


Физические основы электрокардиографии.

**В основе электрографических
диагностических методик лежит
регистрация разностей
потенциалов между
определёнными точками
организма.**



Электрическое поле – это вид материи, который порождается электрически заряженными телами или переменным магнитным полем и проявляется по действию на заряженные тела.

Напряженность электрического поля в некоторой точке поля равна:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}.$$


**Потенциал поля в некоторой точке поля
равен:**

$$\varphi = \frac{W}{q}.$$

**Напряженность электрического поля
связана с его потенциалом
соотношением:**

$$\vec{E} = -\text{grad } \varphi,$$


$$\text{т.е. } E_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}; \quad E_y = -\frac{\partial \varphi}{\partial y}; \quad E_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z}.$$



Направление вектора \vec{E} совпадает с направлением наиболее быстрого убывания потенциала.

Модуль напряженности электрического поля, созданного в некоторой точке точечным зарядом q , вычисляется по формуле:

$$E = \frac{q}{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon r^2}.$$



Потенциал поля, созданного в некоторой точке точечным зарядом, рассчитывается по формуле:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r}.$$

Принцип суперпозиции полей:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \dots + \vec{E}_n,$$

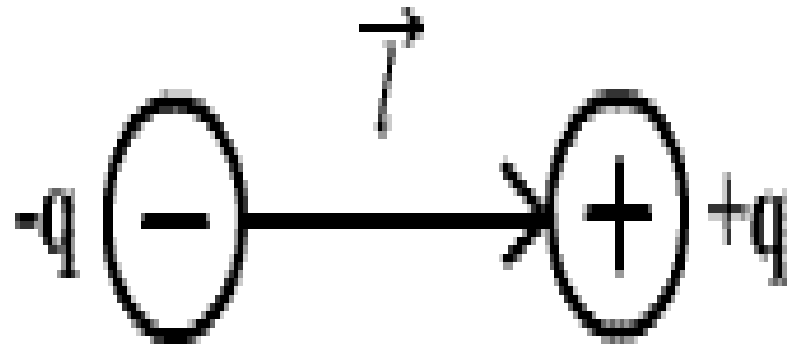
$$\varphi = \varphi_1 + \dots + \varphi_n.$$

Электрический диполь

Дипольный момент
электрического

диполя: $\vec{p} = q \cdot \vec{\ell}$.

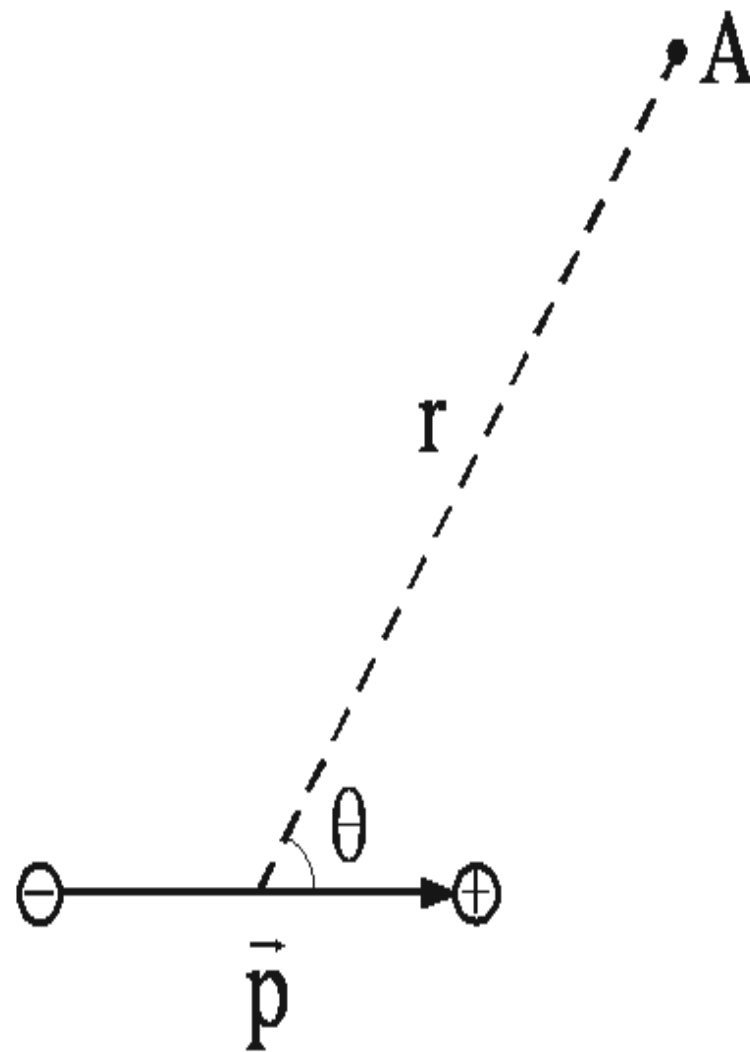
$\vec{\ell}$ - **плечо диполя** – это вектор, длиной ℓ , проведенный от отрицательного заряда диполя к положительному.



**Потенциал поля,
образованного
диполем в точке А
(если $r \gg \ell$),**

равен:

$$\varphi = \frac{q\ell \cos \theta}{4\pi \epsilon_0 \epsilon r^2} = \frac{p \cos \theta}{4\pi \epsilon_0 \epsilon r^2}.$$



Сила тока равна: $I = \frac{q}{t}$.

Плотность тока – это отношение силы тока, протекающего через поперечное сечение проводника, к площади этого сечения (S):

$$j = \frac{I}{S}, \quad [j] = \text{А} / \text{м}^2.$$

Сопротивление проводника: $R = \frac{U}{I}$.

В случае проводника постоянного сечения, его сопротивление: $R = \frac{\rho \cdot \ell}{S}$.

Удельная электропроводность вещества – это величина, обратная его удельному сопротивлению:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}, \quad [\sigma] = \text{Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}.$$

Закон Ома в дифференциальной форме:

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}.$$

В случае, если точечный источник тока находится в бесконечной изотропной проводящей среде, то плотность тока через поверхность сферы радиуса r , в центре которой находится источник тока, равна:

$$j = \frac{I}{4\pi r^2},$$

а также:
$$E = \frac{I}{4\pi \sigma r^2}.$$

Токовый диполь

Токовый диполь – это система, состоящая из двух точечных источников тока (источка (+) - если ток вытекает из точечного источника тока, и стока (-) – если втекает), силы токов которые равны по модулю и находятся на расстоянии ℓ друг от друга.

**Модуль момента токового диполя
равен:**

$$\mathbf{D} = \mathbf{I} \cdot \ell.$$

**Потенциал поля, образованного токовым
диполем равен:**

$$\varphi = \frac{\mathbf{I} \ell \cos \vartheta}{4\pi \sigma r^2} = \frac{\mathbf{D} \cos \vartheta}{4\pi \sigma r^2}.$$

Мультипольное разложение

Для потенциала поля, образованного системой токов, справедливо:

$$\varphi = \frac{A}{r} + \frac{B}{r^2} + \frac{C}{r^3} + \frac{D}{r^4} + \dots,$$

где A, B, C, D... - некоторые коэффициенты.

Для скомпенсированной системы

токов: $\mathbf{A} = \mathbf{0}$,

и тогда: $\varphi = \frac{\mathbf{B}}{r^2} + \frac{\mathbf{C}}{r^3} + \frac{\mathbf{D}}{r^4} + \dots$

Отсюда следует, что при достаточно
больших значениях r , значимым

слагаемым является только: $\frac{\mathbf{B}}{r^2}$.



ВЫВОД:

Если потенциал поля, которое образуется сложной скомпенсированной системой токов, определяется на достаточно больших расстояниях от этой системы, то такую систему можно с достаточной точностью считать ТОКОВЫМ ДИПОЛЕМ.

Вторая модель теории ЭКГ Эйнтховена

1. Сердце – это токовый диполь.

Возбуждённая область миокарда заряжена отрицательно относительно невозбуждённой области.

Перераспределение зарядов при возбуждении является током, который можно рассматривать как токовый диполь.


\vec{D} - это *интегральный электрический вектор сердца.*

2. Диполь находится в однородной изотропной проводящей среде.

На протяжении сердечного цикла вектор \vec{D} изменяется по величине и направлению. Его начало неподвижно, и находится в синусном узле сердца. Конец вектора \vec{D} за время сердечного цикла описывает пространственную кривую, проекция которой на фронтальную плоскость описывает *три петли*.

12 отведений при регистрации ЭКГ (*наиболее используемых*)

- 3 стандартных: (I, II, III);
- 3 усиленных от конечностей:
(α VF, α VR, α VL);
- 6 грудных отведений:
(V₁, V₂, V₃, V₄, V₅, V₆).



1. Стандартные отведения (Эйнтховен, 1913 г.):

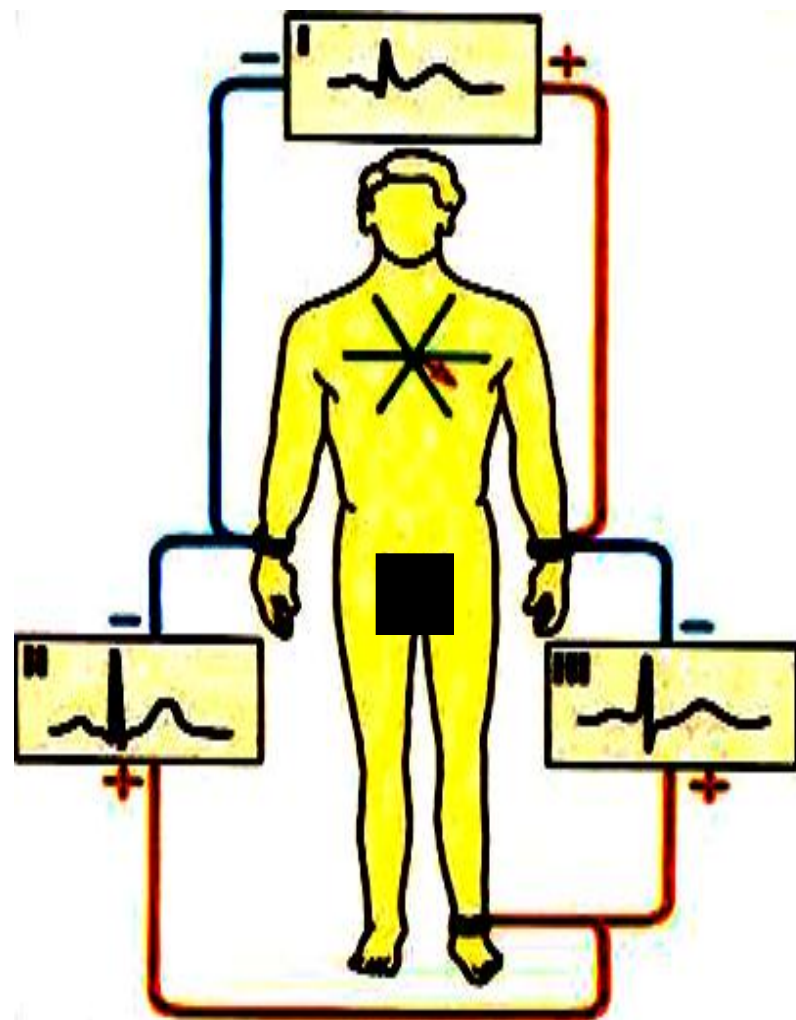
**I – между левой рукой и правой
рукой;**


**II – между левой ногой и правой
рукой;**

**III – между левой ногой и левой
рукой.**

Регистрация ЭКГ в трёх стандартных отведениях

- I отведение – (+) левая рука –
- (-) правая рука;
-
- II отведение – (+) левая нога –
- (-) правая рука;
-
- III отведение – (+) левая нога –
- (-) левая рука.





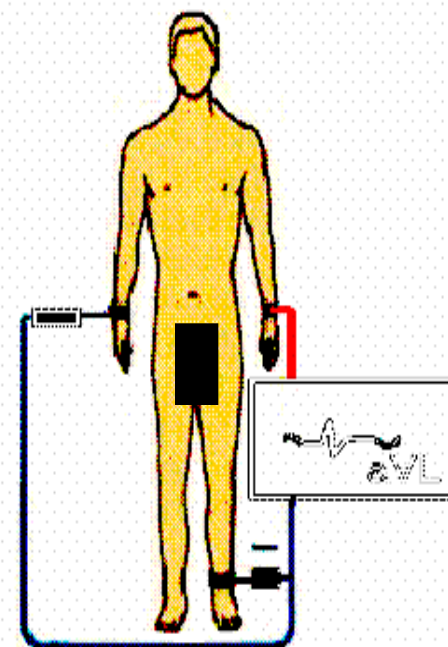
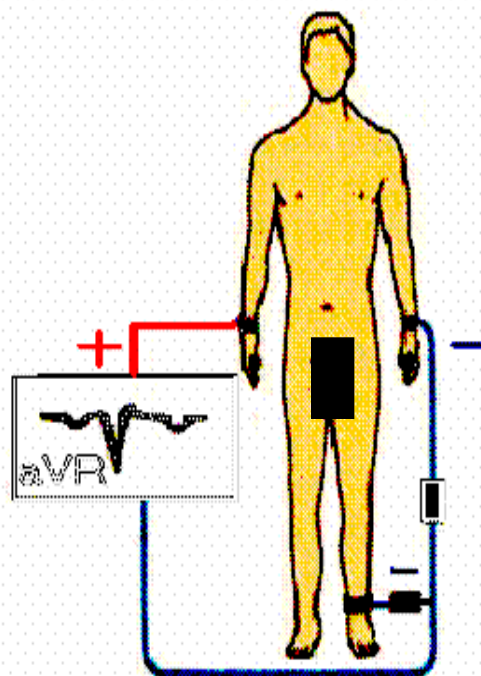
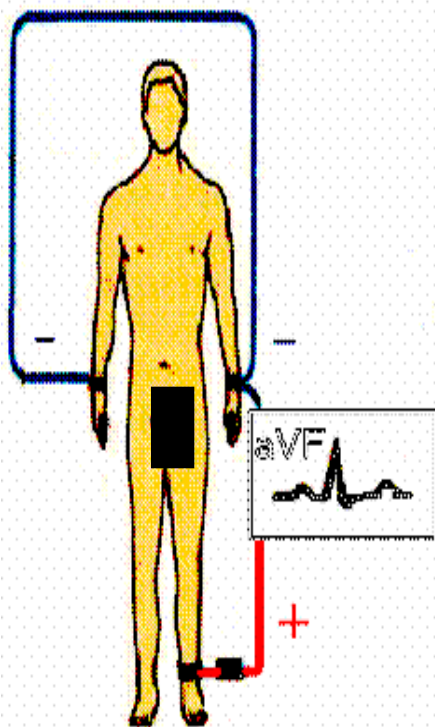
2. Усиленные отведения от конечностей (Гольдберг, 1942 г.) - каждый из электродов по очереди соединяет сразу две конечности:


αVR — усиленное отведение от правой руки;

αVL — усиленное отведение от левой руки;

αVF — усиленное отведение от левой ноги.

Регистрация ЭКГ в трёх усиленных от конечностей отведениях: αVF , αVR , αVL

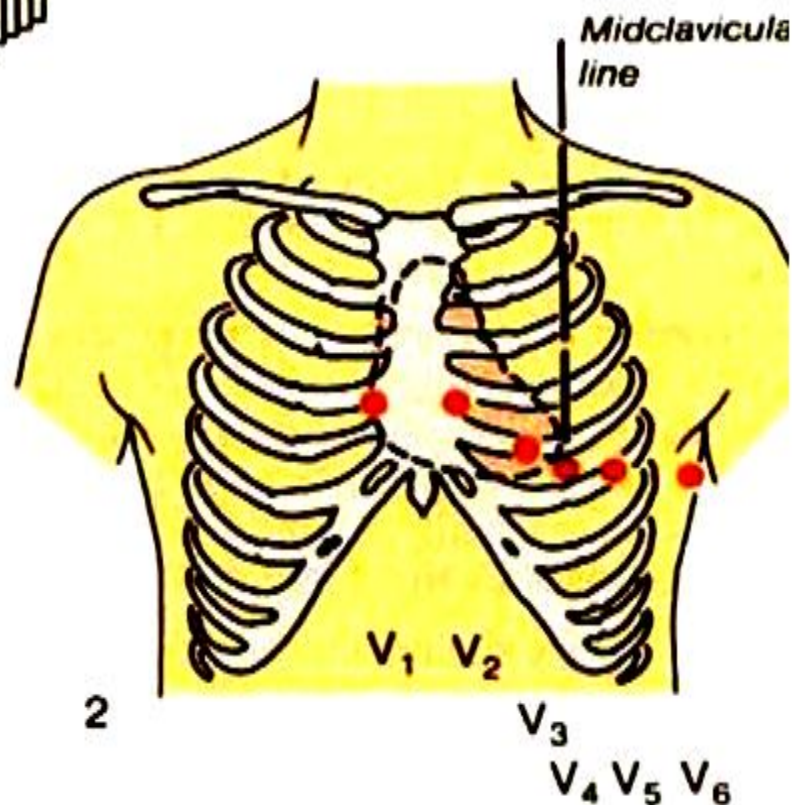
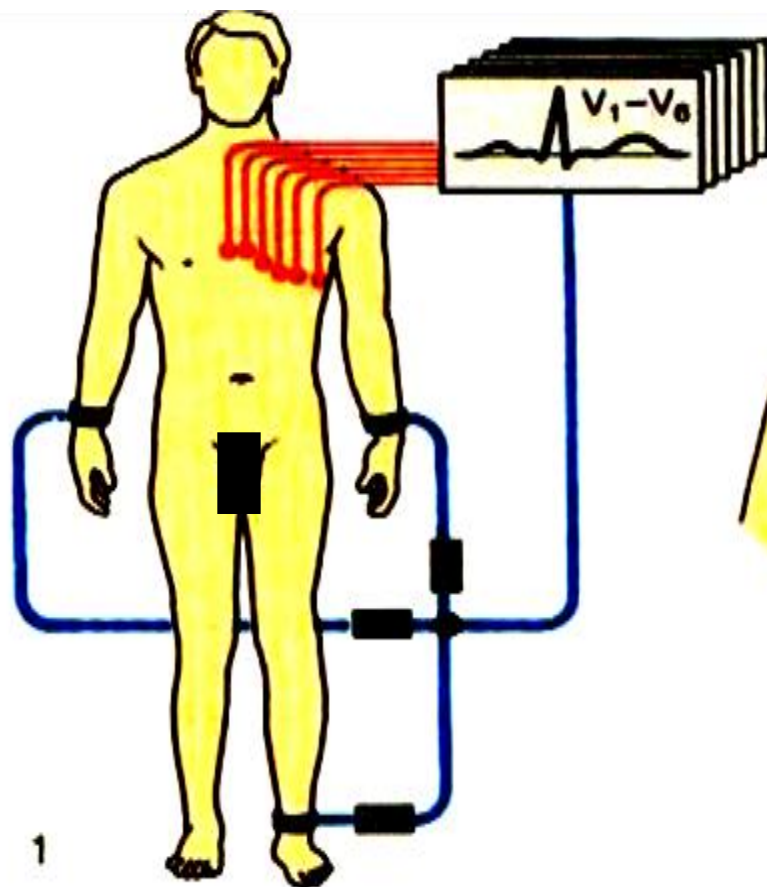




3. Грудные отведения (Вильсон, 1934 г.) – записываются между грудным электродом и объединённым электродом от всех трёх конечностей.

Точки расположения грудных электродов расположены последовательно по переднебоковой поверхности грудной клетки от средней линии тела к левой руке.

Регистрация ЭКГ в шести грудных отведениях

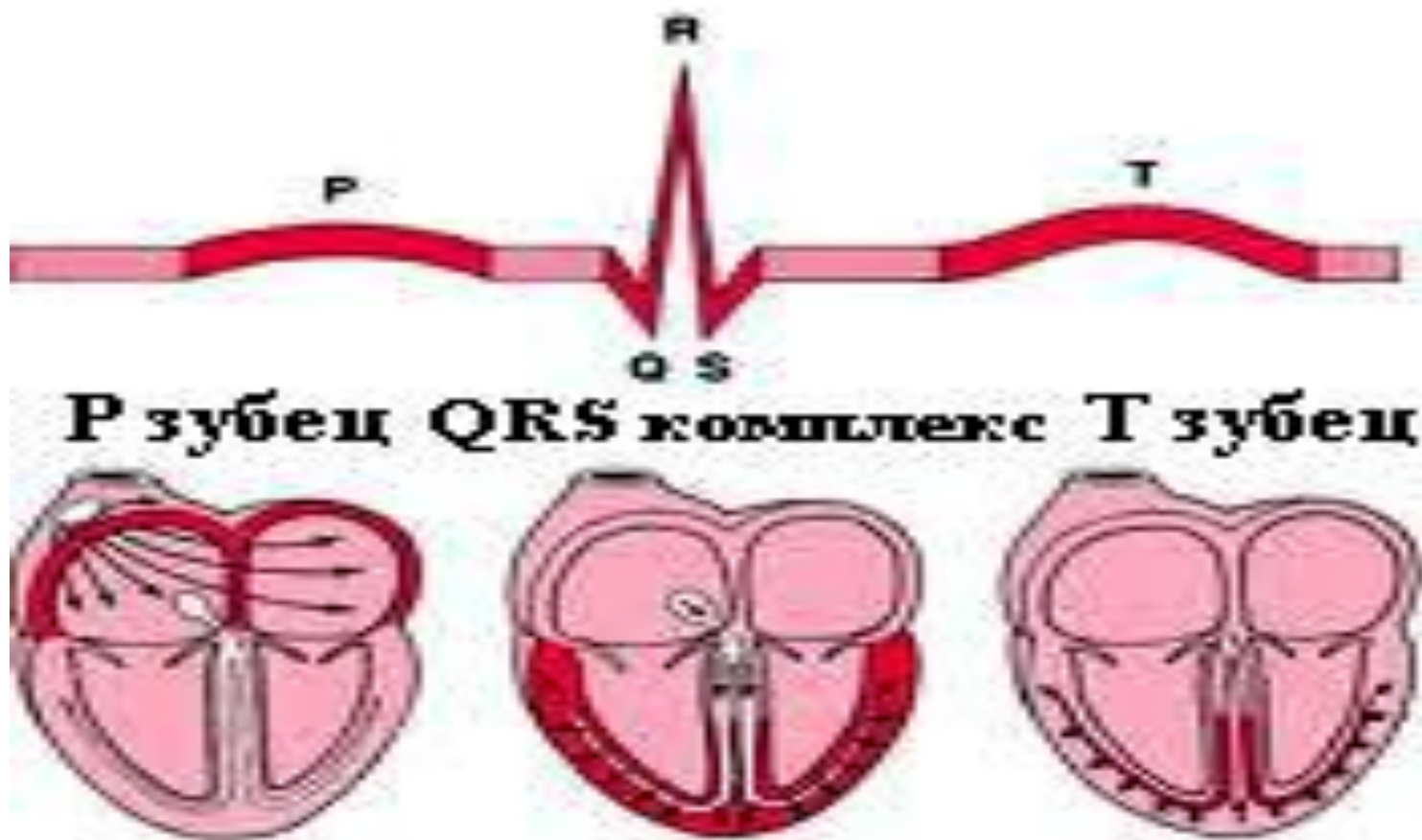




Электрокардиограмма (ЭКГ)

Вследствие электрических процессов, связанных с работой сердца, в каждом из стандартных отведений регистрируется *зависимость разности потенциалов (напряжения) от времени, которая называется электрокардиограммой.*

Электрические процессы в сердце на протяжении одного сердечного цикла



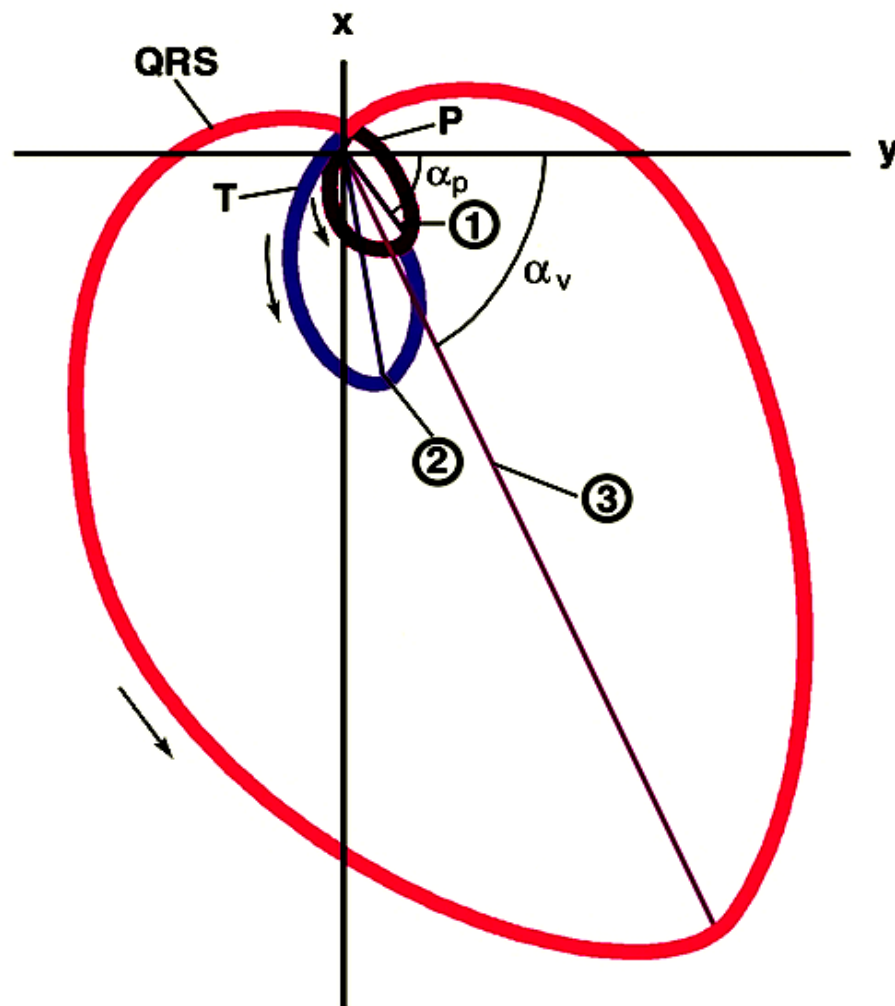



Наиболее сильным является сигнал, который регистрируется во втором стандартном отведении.

Обычно максимальное значение разности потенциалов для зубца R во втором отведении составляет величину порядка: $1\text{ мВ} = 10^{-3}\text{ В}$.

Вектор-кардиография

Это
диагностическая
методика,
связанная с
регистрацией
изменений
потенциалов,
обусловленных
работой сердца.





**Четыре электрода располагаются
вблизи сердца в двух взаимно
непараллельных плоскостях.**

**Разности потенциалов,
регистрируемых противоположно
расположенными электродами,
подаются на вертикально и
горизонтально отклоняющие
пластины электронно-лучевой
трубки. В результате на экране
наблюдается три петли вектора \vec{D} .**



Электрoэнцефалoграфия (ЭЭГ)

При ЭЭГ с помощью электродов, закрепленных в разных точках на голове пациента, регистрируют разности потенциалов, изменяющихся с течением времени.


Эти разности потенциалов отображают электрическую активность клеток головного мозга.



При ЭЭГ могут регистрироваться
сложные регулярные колебания с
разными частотами и амплитудами.

Колебания, которые относятся к
определённым диапазонам частот,
называют *ритмами*

(δ , θ , α , β , γ — ритмы).



Другие электрографические методики

- **Электроретинография** – регистрация потенциалов, созданных сетчаткой глаза (ЭРГ);
- **Электромиография** – мышцами (ЭМГ);
- **Кожно-гальваническая реакция** – кожей (КГР).