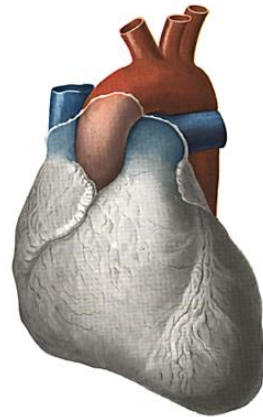


Кафедра медицинской и биологической физики

**Тема: Процессы, происходящие в тканях под
действием электрических токов и
электромагнитных полей.**

Физические основы электрографии

лекция № 7



для студентов 1 курса, обучающихся по
специальности 31.05.01 – Лечебное дело

к.п.н., доцент Шилина Н.Г.

Красноярск, 2018

Цель лекции:

Ознакомить обучающихся с

1. процессами, происходящими в тканях под действием электрических токов и электромагнитных полей высокой и низкой частоты.
2. основами электрографии на конкретных методиках (реография, кардиография)

План лекции:

1. Процессы, происходящие в тканях под действием электрических токов и электромагнитных полей.
2. Полное сопротивление (импеданс). Основы реографии
3. Электрический диполь. Электрическое поле. Токовый диполь. Модель Эйнтховена.
4. Основы кардиографии.

Шкала электромагнитных излучений.

Классификация частотных интервалов, принятая в медицине

Низкие (НЧ)	До 20 Гц
Звуковые (ЗЧ)	20 Гц – 30 кГц
Ультразвуковые и надтональные (УЗЧ)	20 кГц – 200 кГц
Высокие (ВЧ)	200 кГц – 30 МГц
Ультравысокие (УВЧ)	30 – 300 МГц
Сверхвысокие (СВЧ)	Свыше 300 МГц



Действие переменного и импульсного токов НЧ, УЗЧ

Действие, которое оказывают на организм переменный или импульсный ток, зависит от **частоты, максимальной силы тока и формы его импульсов.**

Как и постоянный ток, оказывает **раздражающее** действие.

Порог ощутимого тока

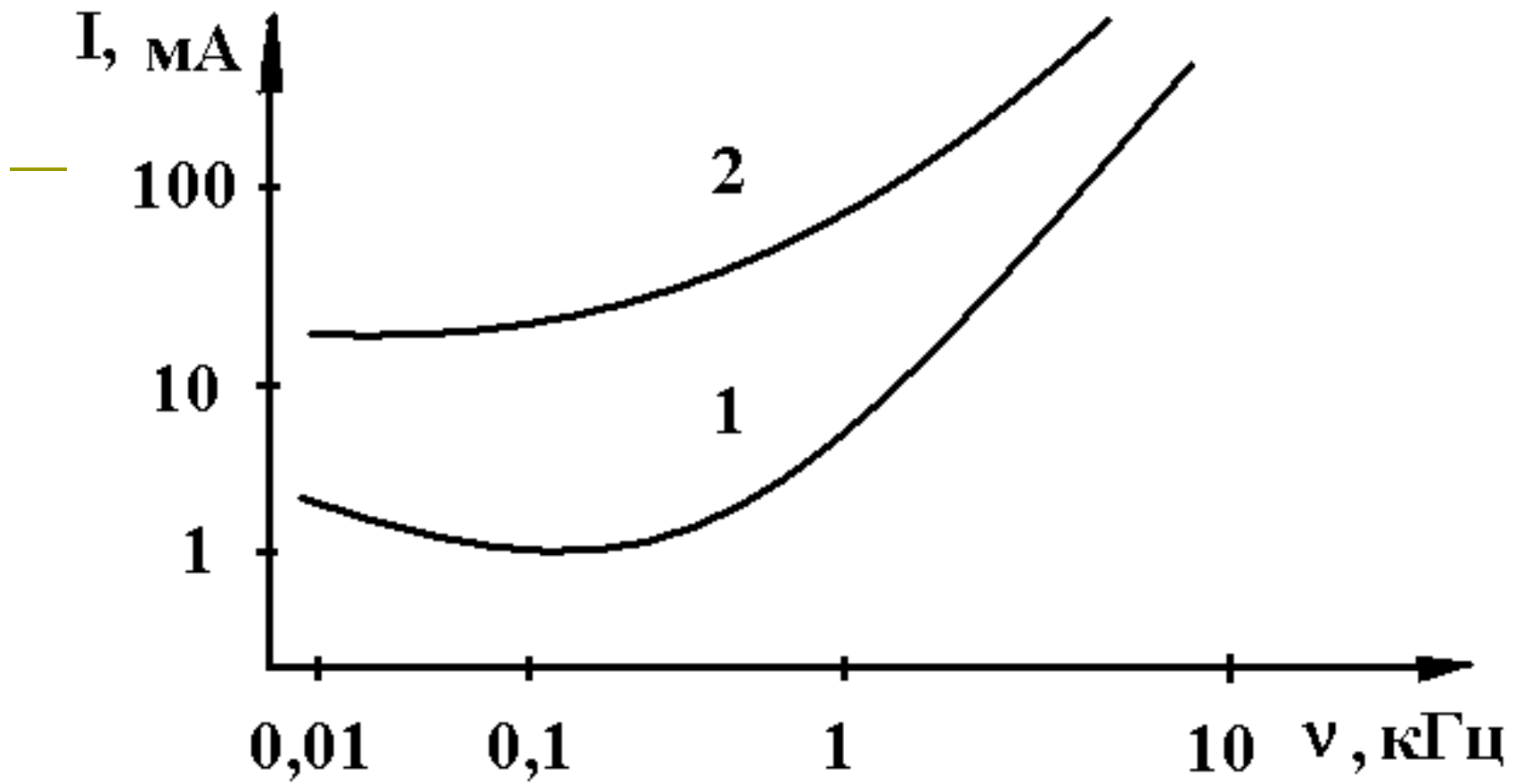
минимальная сила тока,
раздражающее действие
которого ощущает человек.

У мужчин для участка «предплечье-
кисть» на частоте 50 Гц эта величина
составляет приблизительно 1 мА. У
детей и женщин пороговые значения
обычно меньше.

Порог неотпускающего тока

минимальная сила тока, вызывающая такое сгибание сустава, при котором человек не может самостоятельно освободиться от проводника.

Для мужчин эта величина составляет 10-15 мА. Превышение порога губительно для человека (паралич дыхательных мышц, фибрилляция сердца).



Зависимость среднего значения порога ощутимого тока (1) и порога неотпускающего тока (2) от частоты

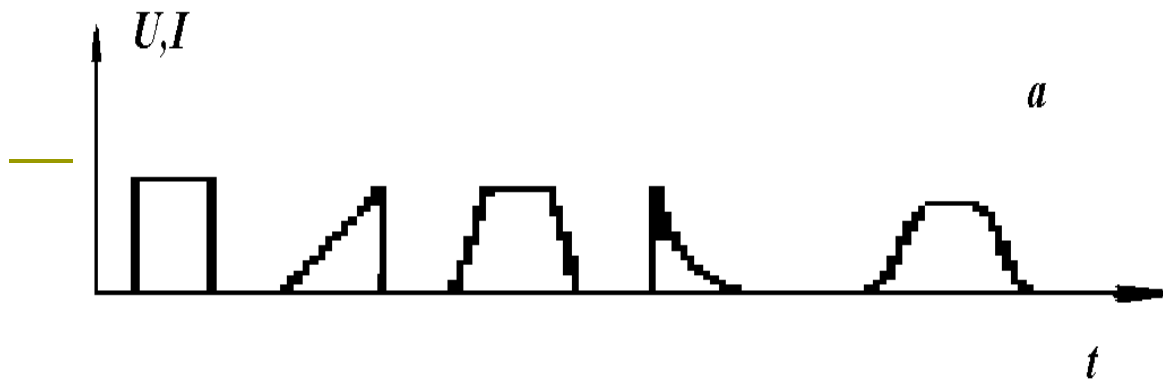
Электрический импульс

кратковременное изменение электрического напряжения или силы тока на фоне некоторого постоянного значения.

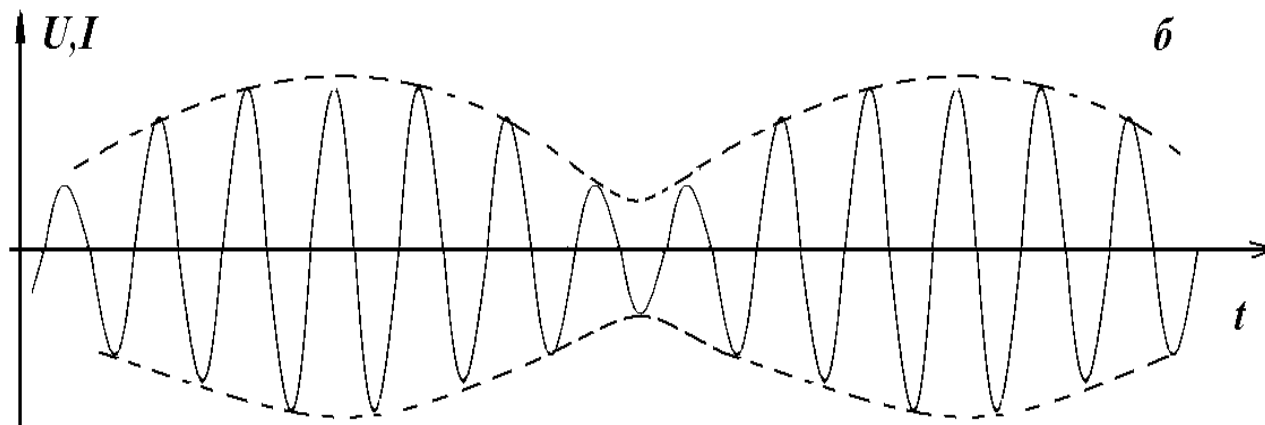
Выделяют две группы импульсов:

Видеоимпульсы — электрические импульсы постоянного тока или напряжения.

Радиоимпульсы — модулированные электромагнитные колебания.



Видеоимпульсы



Радиоимпульс

Импульсный ток

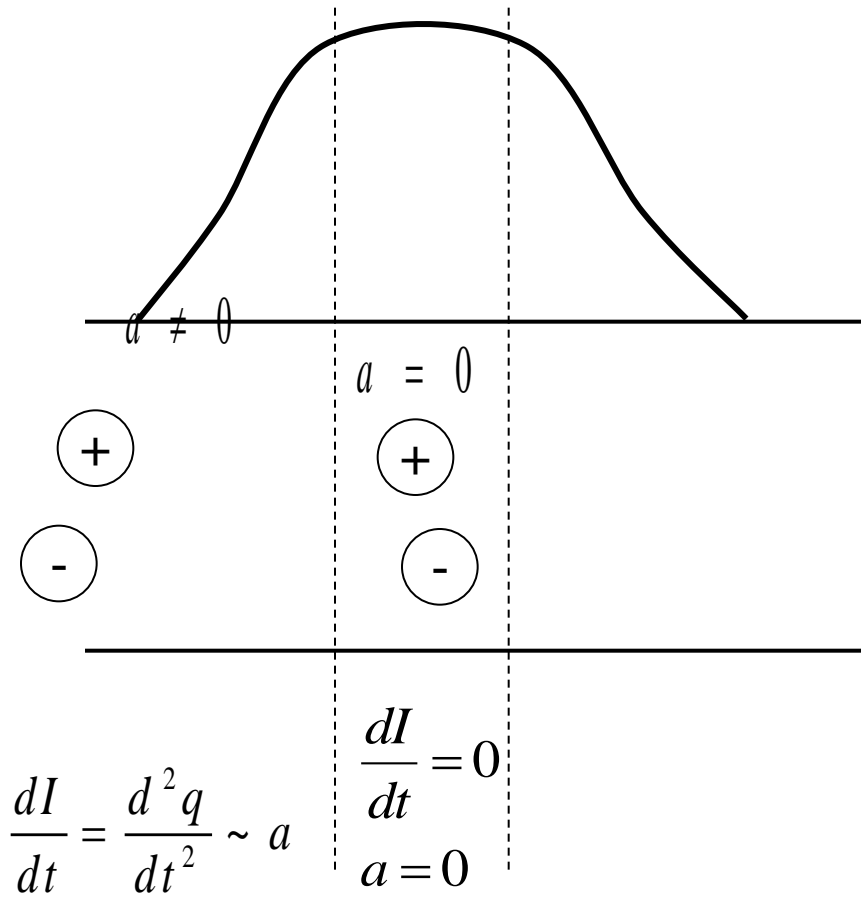
повторяющиеся импульсы

При использовании импульсного тока ***раздражающее действие*** зависит от **формы, амплитуды и длительности импульсов.**

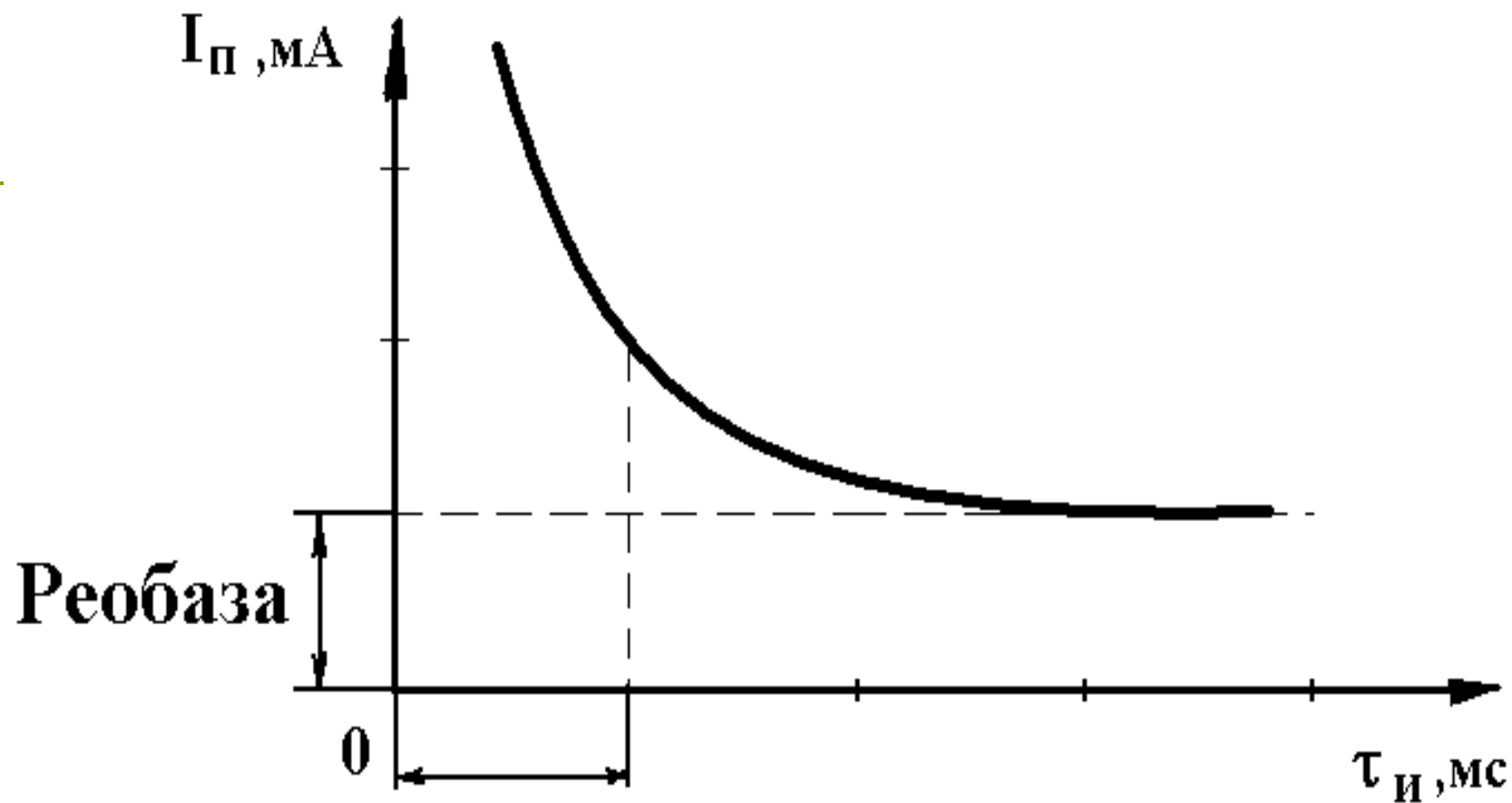
Крутизна фронта импульса и порог ощутимого тока

При увеличении крутизны фронта уменьшается пороговая сила тока, который вызывает раздражение. Наибольшей крутизной переднего фронта обладают **прямоугольные импульсы**, поэтому пороговая сила тока, который вызывает раздражение, для них минимальна.

Биофизическое действие НИЗКОЧАСТОТНЫХ ТОКОВ И ПОЛЕЙ



Раздражающее действие тока обусловлено ускорением при перемещении ионов тканевых электролитов



Хронаксия

Зависимость порогового тока $I_{п}$ от длительности импульса $\tau_{и}$

Диадинамический ток

$$t_u = 0.02c$$

$$\nu = 50\Gamma\text{ц}$$

$$t_u = 0.01c$$

$$\nu = 100\Gamma\text{ц}$$

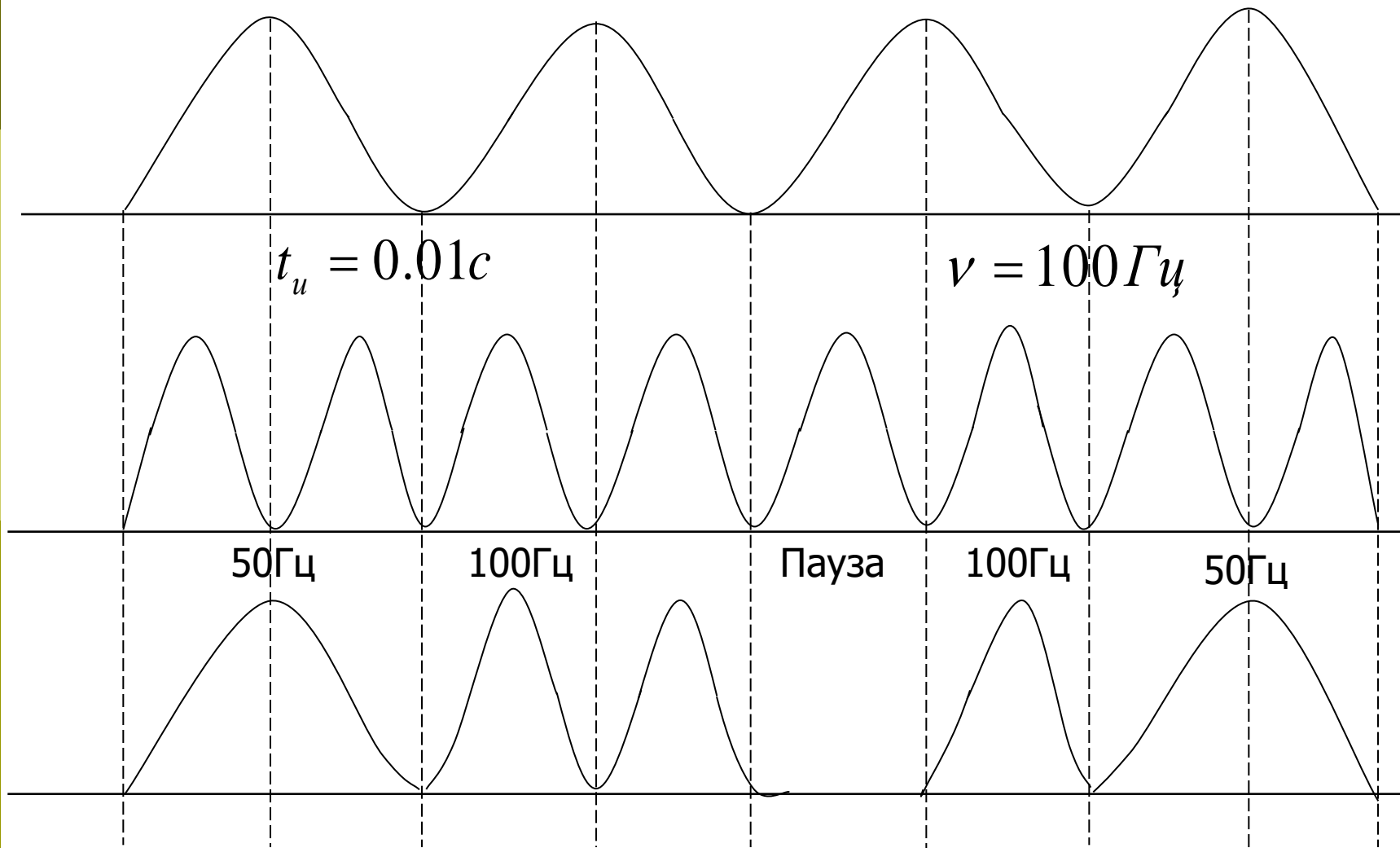
50Гц

100Гц

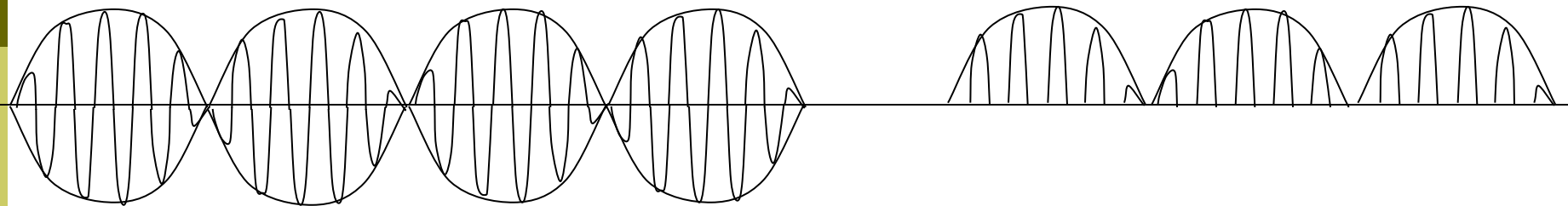
Пауза

100Гц

50Гц



Синусоидально- модулированный ток

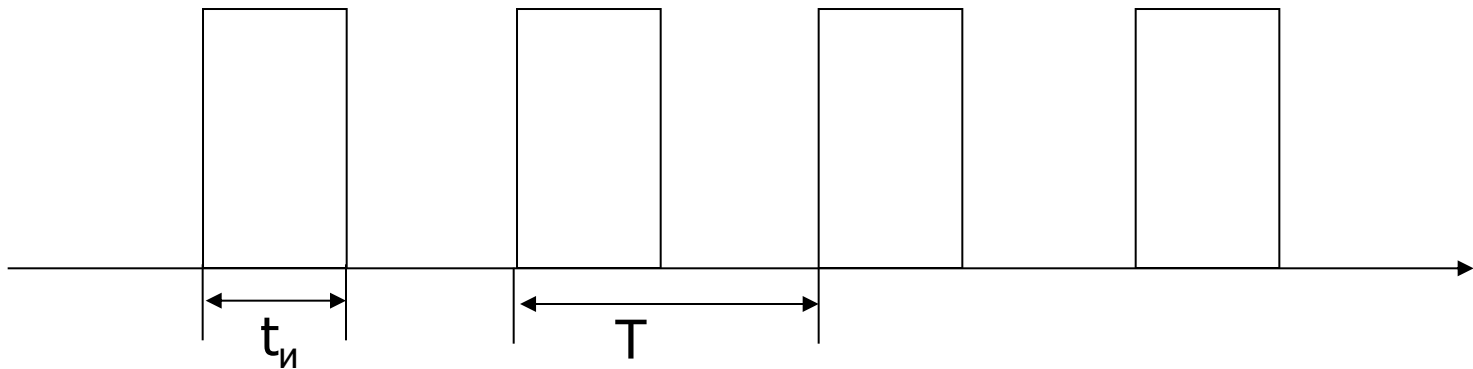


Модуляция 10-150 Гц

2~5 кГц

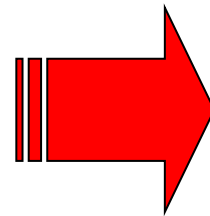


Применение прямоугольных импульсов



$$t_u = 0.1 \div 1 \text{ мс}$$

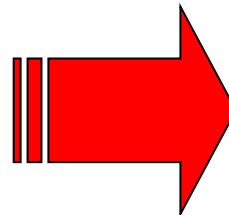
$$\nu = 5 \div 150 \text{ Гц}$$



Лечение электросном

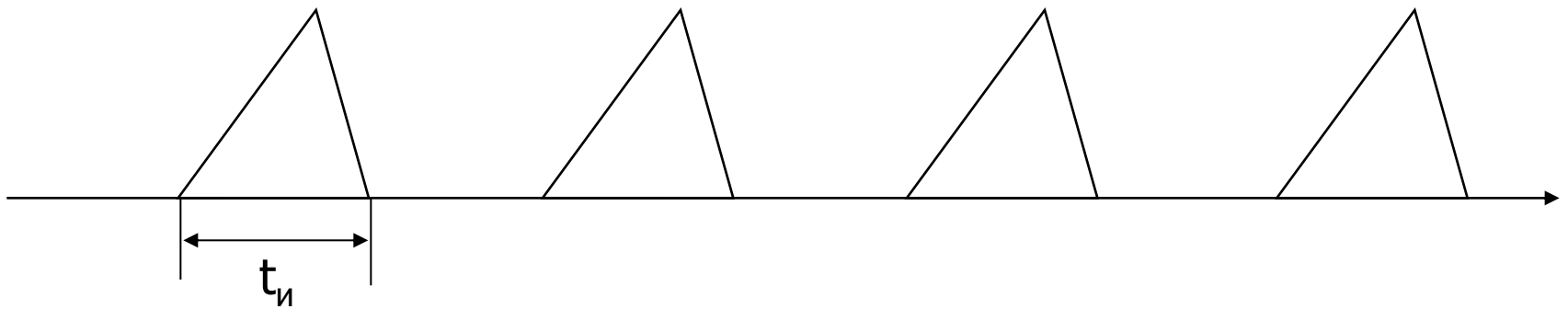
$$t_u = 0.8 \div 3 \text{ мс}$$

$$\nu = 1 \div 1.2 \text{ Гц}$$



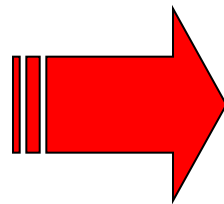
Кардиостимулятор

Применение пилообразного импульсного тока



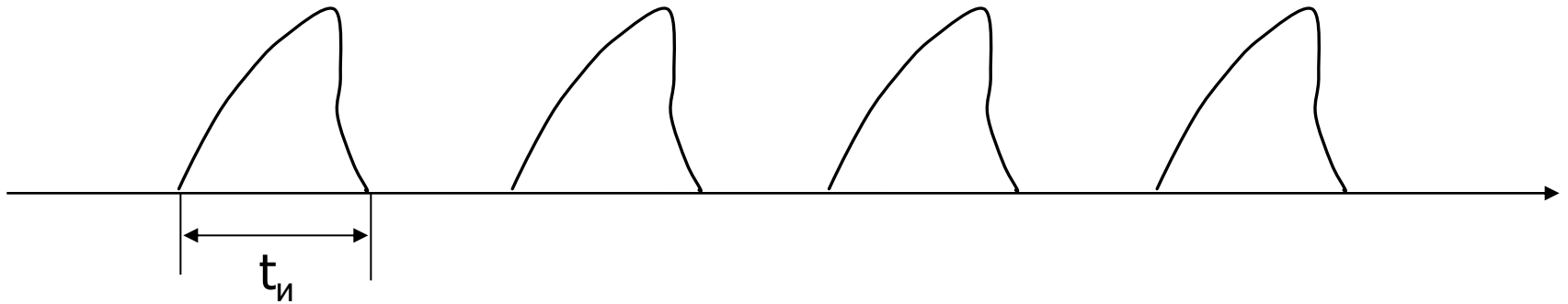
$$t_u = 1 \div 1.5 \text{ мс}$$

$$\nu = 100 \text{ Гц}$$



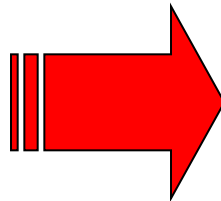
Возбуждение и стимуляция
здоровых мышц

Применение экспоненциальных ИМПУЛЬСОВ



$$t_u = 3 \div 60 \text{ мс}$$

$$\nu = 8 \div 80 \text{ Гц}$$



Возбуждение и стимуляция
больных мышц

Электросонтерапия

метод лечебного воздействия на структуры головного мозга.

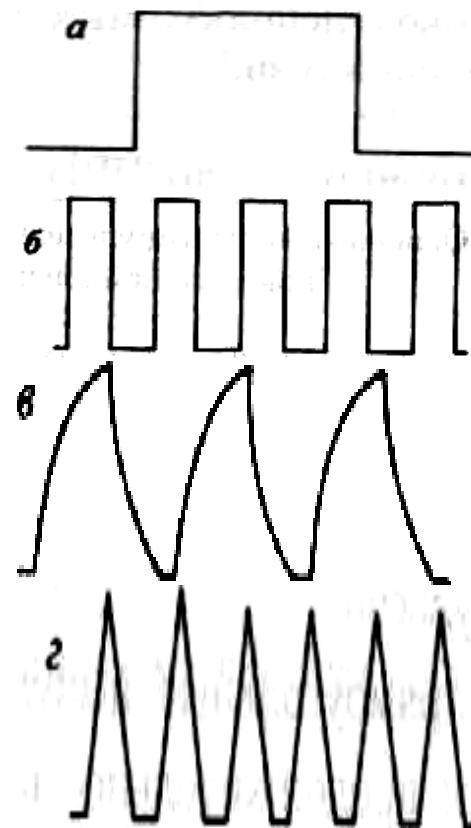
Используют прямоугольные импульсы с частотой 5-160 имп/с и

длительностью 0,2-0,5 мс.

Сила импульсного тока составляет 1-8 мА.

Электростимуляция

метод лечебного применения импульсных токов для восстановления деятельности органов и тканей, утративших нормальную функцию.



Медицинские методики, использующие НЧ токи и поля

- Гальванизация
- Лечебный электрофорез
- Лечение диадинамическими токами
- Электростимуляция
- Электросонотерапия
- Электронаркоз
- Электрохирургия



Амплипульс



Электросон



Действие высокочастотного (ВЧ) тока

Основным первичным эффектом для ВЧ тока является *тепловое воздействие*.

При частотах **более 500 кГц** смещение ионов, вызванное переменным током, становится соизмеримым с их смещением в результате **молекулярно-теплого движения**, поэтому ток или электромагнитная волна не вызывает раздражающего действия.

Тепловая мощность q

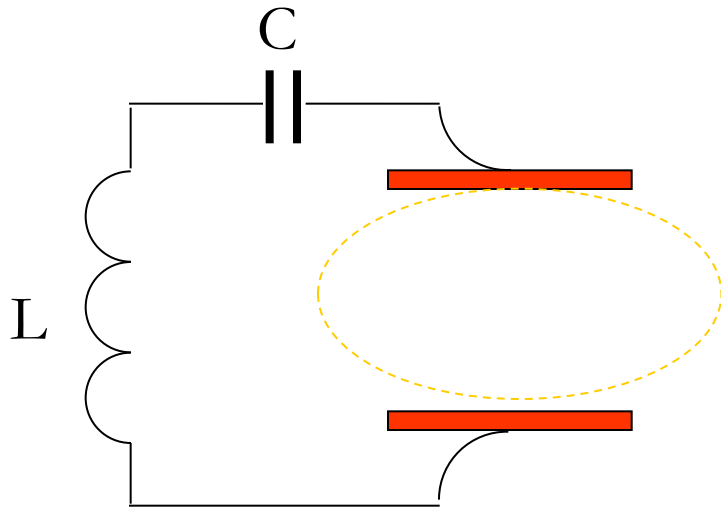
выделяющаяся в единице объема ткани при протекании тока, пропорциональна квадрату плотности тока \mathbf{j} , умноженному на удельное электросопротивление ткани ρ .

$$q = j^2 \rho, \quad \text{Т.К.}$$

$$P = I^2 R, \quad R = \rho \frac{L}{S}, \quad I = jS \Rightarrow P = j^2 \rho L S$$

Действие ВЧ тока

Диатермия



Частота 1 – 2 МГц

Напряжение 100 – 150 В

Сила тока 1 – 1,5 А

$$Q = KI^2 \rho$$

Диатермия (сквозное прогревание)

получение теплового эффекта в глуболежащих тканях.

При диатермии применяют ток частотой $\nu=1-2$ МГц, напряжением 100-150 В,
сила тока $I = 1-1,5$ А.

Диатермокоагуляция

**прижигание, «сваривание»
ткани.**

Плотность тока 6 -10 мА/мм², в результате чего температура ткани повышается и ткань коагулирует.

Диатермотомия

рассечение тканей при помощи электрода в форме лезвия.

Плотность тока – 40 мА/мм^2 .

Медицинские методики, использующие ВЧ токи и поля

- Диатермия
- Диатермокоагуляция
- Индуктотермия
- УВЧ – терапия
- СВЧ - терапия

Диатермия (сквозное прогревание)

получение теплового эффекта в глубоколежащих тканях.

При диатермии применяют ток частотой $\nu=1-2$ МГц, напряжением 100-150 В,
сила тока $I = 1-1,5$ А.

при диатермии

Лучше нагреваются **кожа, жир, кости, мышцы** (т. к. у них наибольшее ρ).
Меньше нагреваются органы, богатые кровью или лимфой: легкие, печень.

Недостаток диатермии —
непродуктивное выделение теплоты в слое кожи и подкожной клетчатке.

Диатермокоагуляция

**прижигание, «сваривание»
ткани.**

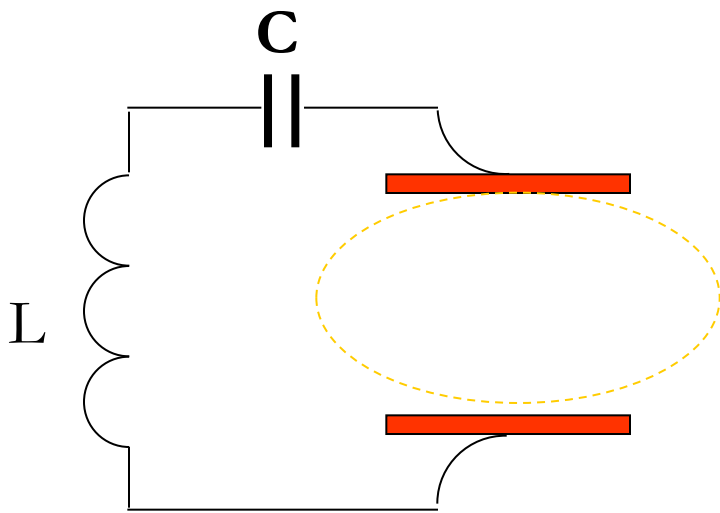
Плотность тока 6 -10 мА/мм², в результате чего температура ткани повышается и ткань коагулирует.

Диатермотомия

**рассечение тканей при
помощи электрода в форме
лезвия.**

Плотность тока – 40 мА/мм^2 .

Местная дарсонвализация



Лечебный эффект –
раздражение нервных
рецепторов кожи

Общая дарсонвализация

Добавляется ВЧ магнитное поля

Местная дарсонвализация

лечебное воздействие на отдельные участки тела больного слабым импульсным переменным током высокого напряжения.

Частота тока $\nu=100-400$ кГц,

сила $I = 10-15$ мА

напряжение — 10 – 30 кВ.

Часто формируется ***искровой разряд.***

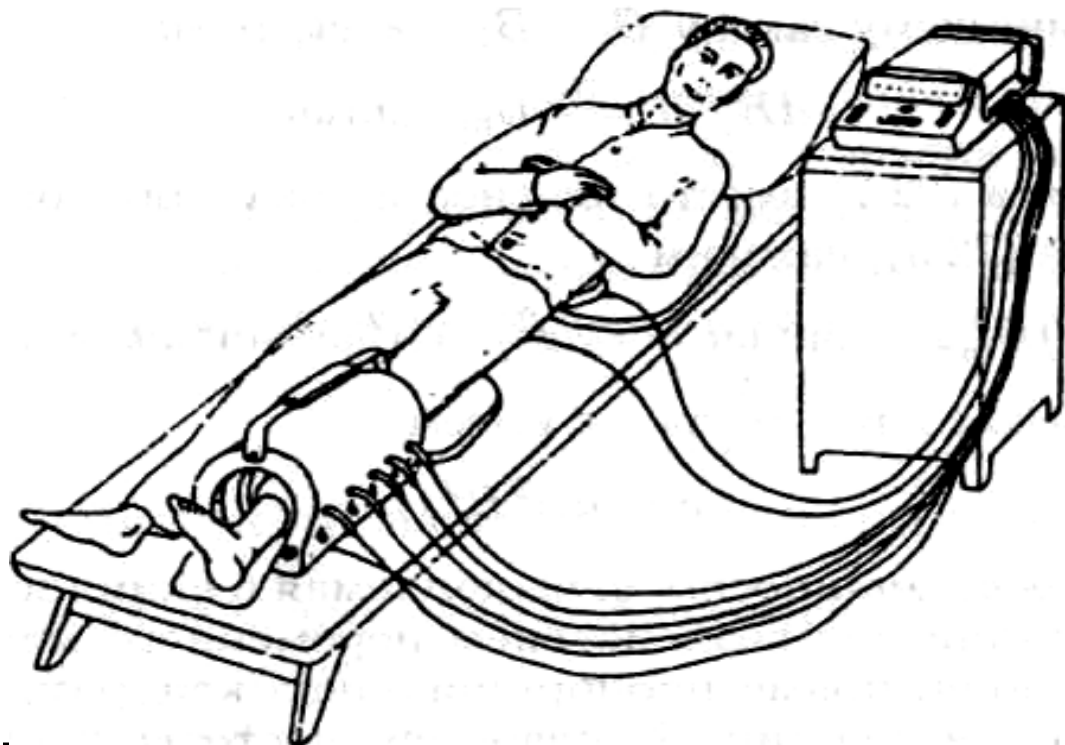
Импульсная магнитотерапия

лечебное применение импульсов магнитного поля низкой частоты.

Используются импульсные магнитные поля с частотами **0,125-1000 имп/с**, магнитная индукция которых не превышает **100 мТл**.

Действующим фактором в данном методе являются **вихревые электрические поля**, индуцируемые в тканях импульсным магнитным полем высокой амплитуды.

Импульсная магнитотерапия



Расположение индуктора при
низкочастотной магнитотерапии нижней
конечности

ВЧ магнитотерапия (индуктотермия)

лечебное применение магнитной составляющей электромагнитного поля высокой частоты (10-15 МГц).

Больше теплоты выделяется в тканях с меньшим удельным сопротивлением. Поэтому сильнее нагреваются ткани, богатые сосудами, например мышцы. В меньшей степени нагреваются такие ткани, как жир.

Тепловая мощность переменного магнитного поля

выделяемая в единице объема
ткани под воздействием
**переменного магнитного
поля**, прямо пропорциональна
квадрату магнитной индукции **B**,
квадрату частоты и обратно
пропорциональна удельному
электросопротивлению ткани ρ .

$$q = k \omega^2 B^2 / \rho$$

Ультравысокочастотная (УВЧ) терапия

**лечебное использование
электрической
составляющей переменного
электромагнитного поля
ультравысокой частоты
(40 - 50 МГц).**

В России в аппаратах УВЧ
используется частота **40,58**
МГц, длина волны – **7,37 м** .

Тепловая мощность при УВЧ терапии

выделяемая в единице объема **проводника**, прямо пропорциональна квадрату напряженности E электрического поля и обратно пропорциональна удельному электросопротивлению ρ .

$$q = E^2 / \rho$$

Тепловая мощность при УВЧ терапии

выделяемая в единице объема **диэлектрика**, прямо пропорциональна относительной диэлектрической проницаемости ϵ , круговой частоте ω , квадрату напряженности электрического поля E и тангенсу угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$.

$$q = \epsilon_0 \epsilon \omega E^2 \text{tg } \delta$$

Сверхвысокочастотная (СВЧ) терапия

**лечебное использование
электромагнитных волн
сантиметрового диапазона (частота
— 2375 МГц, длина волны — 12,6 см)
и дециметрового диапазона (частота
— 460 МГц, длина волны — 65,2 см).**

Под действием таких волн в тканях
организма возникают ориентационные
колебания дипольных **молекул
связанной воды.**

Тепловая мощность при СВЧ терапии

выделяемая в единице объема ткани, прямо пропорциональна относительной диэлектрической проницаемости ткани ϵ , квадрату частоты ν и квадрату интенсивности электромагнитной волны I .

$$q = k \epsilon \nu^2 I^2$$

СВЧ терапия

Максимальное поглощение энергии СВЧ-волн, а следовательно и большее выделение тепла, происходит в органах и тканях, богатых водой (**кровь, лимфа, мышечная ткань, паренхиматозные органы**). В костной и жировой ткани воды меньше, они нагреваются хуже.



Аппарат УВЧ-терапии



Аппарат ФИЗИОТЕРМ
(УВЧ-терапия, индуктотермия)



Аппарат Дарсонваль



Аппарат КВЧ-терапии



Аппарат радиальной
ударно-волновой терапии

Электростатическое поле

Электростатическое поле – особый вид материи, создаваемый неподвижными электрическими зарядами и оказывающий силовое действие на электрические заряды.

Величины, характеризующие электростатическое поле:

1. *Напряженность* \vec{E} – силовая характеристика поля.

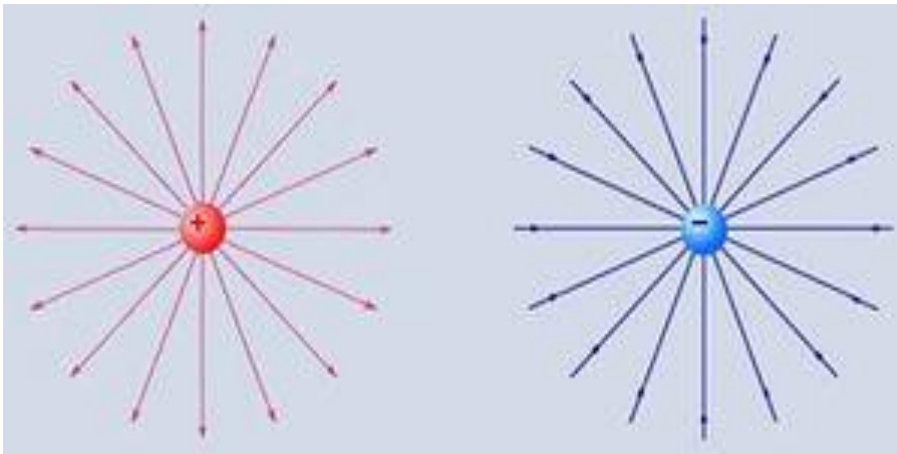
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}, \left[\frac{B}{m} \right]$$

2. *Потенциал* φ – энергетическая характеристика поля.

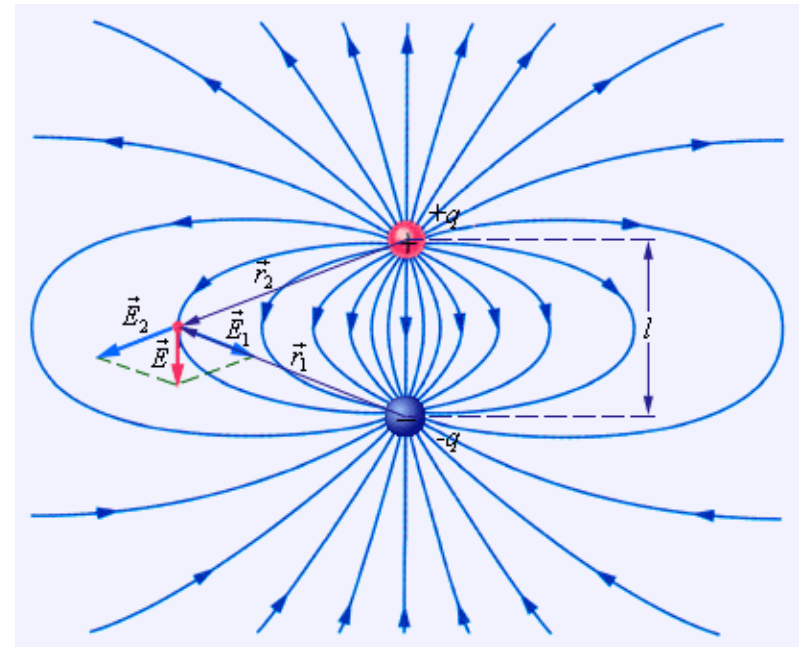
$$\varphi = \frac{W}{q}, [B]$$

Силловые линии электрического поля

Силловые линии – линии, в каждой точке которых вектор напряженности направлен по касательной к ним.



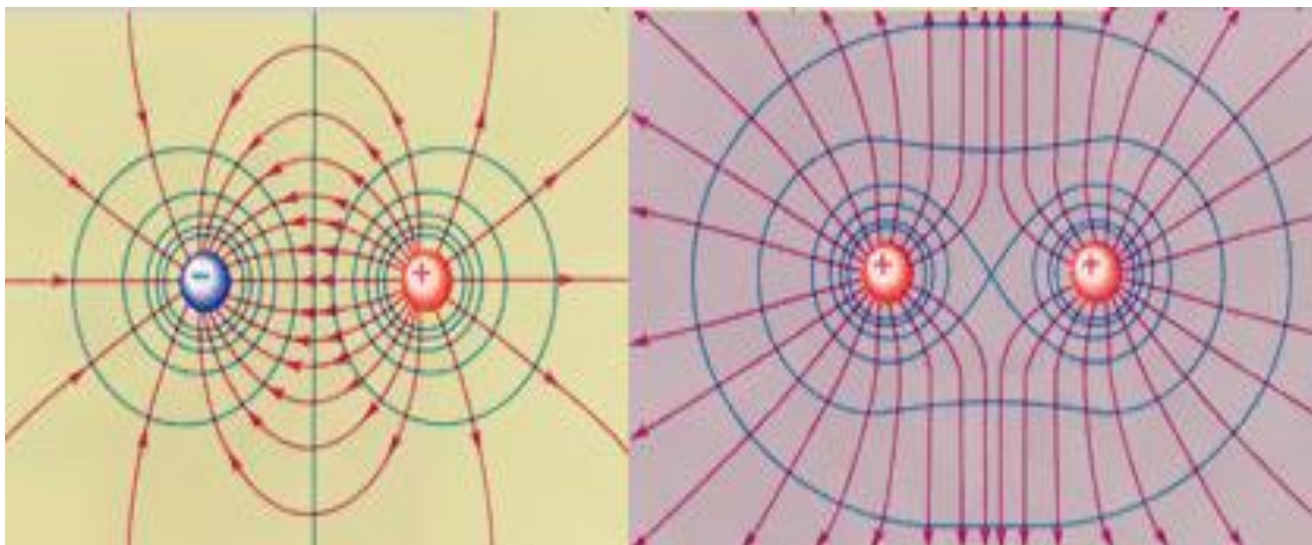
Силловые линии полей уединенных точечных зарядов



Силловые линии поля, создаваемого двумя разноименными точечными зарядами

Эквипотенциальные поверхности

- *Эквипотенциальные поверхности* – геометрическое место точек с одинаковым потенциалом.



Эквипотенциальные поверхности перпендикулярны силовым линиям.

Проводники и диэлектрики

Проводники – вещества, способные проводить электрический ток, благодаря наличию в них свободных зарядов.

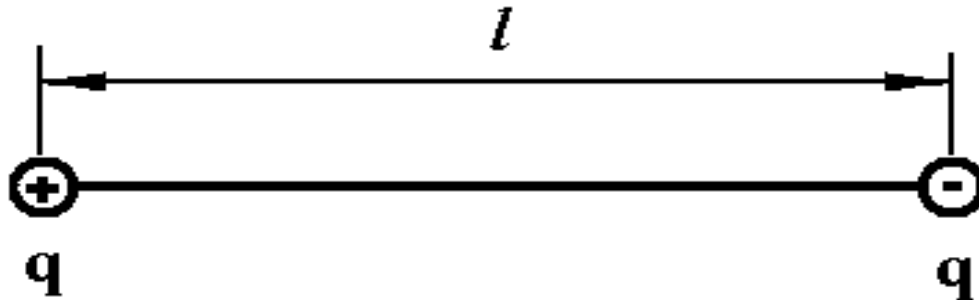
Примеры: металлы, растворы солей и др.

Диэлектрики – вещества не проводящие электрический ток, т.к. в них отсутствуют свободные заряды.

Примеры: дистиллированная вода, стекло, дерево и др.

Электрический диполь

Система из двух равных по абсолютной величине, но противоположных по знаку точечных электрических зарядов, расположенных на некотором расстоянии друг от друга.



Характеристика диполя

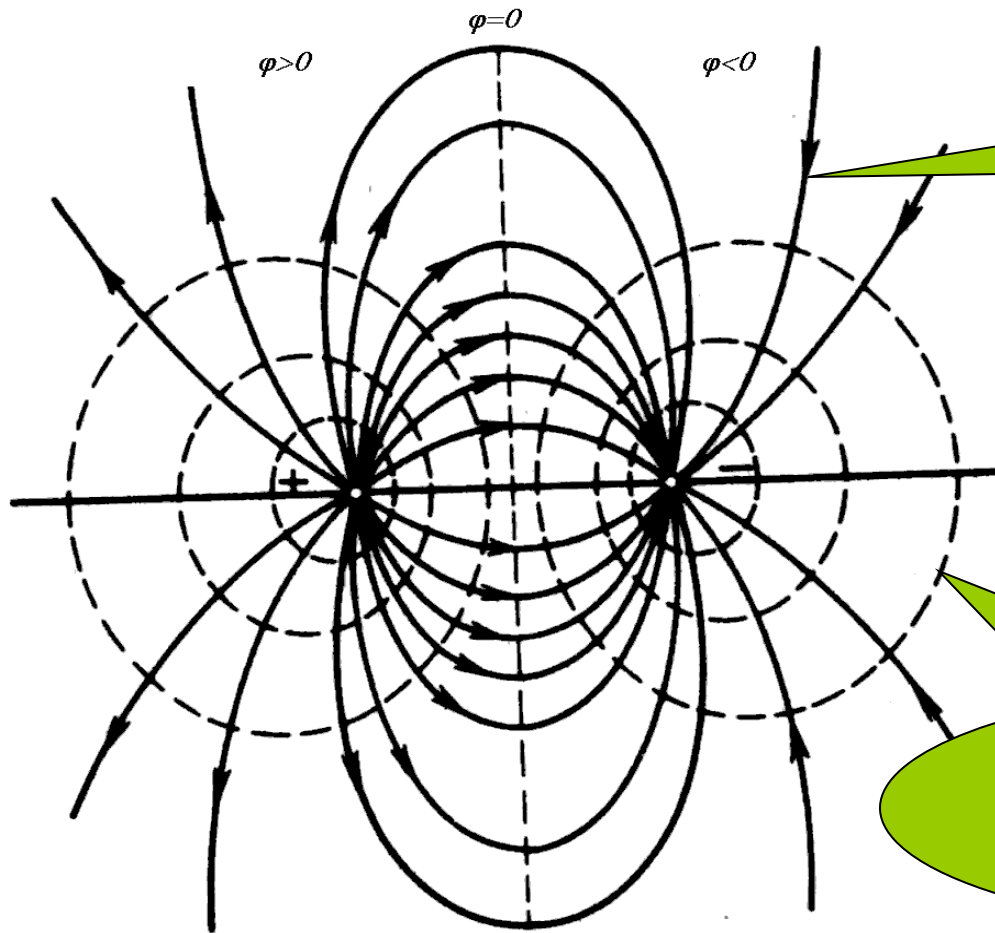
векторная величина, называемая электрическим или **дипольным моментом** диполя — **\mathbf{p}** .

Вектор **\mathbf{p}** равен произведению заряда на плечо диполя **\mathbf{L}** , направленный от отрицательного заряда к положительному:

$$\vec{P} = q\vec{l}$$

Единицей электрического момента диполя является *кулон-метр*

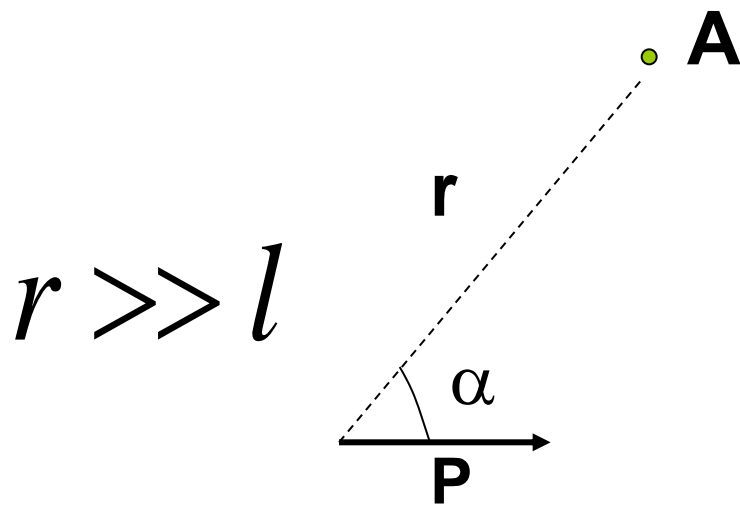
Электрическое поле диполя



Силовая линия
 E

Эквипотенциальная
поверхность φ

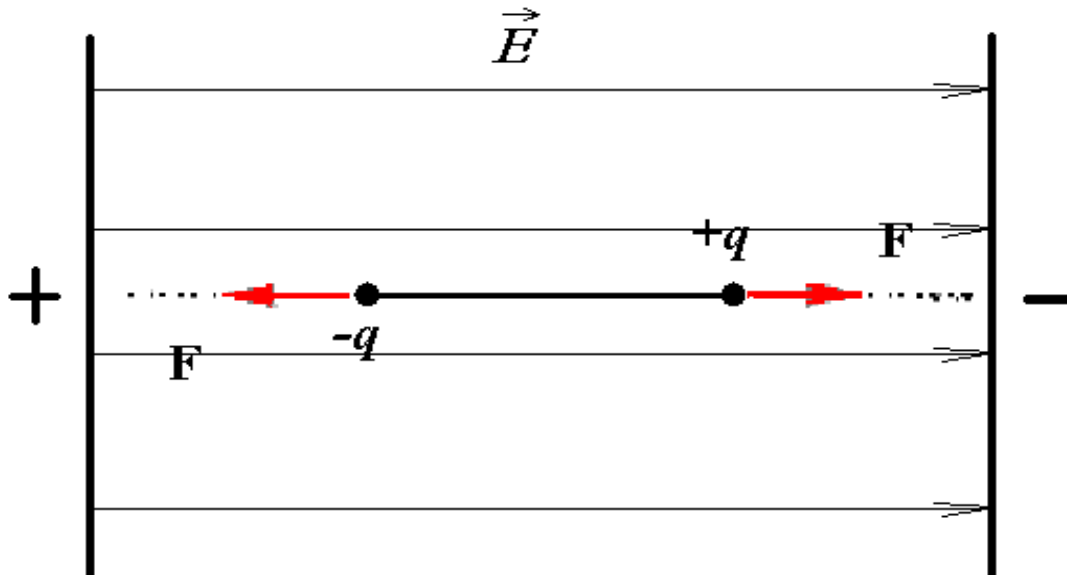
Электрическое поле диполя



$$E_A = \frac{p}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^3}$$

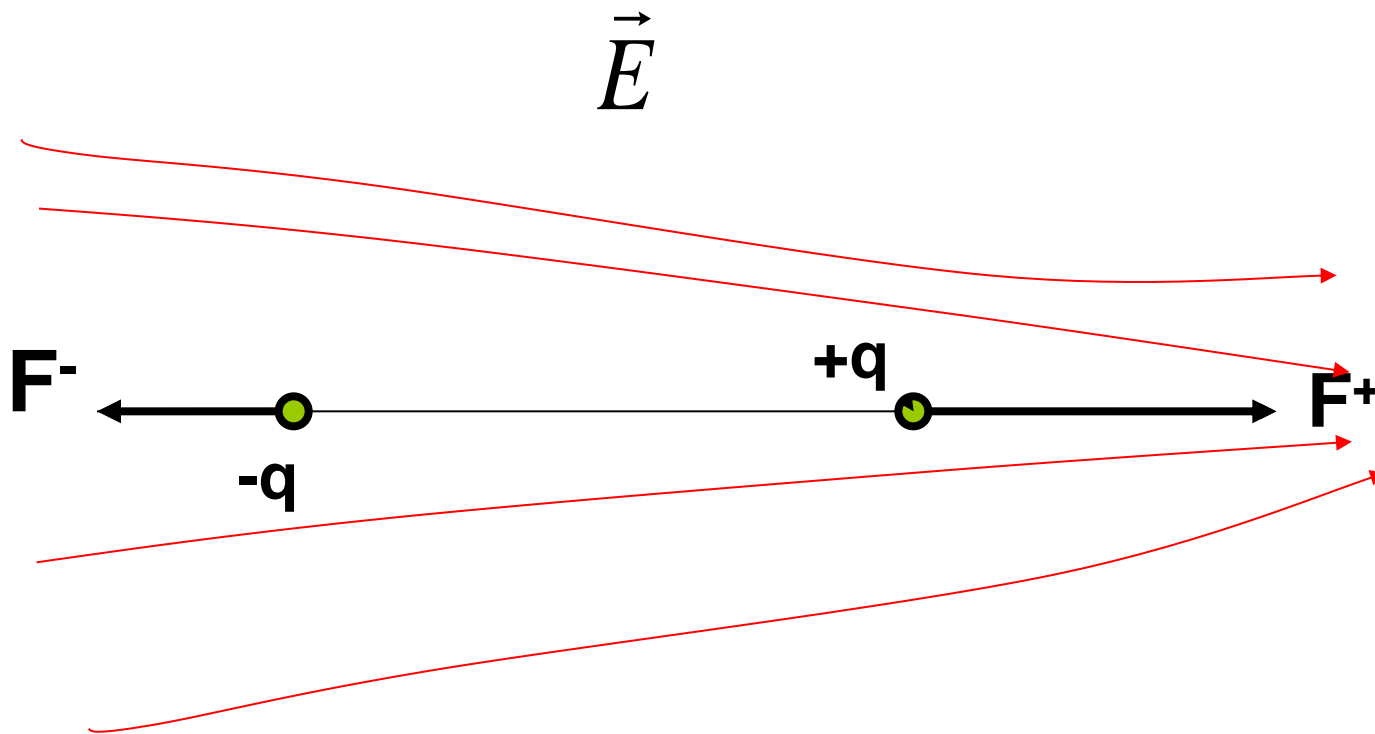
$$\varphi_A = \frac{p \cos \alpha}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}$$

Диполь во внешнем однородном электрическом поле



$$\vec{M} = \vec{p} \times \vec{E} \quad M = p E \sin \alpha$$

Диполь во внешнем неоднородном электрическом поле



ДИПОЛЬ ВО ВНЕШНЕМ НЕОДНОРОДНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

$$F = F^+ - F^- = q(E^+ - E^-)$$

$$F = \frac{ql(E^+ - E^-)}{l} = \frac{p(E^+ - E^-)}{l} \approx p \frac{dE}{dl}$$

$$F = p \frac{dE}{dl}$$

Физические основы электрографии

Регистрация биопотенциалов тканей и органов называется электрографией.

- **ЭКГ** — электрокардиография — регистрация биопотенциалов, возникающих в сердечной мышце при ее возбуждении.
- **ЭЭГ** — электроэнцефалография — регистрация биоэлектрической активности головного мозга.
- **ЭМГ** — электромиография — регистрация биоэлектрической активности мышц.

Характеристика биопотенциалов

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

Зависимость биопотенциала от времени называется электрограммой

При изучении электрограмм возникают задачи

- Прямая – расчет потенциала в области измерения по заданным характеристикам электрической модели органа;
- Обратная (диагностическая)- выявление состояния органа по характеру его электрограммы



Реография

Реография — неинвазивный метод исследования кровоснабжения органов, в основе которого лежит принцип регистрации изменений электрического сопротивления тканей в связи с меняющимся кровенаполнением.

Чем **больше** приток крови к тканям, тем **меньше** их сопротивление.

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

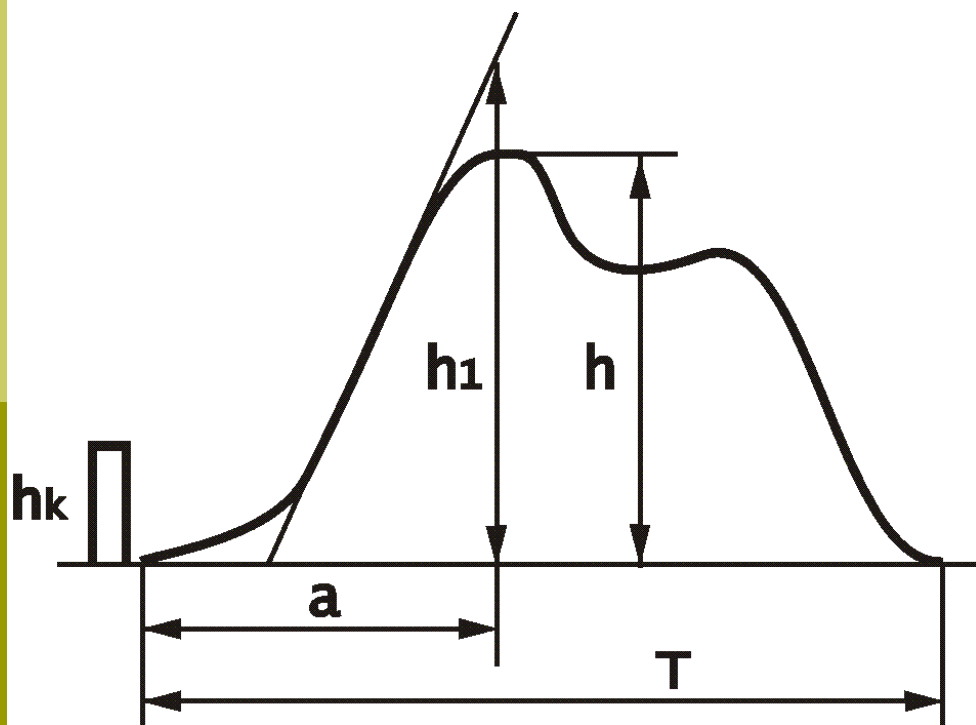
Основоположники реографии

- Принципиальная разработка Н. Манн (1937)
- А. А. Кедров и Т. Ю. Либерман (1941—1949)
- Клиническая практика - W. Holzer, K. Polzer и A. Marko (Австрия 1946)
- Ю.Т. Пушкарь – отечественный аппарат (прекардильная реокардиография)

Физические основы реографии

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

Формула Кедрова



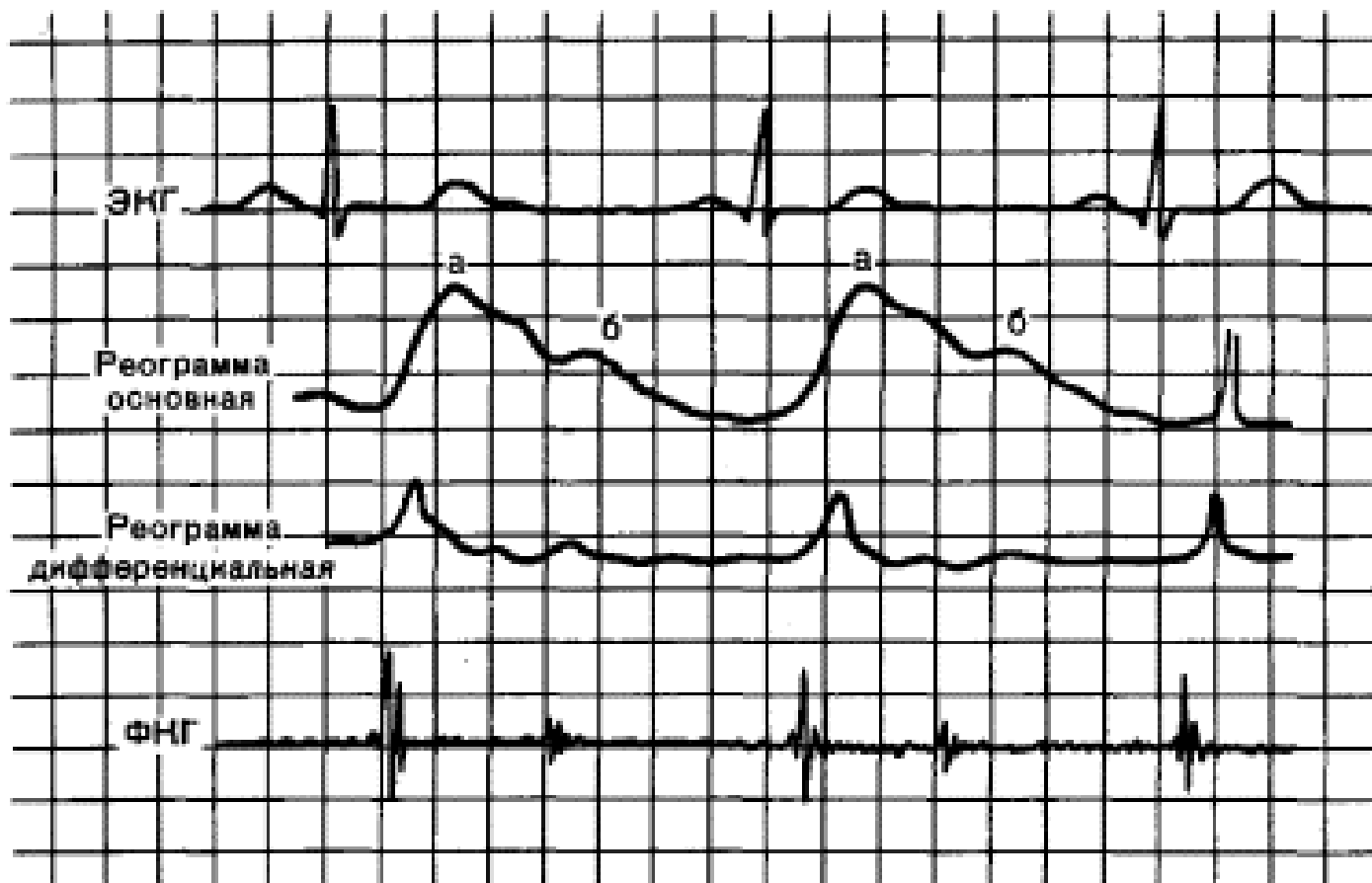
h – амплитуда реограммы;
 h_1 – амплитуда для расчета ударного объема крови;
 a – длительность восходящей части реограммы;
 T – период реограммы;
 h_k – высота калибровочного импульса.

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** , характеризующее **полное раскрытие сосуда.**
- **период** реограммы T , соответствующий длительности сердечного цикла

Вид стандартной реограммы

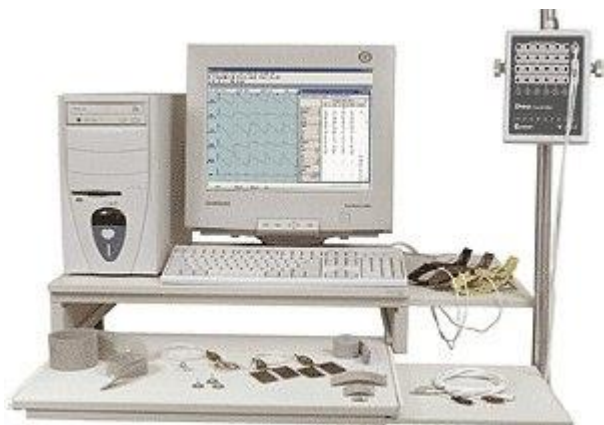
НОРМАЛЬНАЯ РЕОГРАММА



Виды реография

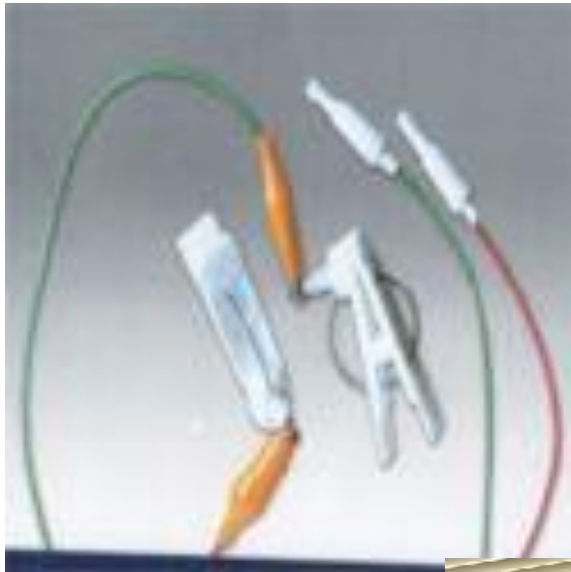
- ❑ **Реоэнцефалография (РЭГ)** - исследование кровенаполнения сосудов головного мозга.
- ❑ **Реовазография** - исследование заболеваний периферических сосудов, сопровождающихся изменениями их тонуса, эластичности, сужением или полной закупоркой артерий.
- ❑ **Реогепатография** - исследование кровотока 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.

Виды реографов



Комплекс медицинский диагностический "Сфера-4"
(Электрокардиография **Реография**
Спирография Фонокардиография)

Электроды для реографии



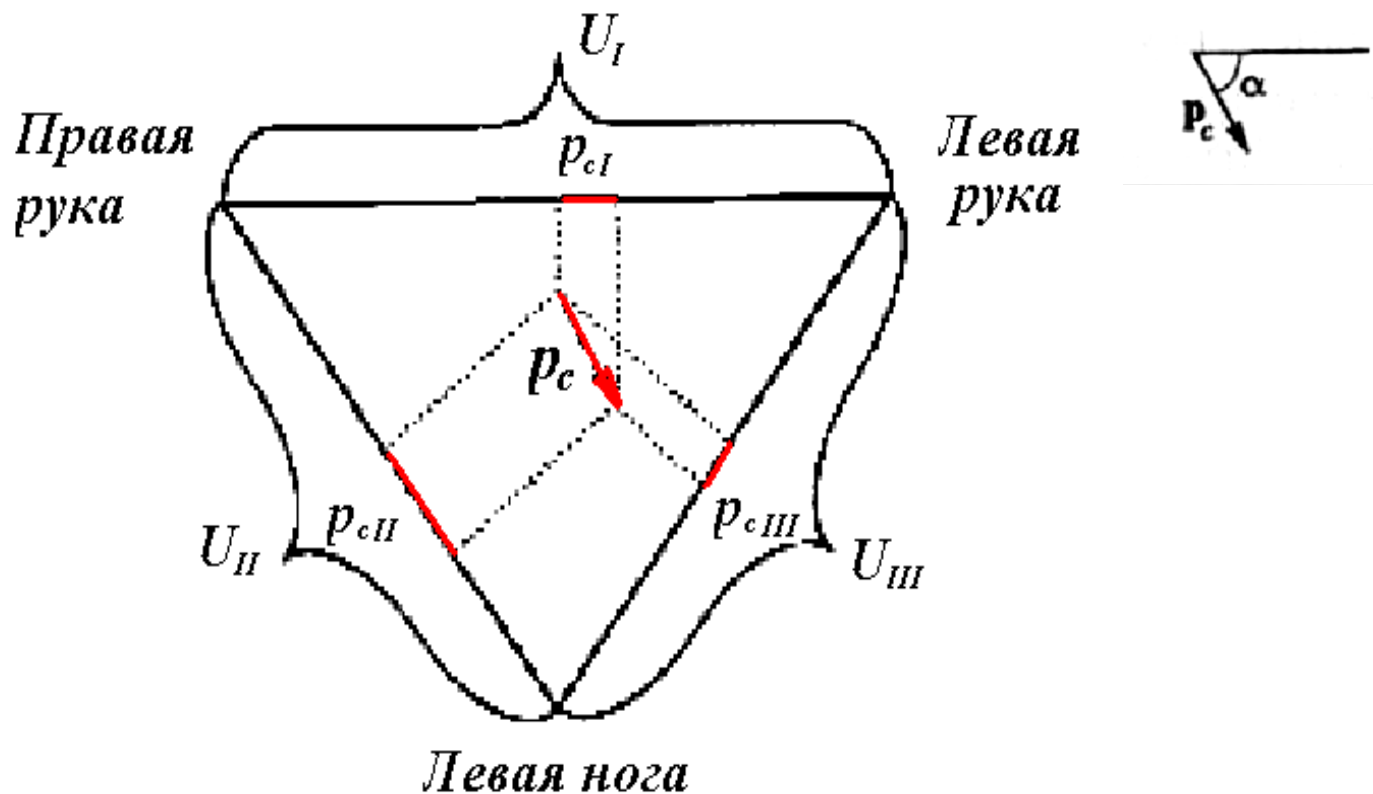
Теория отведений Эйнтховена

- Сердце есть токовый диполь с дипольным моментом \mathbf{p}_c , который поворачивается, изменяет свое положение и точку приложения за время сердечного цикла.

Отведение

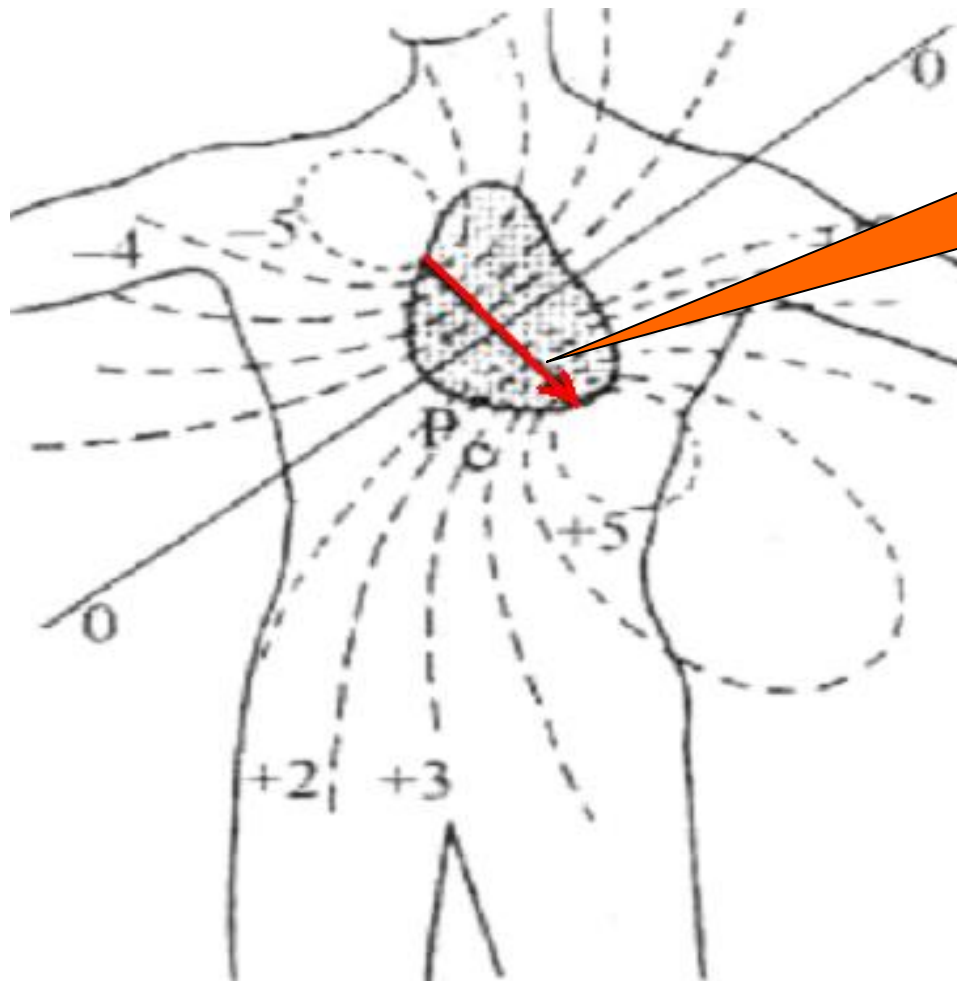
Разность потенциалов между точками на теле человека (например левая рука- правая рука) в физиологии принято называть «**отведениями**».

Три стандартных отведения



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

Поле диполя сердца

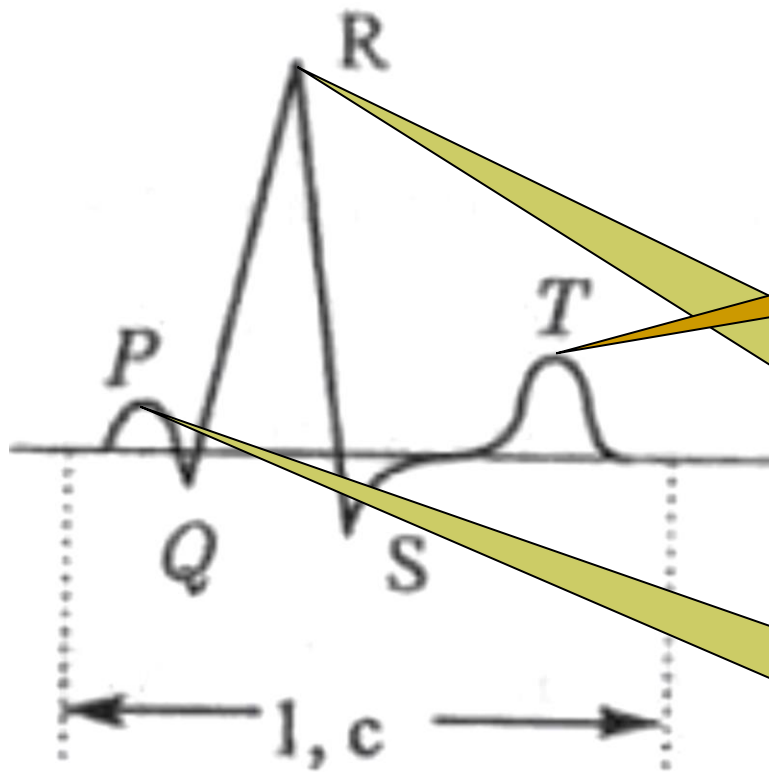


Электрическая
ось сердца

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

Электрокардиограмма здорового человека

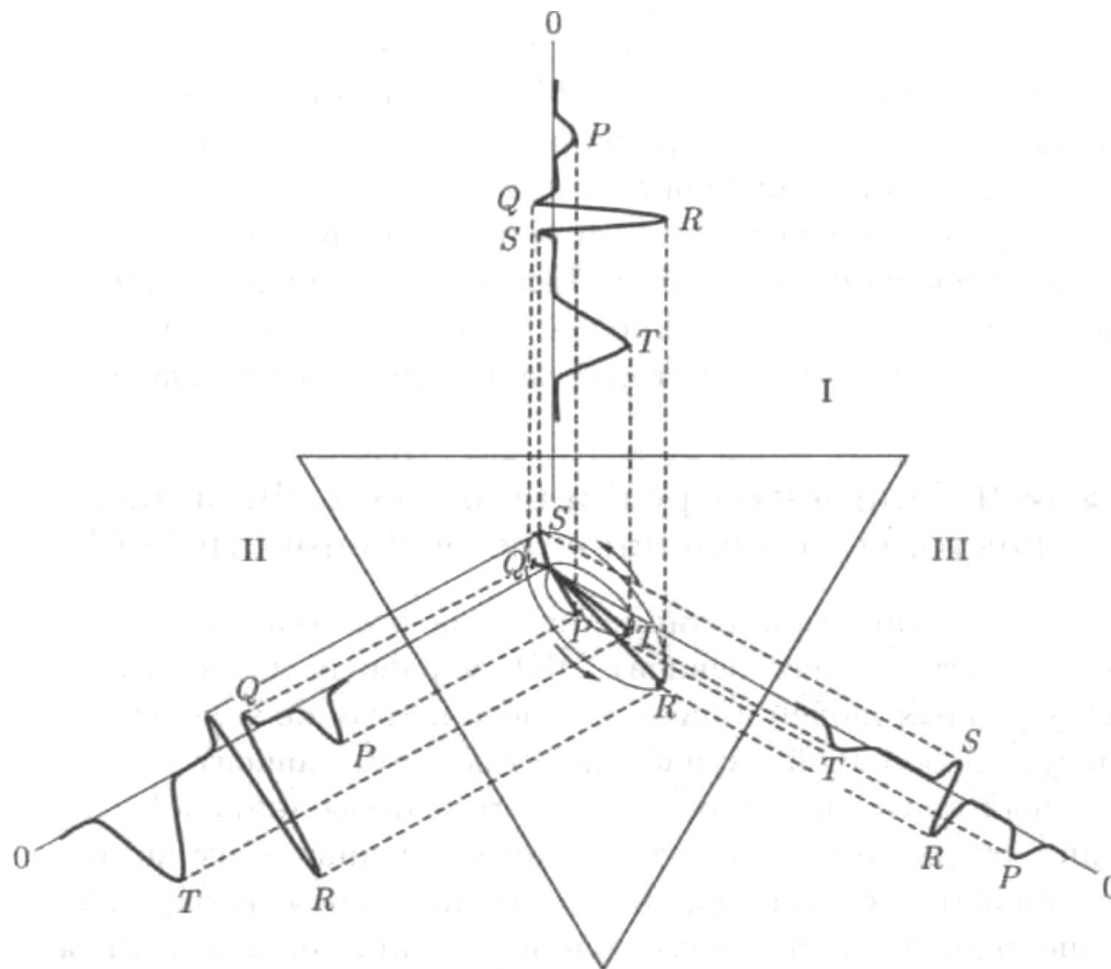


Падение возбуждения
желудочков

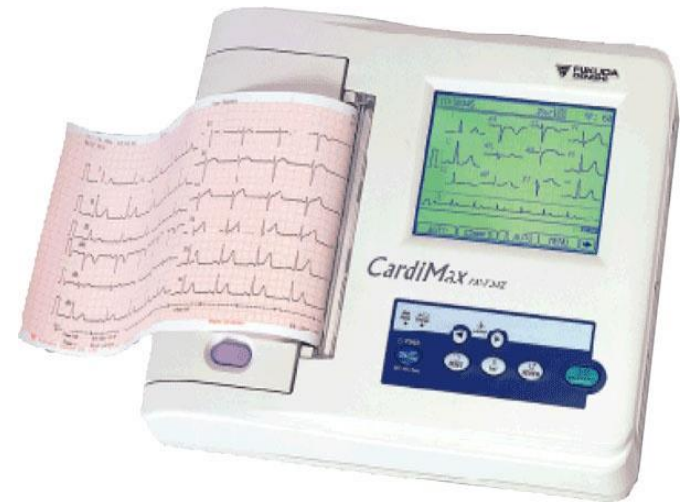
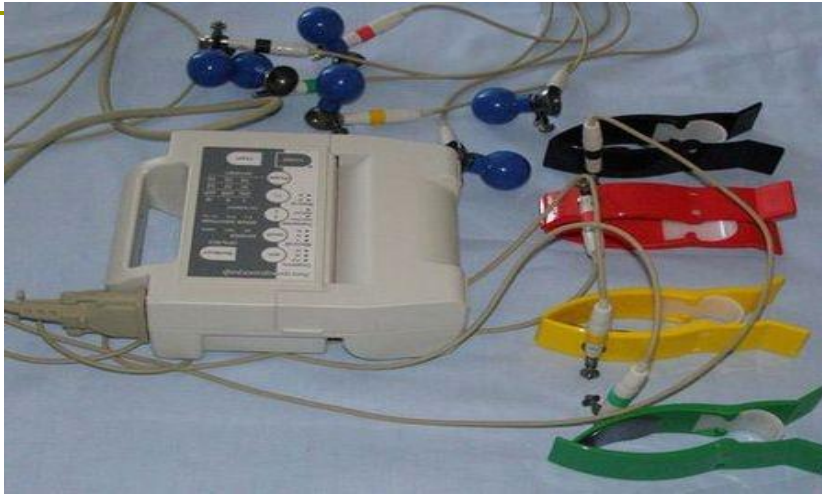
возбуждение
желудочков

возбуждение
предсердий

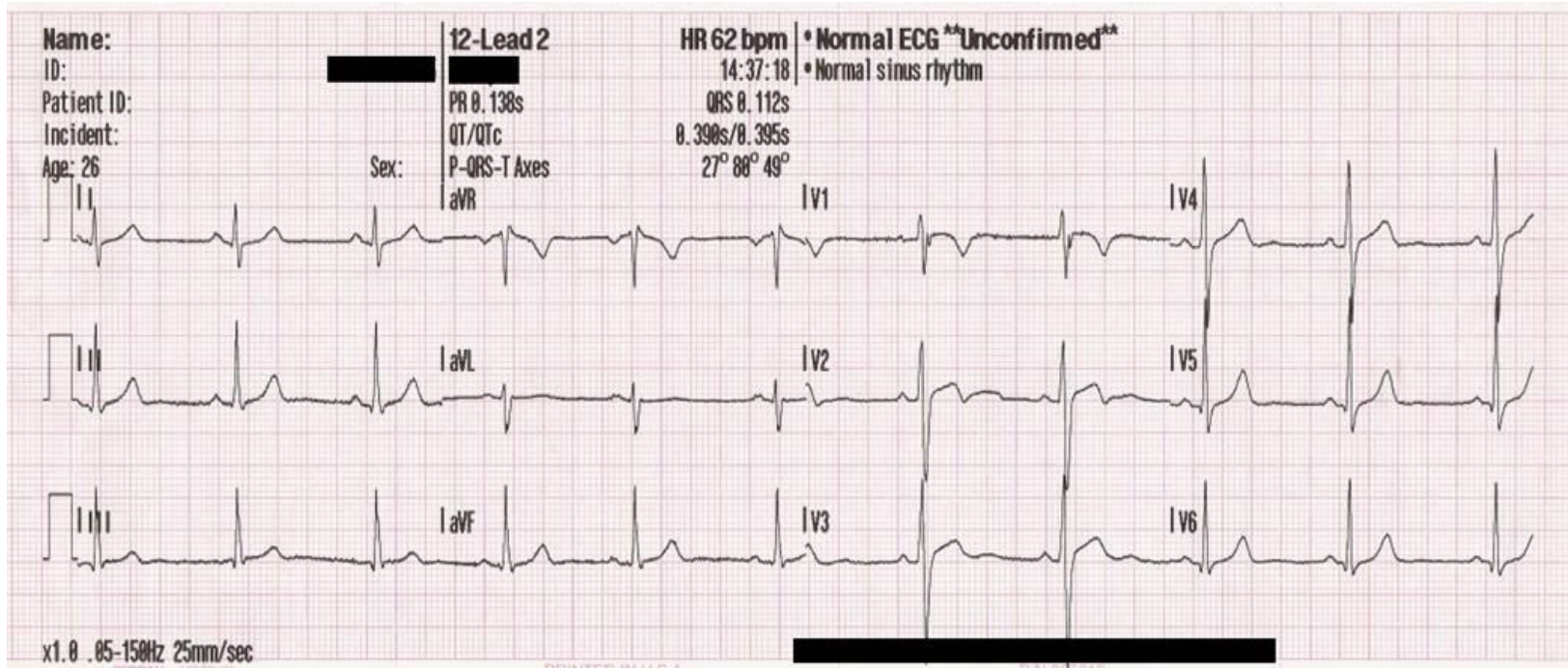
Нормальная ЭКГ в трех стандартных отведениях



Кардиографы



Реальная электрокардиограмма



Факторы, определяющие особенности ЭКГ у отдельного человека:

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

Направление \vec{P} электрической оси сердца определяется вектором \vec{r}_c .

Линия электрической оси сердца при пересечении с направлением первого отведения образует угол α .

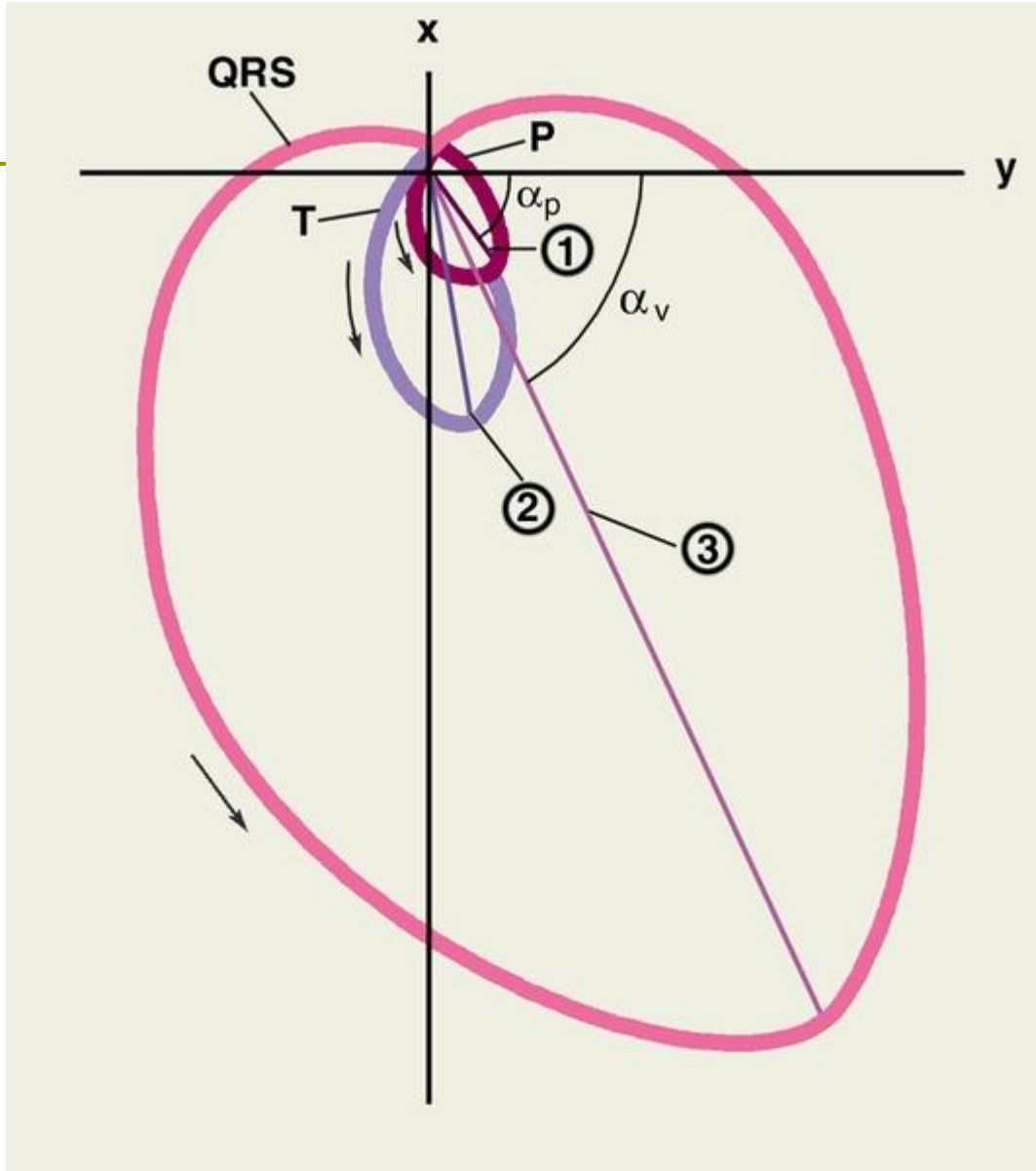
Направление электрической оси сердца

Если угол α имеет значение:

- **в пределах от 40° до 70°** , то такое положение электрической оси сердца считается **нормальным**;
- **близкое к 0°** , то такое положение электрической оси сердца обозначается как горизонтальное, и ЭКГ характеризуется высокими амплитудами зубцов в I отведении;
- **близкое к 90°** , то положение обозначается как вертикальное; зубцы ЭКГ будут наименьшими в I отведении.

Векторкардиография (ВЭКГ)- метод объемных кривых

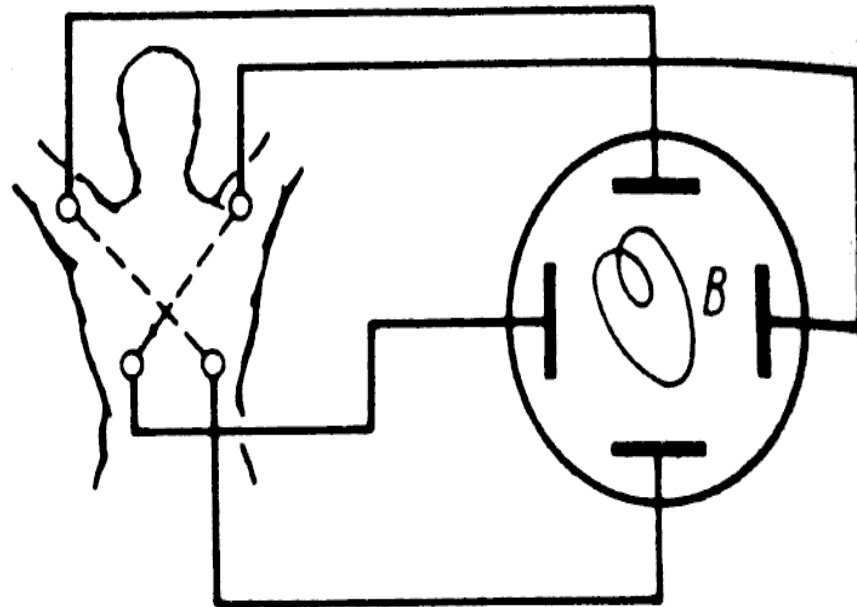
Векторкардиография — метод пространственно-количественного исследования электрического поля сердца в процессе кардиоцикла. В основе метода лежит принцип получения пространственной фигуры, являющейся графическим изображением изменений величины и направления электродвижущей силы (ЭДС) в течение всего сердечного цикла.



Векторкардиография

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.



Заключение:

Рассмотрены:

1. Процессы, происходящие в тканях под действием электрических токов и электромагнитных полей.
2. Основы электрографии на конкретных методиках (реография, кардиография)

Тест-контроль:

Первичное действие высокочастотного электрического поля на организм – это:

1. поляризация тканей
2. тепловое действие
3. изменение концентрации ионов в тканях
4. свечение тканей.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Обязательная:

1. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика: учебник. -М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012.-

Дополнительная:

1. Федорова В.Н., Е. В. Фаустов. Краткий курс медицинской и биологической физики с элементами реабилитологии: учебное пособие. -М.:ГЭОТАР-Медиа,2010 .-
2. Антонов В.Ф., А. М. Черныш, Е. К. Козлова [и др.] Физика и биофизика. Курс лекций: учебное пособие.-М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008.-
3. Ремизов А.Н., Максина А.Г. Сборник задач по медицинской и биологической физике: учеб. пособие для вузов. М. : Дрофа, 2010.
4. Руководство к лабораторным работам по медицинской и биологической физике для самост. работы студентов /сост. О.Д. Барцева и др. Красноярск: Литера-принт, 2009.-
5. Сборник задач по медицинской и биологической физике: учебное пособие для самост. работы студентов / сост. О.П.Квашнина и др. -Красноярск: тип.КрасГМА, 2007.-
6. Физика. Физические методы исследования в биологии и медицине: метод. указания к внеаудит. работе студентов по спец. – педиатрия / сост. О.П.Квашнина и др. -Красноярск: тип.КрасГМУ, 2009.-

Электронные ресурсы:

1. ЭБС КрасГМУ
2. Ресурсы интернет
3. Эдельман Е.Д. Физика с элементами биофизики. [Электронный ресурс] : учебник. - Режим доступа: <http://www.studmedlib.ru/ru/book/ISBN9785970425244.html>



Красноярский
Государственный
Медицинский
Университет
им. проф.
В.Ф.Войно-Ясенецкого



**БЛАГОДАРЮ
ЗА ВНИМАНИЕ**