

Электрофизиологические основы ЭКГ

Основные функции сердца

- **Автоматизм** – способность специализированных пейсмекерных клеток продуцировать ритмические импульсы возбуждения
 - Наибольшим автоматизмом обладает синусовый узел, который в физиологических условиях является водителем ритма
- **Возбудимость** – способность миокарда реагировать на различные физиологические и патологические возбудители
 - В период возбуждения и проведения импульсы – рефрактерность
- **Проводимость** – способность проводить импульсы возбуждения
 - Максимальная скорость проведения - на уровне клеток Пуркинье, минимальная – в атриовентрикулярном узле
- **Сократимость**

ЭКГ отражает состояние первых трех функций

Проводящая система

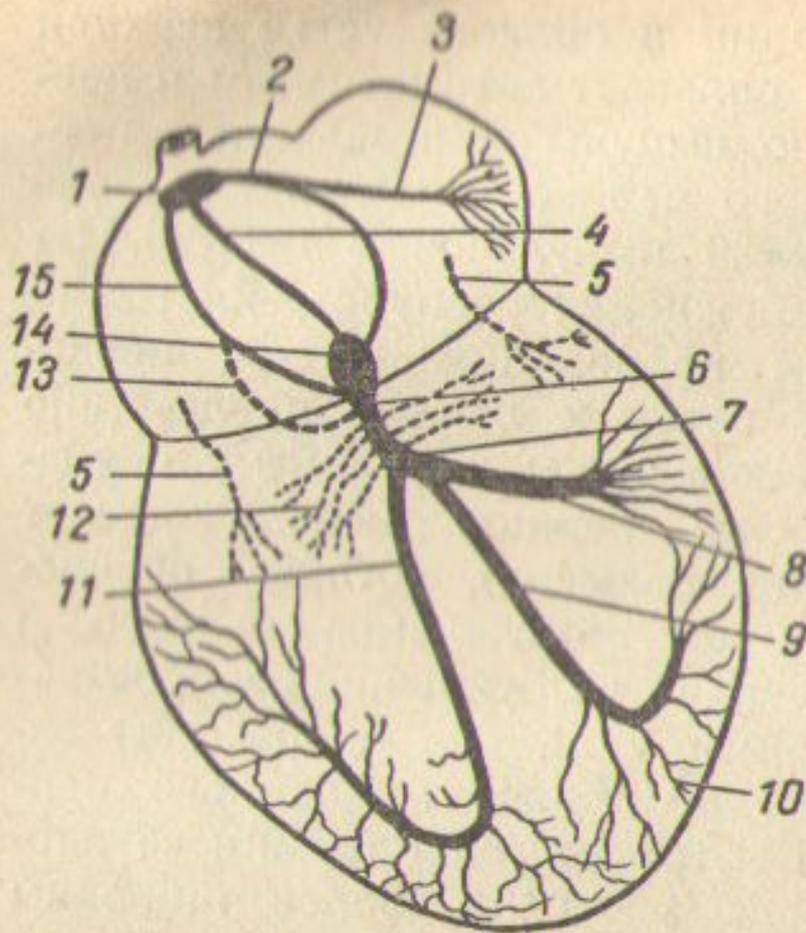


Рис. 2. Схематическое изображение проводящей системы сердца.

1 — синусовый узел; 2 — передний предсердный тракт; 3 — пучок Бахмана; 4 — средний предсердный тракт; 5 — пучки Кента; 6 — ствол пучка Гиса; 7 — левая ножка; 8 — задняя ветвь; 9 — передняя ветвь; 10 — волокна Пуркинье; 11 — правая ножка; 12 — волокна Махейма; 13 — пучок Джеймса; 14 — атриовентрикулярный узел; 15 — задний предсердный тракт.

- Деполяризация начинается у эндокарда.

При этом эндокардиальный участок одиночного мышечного волокна заряжается отрицательно по отношению к соседним участкам, а все остальное мышечное волокно — положительно.

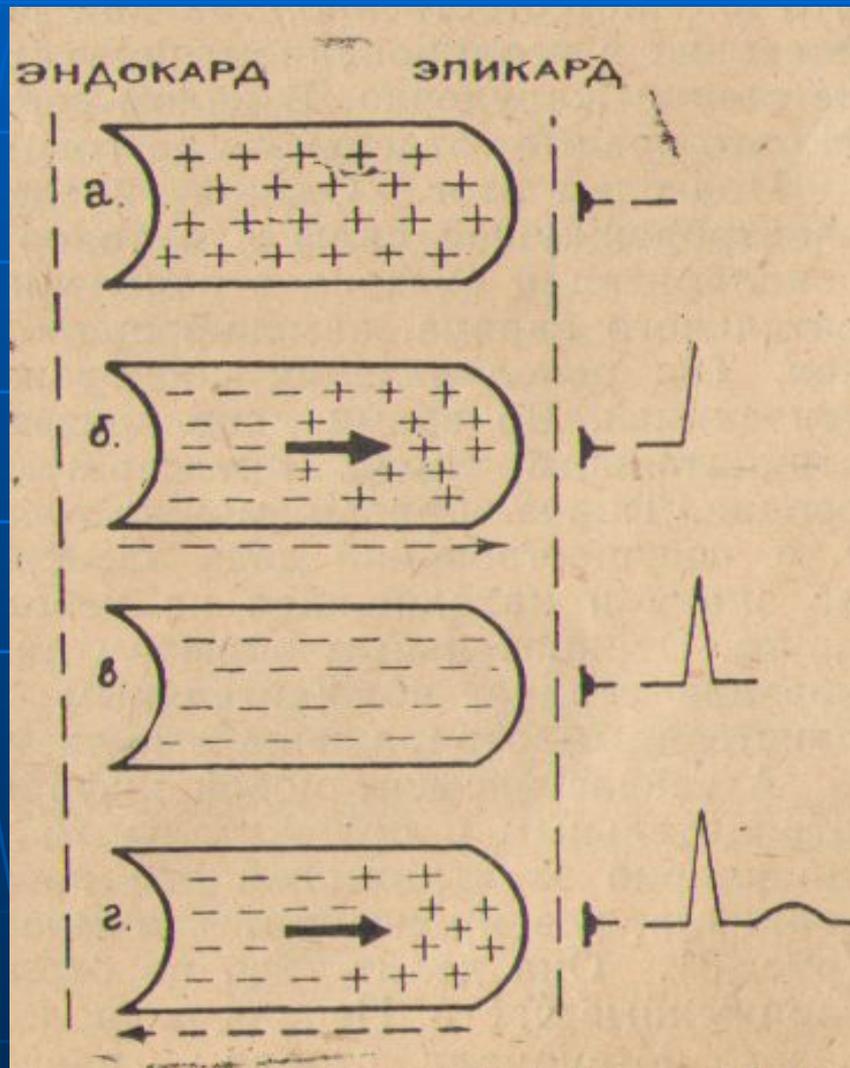
- К электроду обращены положительный заряд и силовые линии положительного поля. Поэтому гальванометр, соединенный с этим

- Процесс реполяризации начинается у эпикарда и распространяется к эндокарду.

При реполяризации субэпикардальные участки заряжаются положительно, рядом возникают равные по величине отрицательные заряды и между ними образуется вектор реполяризации, направленный, как и вектор деполяризации, от эндокарда к эпикарду.

- При реполяризации возникает значительно меньшая ЭДС, чем при деполяризации, и процесс восстановления идет значительно

Мембранная теория возбуждения



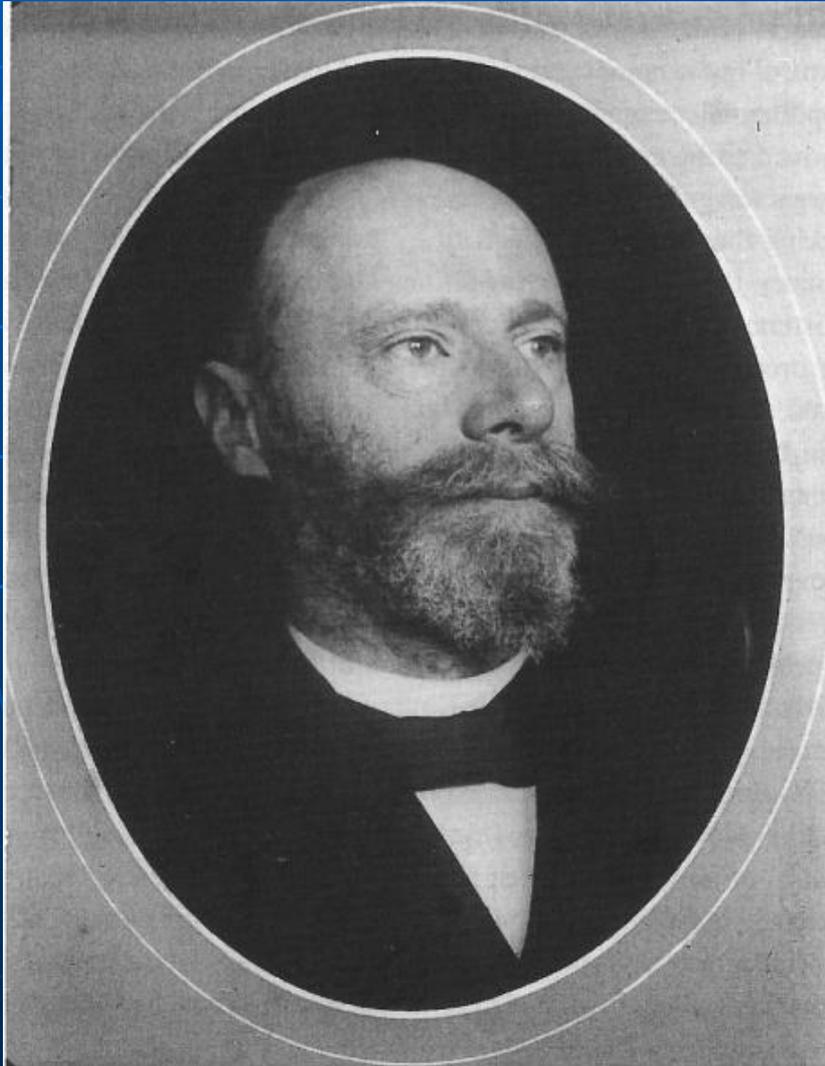
- Электрические потенциалы, образующиеся при работе сердца, можно зарегистрировать с помощью двух электродов, один из которых соединен с положительным, а другой — с отрицательным полюсом гальванометра. В электрокардиографе имеется такой гальванометр.
- При электрокардиографическом исследовании электроды накладывают на определенные точки тела человека и соединяют проводами с электрокардиографом.
- Соединение двух точек тела человека, имеющих разные потенциалы, называется **отведением**.

Электрокардиография позволяет изучать:

- автоматизм,
- проводимость,
- возбудимость,
- рефрактерность и аберрантность.

О сократительной функции с помощью этого метода можно получить лишь косвенное представление.

История метода



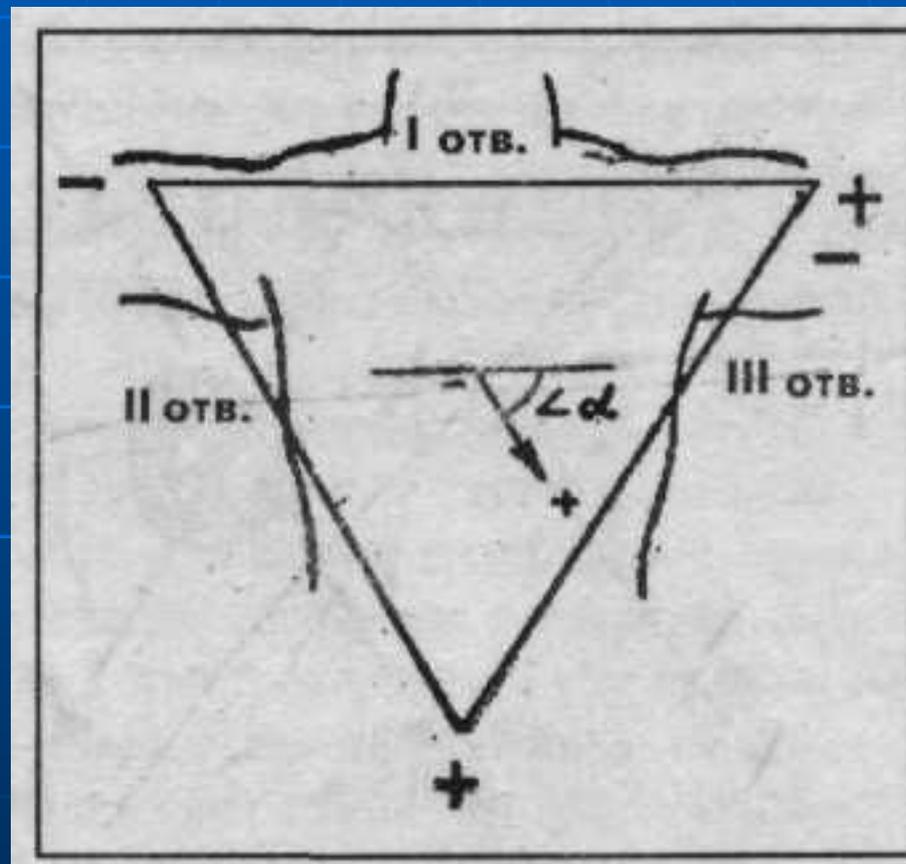
- Уильям (Виллем) Эйнтховен, 21 мая 1860, голландский врач и электрофизиолог.
- Лауреат Нобелевской премии (1924).
- В 1903 сконструировал первый электрокардиограф на основе струнного гальванометра.

- Большая часть современной электрокардиографической номенклатуры была разработана Уильямом Эйнтховеном. Его обозначения зубцов P, Q, R, S, T, и U используются и сегодня. Им были предложены 3 стандартные отведения от конечностей и описана ЭКГ в норме.
- Эйнтховен, совместно с Фаром (G. Fahr) и Ваартом (A. Waart) разработали основы векторного анализа ЭКГ:
- Оригинальный аппарат, требовал водного охлаждения для мощных электромагнитов, его работу обеспечивала команда из 5 человек, вес составлял около 270 кг.

СТАНДАРТНЫЕ ОТВЕДЕНИЯ

W. Einthoven предложил для записи ЭКГ 3 стандартных, или классических, двухполюсных отведения

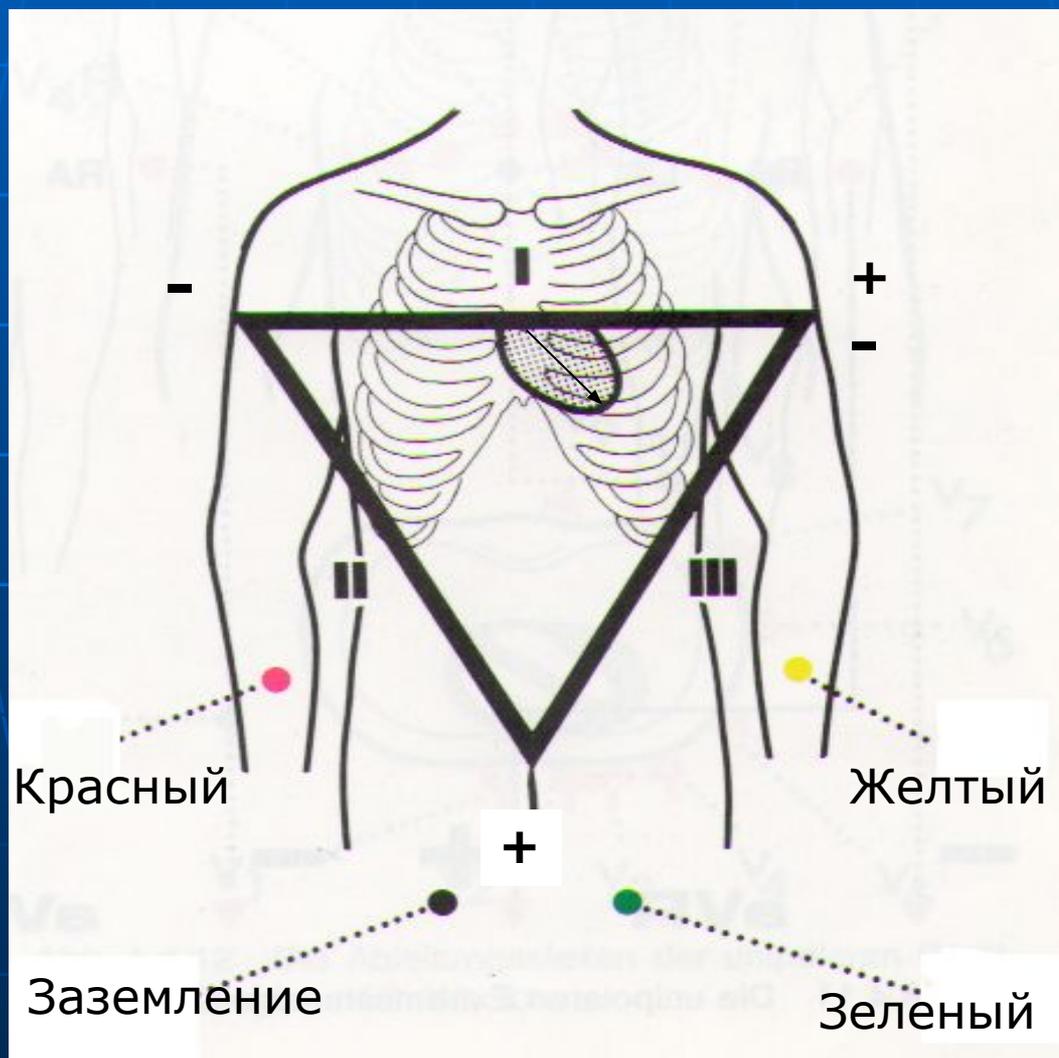
ПР



ЛР

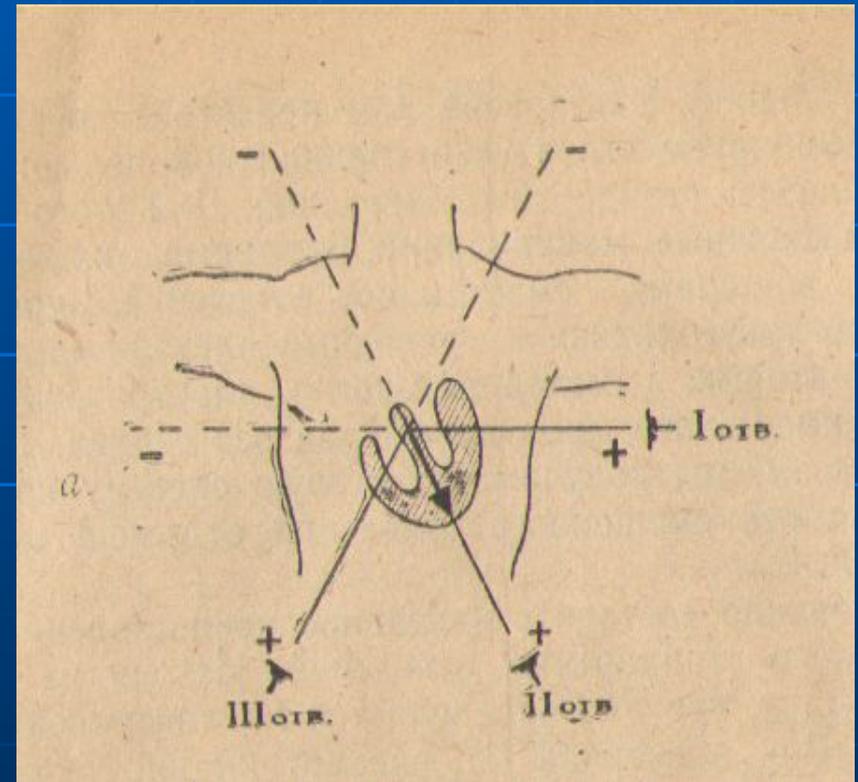
ЛН

Треугольник Эйнтховена

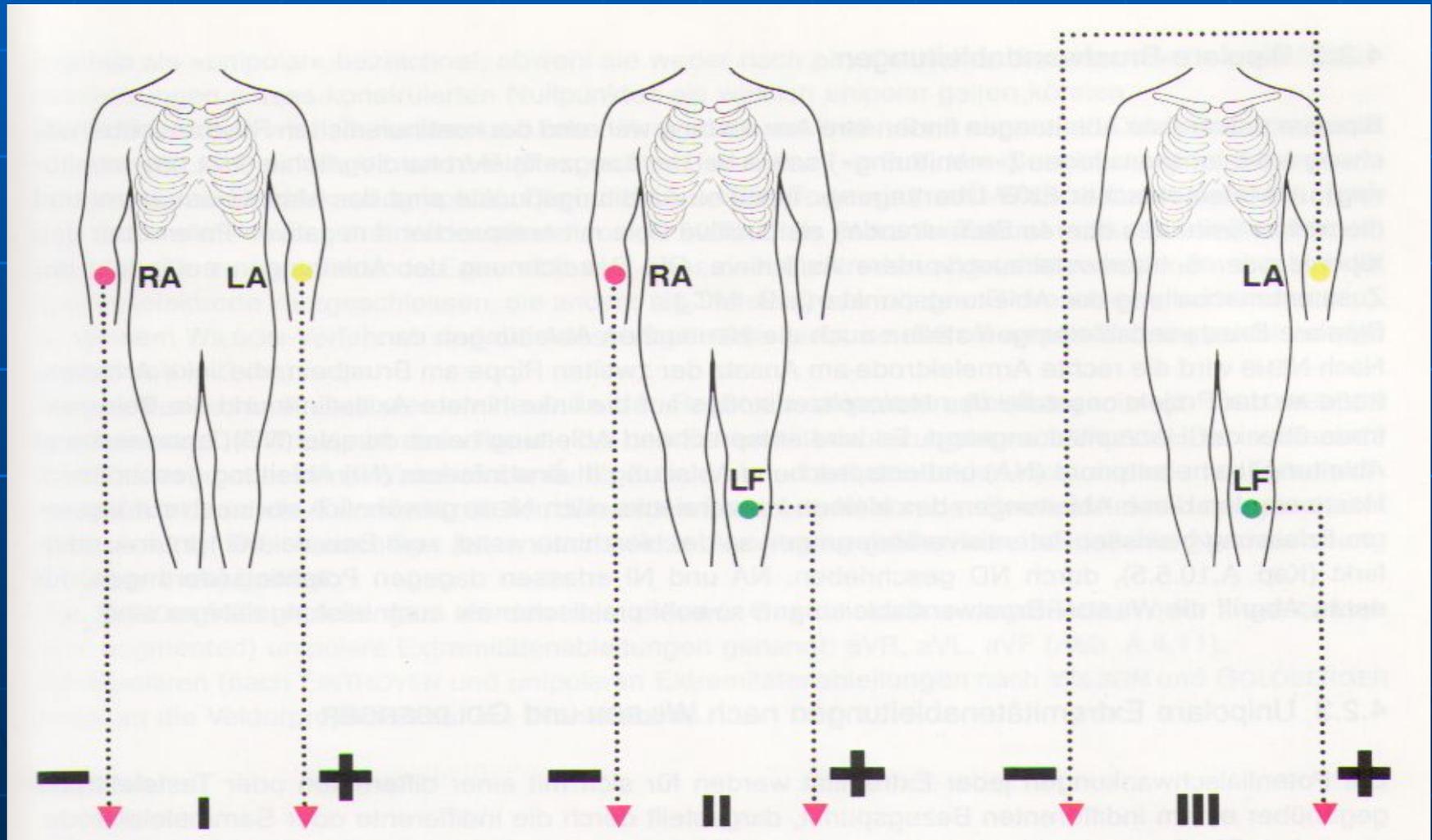


Отведения электрокардиограммы и их информативность

- I отведение регистрирует биопотенциалы боковой стенки левого желудочка
- II отведение контролирует весь миокард (по длиннику)
- III отведение улавливает потенциалы
 - правого желудочка
 - задне-диафрагмальных (нижних) отделов левого желудочка

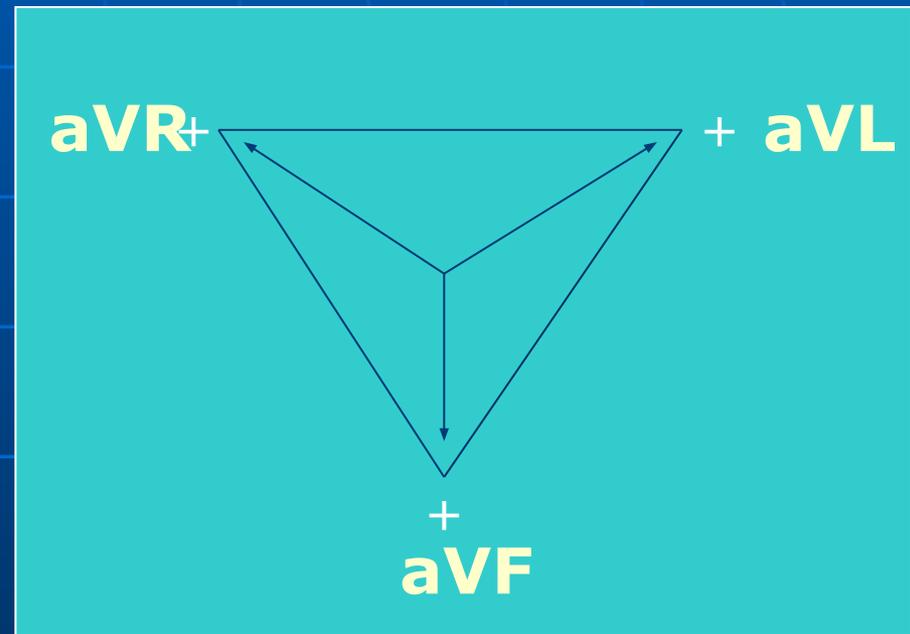


Отведения электрокардиограммы и их информативность



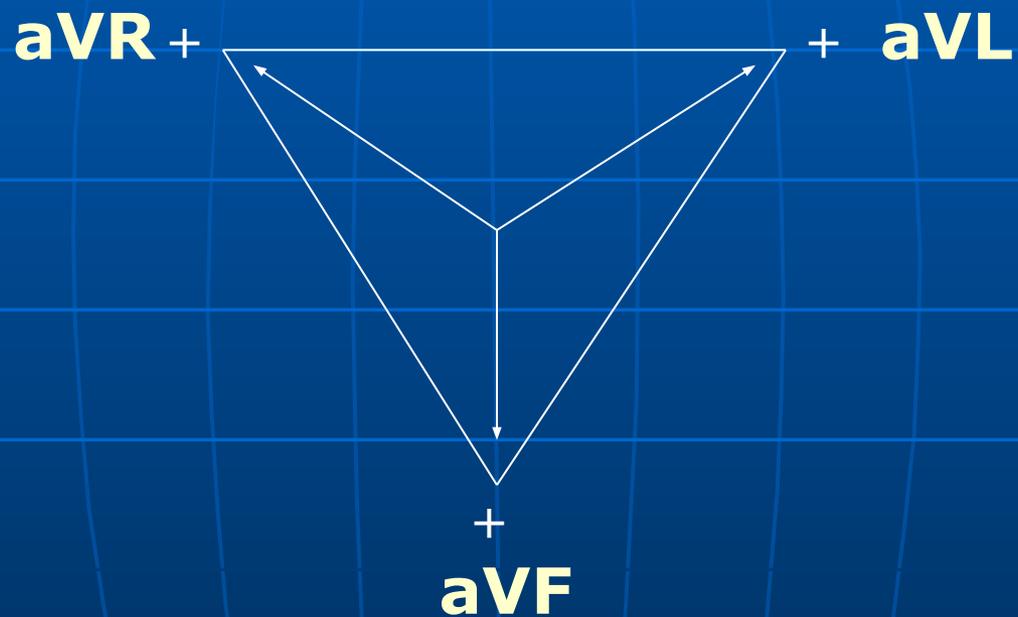
Усиленные однополюсные отведения от конечностей

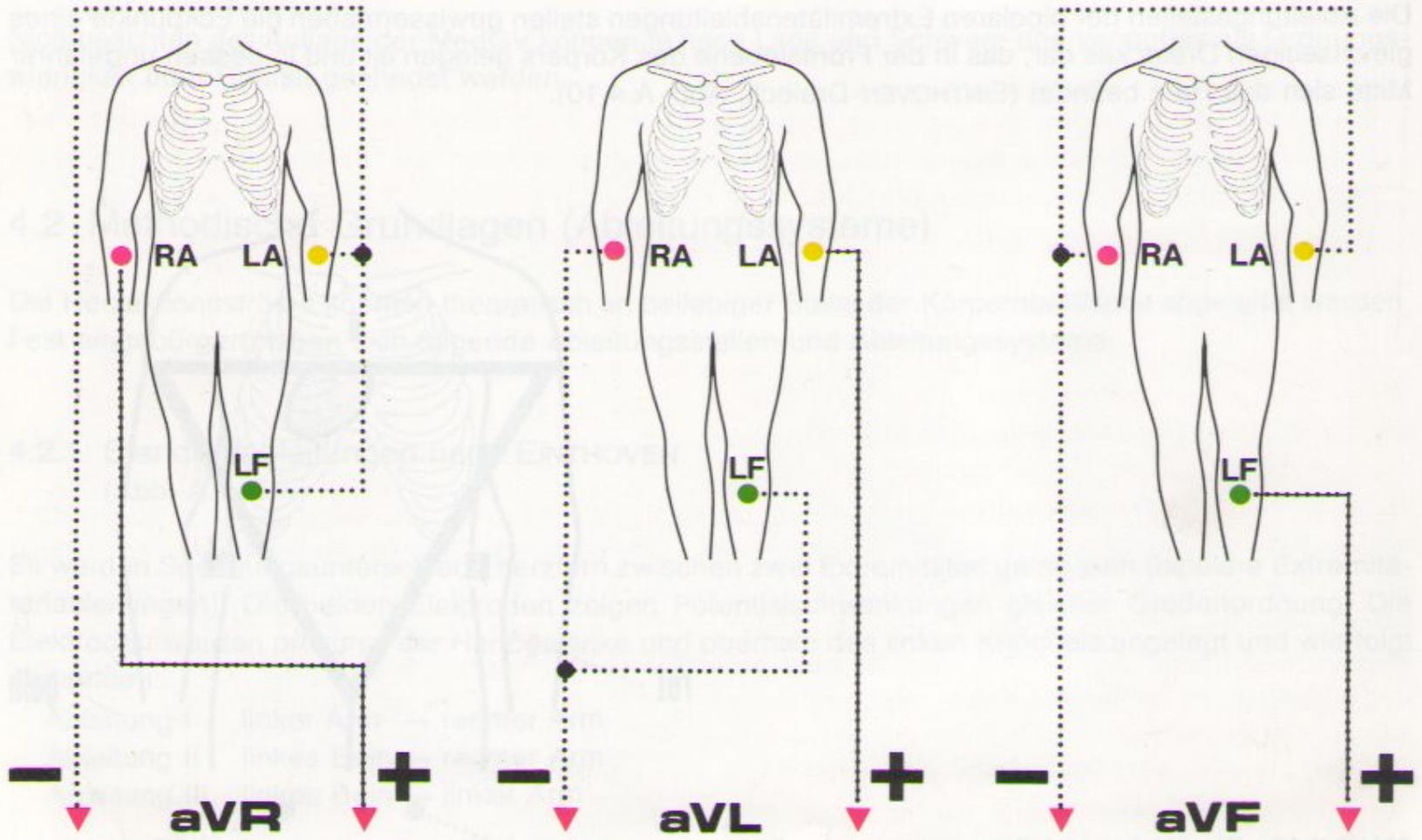
- aVR – от правой руки (R – right)
- aVL – от левой руки (L – left)
- aVF – от левой ноги (F – foot)



a – *augmented* – усиленный
V – **voltage** – обозначение
потенциала

Усиленные однополюсные отведения от конечностей



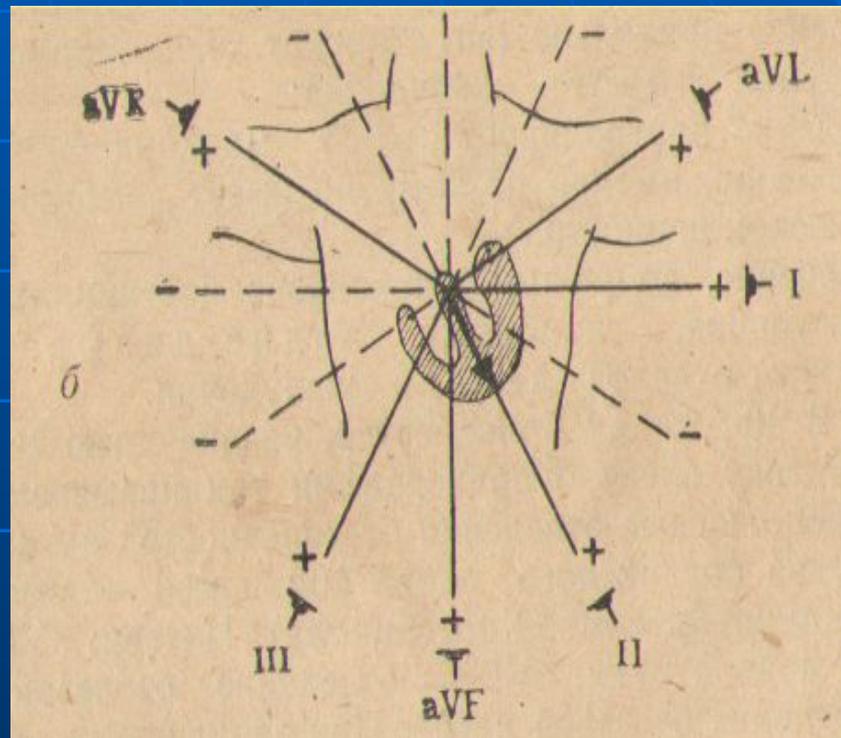


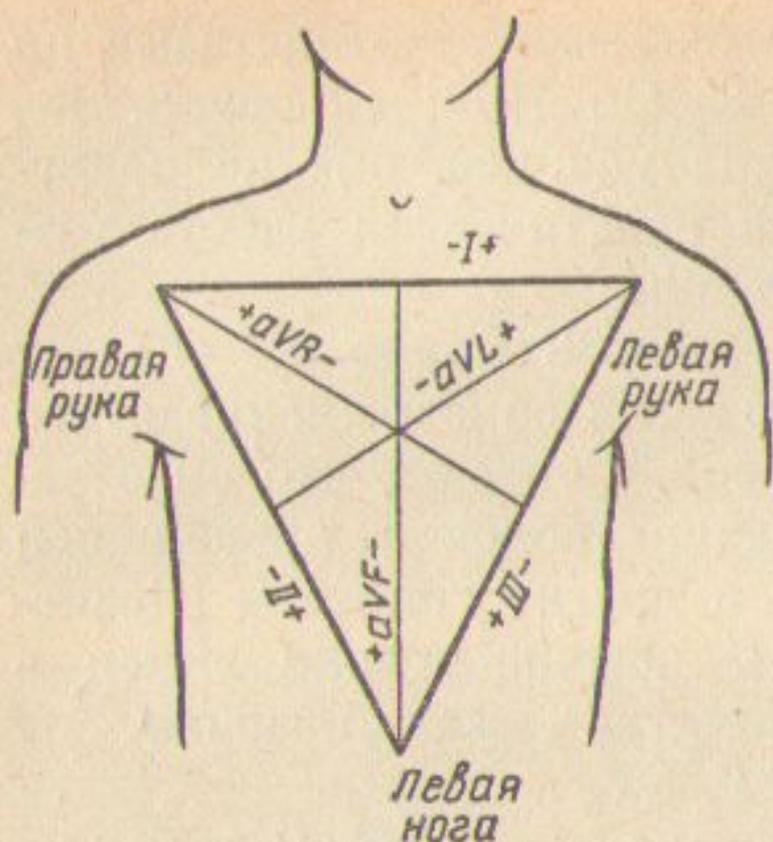
Отведения электрокардиограммы и их информативность

aVL – отражает биоэлектрическую активность высоких отделов боковой стенки левого желудочка

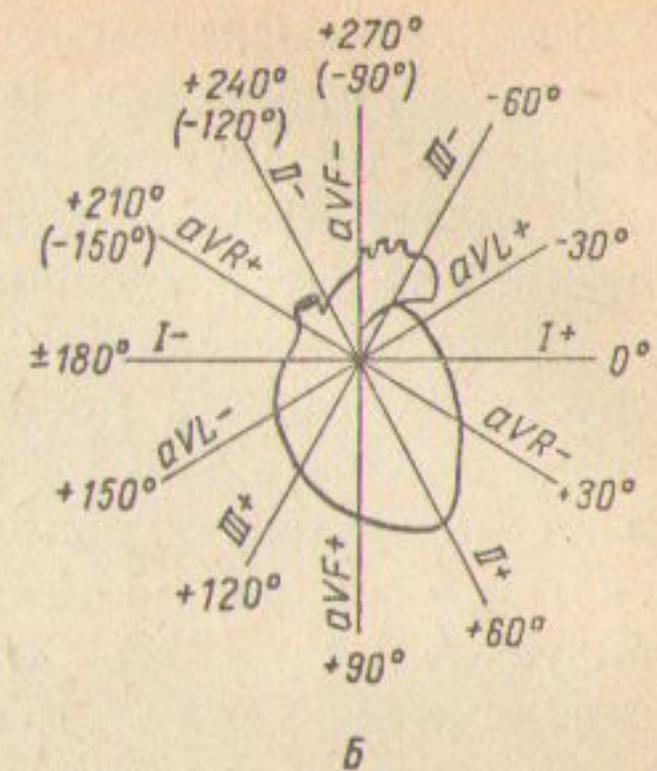
aVF – улавливает биопотенциалы правого желудочка и задне-диафрагмальных (нижних) отделов левого желудочка (как и III отведение)

aVR – самостоятельной диагностической ценности не имеет

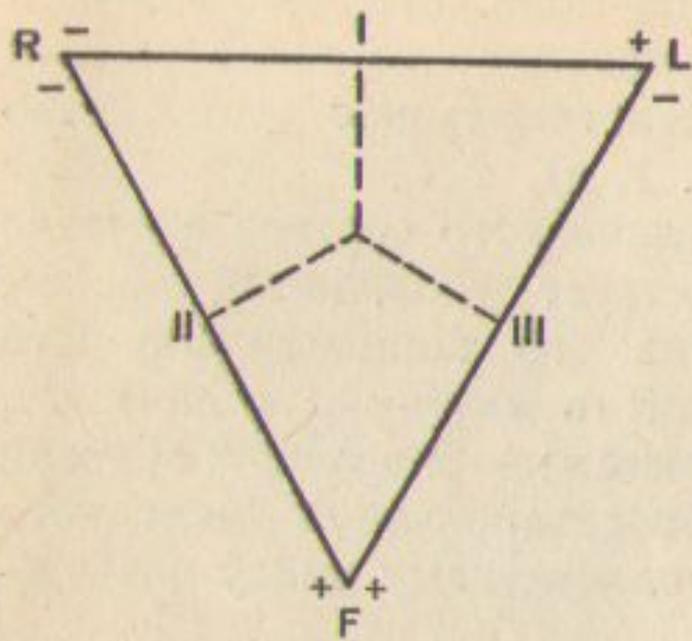




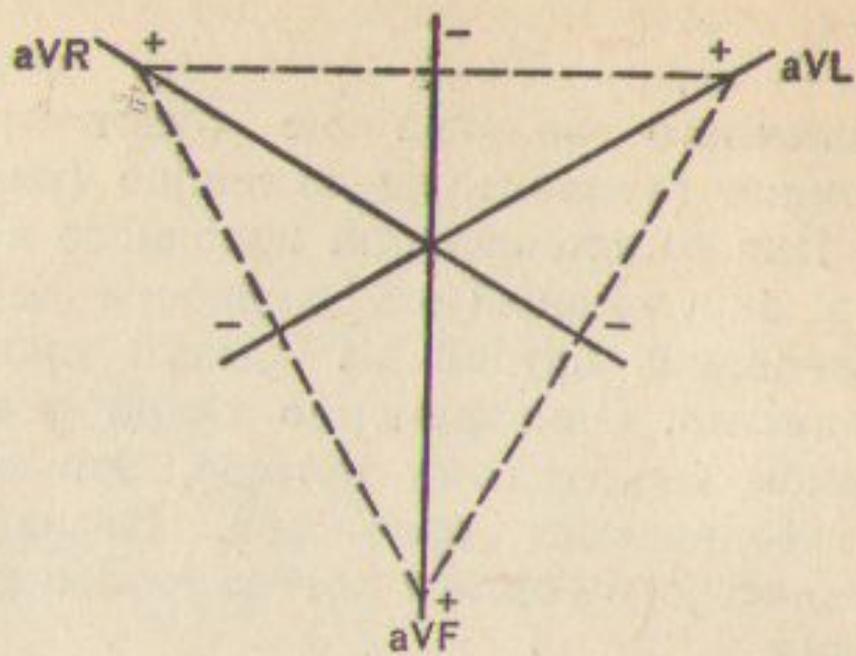
А



Б



A

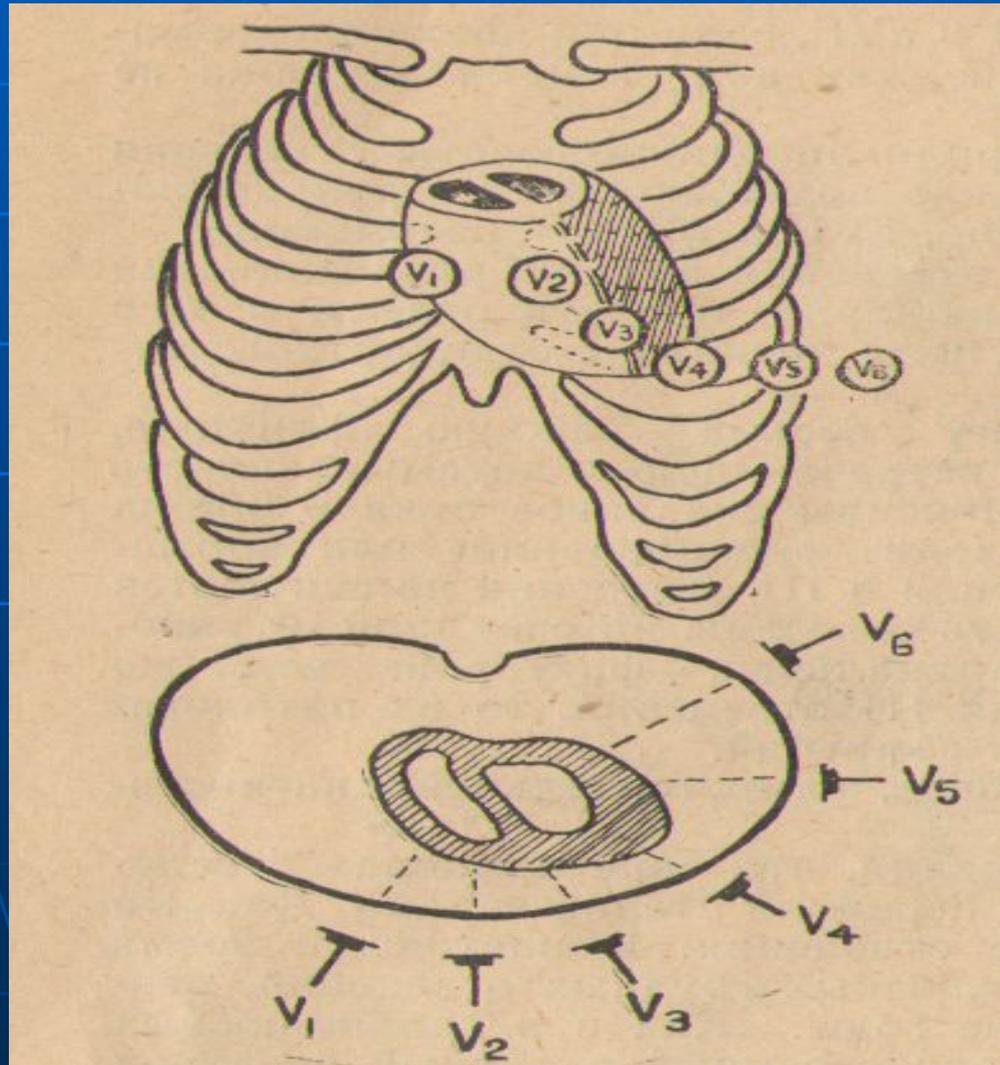


Б

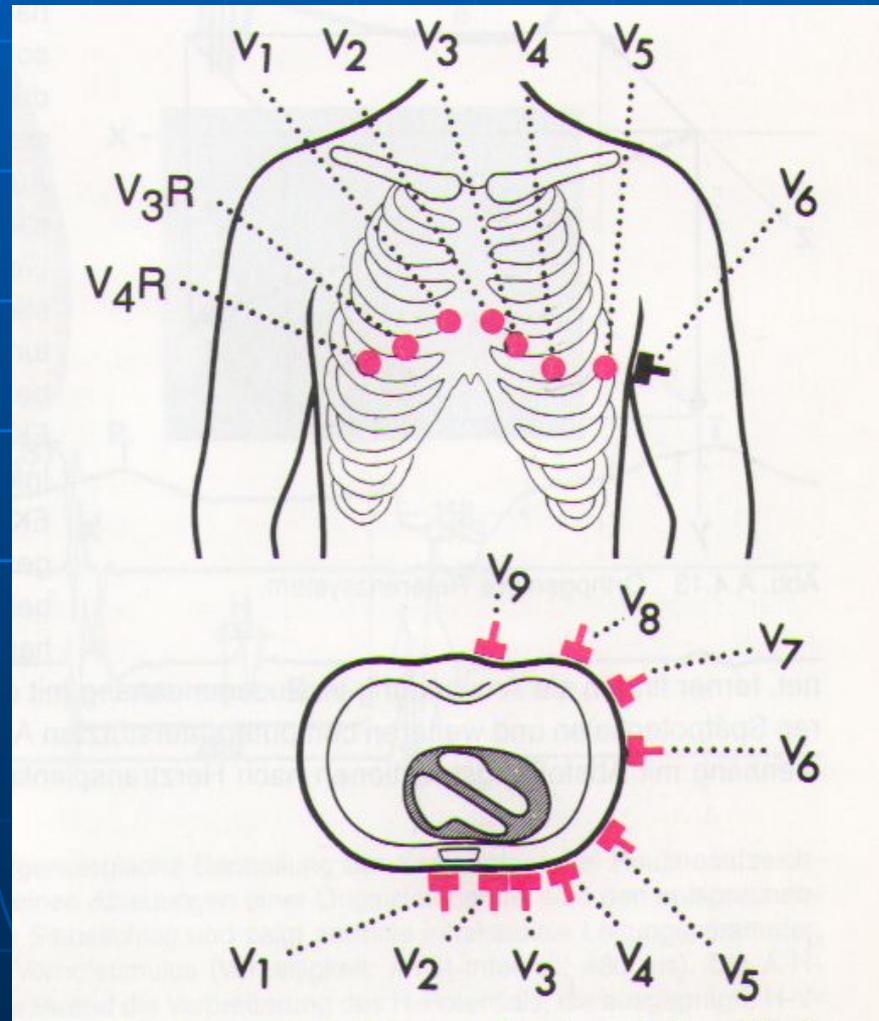
Однополюсные грудные отведения

Отведения	Расположение регистрирующего электрода
V_1	В 4-м межреберье у правого края грудины
V_2	В 4-м межреберье у левого края грудины
V_3	На середине расстояния между V_2 и V_4
V_4	В 5-м межреберье по срединно-ключичной линии
V_5	На пересечении горизонтального уровня 4-го отведения и передней подмышечной линии
V_6	На пересечении горизонтального уровня 4-го отведения и средней подмышечной линии

Однополюсные грудные отведения: локализация и информативность



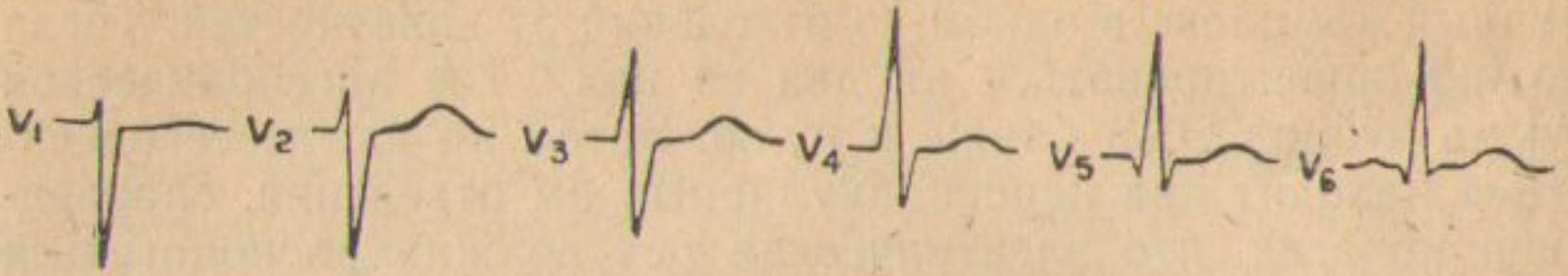
Однополюсные грудные отведения: локализация и информативность



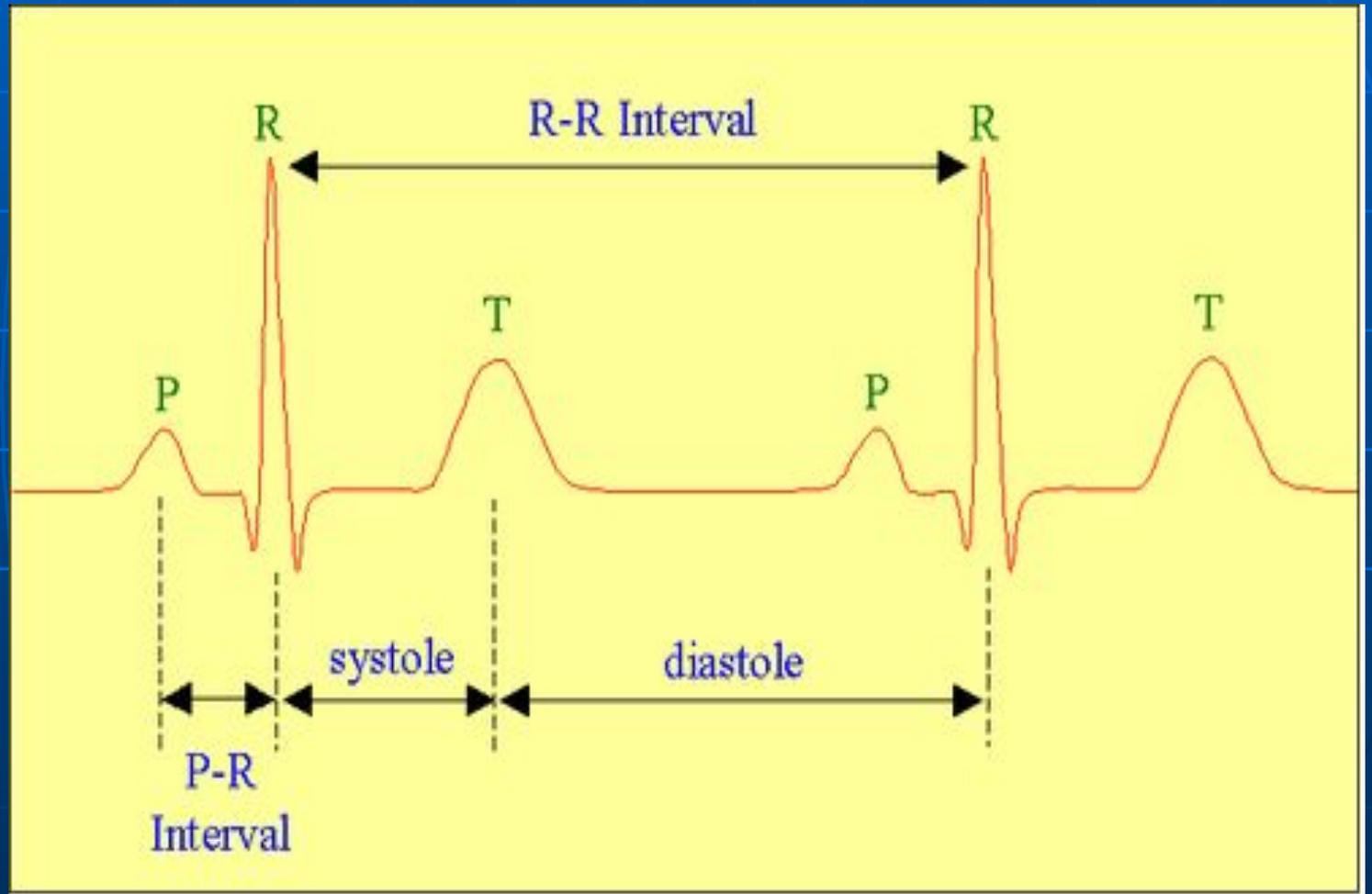
Как выглядит ЭКГ

в разных отведениях?

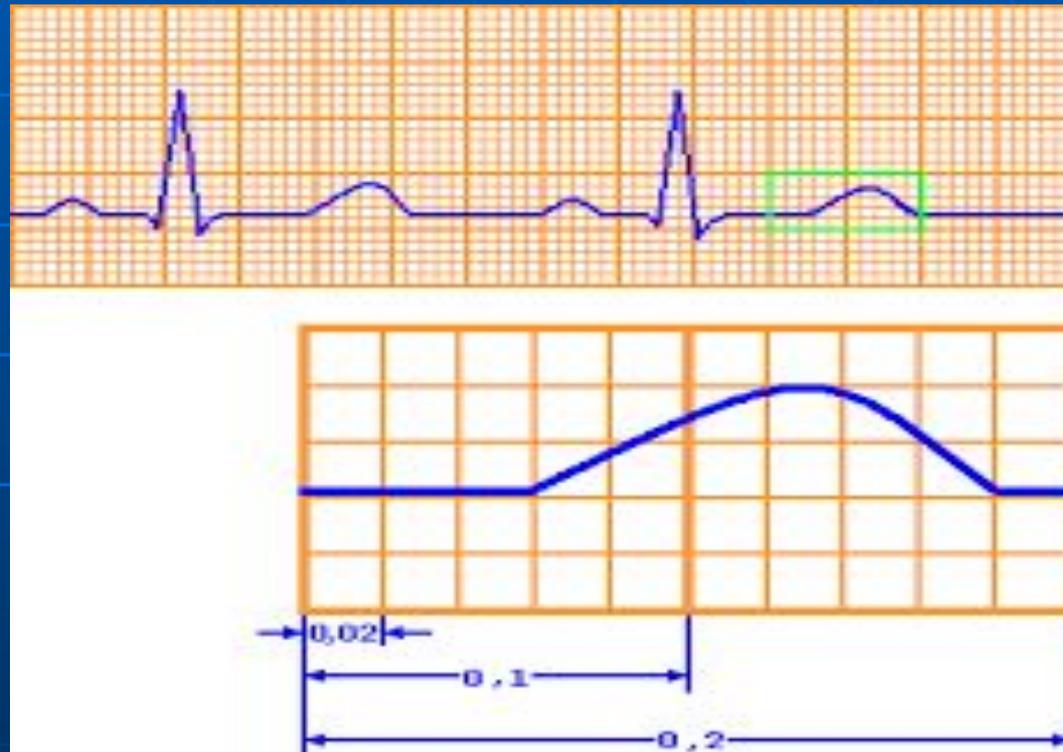
- Если в процессе деполяризации вектор диполя направлен в сторону «+» электрода, то на ЭКГ мы получим отклонение вверх от изолинии – положительные зубцы
- Если в сторону «-» электрода – отрицательные зубцы
- Если перпендикулярно – регистрируются два одинаковых по амплитуде но разных по направлению зубца, алгебраическая сумма которых равна нулю

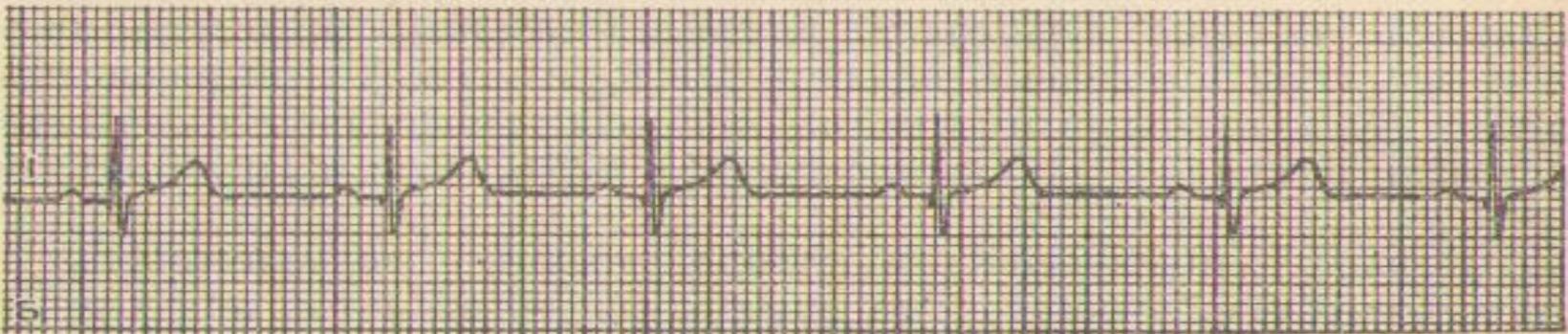


Нормальная ЭКГ-кривая



При скорости движения ленты 50 мм/сек
1 большая клетка-0,1 сек.
1 маленькая клетка-0,02 сек.





ЭКГ при разной скорости движения ленты.

А — 50 мм / с; Б — 25 мм / с.

Нормальная ЭКГ

Зубец P – не более 2,5 мм, длительность - не более 0,1 с

интервал P—Q(R) - на изолинии, 0,12-0,20 с

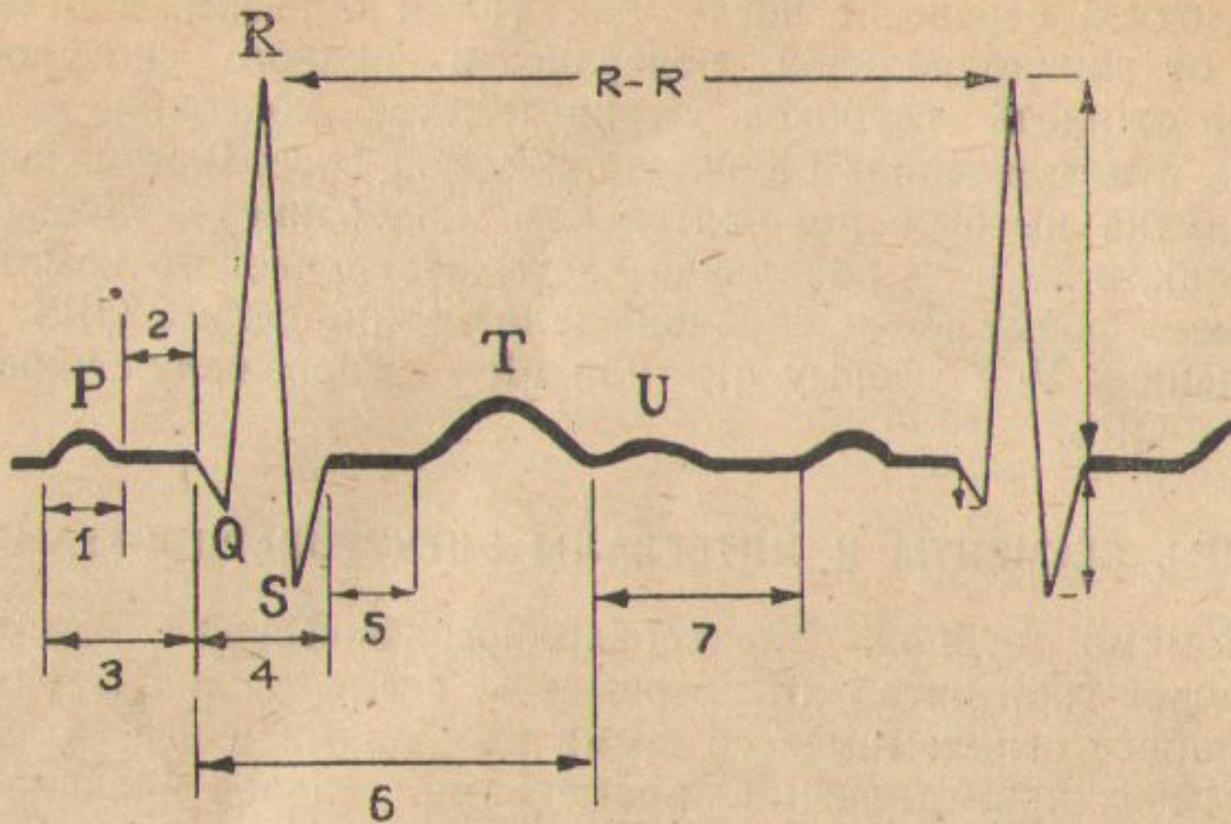
Комплекс QRS – более 5 мм в стандартных отведениях, более 8 мм в грудных отведениях, не более 0,06-0,08 (0,1) с

Зубец Q- менее 15% зубца R, не более 0,03 с

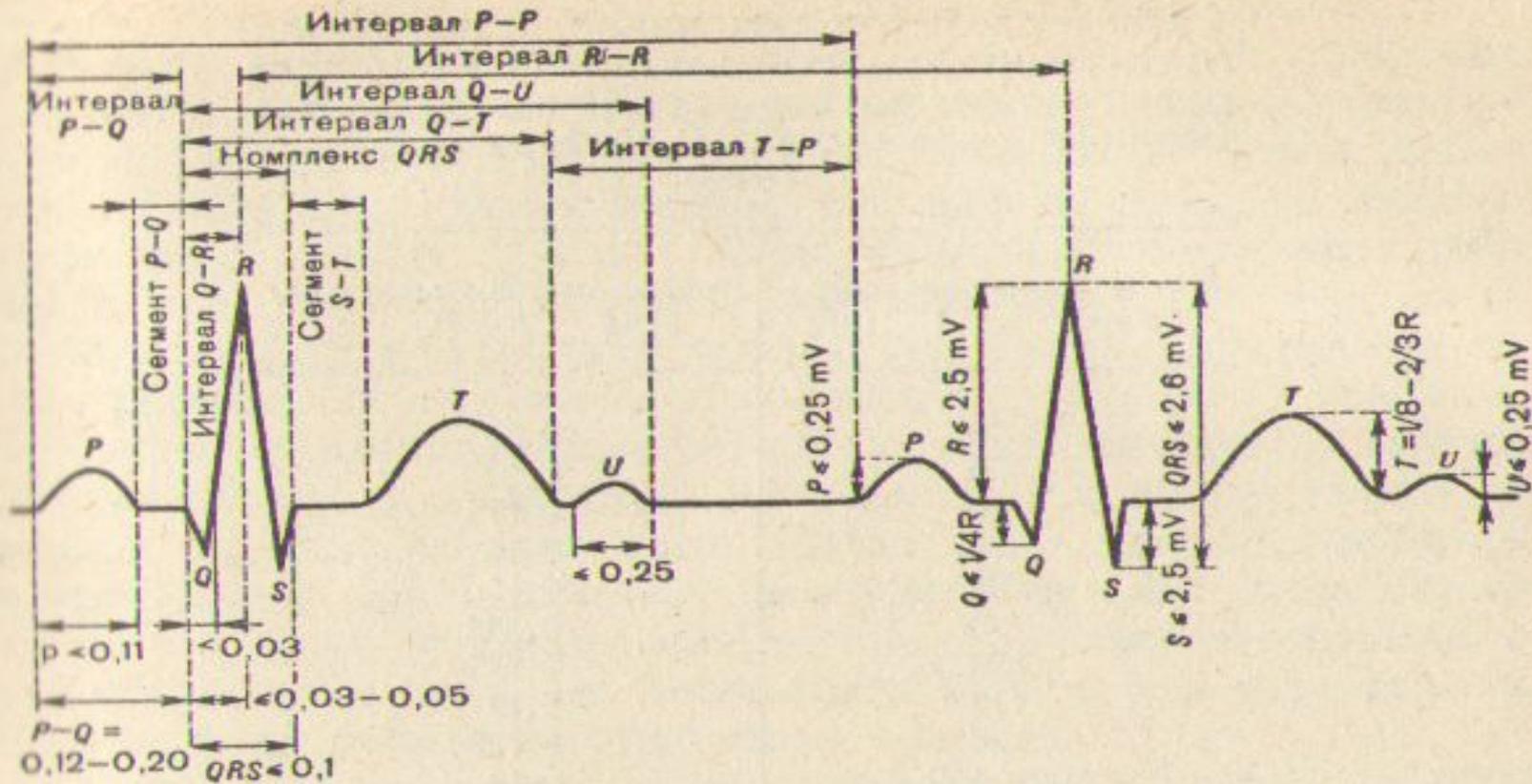
Сегмент S—T – на изолинии

Зубец T – обычно имеет такое же направление, что и QRS, в стандартных отведениях не более 5-6 мм в грудных отведениях не более 8 мм, может быть отрицательным в V1.

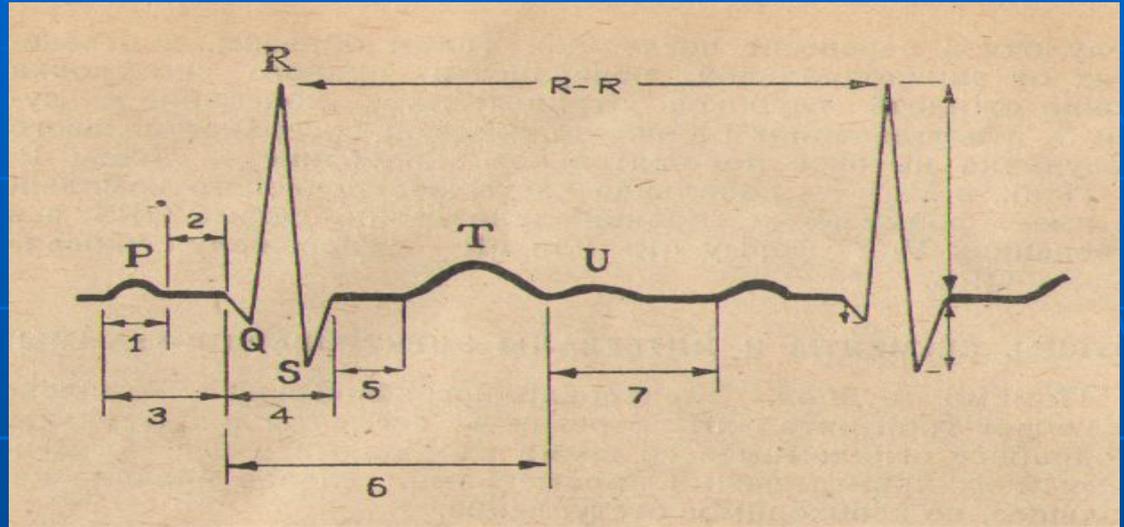
Интервал QT –электрическая систола желудочков, длительность 0,35-0,44 с



Нормальная ЭКГ

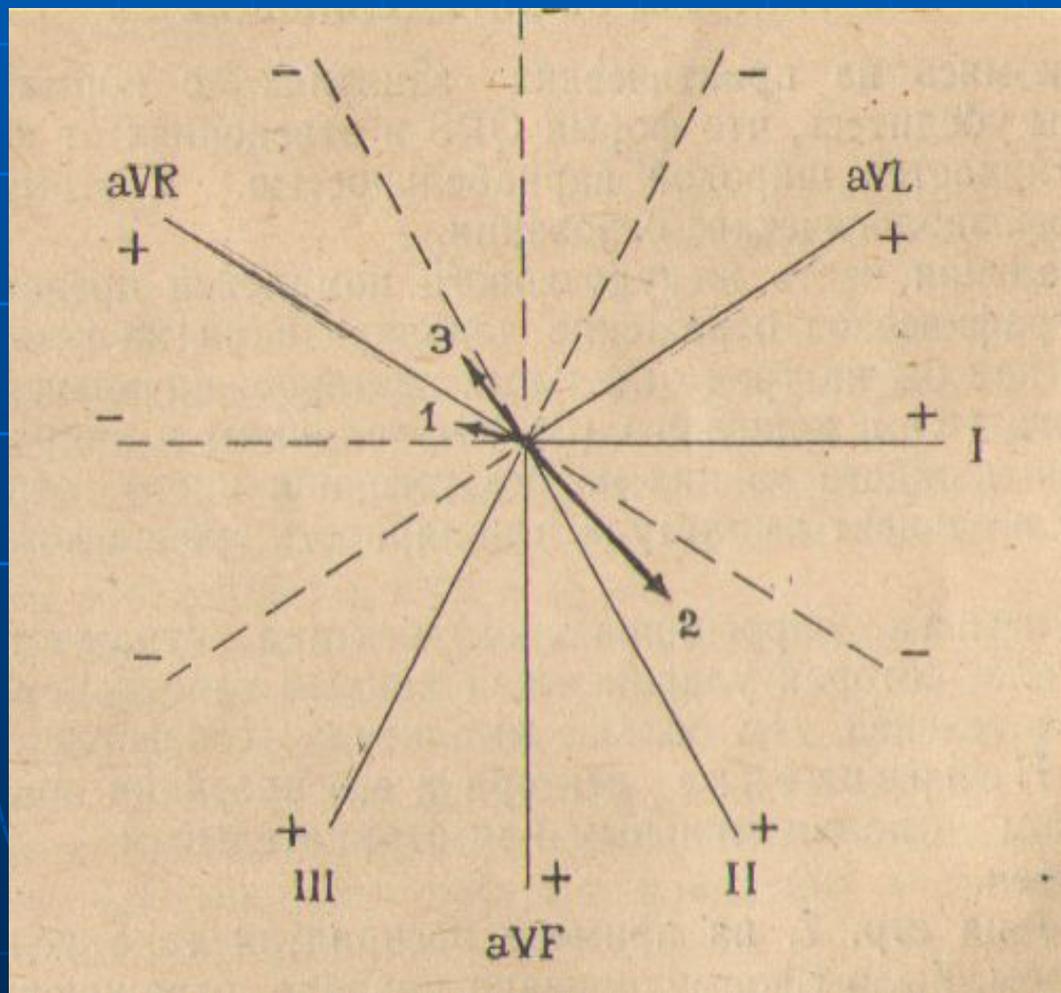


Интервал PQ (PR)



- Состоит из зубца P и сегмента PQ (PR)
- Интервал PQ = 0,12 – 0,20 с
- На изолинии
- Удлинение интервала PQ может происходить за счет зубца P (при нарушении внутрипредсердной проводимости) и сегмента PQ (при атриовентрикулярной блокаде)
- Укорочение интервала PQ за счет сегмента – при синдроме Вольфа-Паркинсона-Уайта

Генез зубцов Q, R и S



Зубец Q

- Первый отрицательный зубец желудочкового комплекса
- Деполяризация межжелудочковой перегородки
- В норме величина зубца Q не превышает 25% следующего за ним зубца R, а продолжительность его не более 0,03 с в отведениях от конечностей и 0,025 с в грудных отведениях
- Патологический зубец Q - признак свежего или перенесенного инфаркта миокарда!
- *NB!* Исключение составляет III отведение: при горизонтальном положении сердца и высоком стоянии диафрагмы зубец Q может достигать 50% от R (но не должен быть шире 0,03 с). Проверка - по отведению aVF и при записи III отведения на вдохе

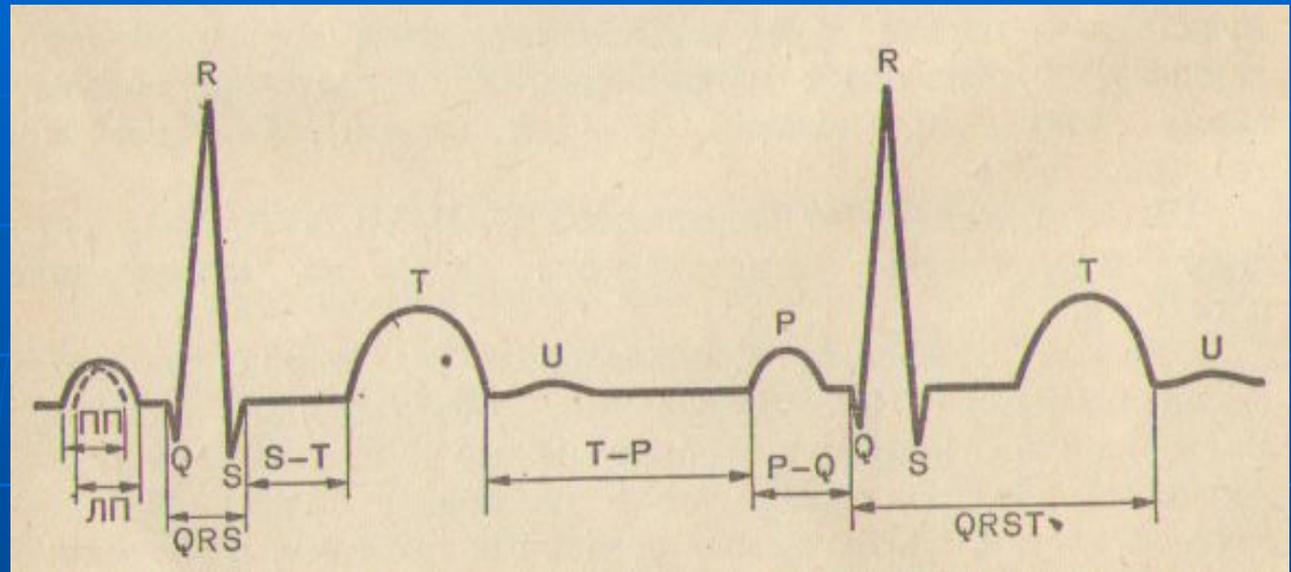
Зубцы R и S

- Деполяризация стенок желудочков
- R всегда направлен вверх, S - только вниз и следует за R
- Зубцы > 2 мм обозначаются заглавными буквами R и S
- Зубцы < 2 мм обозначаются строчными буквами r и s
- В отведениях от конечностей соотношение этих зубцов связано с положением электрической оси сердца
- В грудных отведениях форма желудочкового комплекса зависит от того, над каким желудочком находится электрод (над правым или левым)

Продолжительность QRS

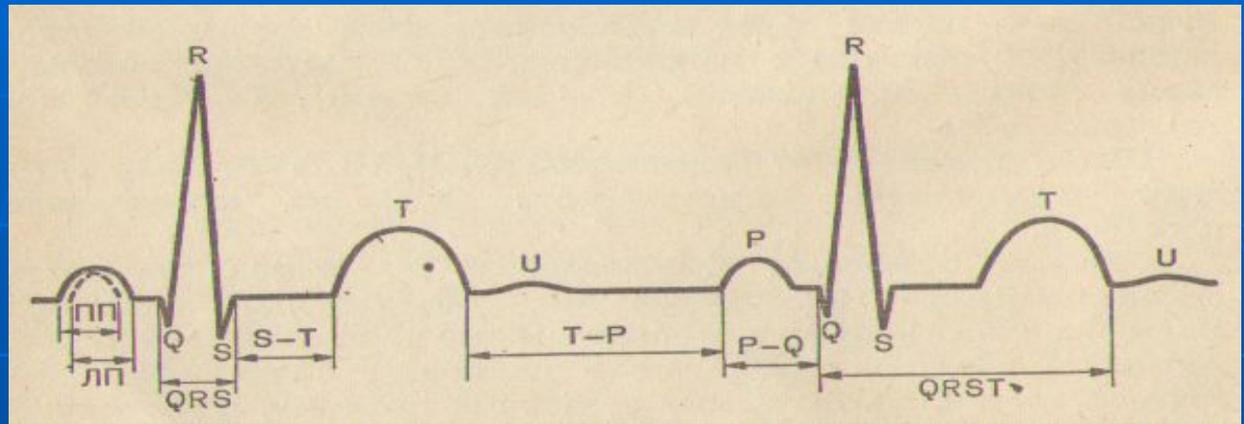
- В норме продолжительность QRS составляет 0,06 – 0,1 с
- Внутреннее отклонение желудочков – отрезок времени от начала R до его вершины (при расщепленном R – до второй вершины)
- Время внутреннего отклонения правого желудочка в отведениях V1-V2 не более 0,03 с
- Время внутреннего отклонения левого желудочка в отведениях V4-V5-V6 не более 0,05 с

Сегмент S-T



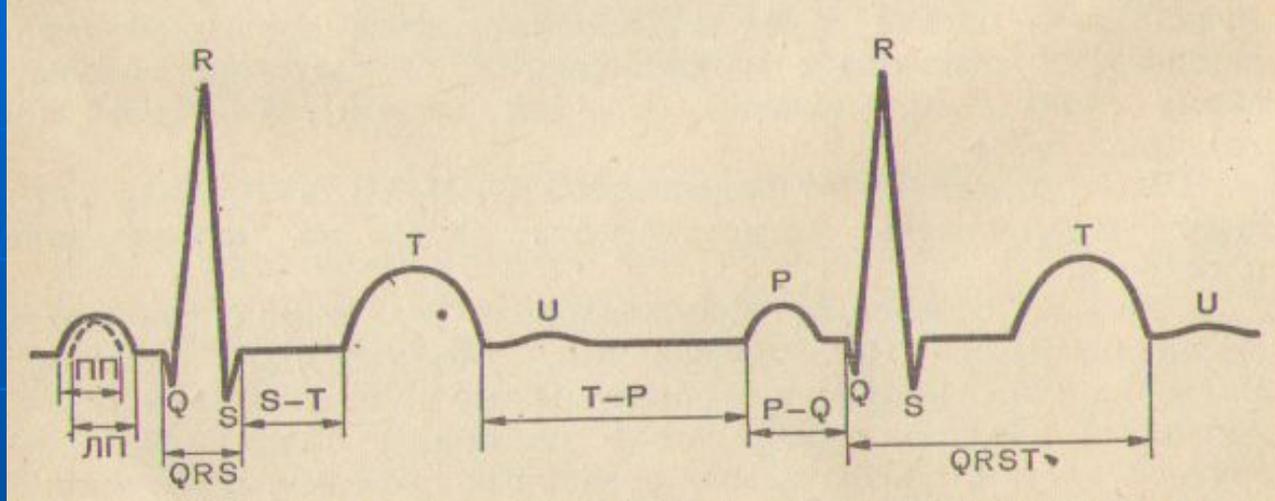
- Медленная реполяризация желудочков
- **Расположен на изоэлектрической линии**
(допускается отклонение его книзу на 0,5 мм (0,05 мВ) и кверху на 1 мм (0,1 мВ) в стандартных отведениях. В V1-V3 он может быть приподнят до 2 мм, а в V5-V6 приспущен до 0,5 – 1 мм)
- **Смещение сегмента S-T вверх или вниз от изолинии – патологический признак!**

Зубец Т



- Быстрая реполяризация желудочков
- **В большинстве отведений положителен** (кроме aVR, где он в норме отрицателен)
В III отведении может быть отрицательным (например, при высоком стоянии диафрагмы) – сопоставляем с aVF!
В V1, реже в V2, может быть отрицательным, изоэлектрическим, двухфазным (\pm) у здоровых
- Амплитуда зубца Т колеблется (в отведениях от конечностей от 1,5 до 7 мм, в грудных отведениях до 15 – 18 мм)
- Амплитуда зубца Т составляет **от 1/8 до 2/3** соответствующего R
- **Зубец Т – самый изменчивый при поражении миокарда: «Болезней много, а зубец Т – один»**

Зубец U



- Пологая положительная дуга через 0,02 – 0,04 с после окончания Т
- Происхождение окончательно не выяснено. Возможно, реполяризация папиллярных мышц
- Встречается примерно у половины здоровых людей (лучше виден в грудных отведениях – в V3)
- Положительная дуга U более выражена при гипокалиемии и брадикардии, а также при пролапсе митрального клапана
- Отрицательный зубец U в левых грудных отведениях может наблюдаться при ишемии миокарда, а также при гипертрофии левого желудочка

Комплекс QRST (Q-T)

- Электрическая систола желудочков
- Длительность $Q-T = K \times \sqrt{R-R}$,
где K – эмпирическая константа, равная для мужчин 0,38, для женщин 0,4
- Удлинение или укорочение Q-T на 10% (0,04 с) указывает на функциональную несостоятельность миокарда (напр., при интоксикации сердечными гликозидами)

Систолический показатель

- Систолический показатель =
$$\frac{Q-T \times 100\%}{R-R}$$
- Фактические величины не должны отличаться от должных более, чем на $\pm 5\%$

ЭКГ-критерии синусового ритма

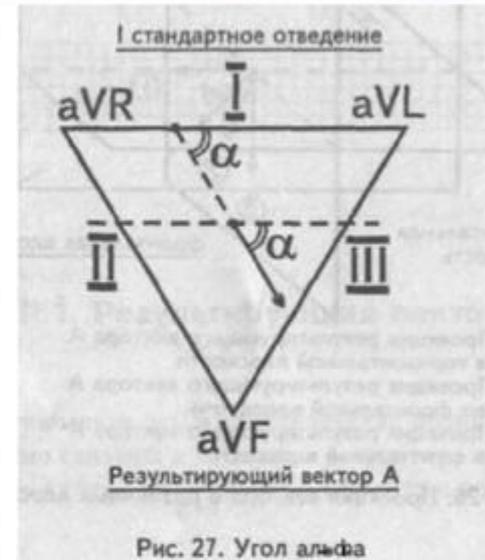
Признаками синусового ритма на ЭКГ являются:

- наличие зубца *P* перед каждым комплексом *QRS*;
- зубец *P* положительный в отведениях I, II и отрицательный в *aVR*;
- постоянный и нормальный интервал *P–Q* (0,12–0,20 с).



УГОЛ АЛЬФА

- ◆ Угол, образованный направлением результирующего вектора и осью I стандартного отведения, есть **угол α** .
- ◆ Величину угла α находят по специальным таблицам, предварительно определив на ЭКГ алгебраическую сумму зубцов желудочкового комплекса (Q+R+S) в I и III стандартных отведениях.



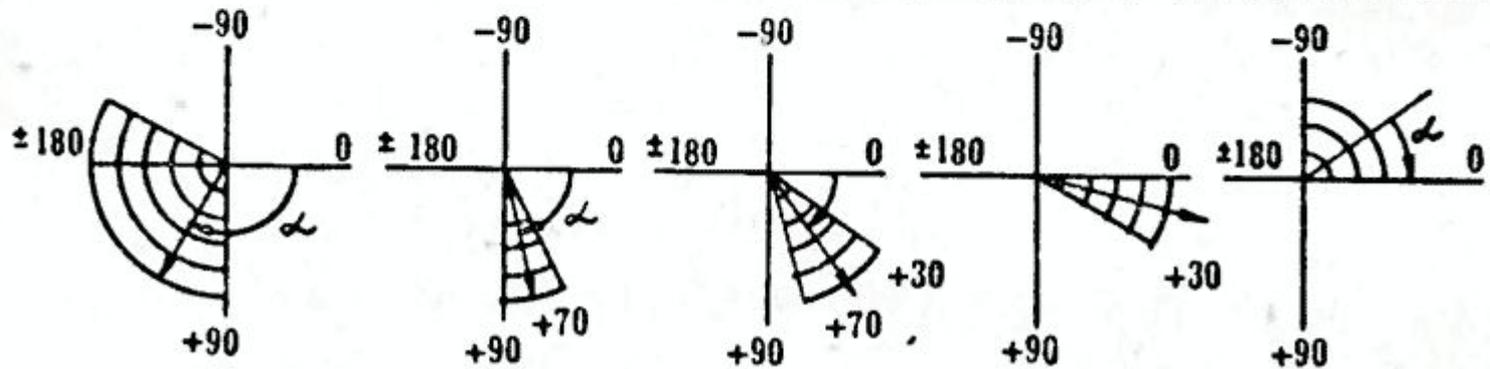
Варианты положения ЭОС в соответствии с величиной угла альфа



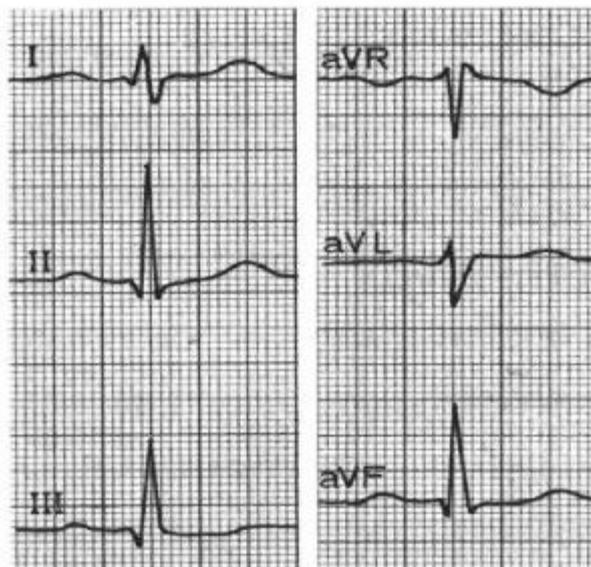
Визуальное определение ЭОС

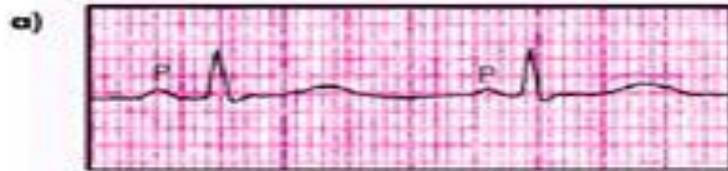
Положение ЭОС	Результат анализа зубцов
Нормальное положение	$R_{II} > R_I > R_{III}, R_{III} \geq S_{III}$
Вертикальное положение	$R_{II} > R_{III} > R_I, R_I \geq S_I$
Горизонтальное положение	$R_I > R_{II} > R_{III}, r_{III} < S_{III}, R_{AVF} \geq S_{AVF}$
Отклонение электрической оси вправо	$R_{III} > R_{II} > R_I, r_I < S_I$
Отклонение электрической оси влево	$R_I > R_{II} > R_{III}, r_{III} < S_{III}, r_{AVF} < S_{AVF}$

	ОТКЛОНЕНИЕ ВПРАВО	ВЕРТИКАЛЬ- НОЕ ПОЛОЖЕ- НИЕ	НОРМАЛЬНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ	ГОРИЗОНТАЛЬ- НОЕ ПОЛОЖЕ- НИЕ	ОТКЛОНЕНИЕ ВЛЕВО
I					
II					
III					

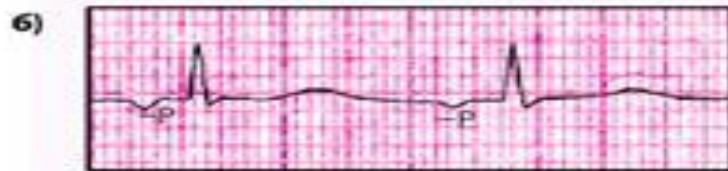


Вертикальное положение ЭОС

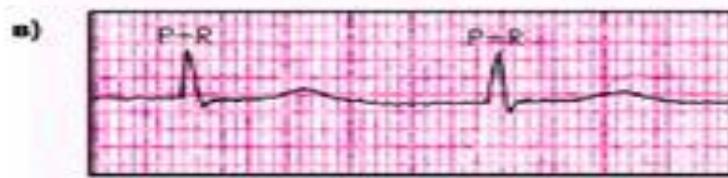




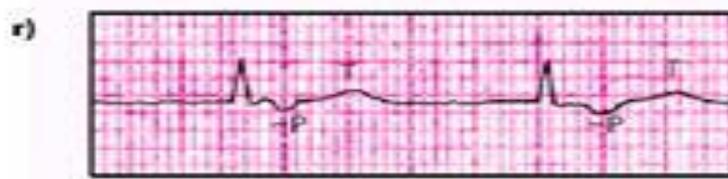
Источник возбуждения



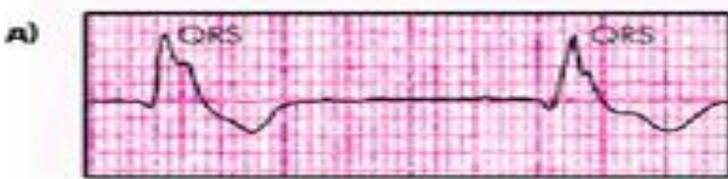
Источник возбуждения



Источник возбуждения



Источник возбуждения



Источник возбуждения

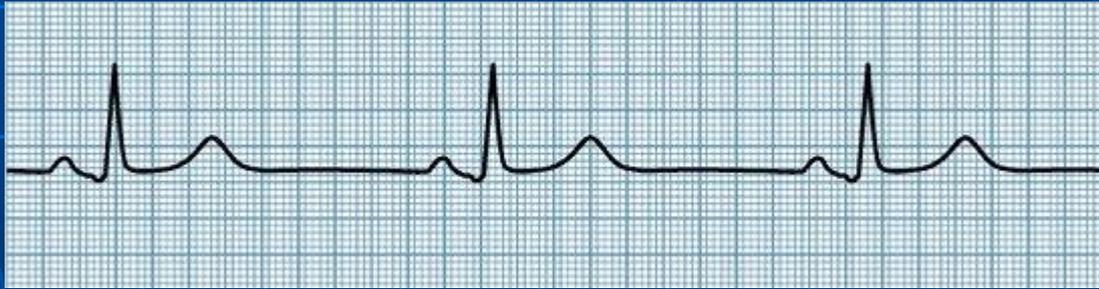


Подсчет частоты сердечных сокращений

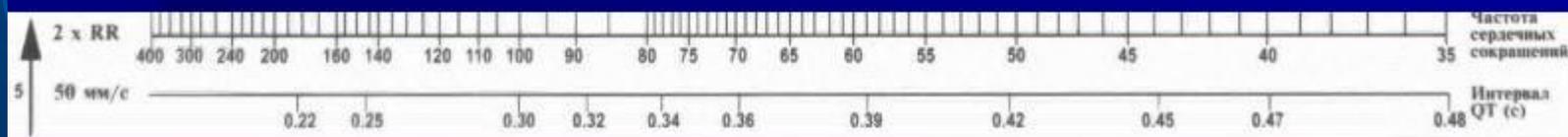
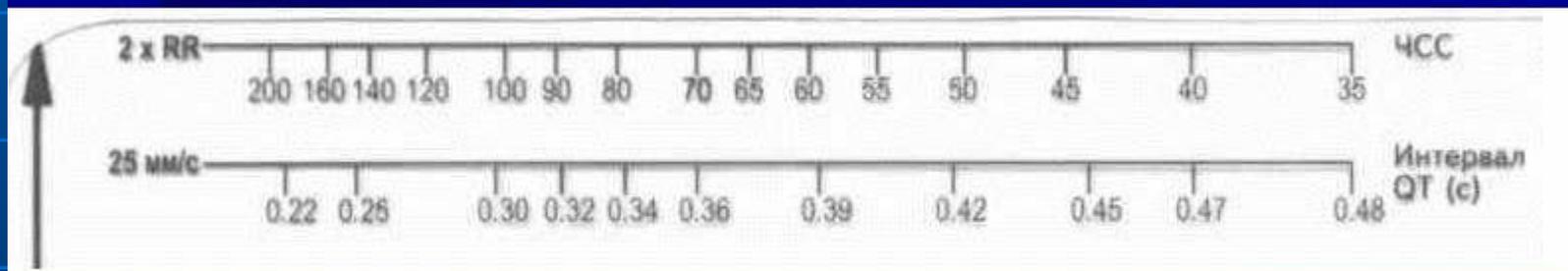
$$\text{ЧСС} = \frac{60}{R - R \text{ (сек)}}$$



- с помощью таблиц
- с помощью специальных линеек



ЧСС – по ЭКГ линейке



Общая схема (план) расшифровки ЭКГ

- Анализ сердечного ритма (синусовый, правильный).
- Подсчет ЧСС
- Определение электрической оси
- Определение вольтажа зубцов
- Анализ зубцов, интервалов и сегментов.
- Заключение