



Кафедра медицинской и биологической физики

Электрография

*Лекция №5 для студентов 1 курса специальности
стоматология*

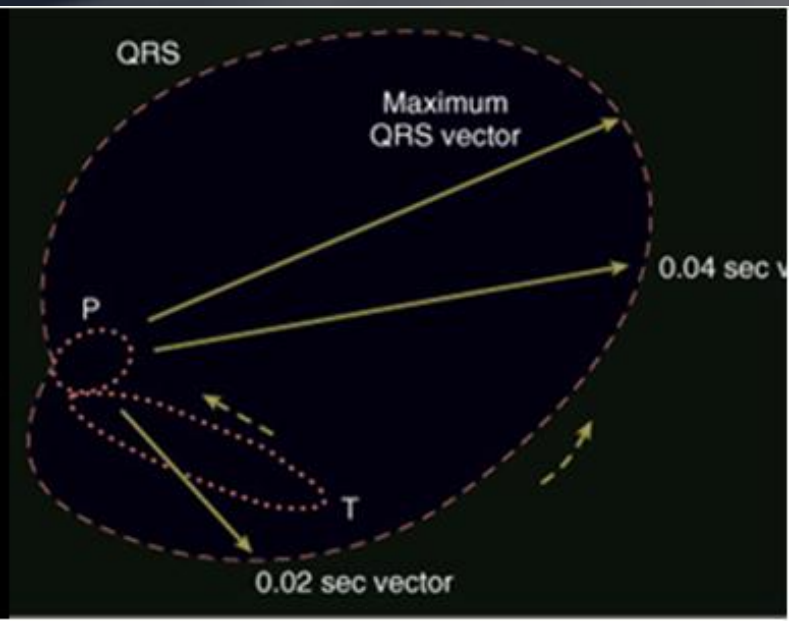
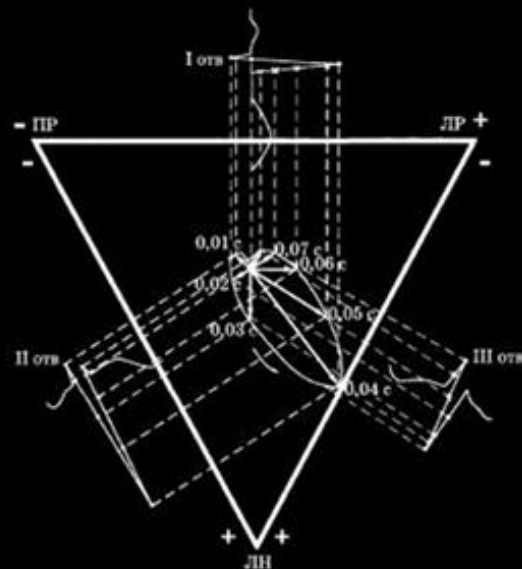
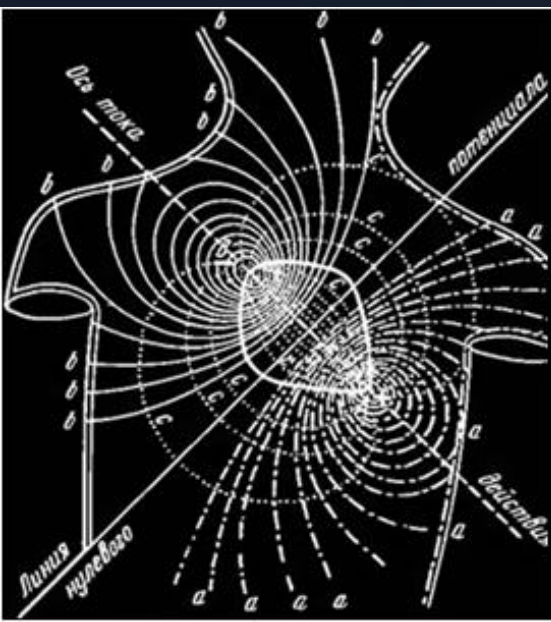
Цель: Изучение основ электрографии

План:

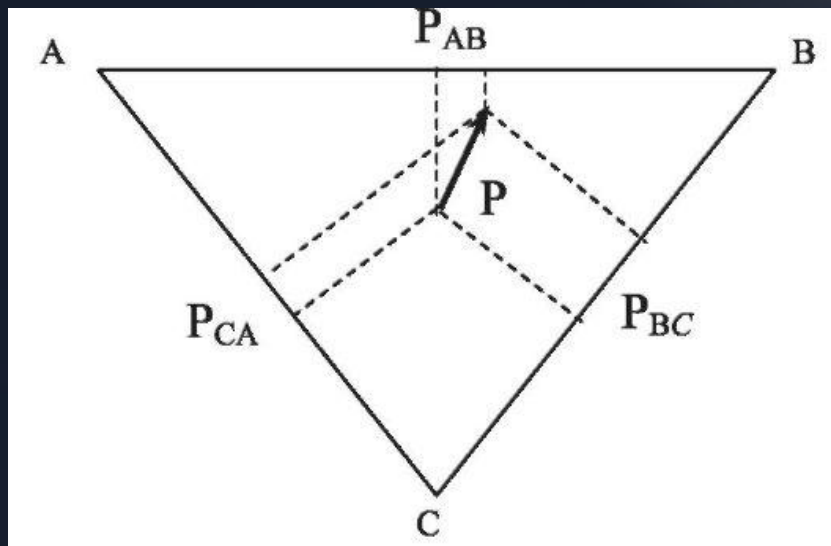
1. Теория Эйнтховена
2. Реография

Теория Эйнтховена

Согласно теории Вильяма Эйнтховена (1913), сердце есть **ТОКОВЫЙ ДИПОЛЬ**, который, поворачиваясь, изменяет свое положение во время сердечного цикла, и описывает сложную пространственную кривую, которую приблизительно можно считать лежащей в плоскости грудной клетки. Эта кривая имеет три характерные петли, обозначаемые P, QRS и T.



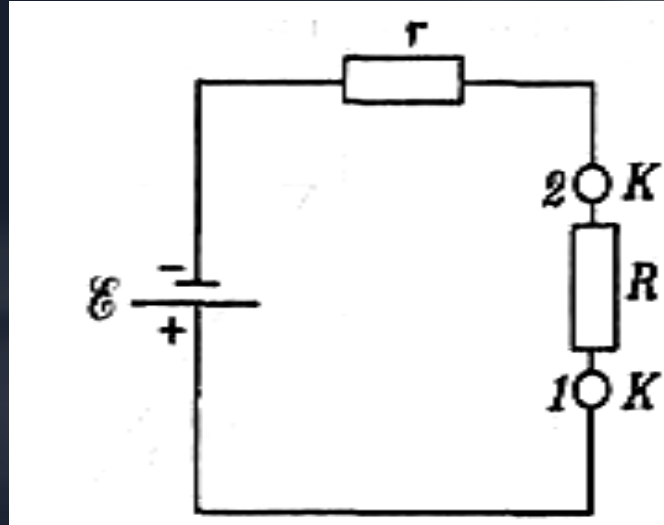
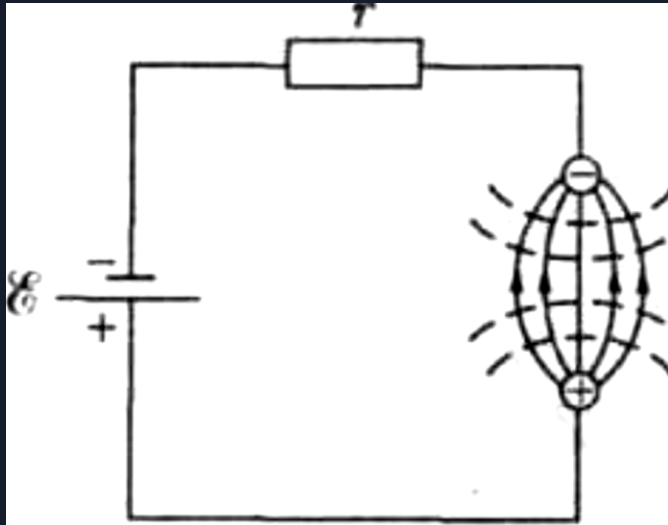
Диполь в равностороннем треугольнике



Если начало вектора $\vec{p}$ поместить в центр равностороннего треугольника, то оказывается что разность потенциалов между двумя любыми вершинами треугольника прямо пропорциональна проекции дипольного момента на соответствующую сторону

$$U_{AB} : U_{BC} : U_{CA} = P_{AB} : P_{BC} : P_{CA}$$

Токовый диполь



R – эквивалентное сопротивление проводящей среды,
 r – внутреннее сопротивление источника,
 $\mathcal{E}$ – ЭДС источника,
электроды: 1 – исток тока, 2 – сток тока

$$\mathcal{E} = \frac{I}{R + r}$$

Токовый диполь

Токовый диполь – двухполюсная система в проводящей среде, токовый диполь есть электрический генератор.

Характеристика токового диполя – **дипольный момент**:

$$\vec{p}_T = I \cdot \vec{L}$$

I – сила тока,

L – расстояние между положительным и отрицательным полюсами источника тока – **плечо диполя**.

Потенциал, создаваемый токовым диполем в некоторой точке:

$$\phi_T = \frac{p_T \cos \alpha}{4\pi\gamma r^2}$$

где $\gamma = \frac{1}{\rho}$ – удельная электропроводность среды

Физические основы электрографии

Регистрация биопотенциалов тканей и органов называется электрографией.

Виды электрографии:

- **электрокардиография** – регистрация биопотенциалов, возникающих в сердечной мышце при ее возбуждении;
- **электроэнцефалография** – регистрация биоэлектрической активности головного мозга;
- **электромиография** – регистрация биоэлектрической активности мышц;
- **электроретинография** – регистрация биопотенциалов сетчатки глаза, возникающей в результате воздействия на глаз.

Значения биопотенциалов

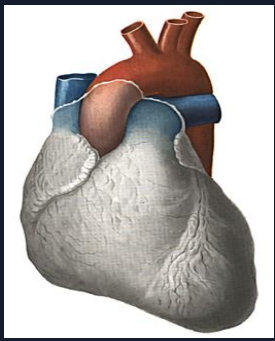
<i>Биопотенциалы</i>	<i>Амплитуда, мкВ</i>	
	<i>максимальная</i>	<i>минимальная</i>
<i>ЭКГ</i>	<i>1500-2000</i>	<i>100-300</i>
<i>ЭМГ</i>	<i>1000-1500</i>	<i>30-40</i>
<i>ЭЭГ</i>	<i>200-300</i>	<i>5-10</i>

Зависимость биопотенциала от времени называется электрограммой.

При изучении электрограмм возникают следующие задачи:

Прямая — выяснение механизма возникновения электрограммы и расчет потенциала в области измерения по заданным характеристикам электрической модели органа.

Обратная (диагностическая) — выявление состояния органа по характеру его электрограммы.

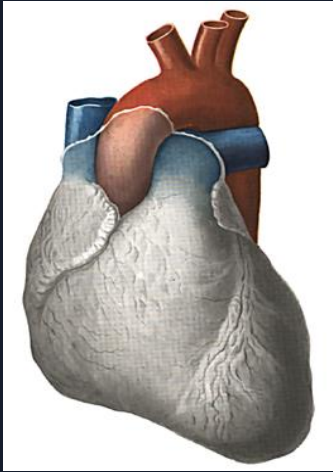


Теория отведений Эйнтховена.

Сердце – мощная мышца. При синхронном возбуждении всех волокон сердечной мышцы в среде, окружающей сердце, течет ток, который даже на поверхности тела создает потенциал порядка нескольких мВ.

Сердце есть токовый диполь с дипольным моментом $\vec{P}_c$, который поворачивается, изменяя свое положение и точку приложения за время сердечного цикла.

Все ткани и органы, весь организм – однородная проводящая среда (с одинаковым удельным сопротивлением).

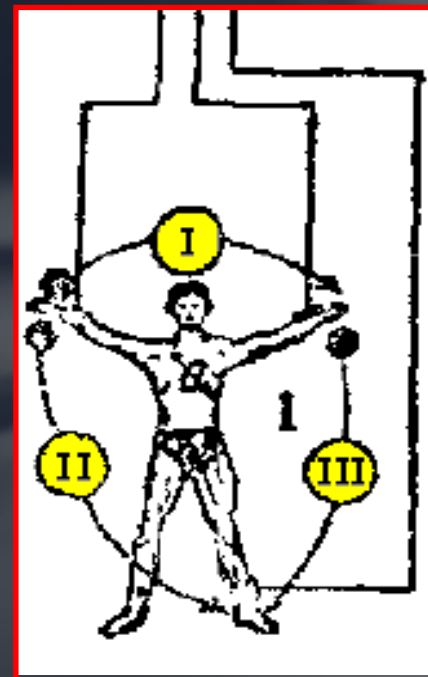
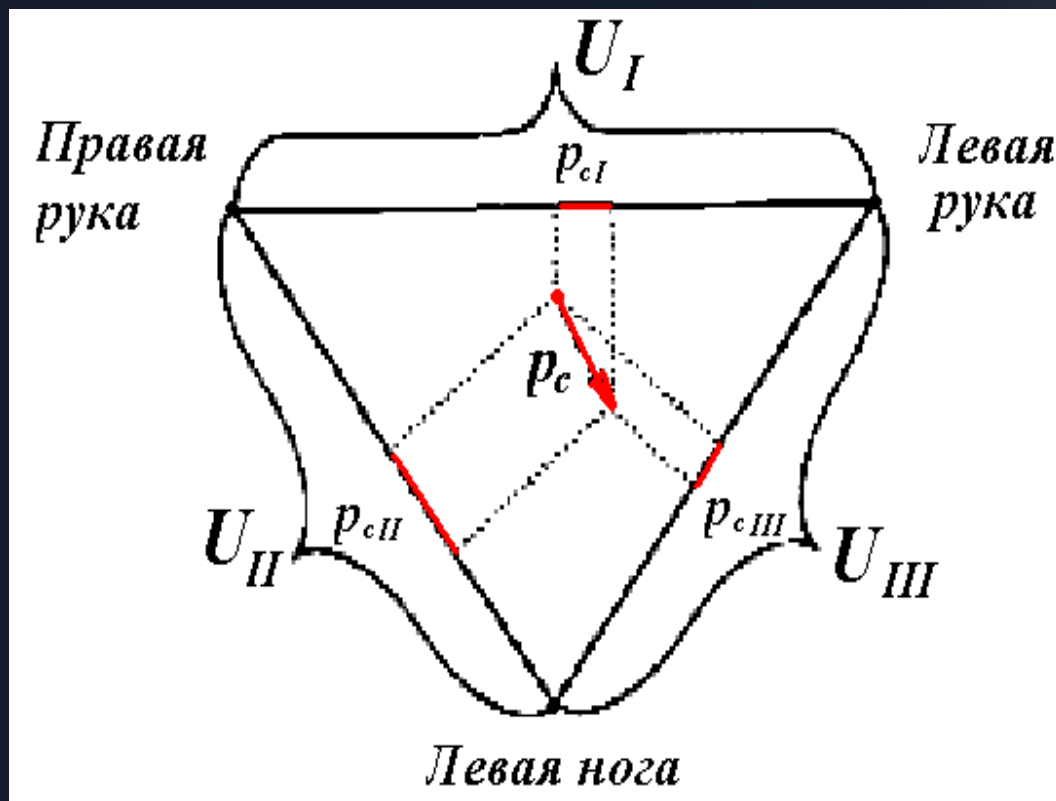


Теория отведений Эйнтховена.

При записи кардиограммы регистрируется разность потенциалов на поверхности тела.

Пары точек на теле человека между которыми измеряются разности биопотенциалов, в физиологии принято называть «отведениями».

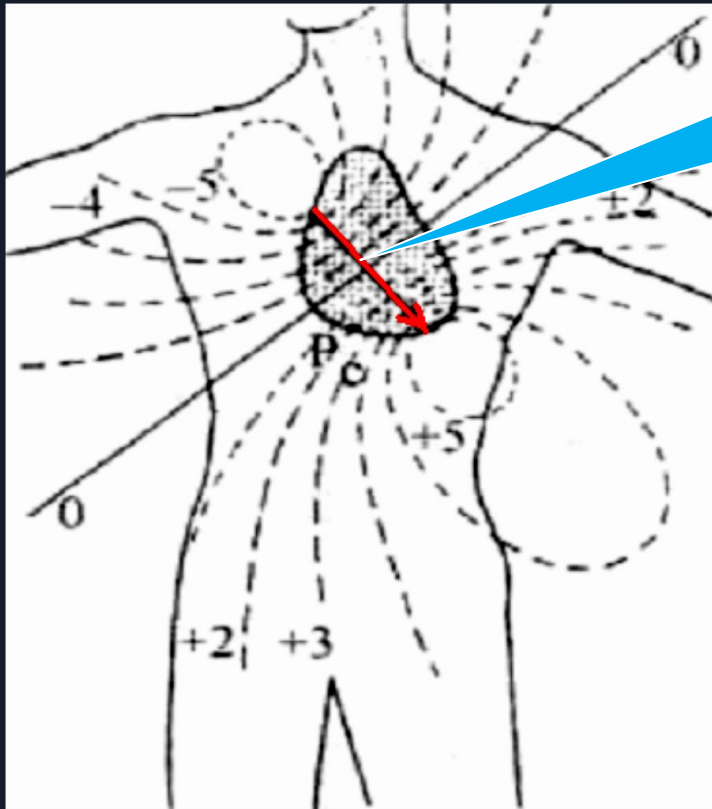
Три стандартных отведения



$$U_I : U_{II} : U_{III} = r_{cI} : r_{cII} : r_{cIII}$$

Отношение разности потенциалов в различных отведениях равно отношению проекций вектора дипольного момента на стороны треугольника.

Эквипотенциальные линии поля диполя сердца



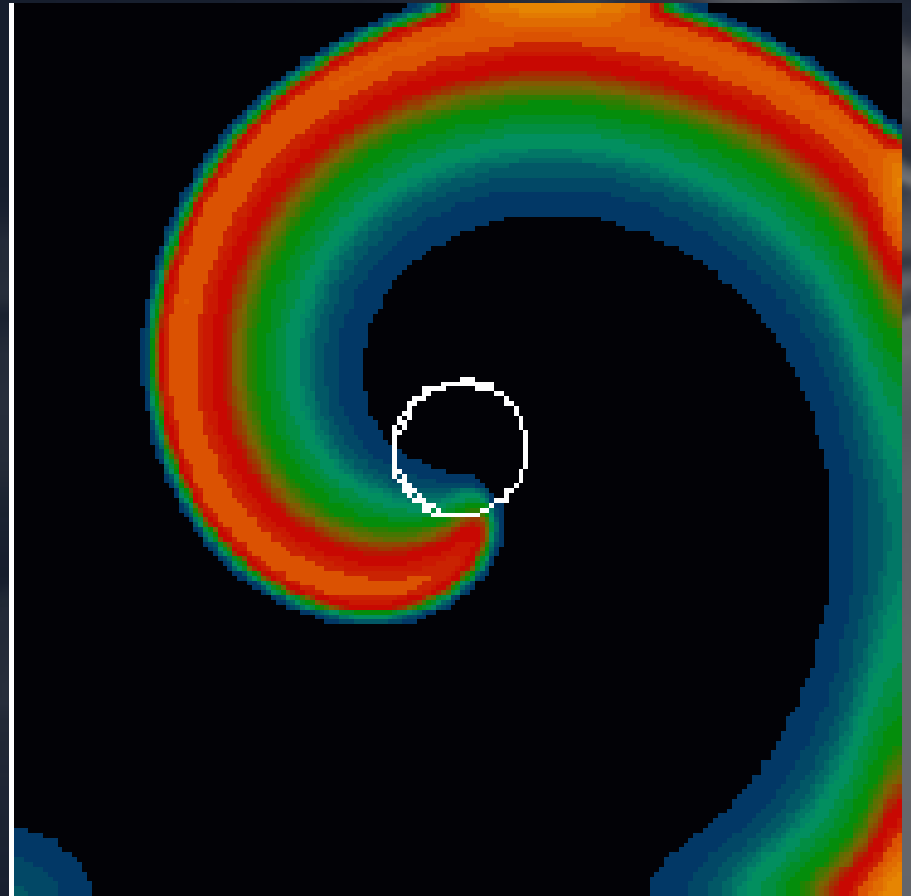
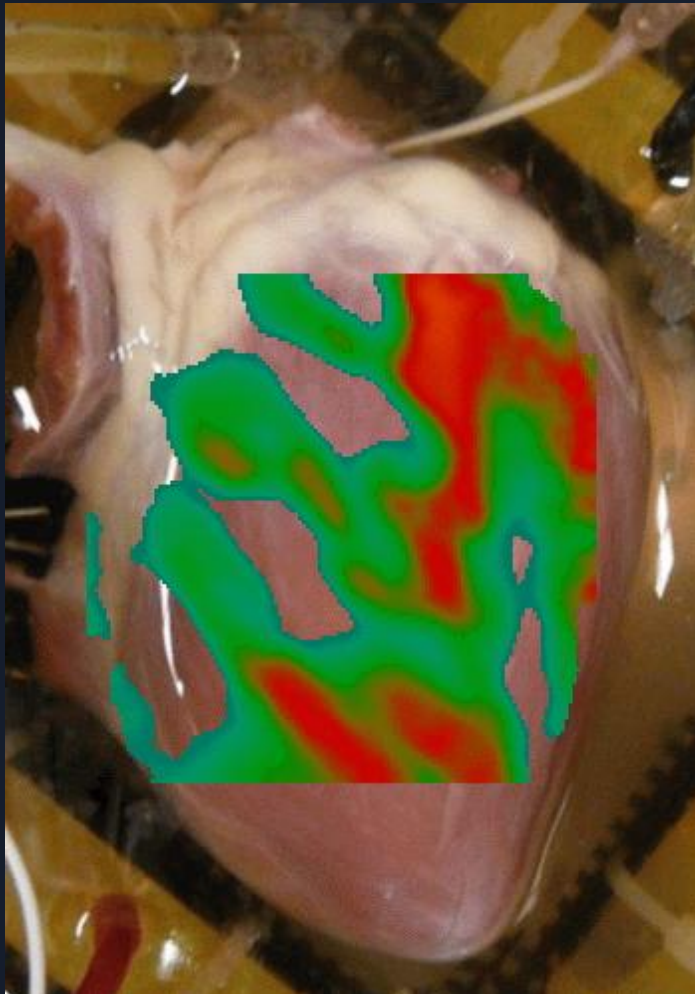
Электрическая ось
сердца

Положение вектора $\vec{P}_c$ в
момент времени, когда
дипольный момент
максимален.

Значения дипольного момента p_c

Объект	Масса сердца, г	Масса тела, кг	P_c, мА•см
Крыса	1,10	0,277	0,107
Собака	108	14,2	1,63
Человек	300	71,5	2,32

Визуализация электропотенциала миокарда



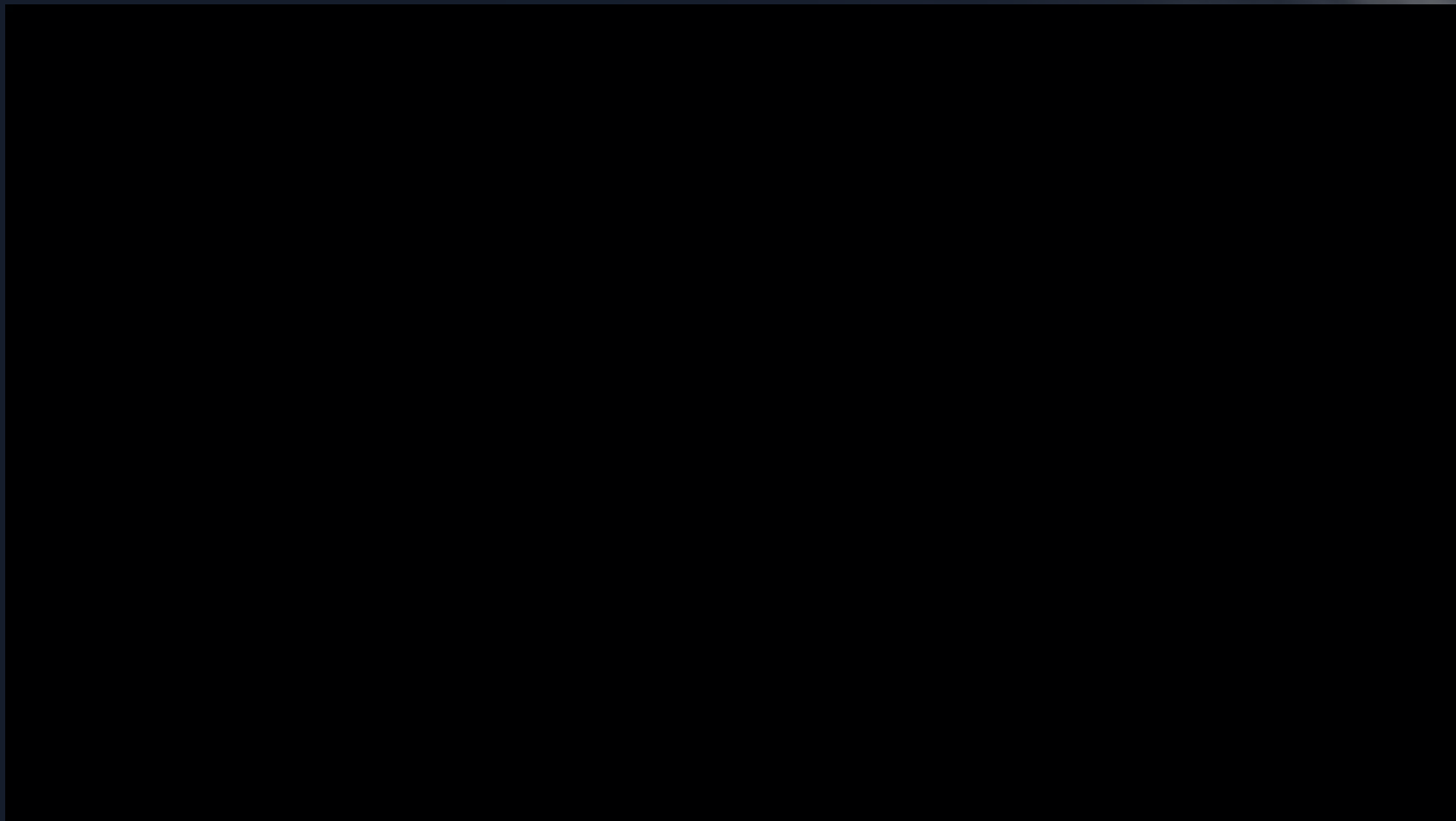
Модель Курамото

$$\frac{d\theta_i}{dt} = \omega_i + \frac{K}{N} \sum_{j=1}^N \sin(\theta_j - \theta_i), \quad i = 1 \dots N,$$

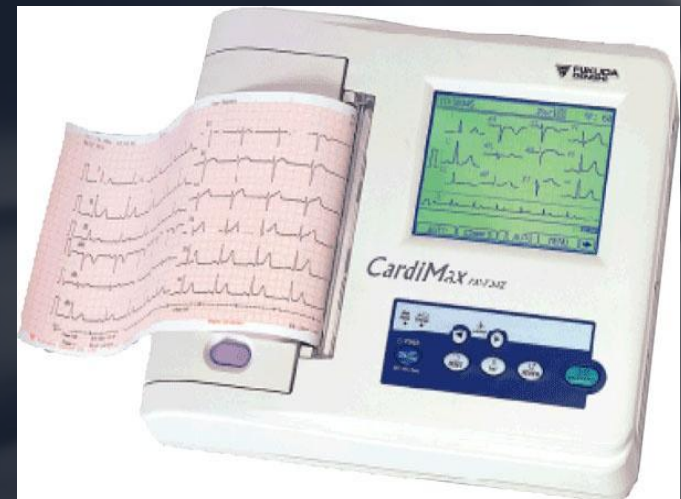
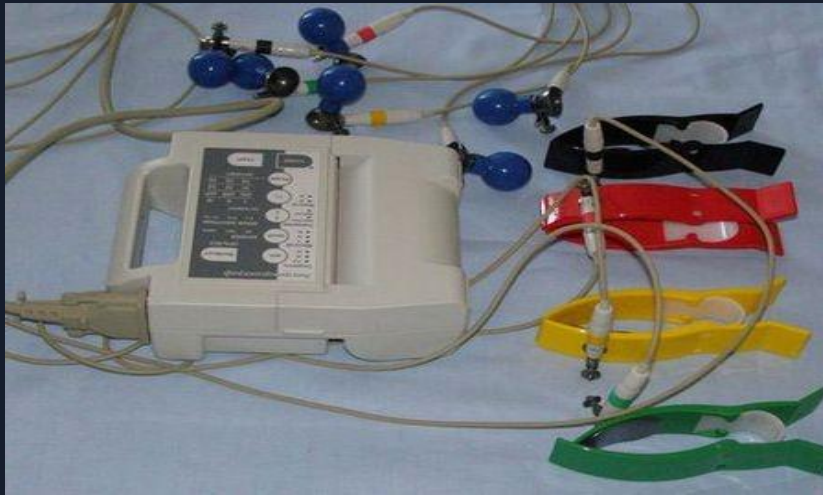


(蔵本 由紀 Kuramoto Yoshiki)

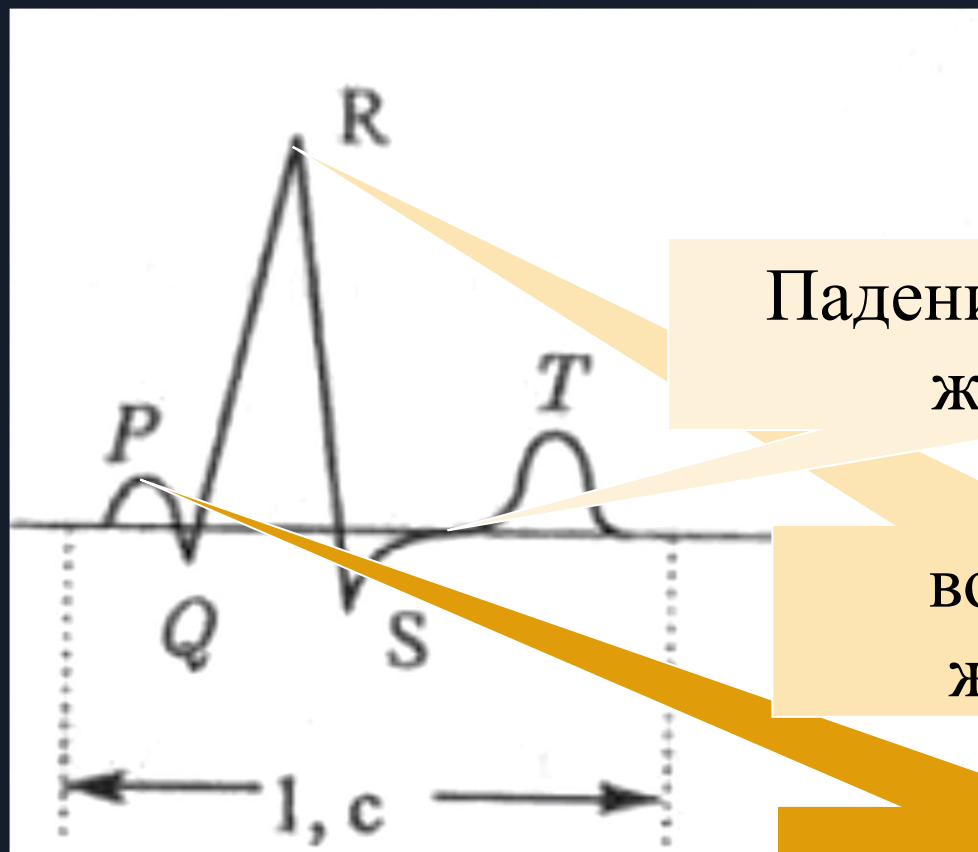
Синхронизация



Кардиографы



Электрокардиограмма здорового человека

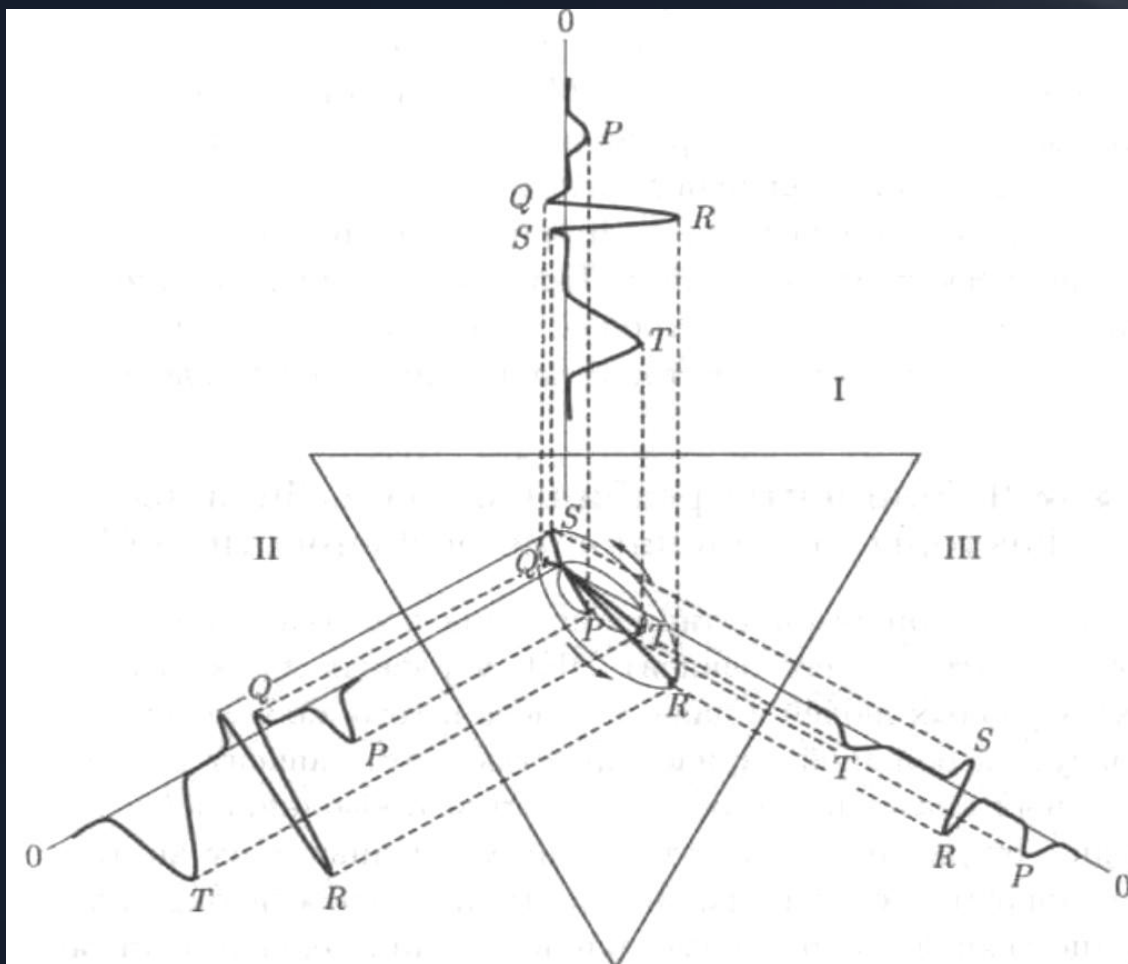


Падение возбуждения
желудочков

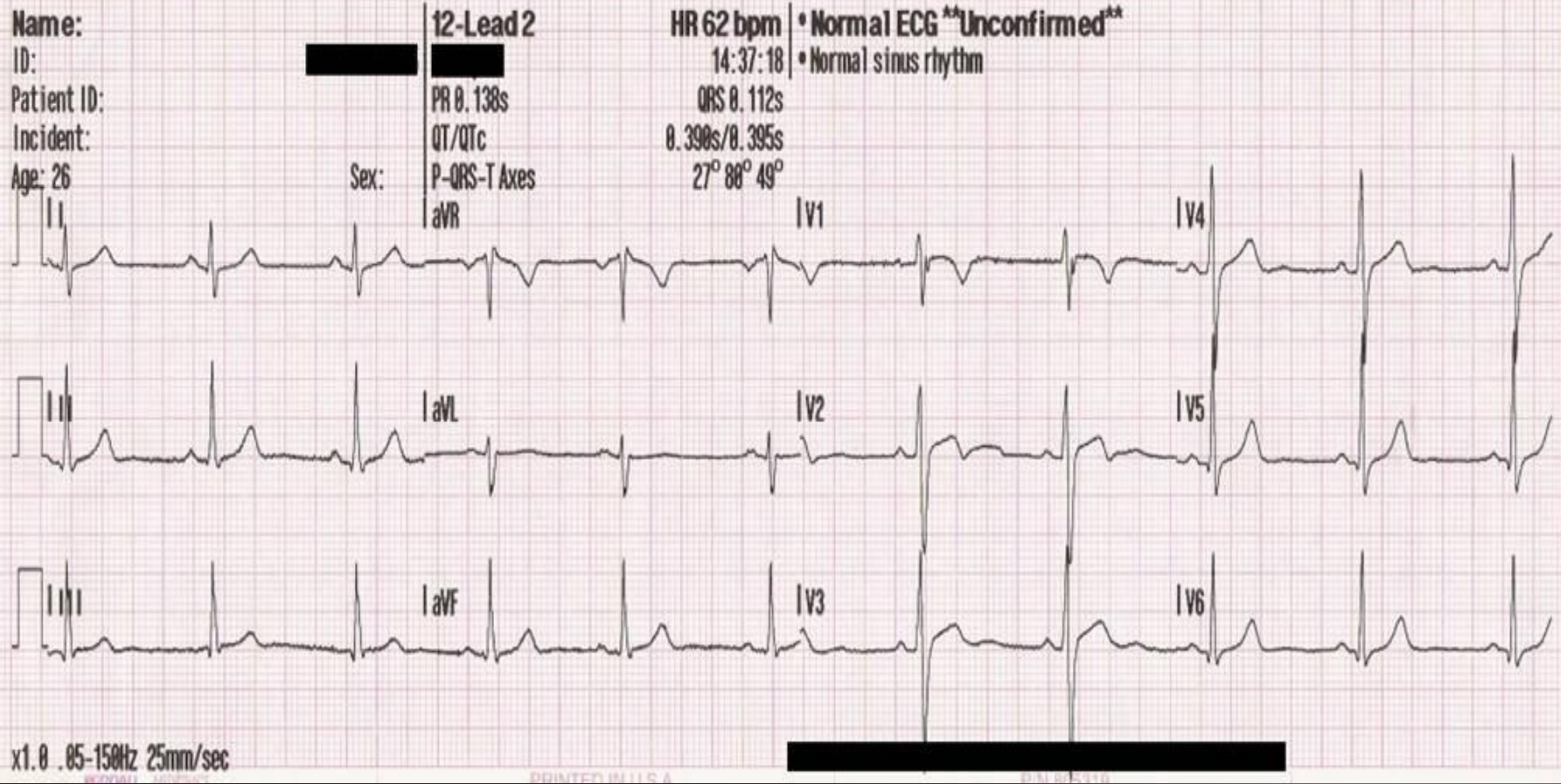
возбуждение
желудочков

возбуждение
предсердий

Нормальная ЭКГ в трех стандартны отведениях



Реальная электрокардиограмма



Факторы, определяющие особенности ЭКГ у отдельного человека:

- положение сердца в грудной клетке
- положение тела
- дыхание
- физические нагрузки

Направление электрической оси сердца

Если угол α имеет значение:

в пределах от 40° до 70° – положение электрической оси сердца считается нормальным

близкое к 0° – положение электрической оси сердца обозначается как горизонтальное, и ЭКГ характеризуется высокими амплитудами зубцов в I отведении;

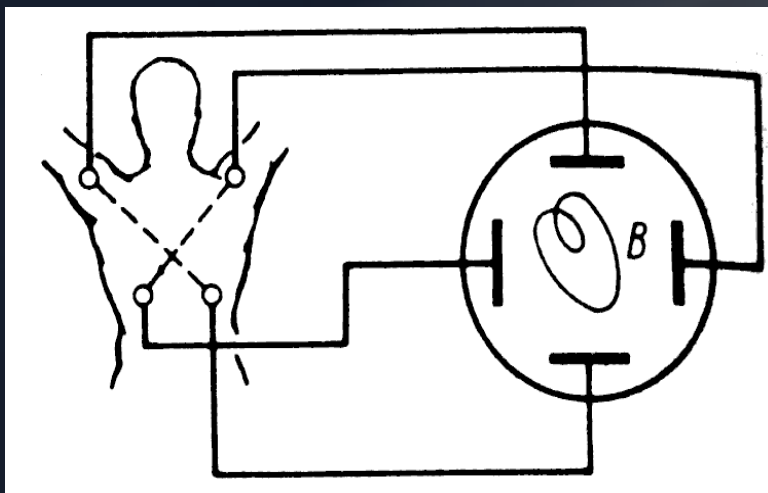
близкое к 90° – положение обозначается как вертикальное; зубцы ЭКГ будут наименьшими в I отведении.

Вектор-кардиография

Вектор-кардиография — метод пространственно-количественного исследования электрического поля сердца в процессе кардиоцикла.

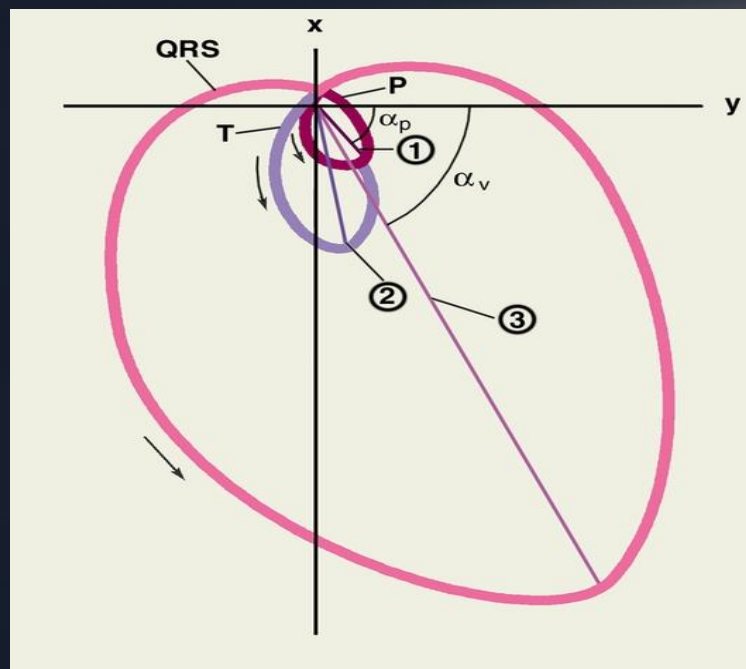
Методика получения:

Напряжение от двух взаимно перпендикулярных отведений подают на взаимно перпендикулярные пластины **осциллографа**. При этом на экране получают изображение, состоящее из двух петель — большой и малой.



Вектор-кардиограмма

— есть геометрическое место точек, соответствующих концу вектора $\mathbf{p}_c$, положение которого изменяется за время сердечного цикла.



Реография

Реография – метод исследования кровенаполнения органов, основанный на графической регистрации изменения полного электрического сопротивления тканей при изменении кровенаполнения этих тканей.

Полное электрическое сопротивление (импеданс) – есть сумма активного и реактивного (емкостного) сопротивлений.

$$Z = R + iX$$

Активным сопротивлением обладают тканевые жидкости и цитоплазма, а емкостное сопротивление живых тканей обусловлено поляризацией биомембран.

Физические основы реографии

Для получения **реограммы** через тело пациента пропускают переменный ток частотой 50-100 кГц, малой силы (не более 10 мкА), создаваемый специальным генератором.

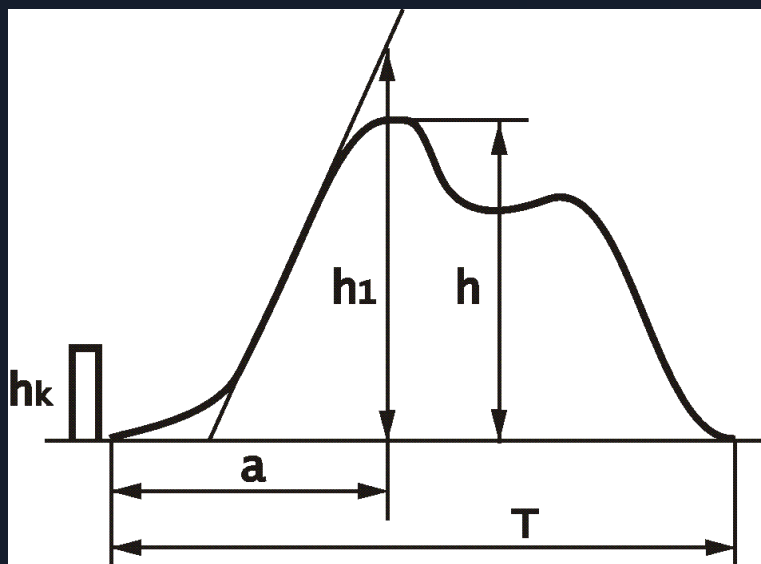
Метод основан на установленной А.А. Кедровым пропорциональной зависимости между изменениями импеданса ΔZ по отношению к его исходной величине Z и приростом объема ΔV по отношению к исходному объему V исследуемой части тела за счет ее кровенаполнения:

$$\frac{\Delta V}{V} = - \frac{\Delta Z}{Z}$$

Полное электрическое сопротивление тканей тем меньше, чем больше приток крови.

Физические основы реографии

Реограмма – кривая, отражающая пульсовые колебания электрического сопротивления.



h – амплитуда реограммы
 h_1 – амплитуда для расчета ударного объема крови
 a – длительность восходящей части реограммы
 T – период реограммы
 h_k – высота калибровочного импульса

При увеличении кровенаполнения имеет место возрастание амплитуды кривой и наоборот, т.е. динамика импеданса регистрируется в обратной полярности.

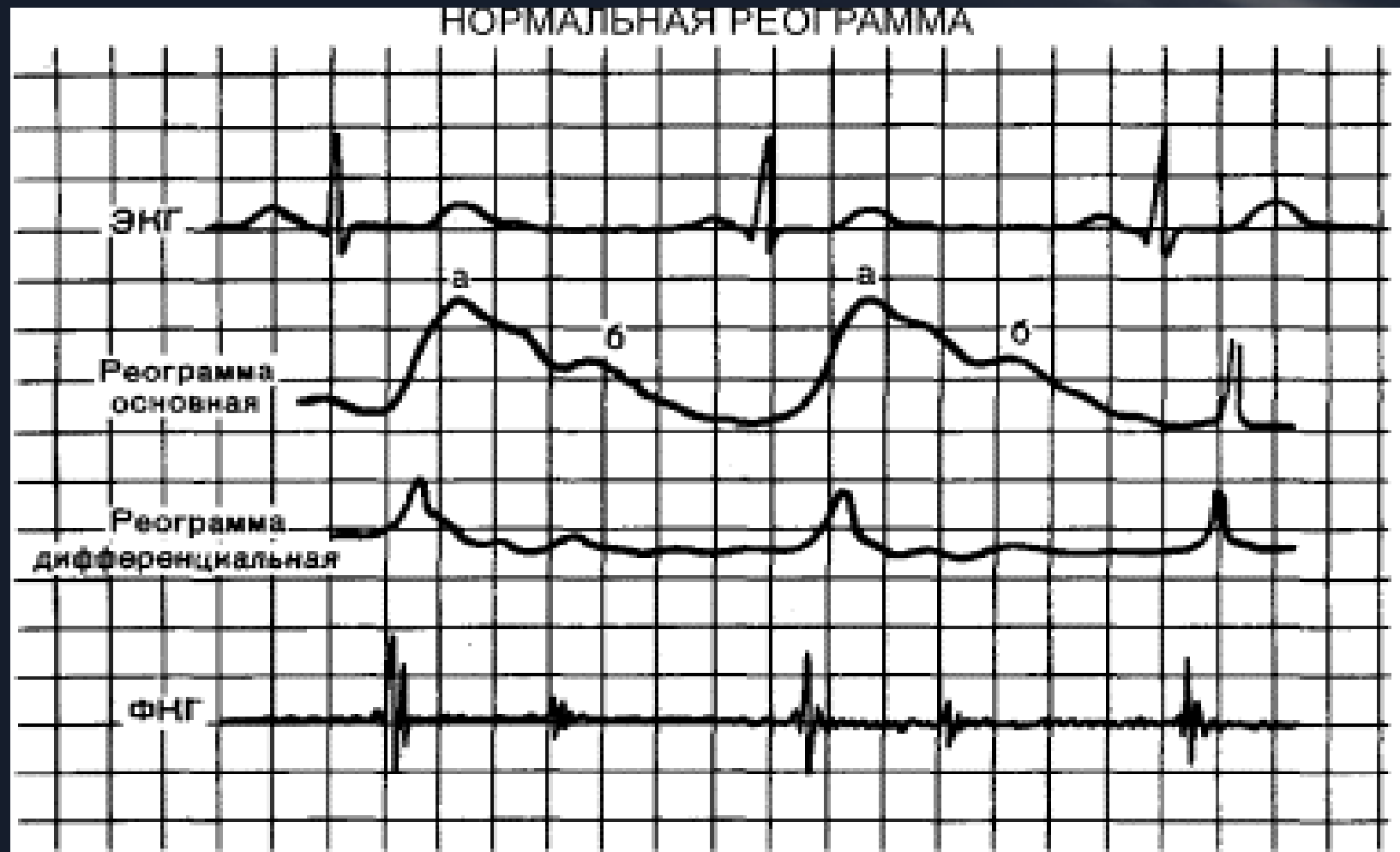
Показатели реограммы:

- **реографический индекс (РИ)** – отношение амплитуды реограммы h к величине стандартного калибровочного импульса h_k .

РИ характеризует величину пульсового кровенаполнения.

- **время восходящей части волны a** – характеризует полное раскрытие сосуда.
- **период реограммы T** – длительность сердечного цикла

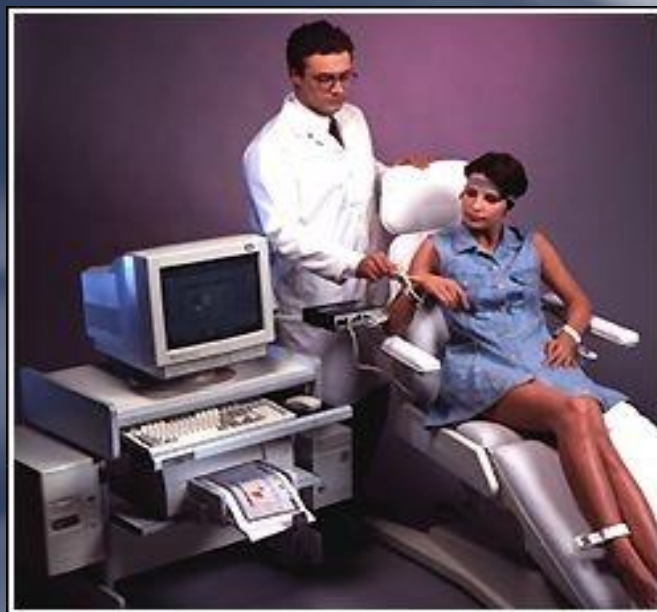
Вид стандартной реограммы



Виды реографии:

- **Реоэнцефалография (РЭГ)** – исследование кровенаполнения сосудов головного мозга.
- **Реовазография** – исследование заболеваний периферических сосудов, сопровождающихся изменениями их тонуса, эластичности, сужением или полной закупоркой артерий.
- **Реогепатография** – исследование кровотока печени. Позволяет судить о процессах, происходящих в сосудистой системе печени: кровенаполнении, очагах поражения, особенно при остром и хроническом гепатите и циррозе.
- **Реомиография** – исследование кровенаполнения работающих мышц.

Реографы



Электроды для реографии



РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Обязательная:

Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика: учебник. -М.: Дрофа, 2007.-

Дополнительная:

Федорова В.Н. Краткий курс медицинской и биологической физики с элементами реабилитологии: учебное пособие. -М.: Физматлит, 2005.-

Электронные ресурсы:

ЭБС КрасГМУ

Ресурсы интернет

Электронная медицинская библиотека. Т.4. Физика и биофизика.- М.: Русский врач, 2004.

Контрольные вопросы

1. Какой орган человека создает наибольший электрический потенциал?
2. Как изменится амплитуда реограммы при охлаждении органа?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА:

Обязательная:

1. Курс общей физики. В 4 томах. Том 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика: Савельев И.В., М.: КноРус, 2012
2. Медицинская и биологическая физика: учебник., Ремизов А.Н. [и др.], М.: Дрофа, 2010
3. Курс физики : учебное пособие Трофимова, Т. И., М.: Академия, 2010

Дополнительная:

1. Краткий курс медицинской и биологической физики с элементами реабилитологии. Лекции и семинары: учебное пособие. Федорова В.Н., Степанова Л.А. М.: Физмат-лит, 2005
2. Руководство к лабораторным работам по медицинской и биологической физике для самостоятельной работы студентов Барцева О.Д. [и др.] Красноярск: Литера-принт, 2009