 –фаза:реполяризация

Ca^{2+} идёт в клетку

Na^{+} идёт в клетку

K^{+} выходит из клетки

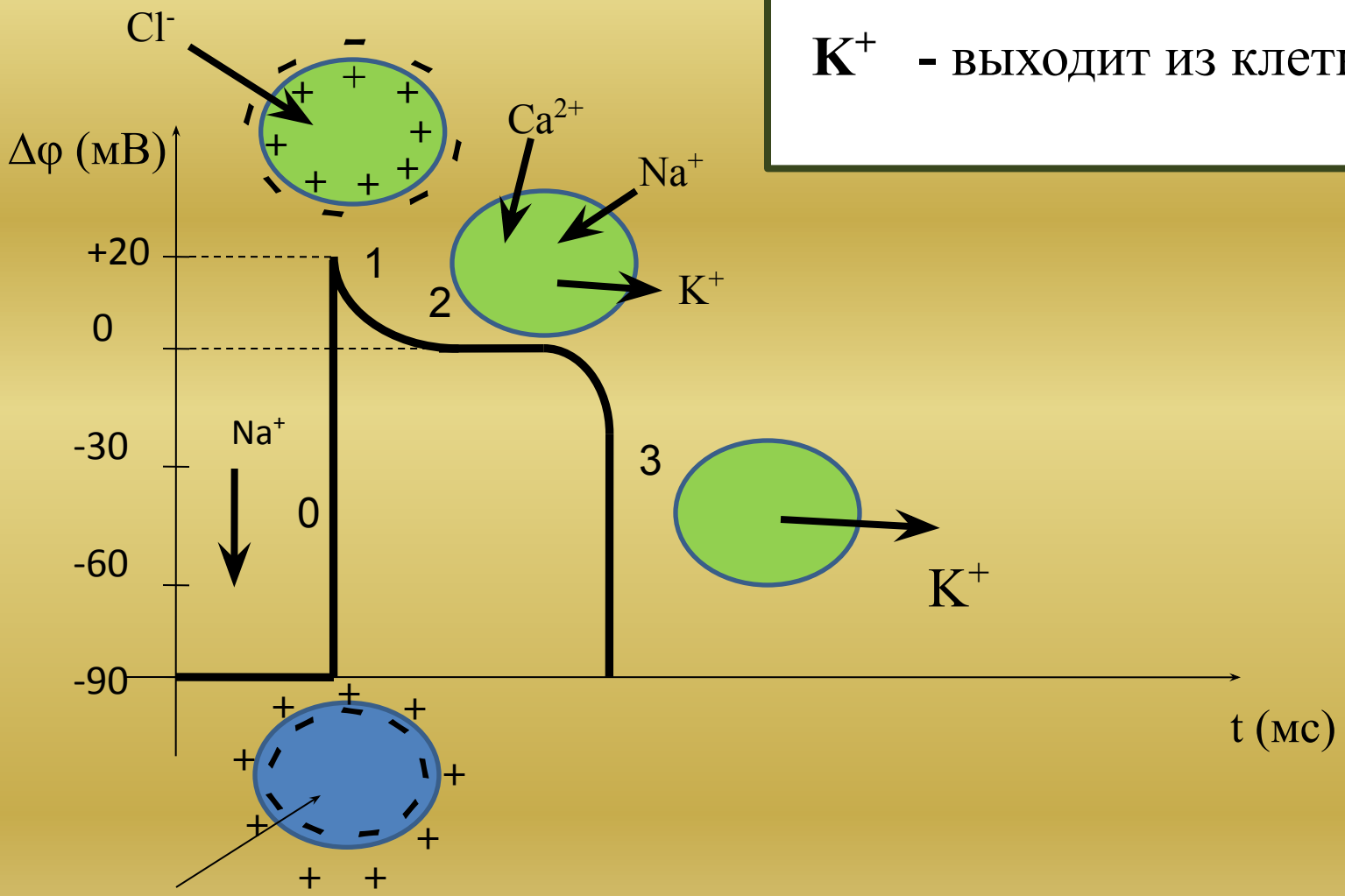
$\Delta\varphi$ = const



Раздражитель

3 – фаза: реполяризация

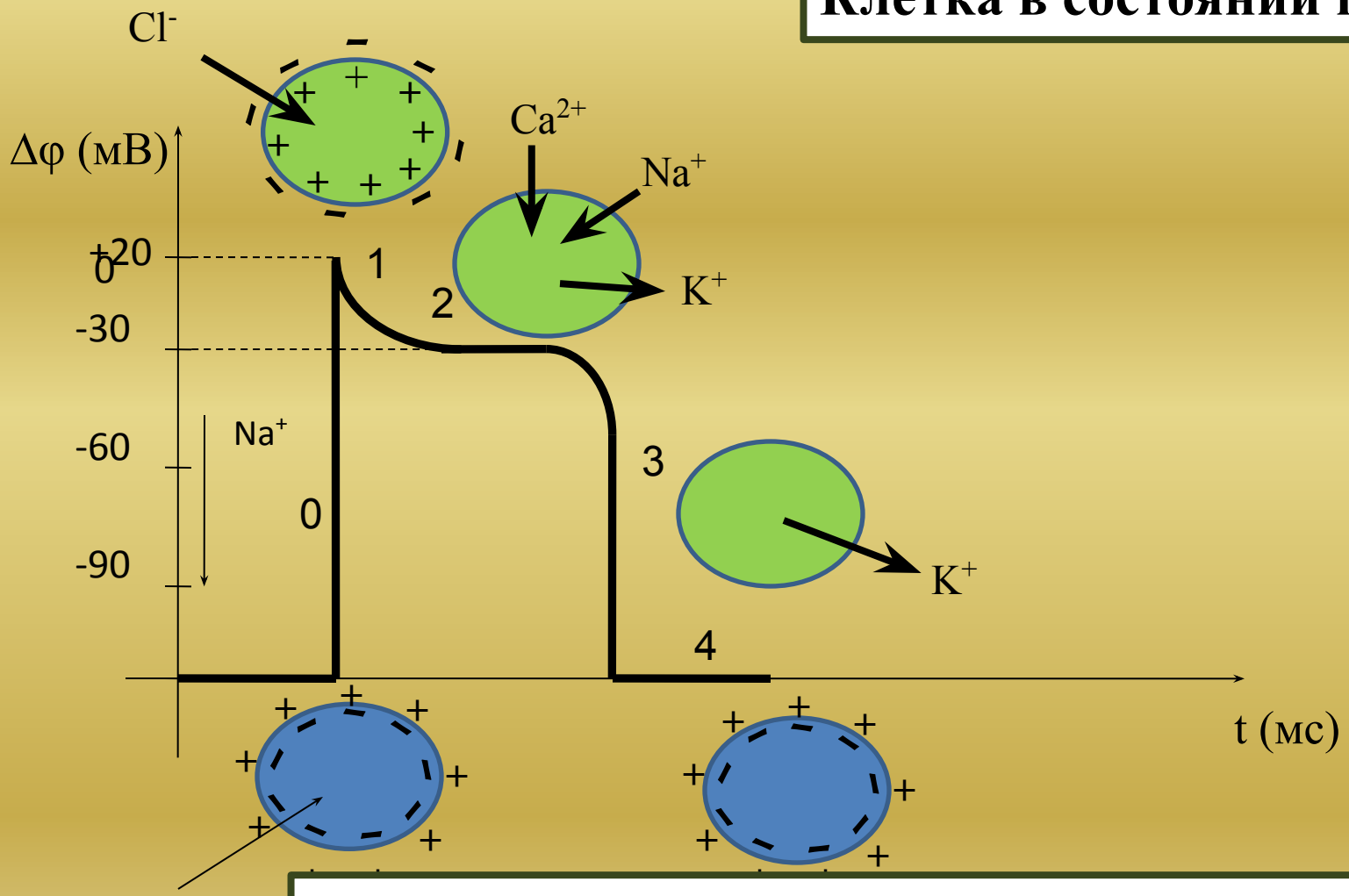
K^+ - выходит из клетки



Раздражитель

4 – фаза: диастола

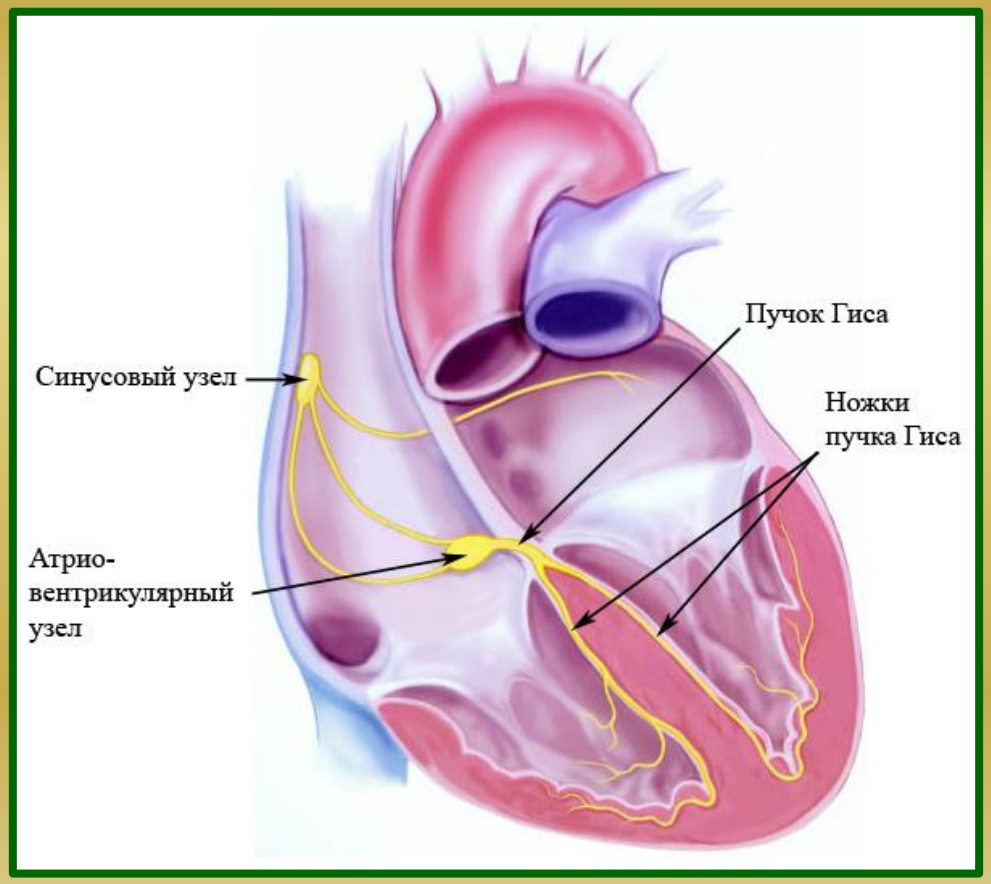
Клетка в состоянии покоя



Раздражитель

Длительность потенциала действия составляет 250—300мс

2. Основные функции сердца

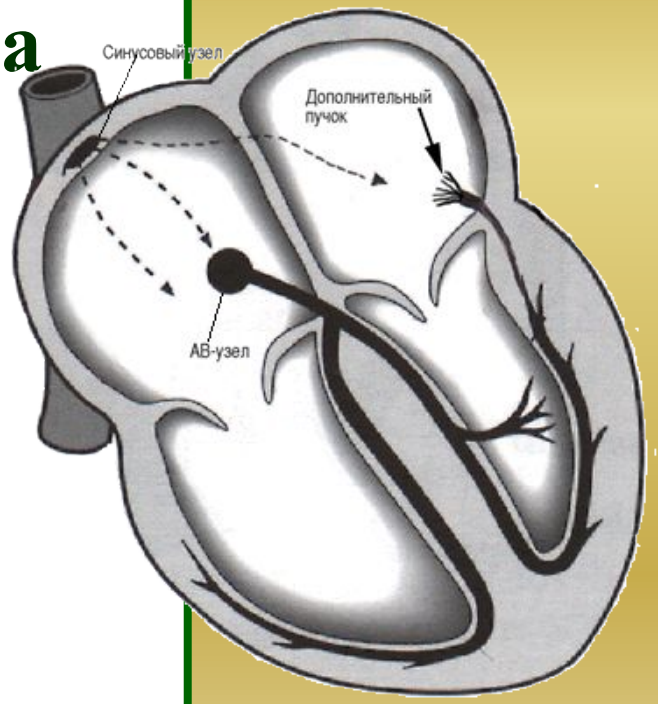


- Автоматизм
- Возбудимость
- Проводимость
- Сократимость

Автоматизм- способность сердца безо всяких внешних воз действий выполнять ритмические, следующие одно за другим сокращения

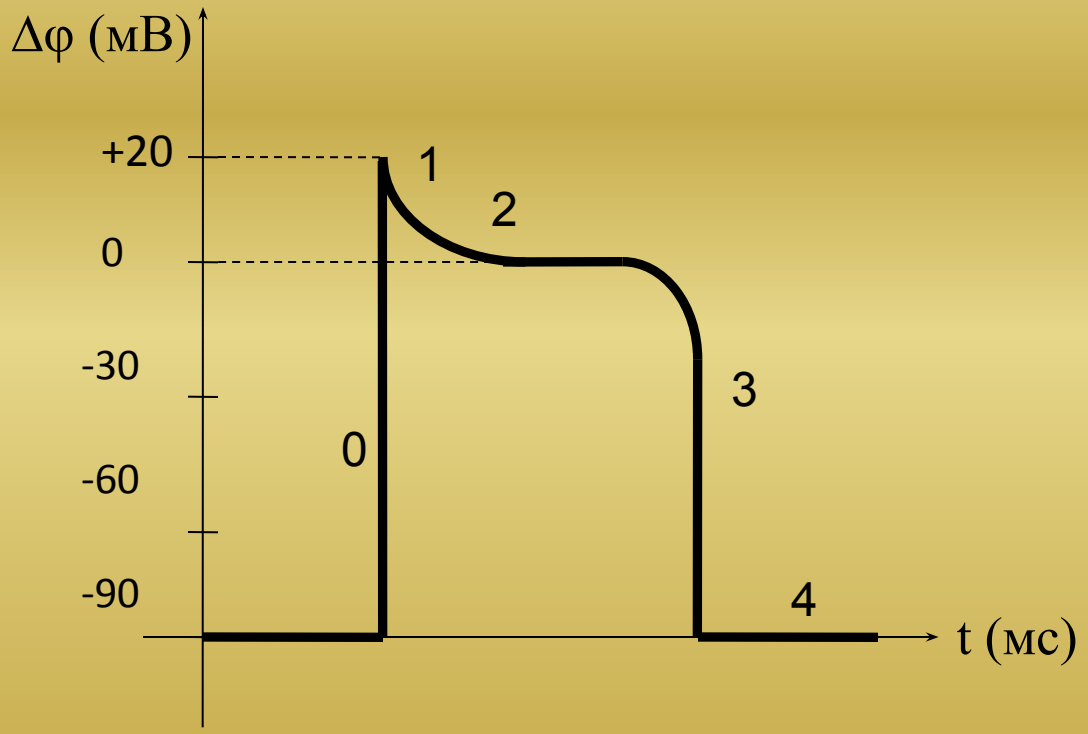
Автоматическая система сердца включает:

1. синусовый узел
2. атриовентрикулярный узел
3. пучок Гиса
4. ножки Гиса
5. волокна Пуркинье

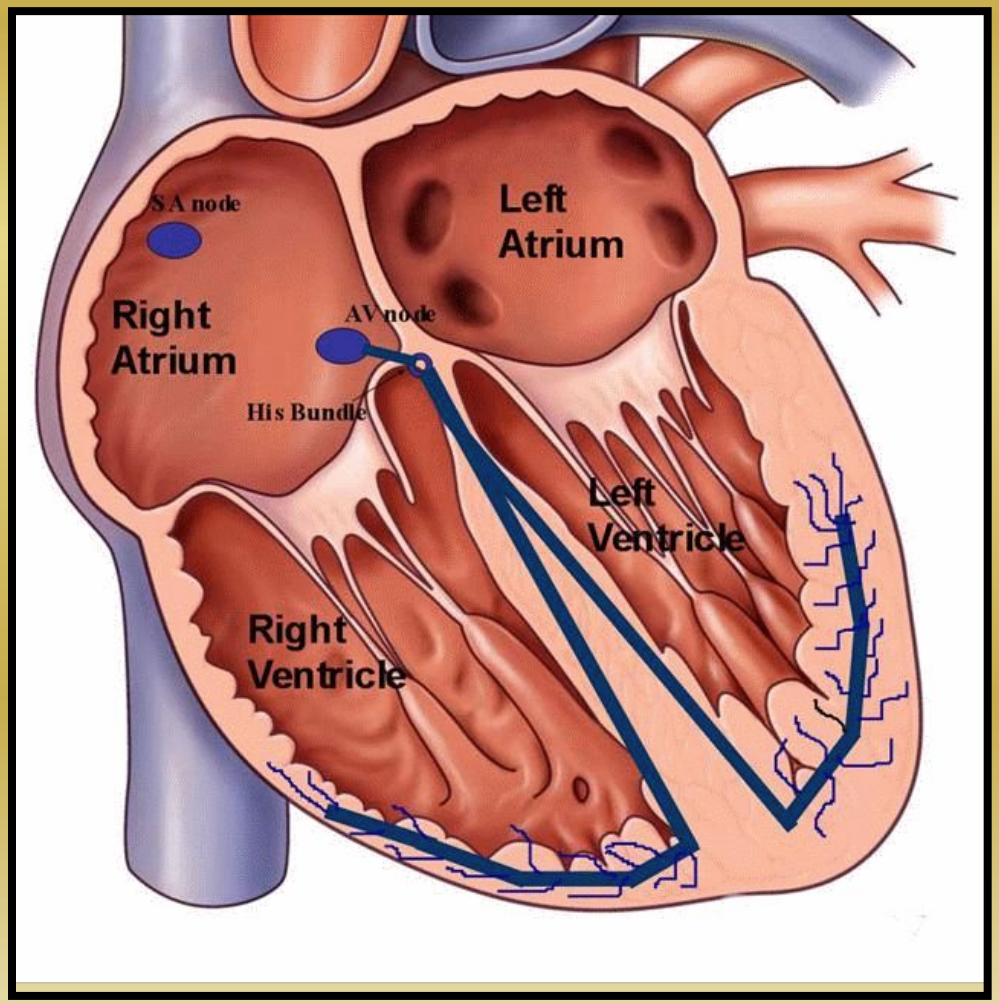


- Синусовый узел - зона главного водителя ритма сердца- общей длиной 15 - 25 мм, шириной 4 - 7 мм
- Нормальный автоматизм составляет 60 - 80 им/мин
- При поражении синусового узла функция авто матизма исполняется атриовентрикулярным узлом (60 им/мин) - центром второго порядка
- Если поражены синусовый и атриовентрикулярный узлы, то функция автоматизма смещается к ножкам пучка Гиса (25-40 им/мин), к центрам третьего порядка

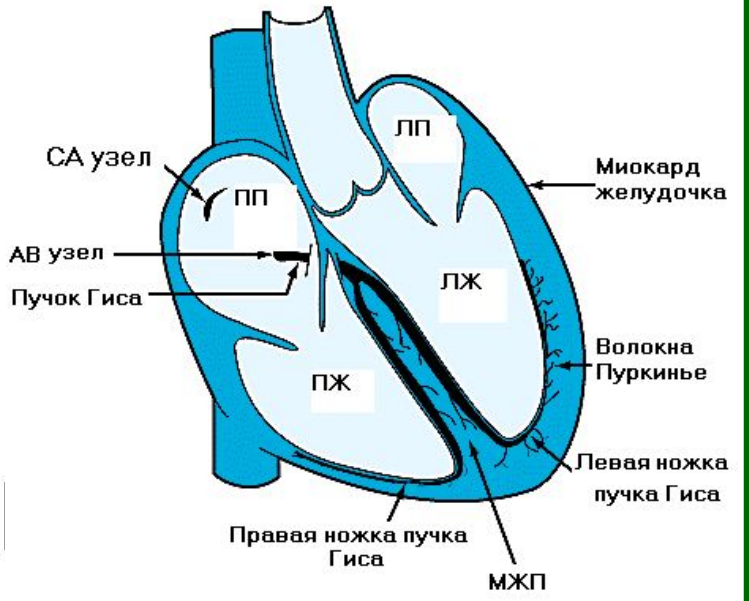
Возбудимость- возникновение потенциала действия и сокращение сердца



Проводимость-это способность к проведению возбуждения, возникшего в каком –либо участке сердца, к другим отделам сердечной мышцы



Скорость проведения возбуждения по проводящей системе сердца



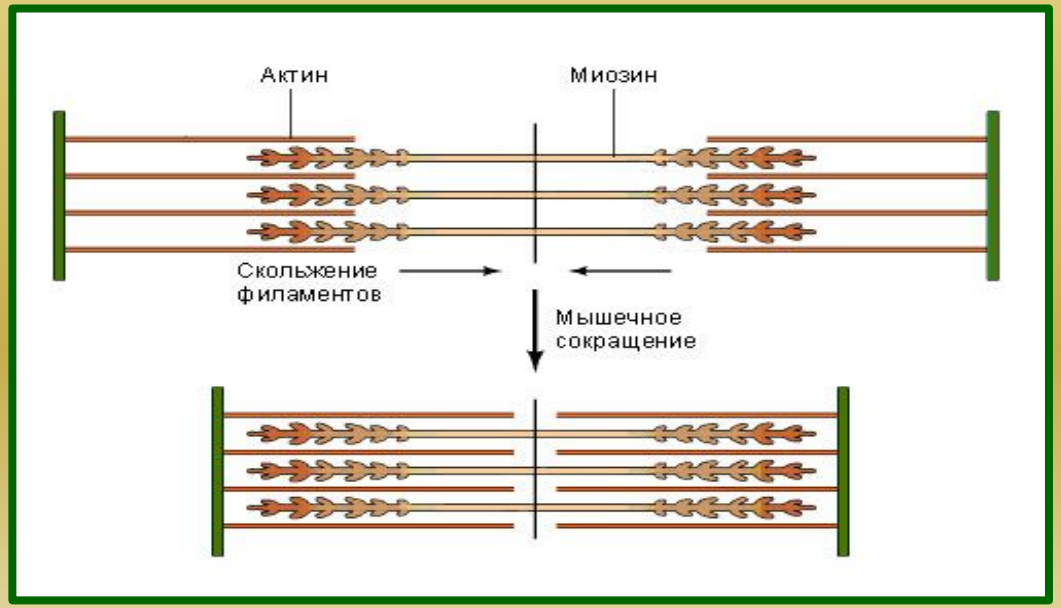
- **0,8 – 1**m/s в синусовом узле
- **0,02** m/s A-B узле
- **0,8 – 1**m/s в пучке Гиса
- **2 – 4** m/s в ножках пучка Гиса
- **2 – 4** m/s в волокнах Пуркинье

- В АВ-узле происходит значительная задержка волны возбуждения и её скорость $2\text{-}5 см \cdot с^{-1}$

- В результате задержки желудочки начинают возбуждаться после окончания полноценного сокращения предсердий

- АВ-узел сортирует импульсы: при учащении сердечного ритма до 180-220 ударов в минуту некоторые импульсы из предсердий не достигают желудочков и наступает так называемая **атриовентрикулярная блокада**

Сократимость- результирующая функция сердца.
В результате автоматизма, возбудимости и проводимости сердце сокращается и выполняет свою основную функцию-выбрасывает кровь в большой и малый круги кровообращения



3. Электрический диполь. Электрический диполь как источник электрического поля. Потенциал поля диполя

Электрический диполь - система двух точечный зарядов +Q и -Q, равных по величине, противоположных по знаку, расположенных на некотором расстоянии друг от друга

Потенциал, создаваемый электрическим диполем в точке А в диэлектрике находят по формуле:

$$\varphi_A = \frac{kP \cdot \cos\alpha}{\varepsilon R^2}$$

ϕ- Потенциал электрического поля

k- коэффициент пропорциональности

P- электрический момент диполя

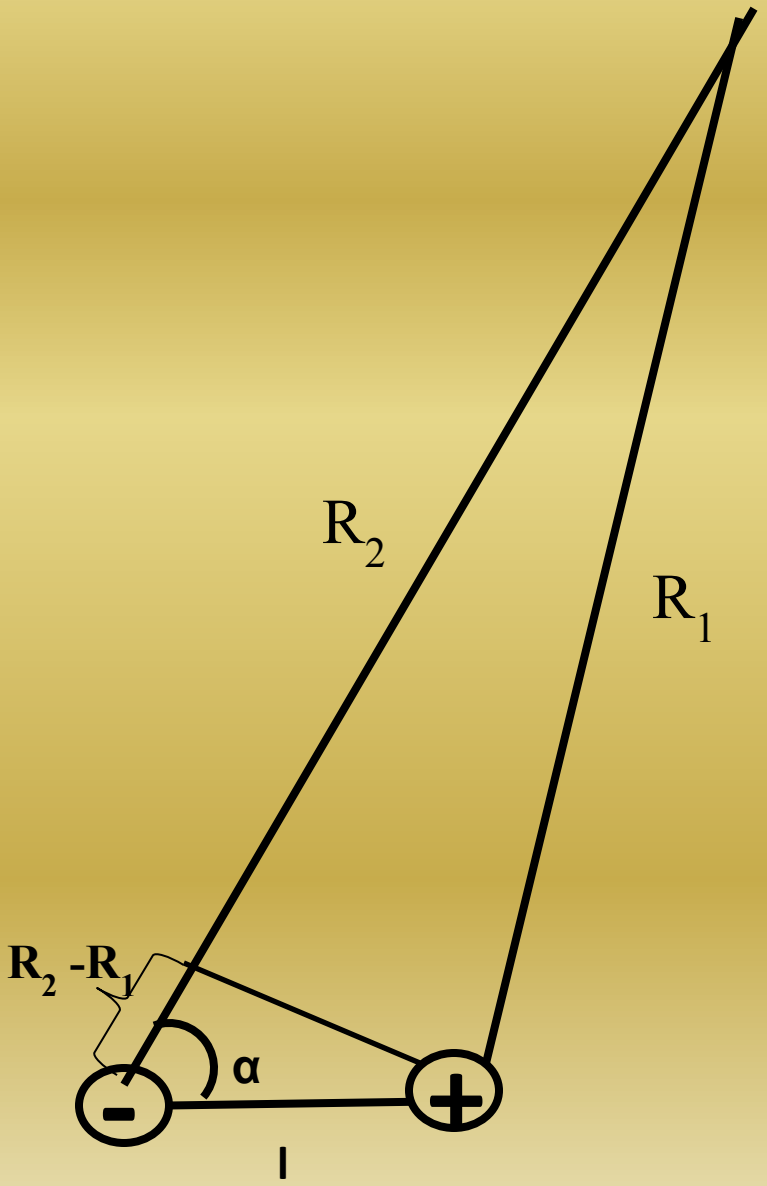
ε- диэлектрическая проницаемость вещества

R- расстояние между диполем и точкой А

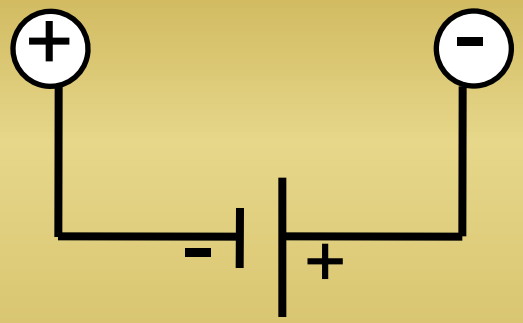
cosα-угол между диполем и направлением на точку А

$$\varphi = \frac{kq}{\varepsilon R}$$

-потенциал, создаваемый точечным зарядом



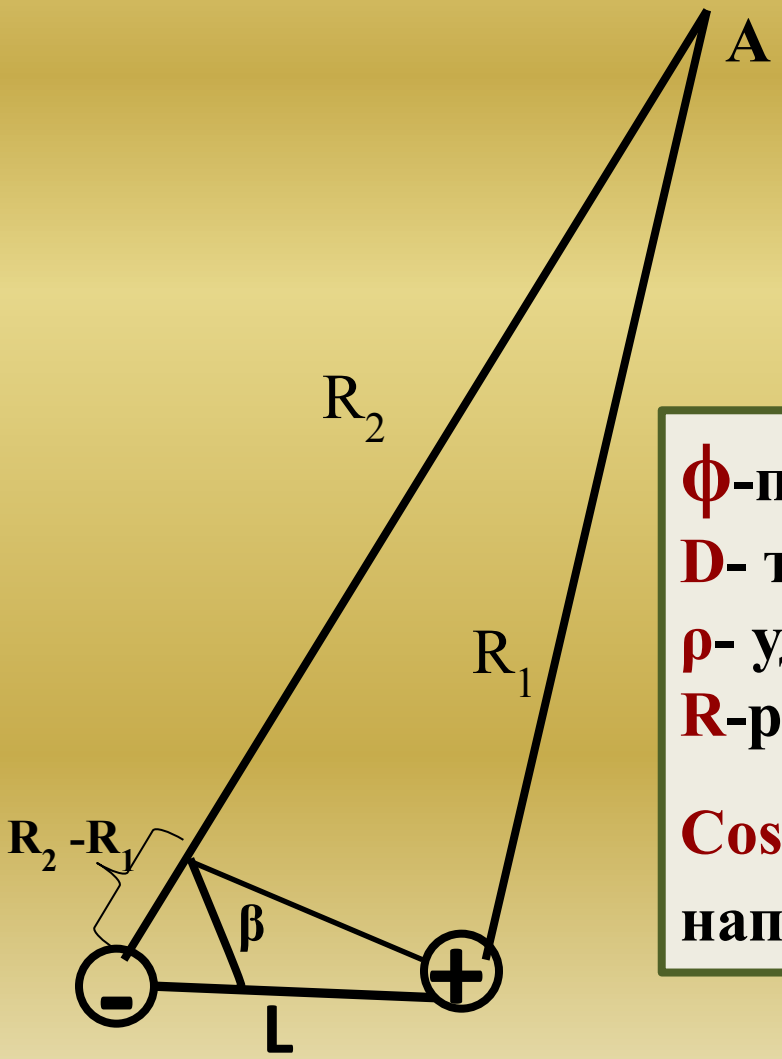
$$\varphi_A = \frac{kP \cdot \cos\alpha}{\varepsilon R^2}$$



Токовый диполь-

Электрический диполь, к полюсам которого присоединён источник энергии

Потенциал, создаваемый токовым диполем в точке А в проводящих тканях находят по формуле:



$$D = I \cdot L$$

$$\varphi_A = \frac{\rho \cdot D \cdot \cos\beta}{4\pi R^2}$$

ϕ-потенциал электрического поля

D- токовый дипольный момент

ρ- удельное сопротивление

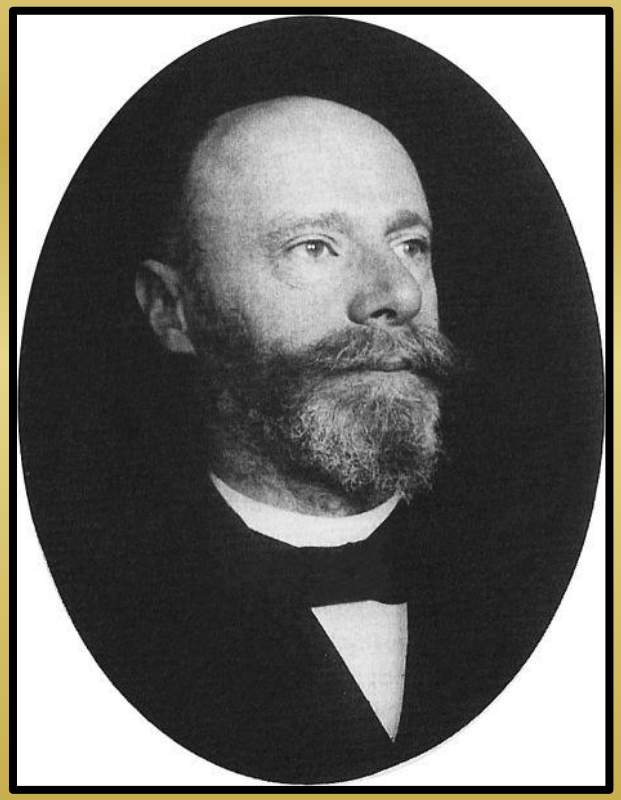
R-расстояние между диполем и точкой А

Cosβ- угол между диполем и направлением на точку А

Дипольный эквивалентный электрический генератор сердца –это модель, в которой электрическая активность миокарда заменяется действием одного эквивалентного точечного диполя и потенциалы внешнего поля описываются выражением:

$$\varphi = \frac{kP_o \cdot \cos\alpha}{\varepsilon \cdot r^2} + \frac{\rho \cdot D_o \cdot \cos\beta}{4\pi \cdot r^2}$$

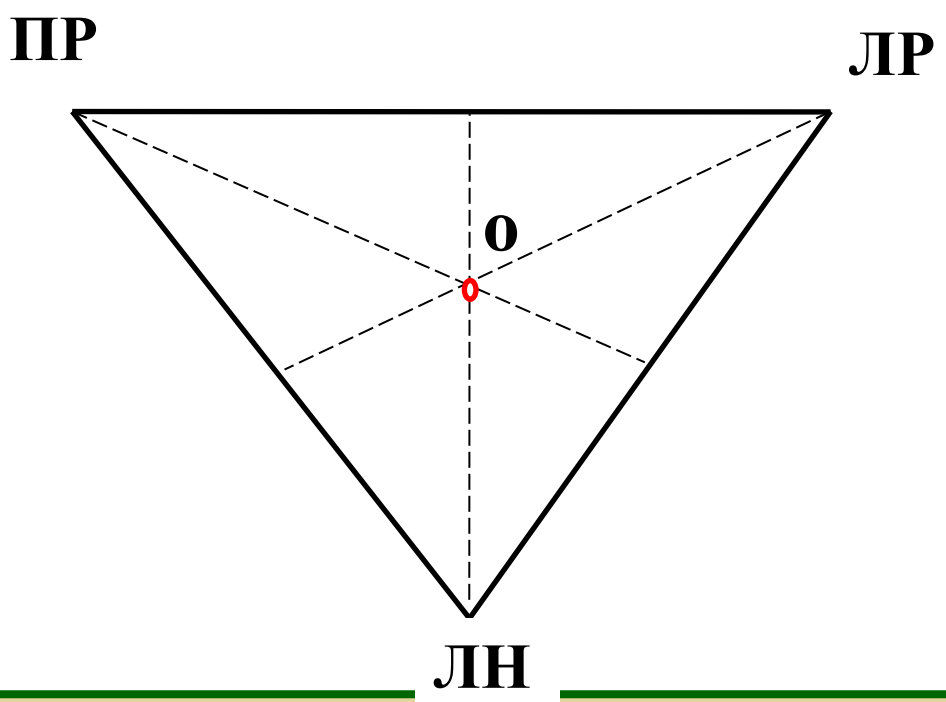
Теория Эйтховена, её основные положения

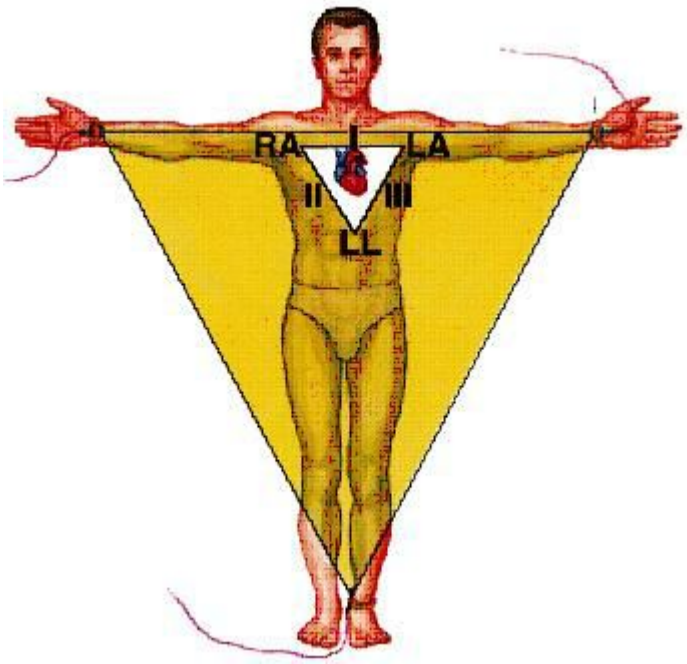


- **Ви́ллем Эйнтхо́вен -**нидерландский физиолог, основоположник **электрокардиографии**, сконструировал в 1903г. прибор для регистрации электрической активности сердца
- В 1906г. использовал электрокардиографию в диагностических целях
- В 1924г получил Нобелевскую премию по физиологии

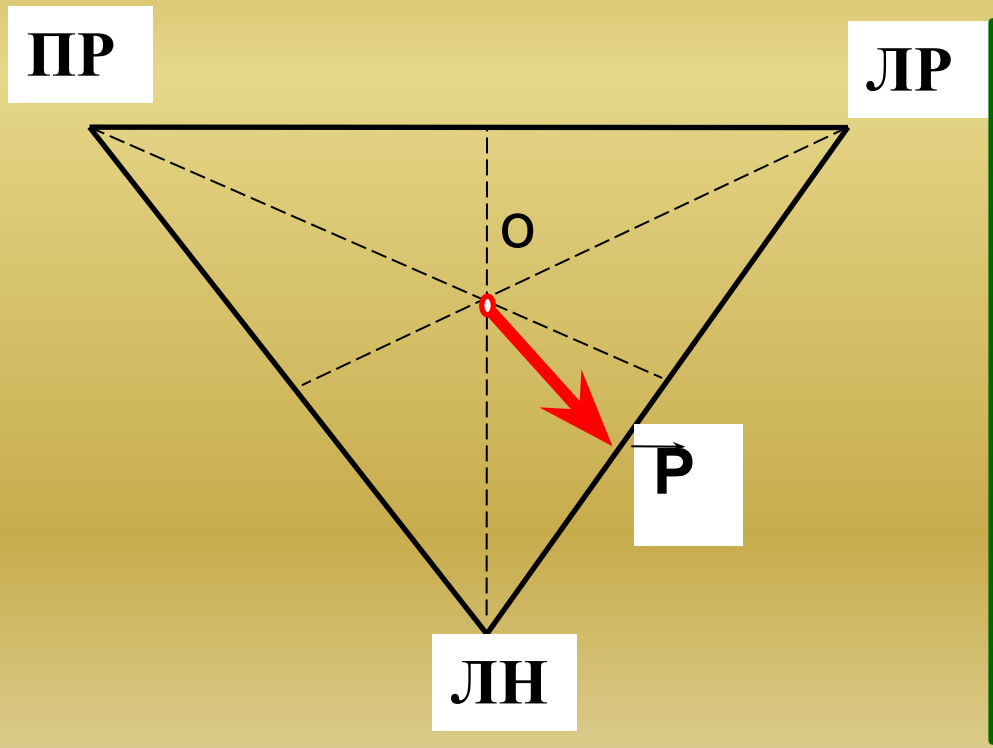
Основные положения теории Эйтховена

1. **Организм человека можно представить в виде равностороннего треугольника**





2. Электрическая активность сердца заменена одним результирующим диполем



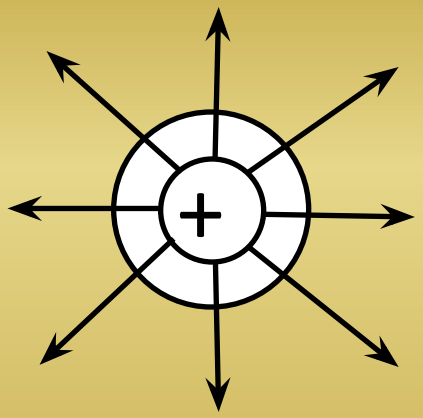
- Начало вектора расположено в середине треугольника

- ***O*** – точка неподвижна и совпадает с атриовентрикулярным узлом
- Конец вектора описывает сложную пространственную кривую

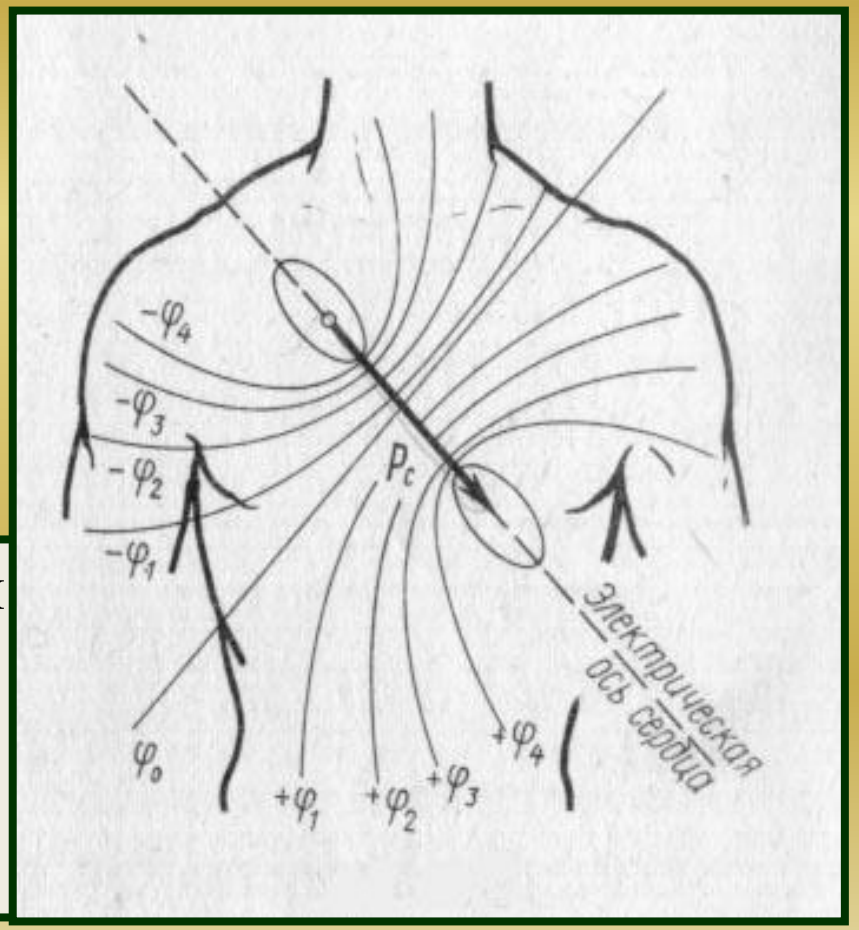
3.Ткани организма являются слабо проводящими, имеют одинаковую электропроводность во всех направлениях

- Биопотенциал можно зафиксировать на конечностях

Распределение эквипотенциальных линий на поверхности тела человека

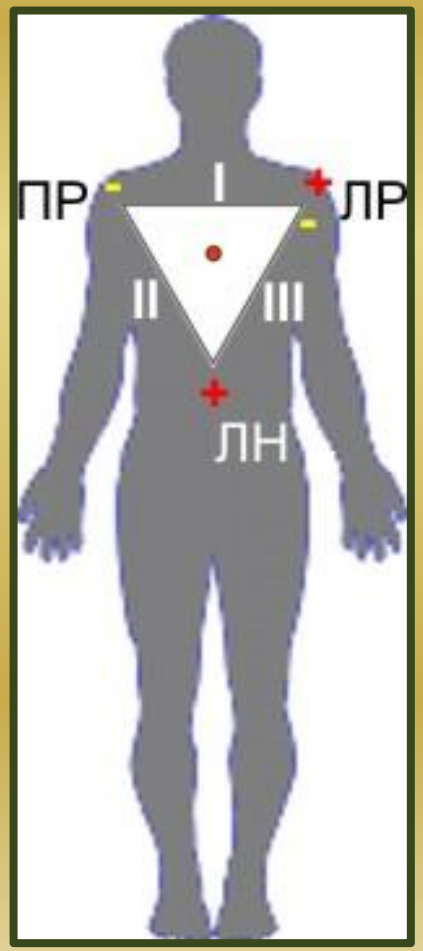


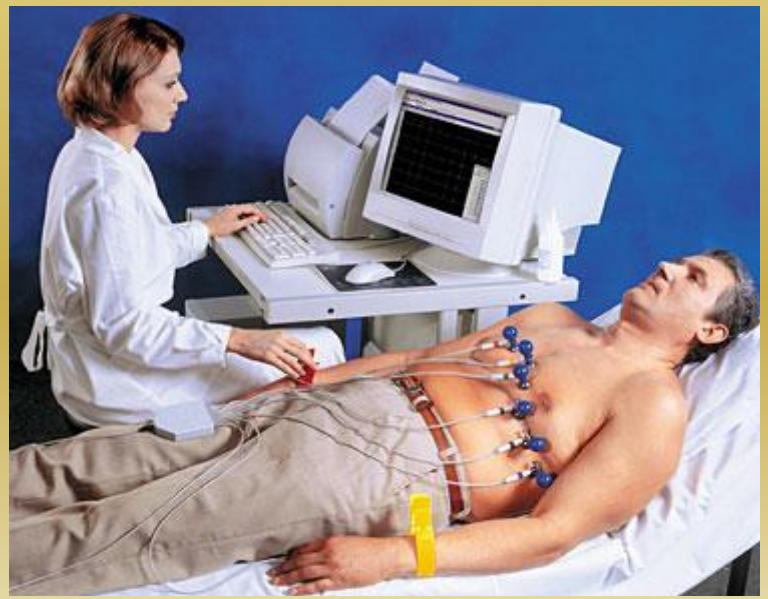
Эквипотенциальная линия – линия равного потенциала



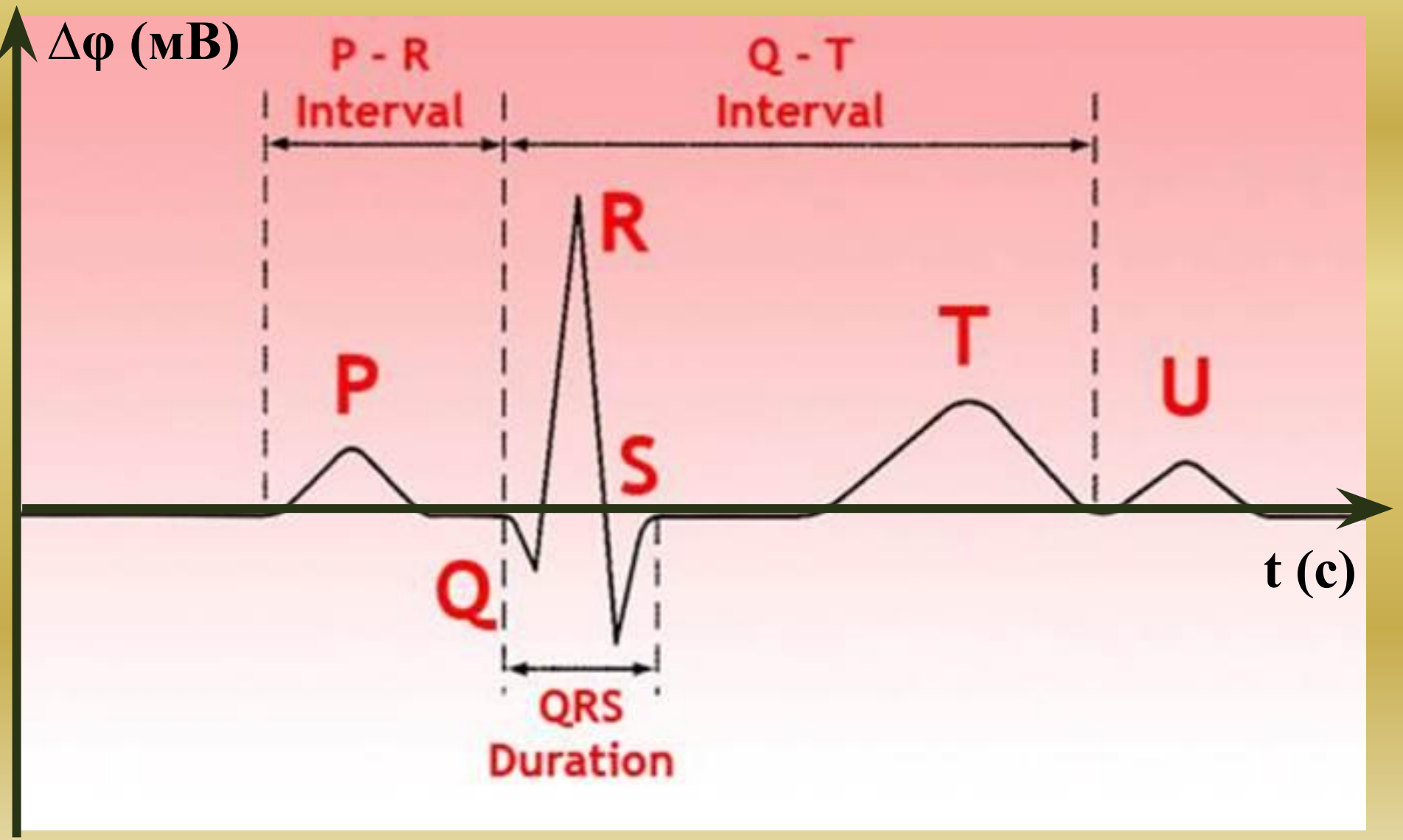
Треугольник Эйтховена. Стандартные отведения

I отведение: правая рука - левая рука
II отведение: правая рука - левая нога
III отведение: левая рука - левая нога

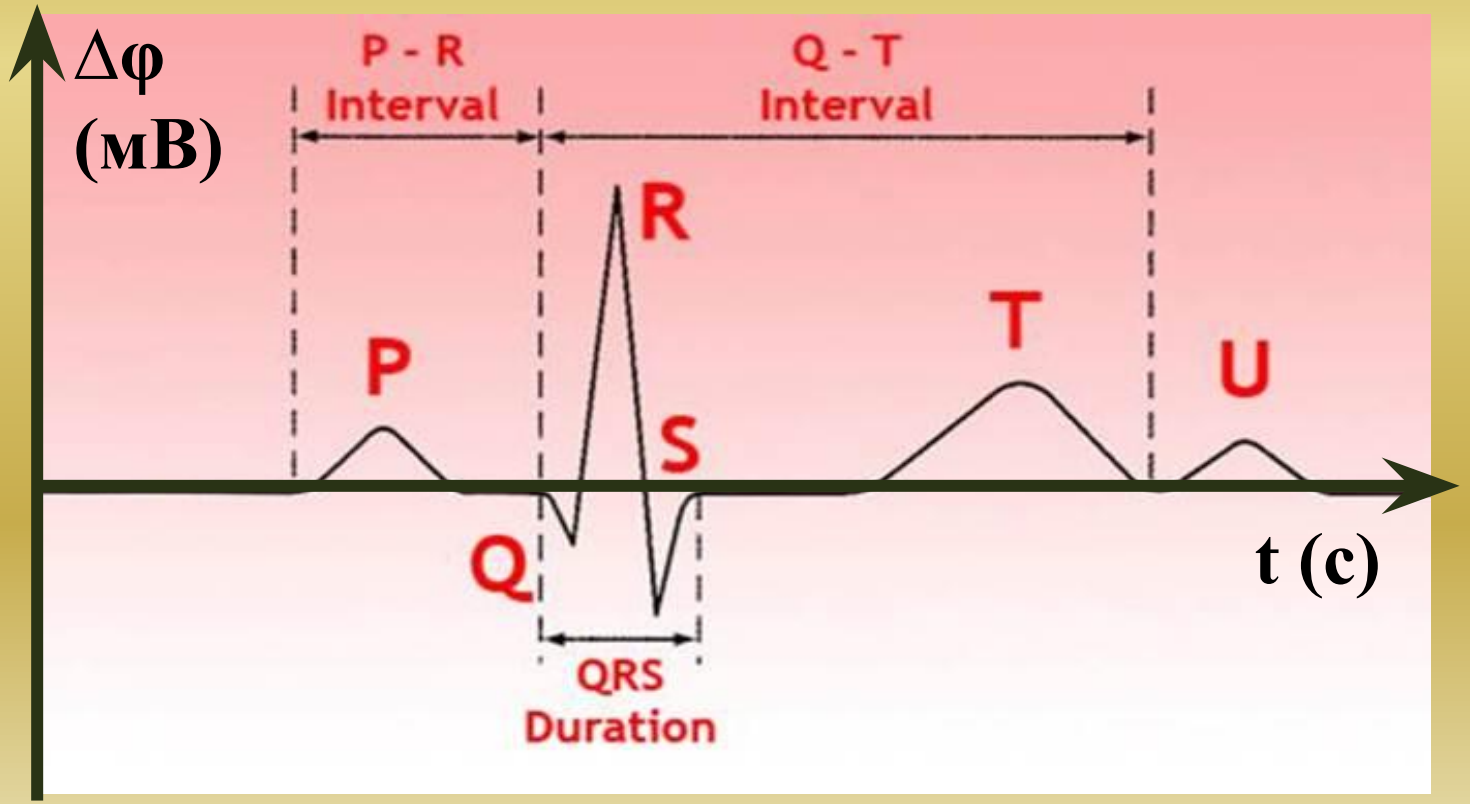


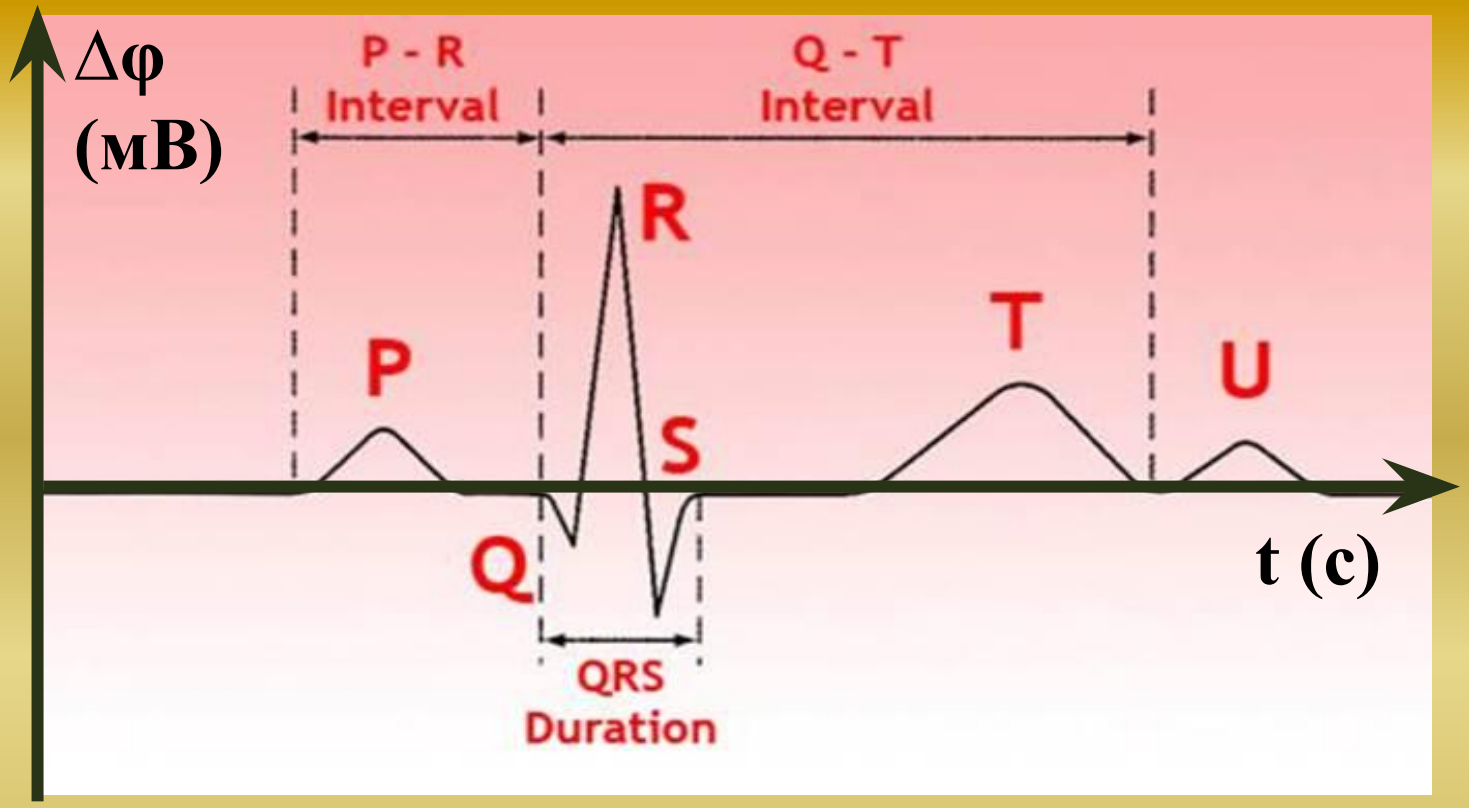


ЭКГ здорового сердца. Природа зубцов, интервалов, сегментов



- **Зубец P**- Электрическая активность (деполяризация) предсердий. Регистрирует алгебраическую сумму возбуждений правого (восходящая часть) и левого (нисходящая часть) предсердий.
- **Сегмент PQ** - распространение возбуждения от предсердий к желудочкам по атриовентрикулярному узлу, пучку Гиса и его ветвям.



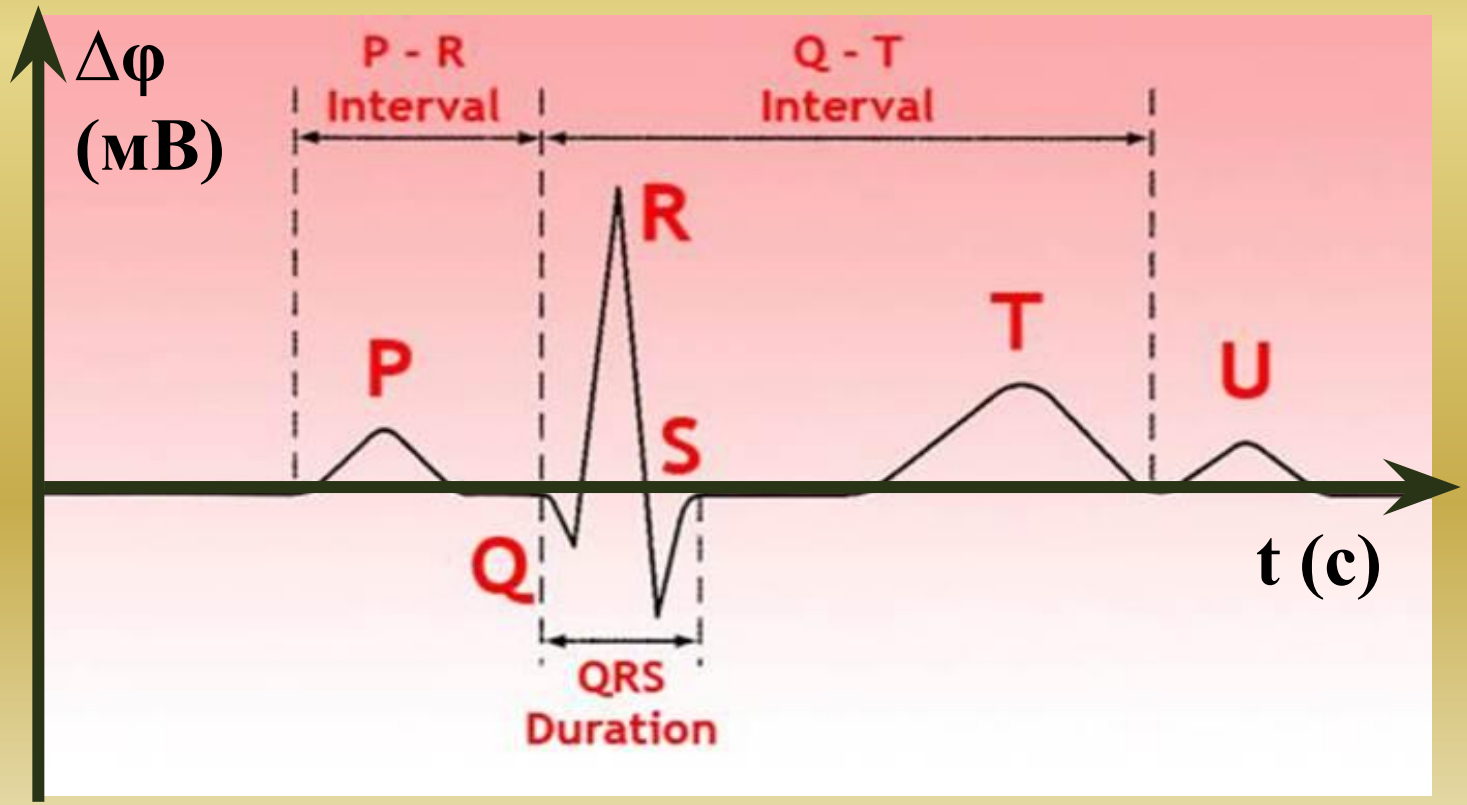


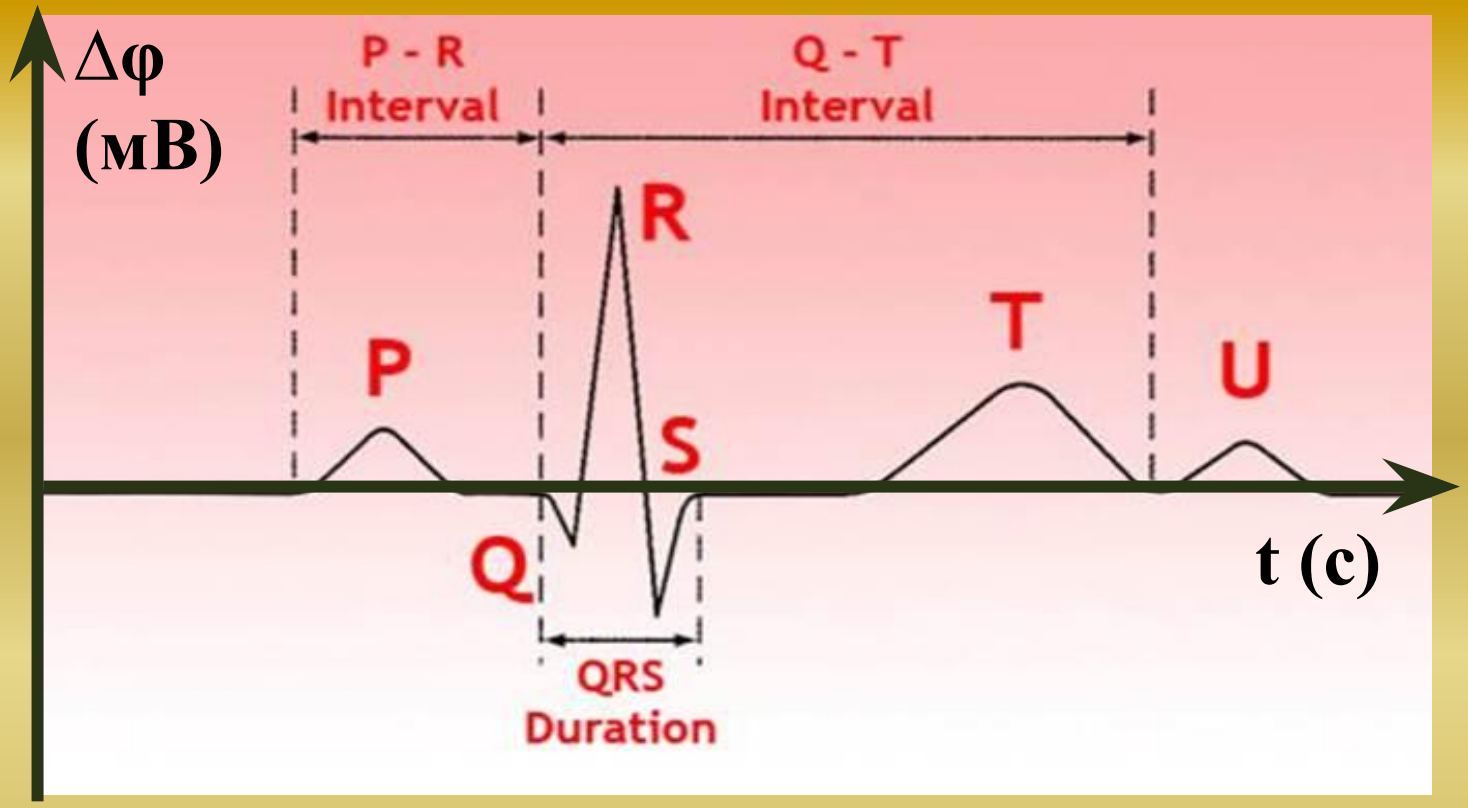
Зубец Q- отражает деполяризацию межжелудочковой перегородки, направлен вниз

Зубец R- соответствует почти полному охвату возбуждением обоих желудочков, это самый высокий зубец ЭКГ- направленный вверх

- **Зубец S**- конечный элемент желудочкового комплекса, когда оба желудочка охвачены возбуждением
- Комплекс QRS начальная часть желудочкового комплекса, соответствует фазе полной деполяризации желудочков

Сегмент ST –приходится на период восстановления исходного состояния миокарда после его полной деполяризации





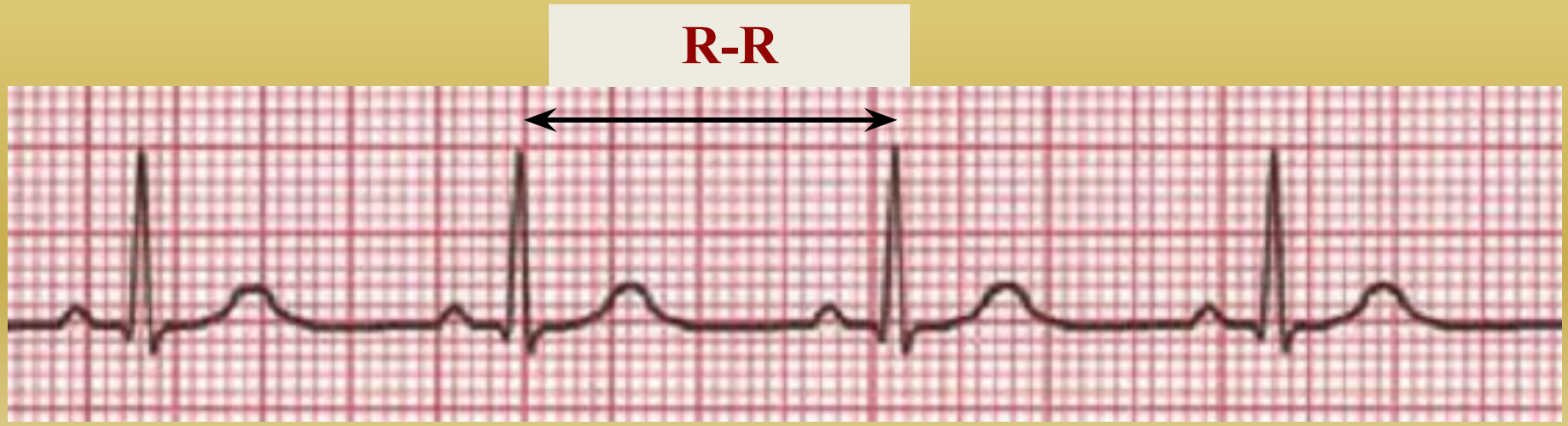
Зубец T- обозначает прекращение деполяризации и затем наступает реполяризация обоих желудочков

Комплекс QRST (Интервал Q- T) характеризует электрическую систолу (возбуждение) желудочков и соответствует периоду от начала деполяризации до окончания реполяризации желудочков

Сегмент TP (диастола) – отражает фазу покоя сердечной мышцы, в которую не бывает её электрической активности, лежит на изолинии

Интервал R-R определяется между пиками двух следующих друг за другом зубцов R

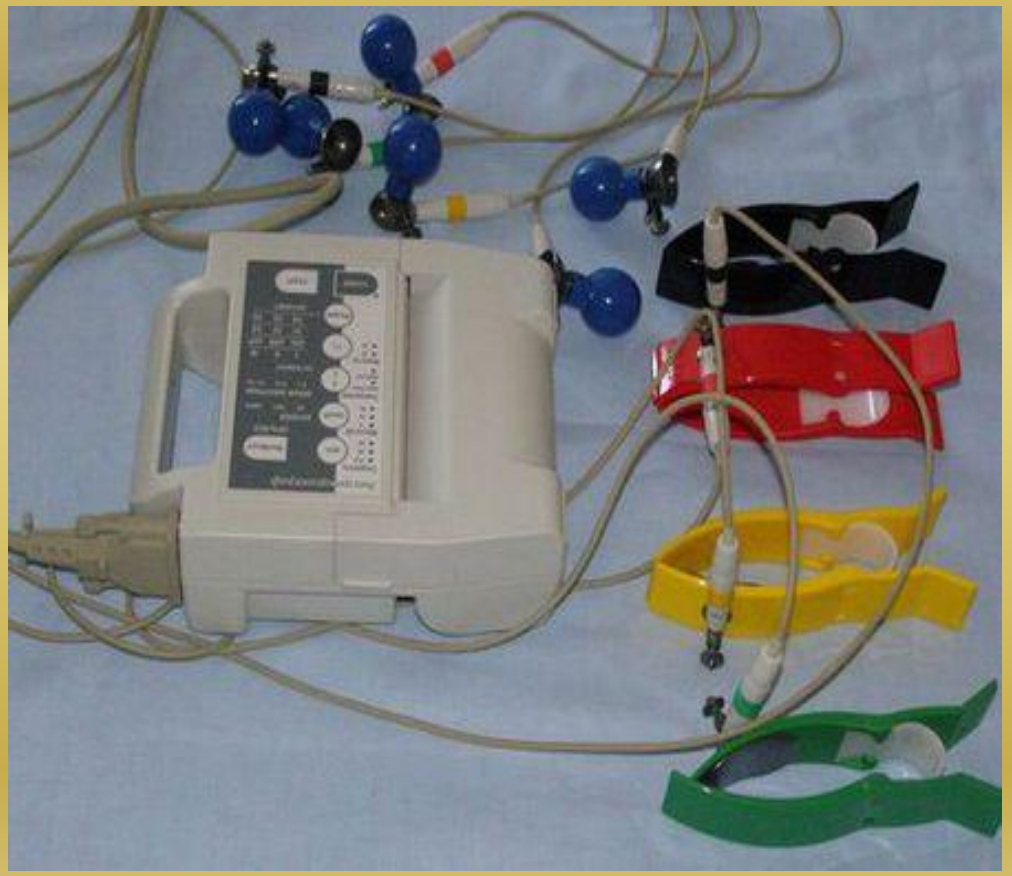
Гармонический спектр имеет значения от 1 до 80-100Гц



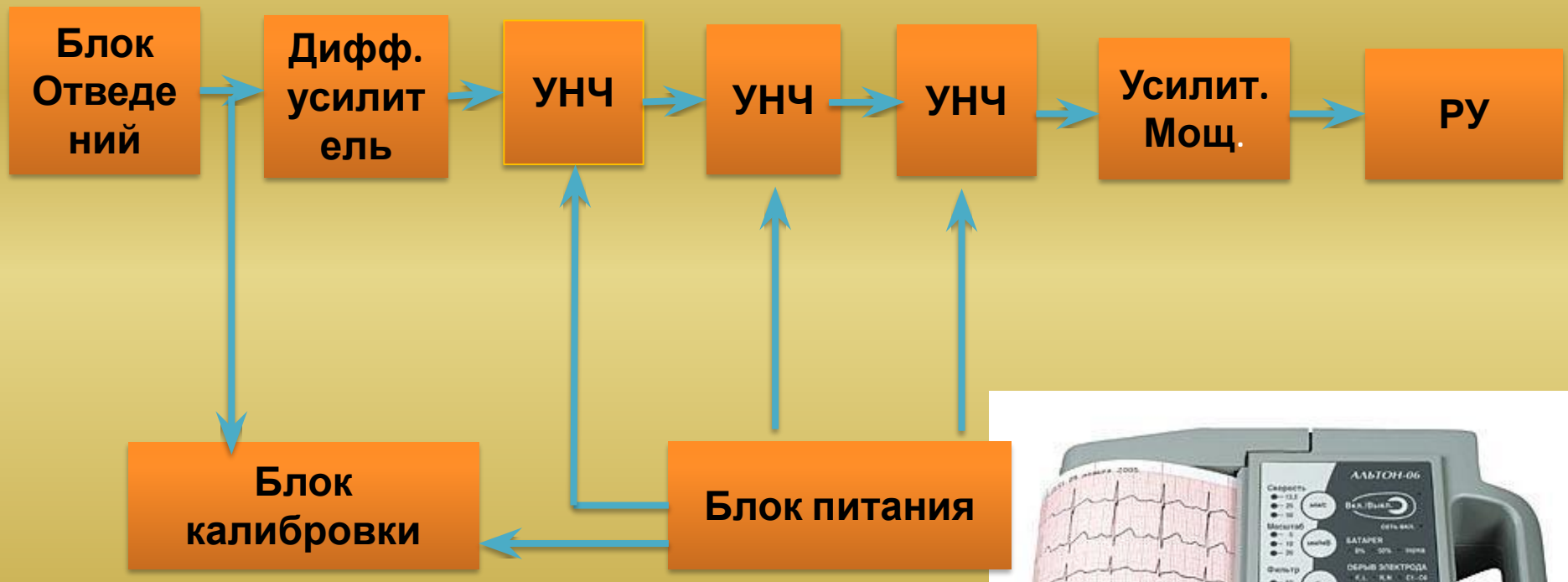
Зубцы ЭКГ	Амплитуда в мм	Продолжительность	
		в секундах	в мм
зубец P	1,5—2,5	0,1	5
интервал P—Q (R)	—	0,12—0,20	6—10
зубец Q	не больше 1/4 R	0,03	1,5
зубец R	I-a VF до 20 мм V1—V6 до 25 мм	—	—
зубец S	не больше 20 мм	—	—
комплекс ORS	—	до 0,12	до 6
зубец T	I-a VF до 6 мм V1—V6 до 17 мм	0,16—0,24	8—12

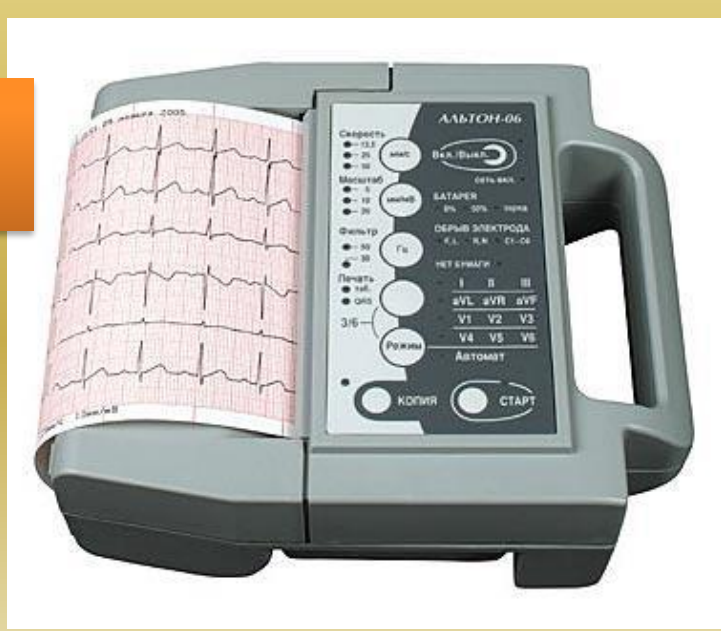
ýêã.mp4

Блок - схема ЭКГ. Виды ЭКГ



Блок-схема электрокардиографа





Блок отведений- с помощью специальных электродов разность потенциалов со стандартных отведений, через блок отведений попадает в дифференциальный усилитель

Дифференциальный усилитель-

1. Гасит помехи (электромагнитные поля радио и телевидения, аппаратов УВЧ, сотовой связи и т. п.)

2. Усиливает полезный сигнал, идущий от сердца.

Усилитель напряжения низкой частоты (УНЧ)

- Три каскада усилителя напряжения низкой частоты значительно увеличивают амплитуду выходного сигнала.

- Затем полезный сигнал подаётся на усилитель мощности.

Усилитель мощности

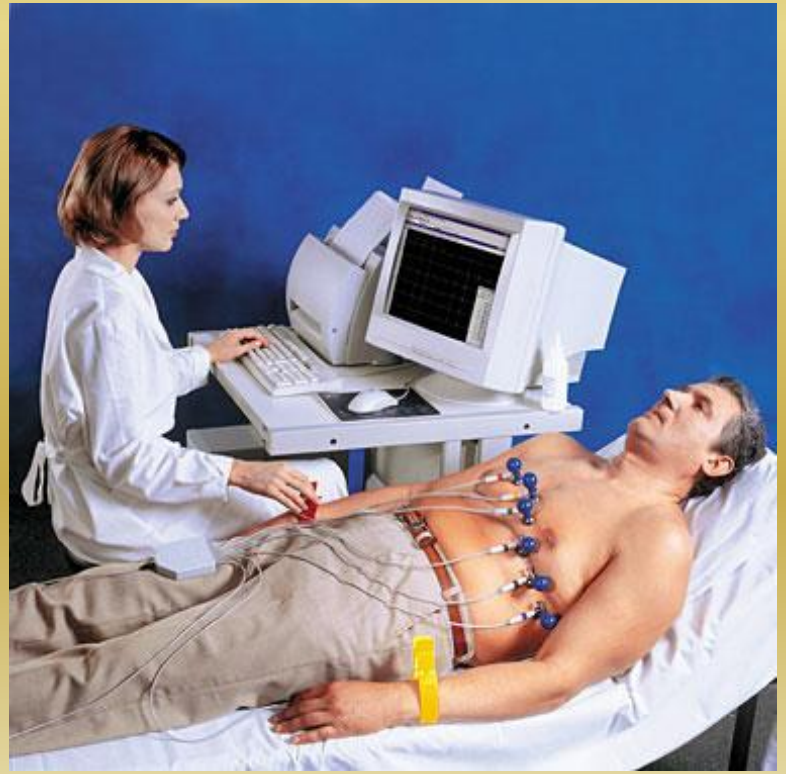
- В нём формируется мощность сигнала по закону P=U*I
- Усиленный таким образом полезный сигнал регистрируется на экране монитора

Блок калибровки

- Любой ЭКГ содержит блок калибровки.
- Он представляет собой источник стабильного напряжения величиной 1 мВ.

Регистрирующее устройство

Для регистрации полезного сигнала используют монитор.



Виды электрокардиографов.

Одноканальные

Современные одноканальные электрокардиографы наделены следующими качествами:

- незначительный вес – от 800-900 гр.;
- печать осуществляется на специальной термобумаге посредством встроенного в данный прибор минипринтера;
- в управлении одноканальный электрокардиограф прост;
- определения диагноза происходит в автоматическом режиме, во время работы аппарата;
- на экране сенсорного монитора можно наблюдать пульс;
- одноканальный электрокардиограф может работать при помощи аккумулятора, путем включения в сет

Трехканальные

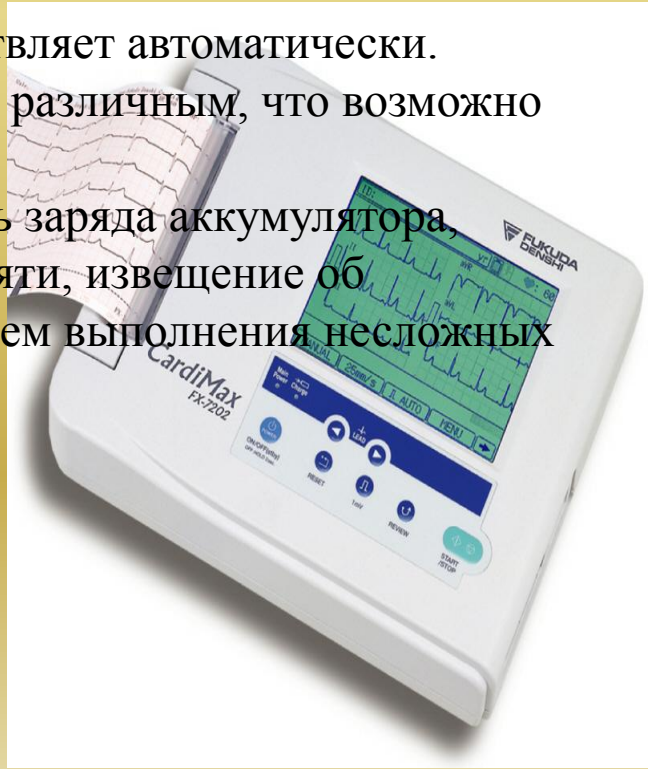
Особенности комплектации этого вида электрокардиографов обусловили его характеристики:

- Производит автоматические расчеты в аспекте основных показателей ЭКГ. Нет
- Благодаря высокому разрешению вмонтированного термопринтера, помимо данных о произведенном обследовании, есть возможность печатать факультативную информацию: ФИО, возраст пациента, иные сведение, разновидность электрофильтра, уровень увеличения амплитуды ЭКГ, показания пульса.
- Посредством дополнительных функций реально отследить погрешности ЭКГ, сердцебиения.
- Небольшие параметры.
- Возможность переноса полученных данных с электрокардиографа на компьютер, для проведения дополнительных изучений, расчетов.
- Потребность в техобслуживании минимальна.

Шестиканальные. Это устройство имеет более широкую область применения. Его эксплуатируют сотрудники МЧС, военные госпитали, службы скорой помощи, государственные и частные клиники.

Особенности этого электрокардиографа:

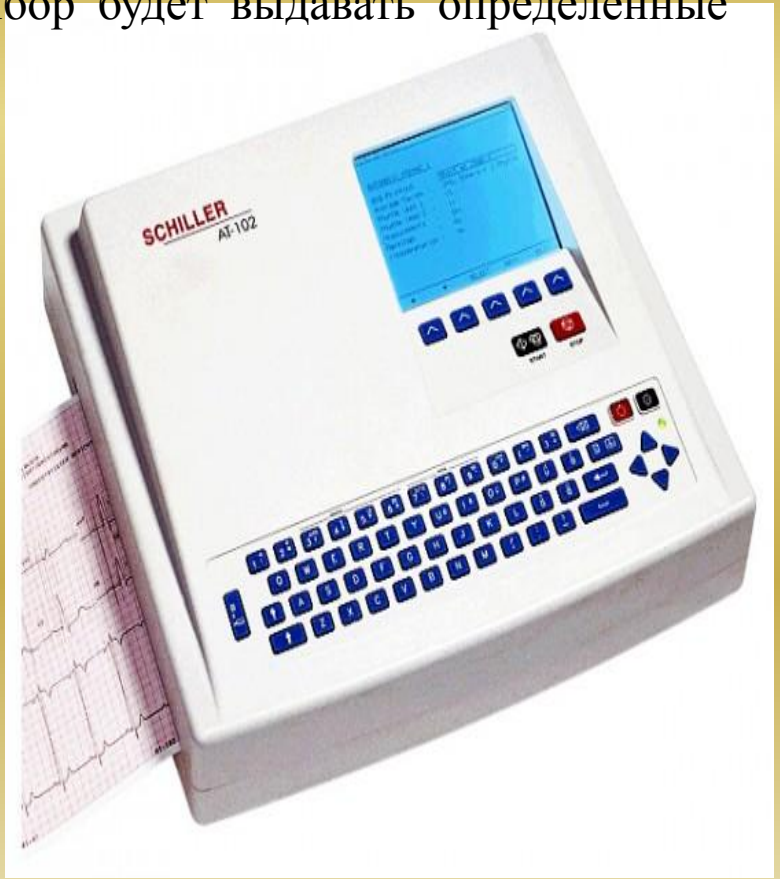
- Возможность сохранять значительное число ЭКГ – около 1000. Достигается благодаря наличию жесткого диска, объем которого стартует от 10 Гб.
- Мощность аккумулятора позволяет данному прибору снимать до 150 ЭКГ без подзарядки.
- Более высокая скорость печати бумаги, чем в одно-, трехканальных электрокардиографах.
- Распечатывание результатов снятой ЭКГ прибор осуществляет автоматически.
- Формат бумаги, что применяется для печати, может быть различным, что возможно благодаря наличию специальных фиксаторов.
- Сведения о функциональном состоянии прибора: уровень заряда аккумулятора, оповещение об отсоединении электродов, состояние памяти, извещение об окончании бумаги выводиться на экран его монитора путем выполнения несложных команд.



Двенадцатиканальные

Преимущества этого аппарата следующие:

- Более обширные возможности в аспекте памяти. За один сеанс можно сделать запись, продолжительность которой будет превышать 60 минут.
- Управление прибором производится посредством компьютера, что позволяет вносить нужные данные о пациенте, распечатывать эту информацию, отправлять ее по факсу.
- Контроль жизненно необходимых показателей: пульс, аритмия, отклонения от нормы в аспекте каждого отведения. Норму реально задавать в индивидуальном порядке для каждого пациента. При наличии погрешностей прибор будет выдавать определенные звуки.
- Формирование детального отчета.



Благодарю за внимание !

ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАММЫ В НОРМЕ

Зубцы и интервалы	амплитуда mv	продолжительность секунды
ЗУБЦЫ		
P	0,05-0.25	0,03 max
Q	0,00-0.20	0,03 max
R	0,30-1.60	0,03 max
S	0,00-0,03	0,03 max
T	0,25-0.60	0,25-0,60
ИНТЕРВАЛЫ		
PQ		0,12-0,20
QRS		0,06-0,09
QRST		0,30-0,49
ST		0,10-0,15
RR		0,70-1,00