

Волгоградский государственный медицинский университет
Кафедра теоретической биохимии с курсом клинической биохимии

Электрография Электрокардиография

Лекции по медицинской биофизике, 2007

Электрограмма

- зависимость разности потенциалов на поверхности тела, возникающей при функционировании органа или ткани, от времени

- электрокардиограмма
- электроретинограмма
- электроэнцефалограмма
- электромиограмма

Parameter	Measurement Range	Frequency Range	Measurement Method
Electrocardiogram (ECG)	0.5 – 4mV	0.01 – 250Hz	Skin electrodes
Electroencephalogram (EEG)	5 – 300 μ V	DC – 150Hz	Scalp electrodes
Electromyogram (EMG)	0.1 – 5mV	DC – 10KHz	Needle/skin electrodes
Electrooculogram (EOG)	50 – 3500 μ V	DC – 50Hz	Contact electrodes
Blood flow	1 – 300mL/sec	DC – 20Hz	Ultrasonic flowmeter
Respiratory Rate	2 – 50 breaths/min	0.1 – 10Hz	Strain guage
Body Temperature	32 – 40 °C	DC – 0.1Hz	Thermistor/thermocouple

Основные задачи изучения электрограмм

Прямая

- Выяснение механизма возникновения электрограмм
- Расчет распределения потенциала по поверхности тела по заданным характеристикам «эквивалентного генератора»

Обратная

Задачи клинической диагностики:

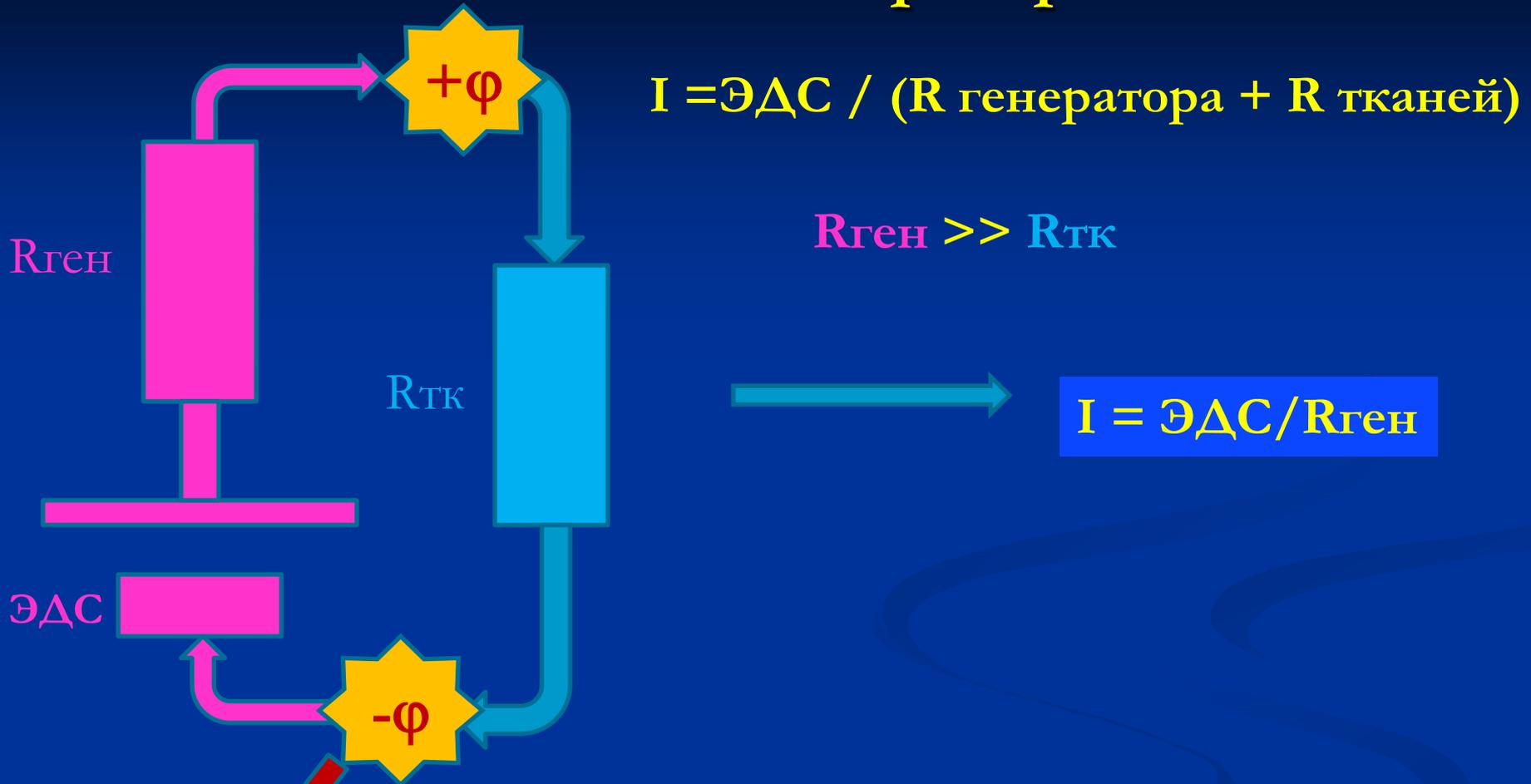
- выявление состояния органа по характеру его электрограммы
- определение характеристик «эквивалентного генератора» по изменению потенциалов на поверхности тела

Эквивалентный электрический генератор

Требования

- расчетные потенциалы в разных точках организма должны быть равны реальным
- при изменении параметров генератора изменения поля должны быть такими же, как и при реальном изменении функционирования органа

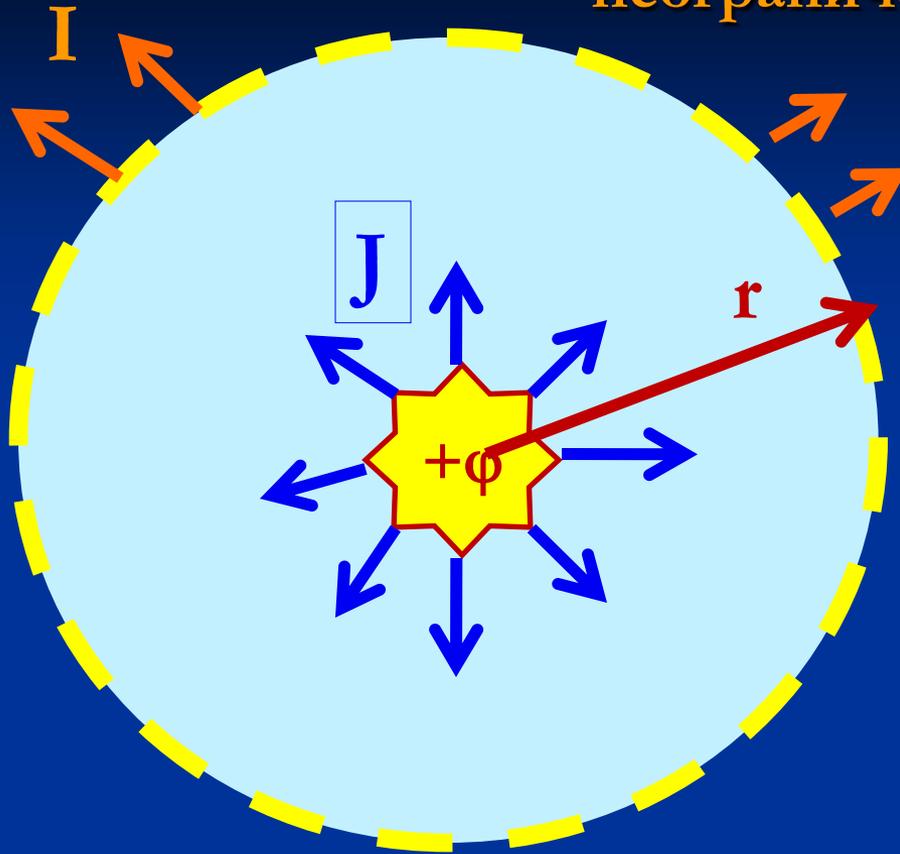
Токовый генератор



Мембраны:

- Активное сопротивление - высокое
- Емкостное сопротивление - зависит от частоты

Плотность тока, создаваемая униполюем в однородной неограниченной среде



$$J = -1/\rho * d\phi / dr$$

$$J = I/4\pi r^2$$

ρ - импеданс среды

$$d\phi = -(\rho I / 4\pi r^2) dr$$

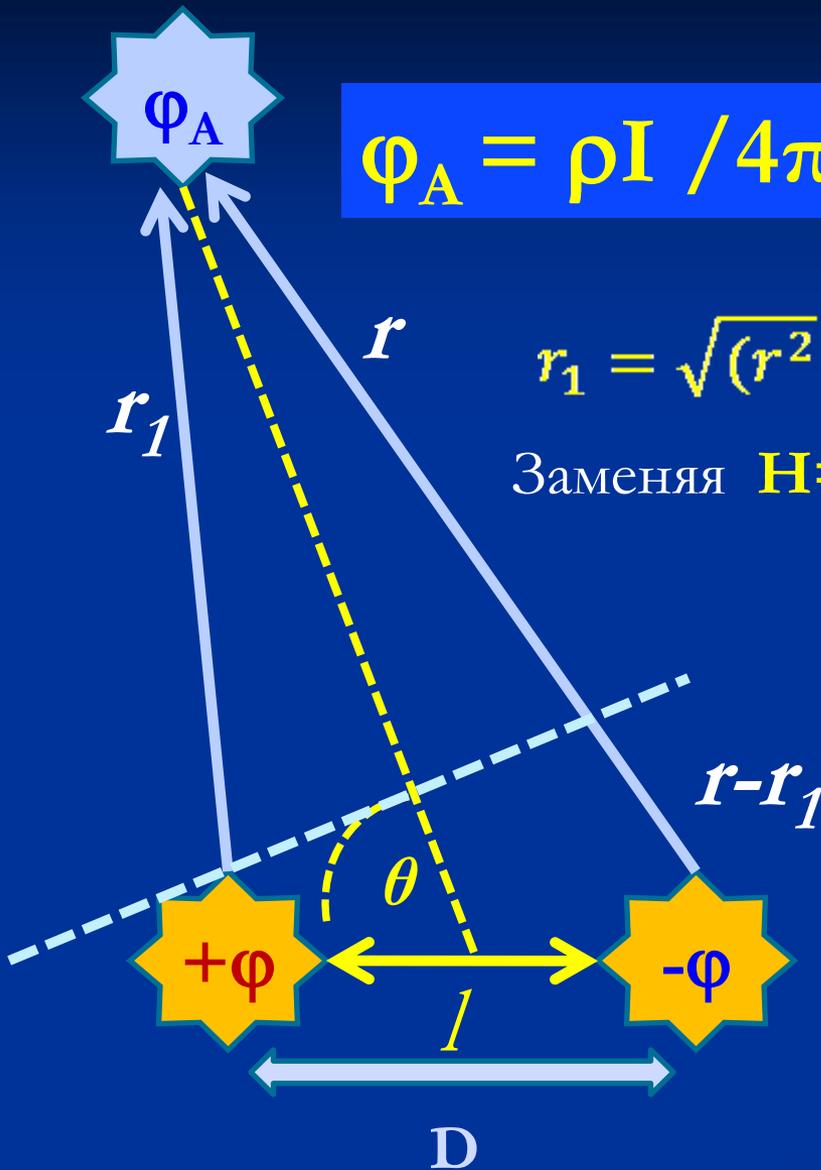
Потенциал на расстоянии R от «+» униполя будет равен:
-ДИПОЛЬНЫЙ потенциал

$$\phi_R = \int_0^R d\phi = -\frac{\rho I}{4\pi} \int_{\infty}^R \frac{dr}{r^2}$$

$$\phi_R = \rho I / 4\pi R$$

Поле диполя

θ)



$$\varphi_A = \rho I / 4\pi r_1 - \rho I / 4\pi r$$

$$= \frac{\rho I}{4\pi} * \frac{r - r_1}{r * r_1}$$

$$r_1 = \sqrt{(r^2 + l^2 - 2rl \cos \theta)}$$

Заменяя $H = (l^2 - 2r l \cos \theta) / r^2$

$$\varphi_A = \rho I / 4\pi r \sqrt{(1+H)} - \rho I / 4\pi r$$

В мультипольном разложении

$$\varphi_A = \rho I l \cos \theta / 4\pi r^2 \quad \text{-дипольный потенциал}$$

$$+ \rho I l^2 (\cos^2 \theta - 1) / 8\pi r^3 \quad \text{-квадрупольный потенциал}$$

+ ...

D

Дипольный момент

Дипольное приближение

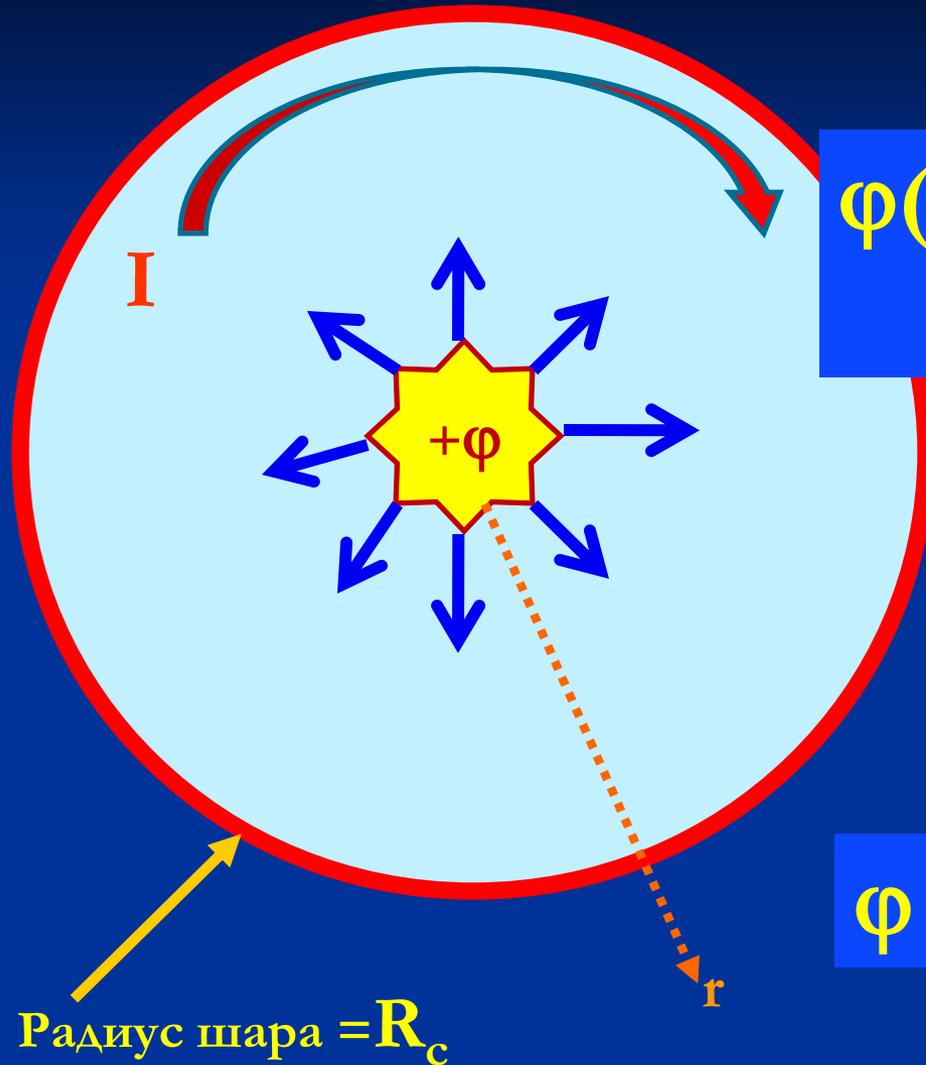
Для точечного диполя при $r \gg 1$

$$r * r_1 \sim r^2 \quad r - r_1 \sim 1 \cos \theta$$



$$\varphi_A = \frac{\rho l}{4\pi r^2} \cos \theta \equiv \frac{\rho D}{4\pi r^2} \cos \theta \equiv kD \cos \theta$$

Потенциал на поверхности шара (в среде, ограниченной поверхностью)

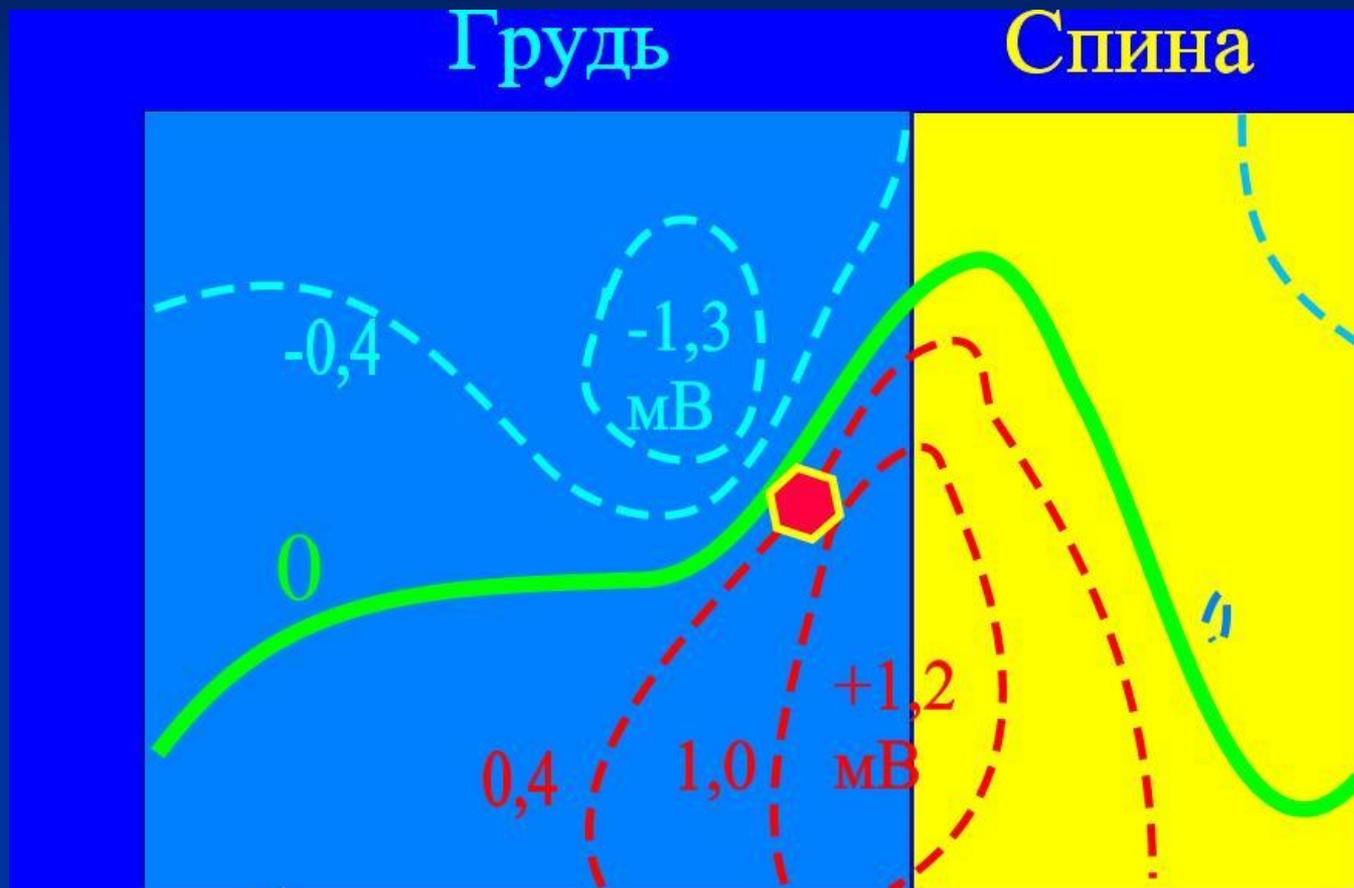


$$\varphi(r) = \rho D \cos\theta / 4\pi r^2 + \rho r D \cos\theta / 4\pi R_c^3$$

На поверхности сферы
при $r = R_c$

$$\varphi = 3\rho D \cos\theta / 4\pi R_c^2$$

Распределение электрических потенциалов на поверхности тела в момент формирования комплекса QRS



Разность потенциалов двух точек

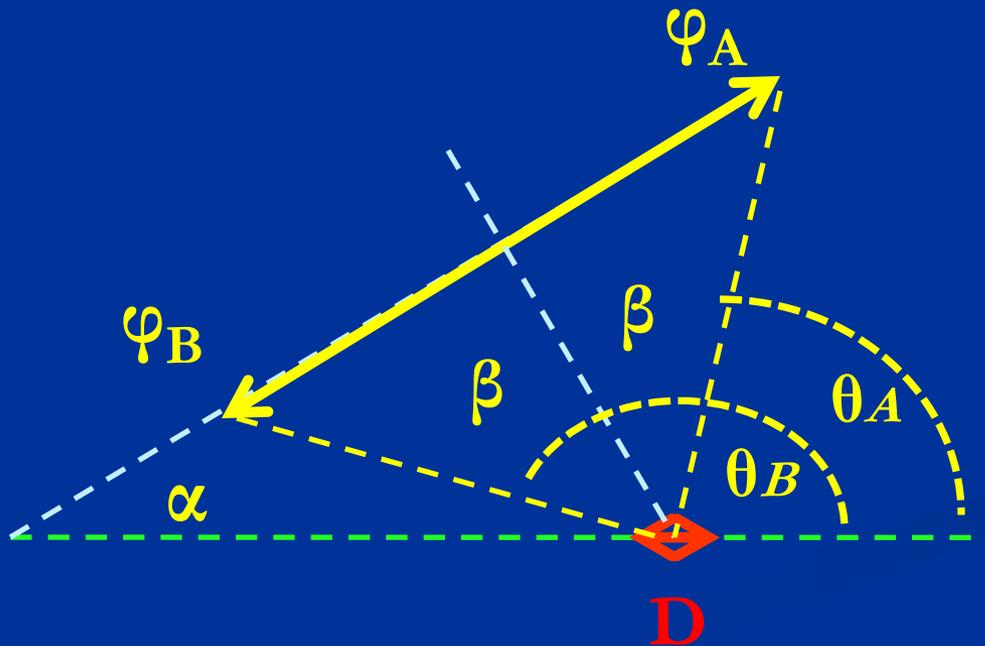
$$\varphi_A - \varphi_B = kD \cos \theta_A - kD \cos \theta_B = kD (\cos \theta_A - \cos \theta_B)$$

$$\Delta \varphi = 2k \sin \beta * D \cos \alpha$$

$$K = \frac{\rho}{2\pi r^2} \sin \beta$$

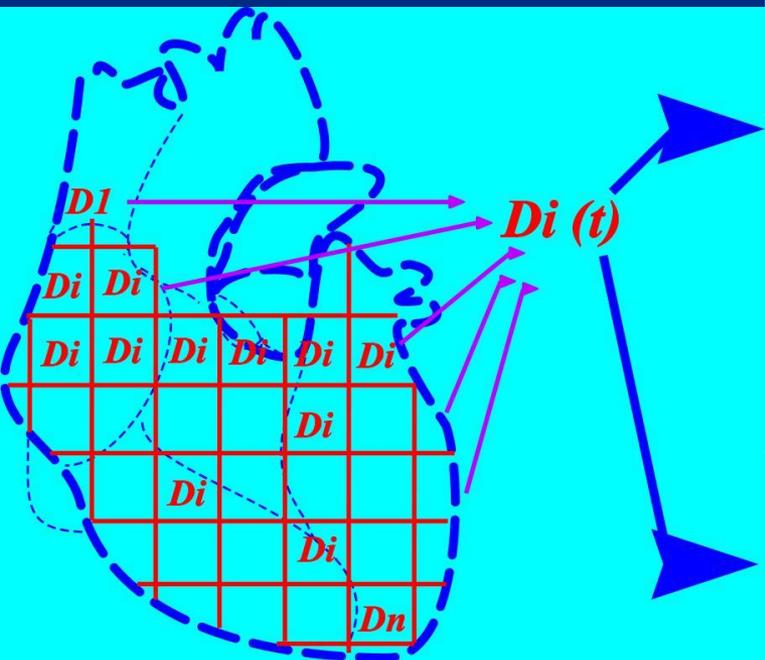


$$\Delta \varphi = K * D \cos \alpha = K * D_{AB}$$



Разность потенциалов пропорциональна проекции диполя на ось, соединяющую точки измерения на поверхности !!!

Эквивалентные электрические генераторы сердца



Дипольный эквивалентный электрический генератор сердца

Мультипольный эквивалентный электрический генератор сердца

Эквивалентный диполь сердца

$$\bar{D}_0 = \sum_{i=1}^n D_i$$

При необходимости учета возрастания потенциала в условиях, при которых

Многодипольные эквивалентные электрические генераторы
Расчет ЭКГ с учетом параметров отдельных областей миокарда

расстояние от точки регистрации до диполя сопоставимо с его размером

Потенциалы сердца

$\lambda = RV$

Синусовый узел



0,01-0,02 с

0,03-0,08 с

$\lambda = 0.6 \text{ см}$

0,08 с

0,01 с

0,05 с

0,04 с

0,03 с

0,02 с

Скорость распространения возбуждения

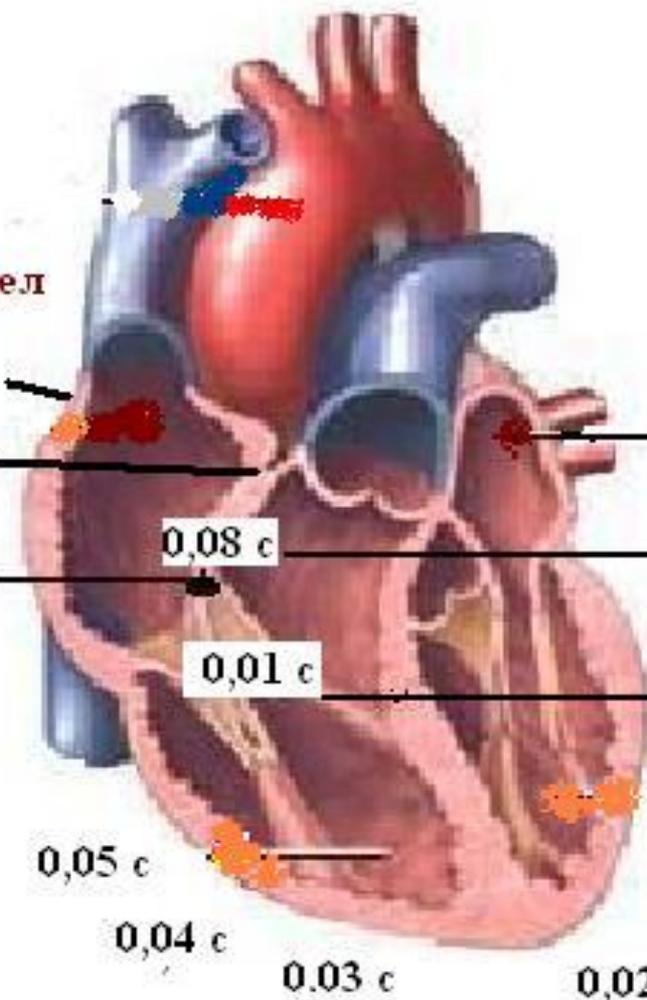
$\lambda = 12 \text{ см}$

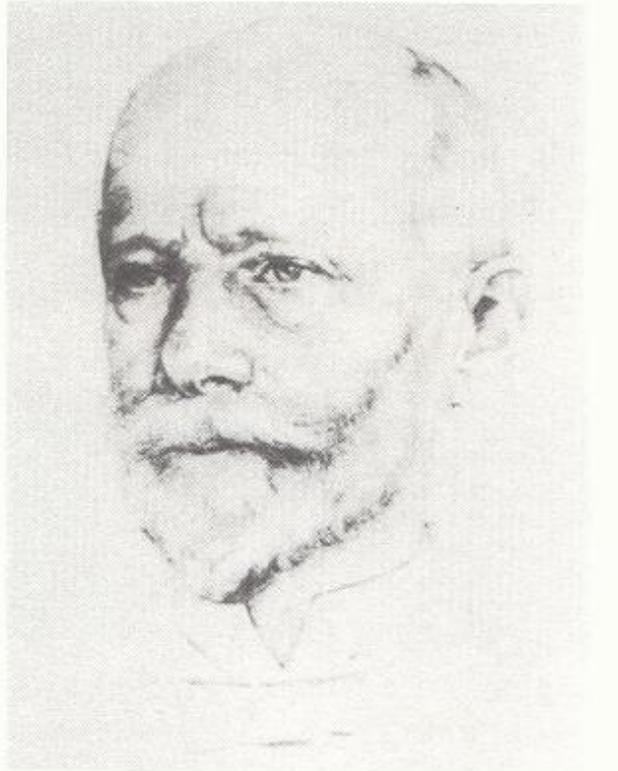
30-80 см/с

2-5 см/с

100-140 см/с

$\lambda = 30 \text{ см}$





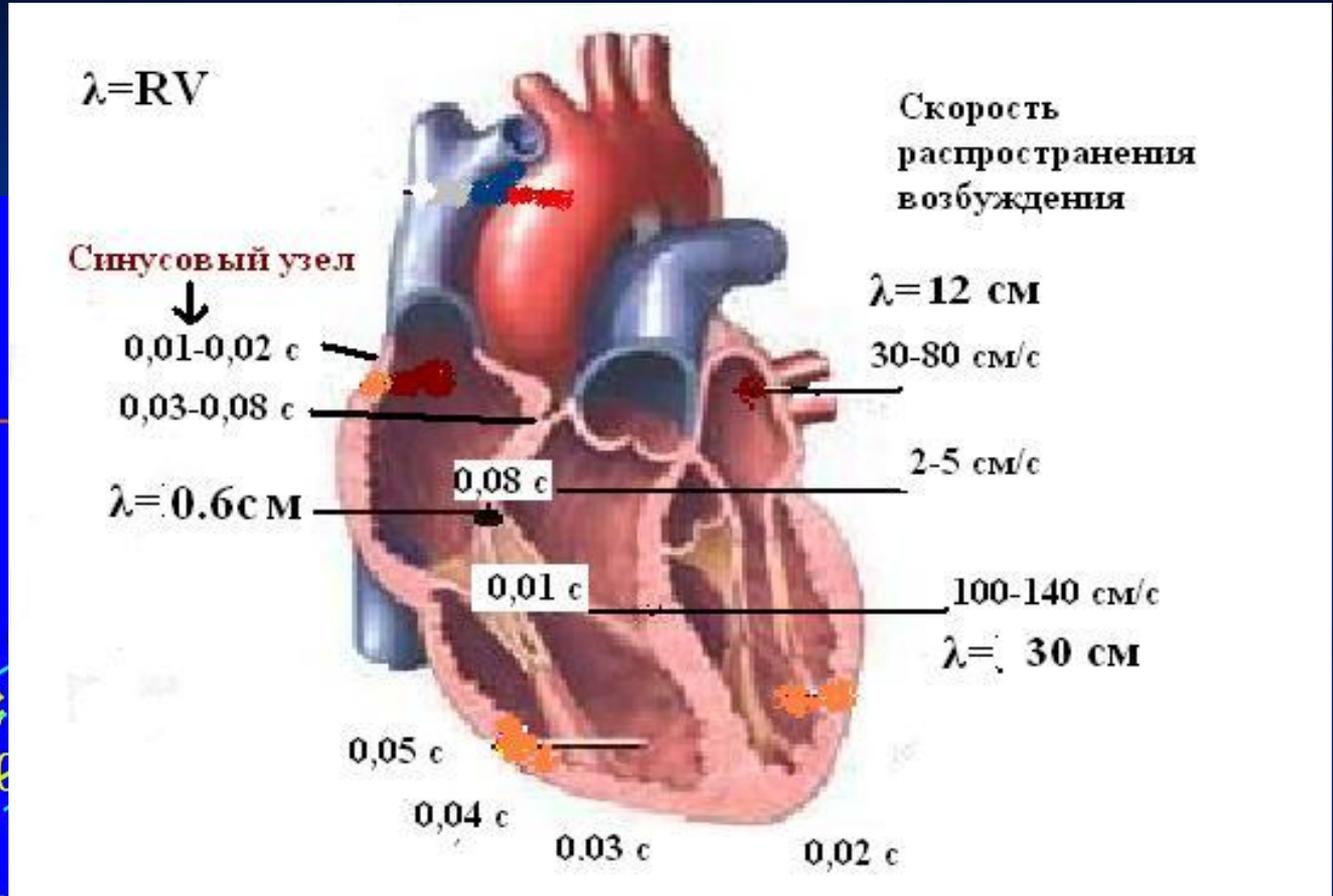
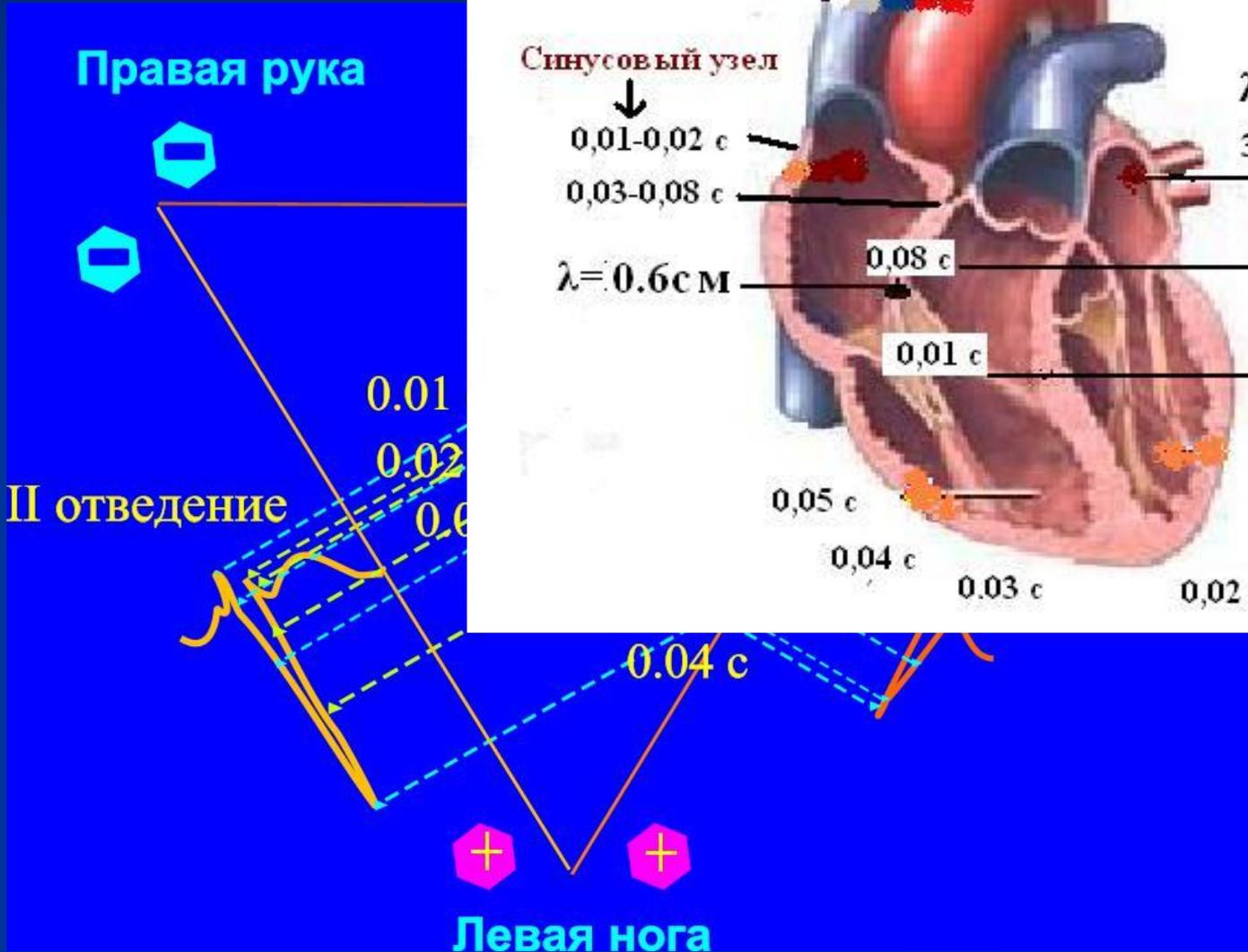
Модель Эйнтховена

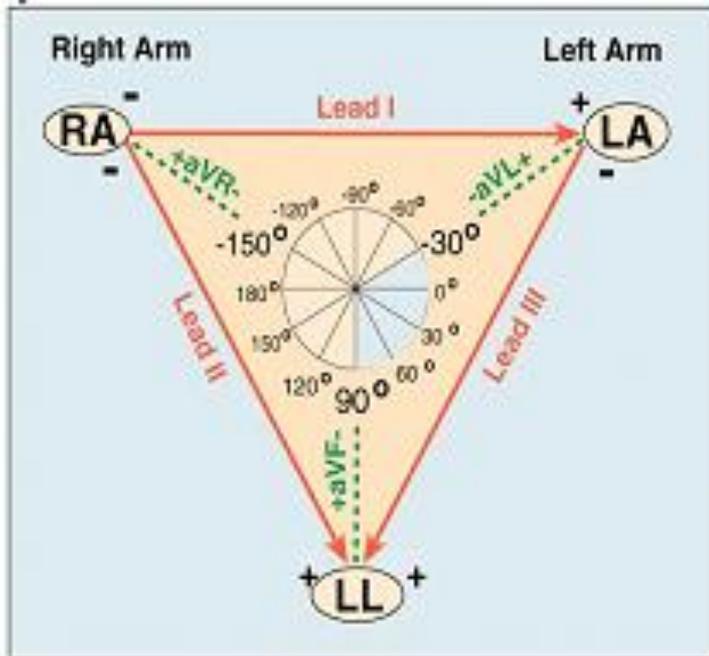
Willem Einthoven (1860–1927).¹

- **Интегральный токовый диполь (вектор) сердца (ИЭВС)**- сумма диполей разных частей
- **Ткани организма – однородная проводящая среда**
- **ИЭВС имеет начало в атриовентрикулярном узле и во времени изменяется по величине и направлению**

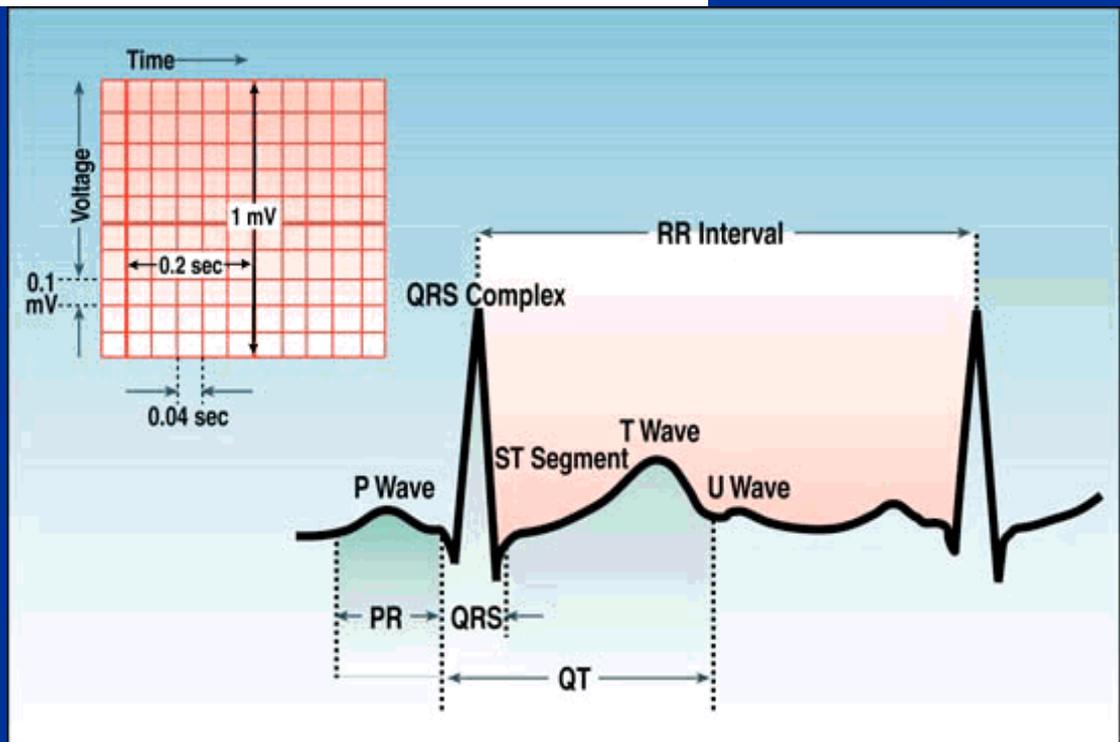
Схема регистрации комплекса QRS электрокардиограммы

В





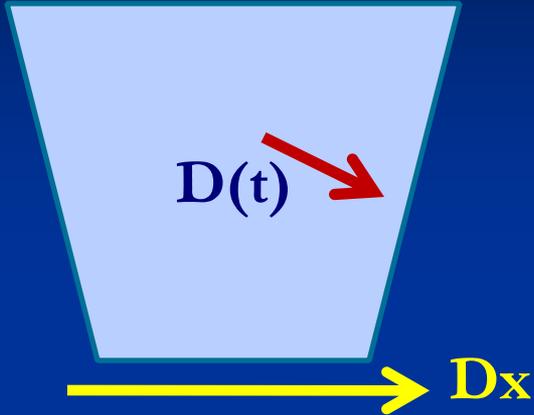
- 1 positive and 1 negative electrode
 - RA always negative
 - LL always positive
- Traditional limb leads are examples of these
 - Lead I
 - Lead II
 - Lead III
- View from a vertical plane



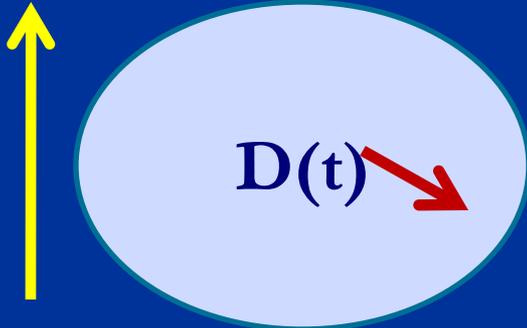
Векторная электрокардиография

Правая
сагитальная

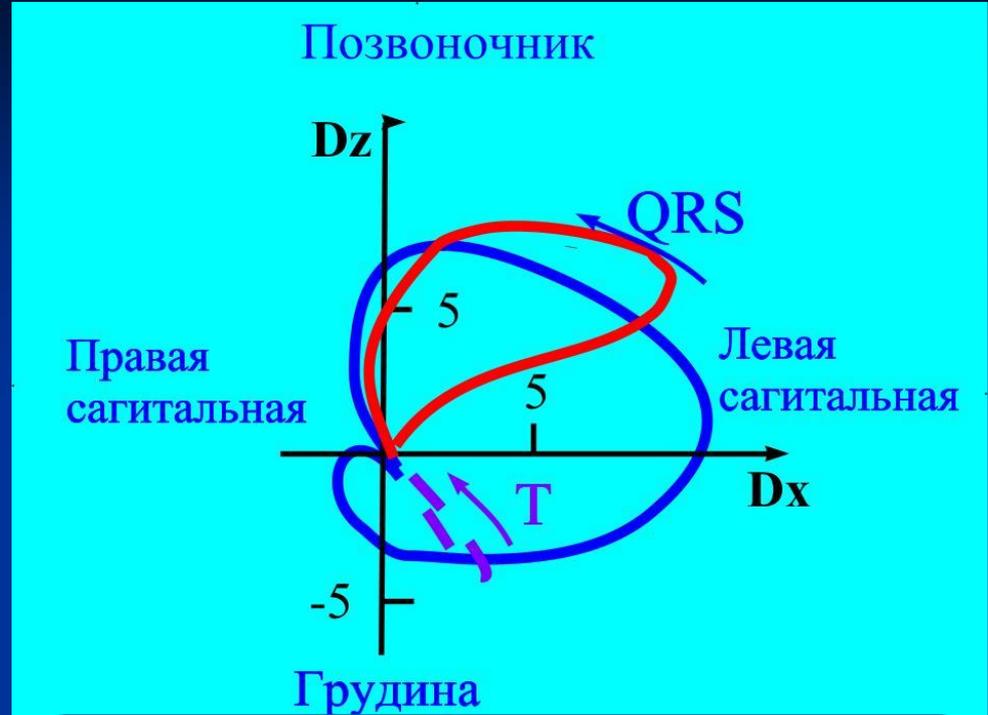
Левая
сагитальная



Dz Позвоночник



Грудина



- ВЭКГ здорового человека
- Инфаркт межжелудочковой перегородки и смежной передней стенки левого желудочка

Титомир Л.И., 1980, Владимиров Ю.А., 1983

Многодипольные эквивалентные электрические генераторы сердца

Модель Миллера и Гезелоувитца –

Генез желудочковых компонентов ЭКГ

1. Сердце представляет собой систему токовых электрических диполей
2. Окружающая сердце среда считается однородной
3. Миокард представляет собой электрический сцинтиллятор, в котором ток может протекать из клетки в клетку через клеточные контакты с высокой проводимостью

Современные направления исследований

- Анализ сердечного ритма -

Синусовый узел

- Фурье-анализ QRS-Комплекса

Нарушение внутрижелудочковой проводимости

