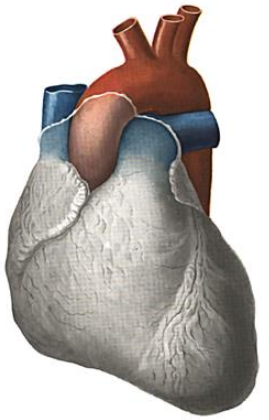
Кафедра медицинской и биологической физики

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, 2020

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

Увеличение энергии фотонов
Увеличение частоты
Уменьшение длины волны
Видимый свет
Ультрафиолет
Инфракрасное излучение
Рентгеновское излучение
Микроволновое излучение
Гамма излучение
Радиоволны

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

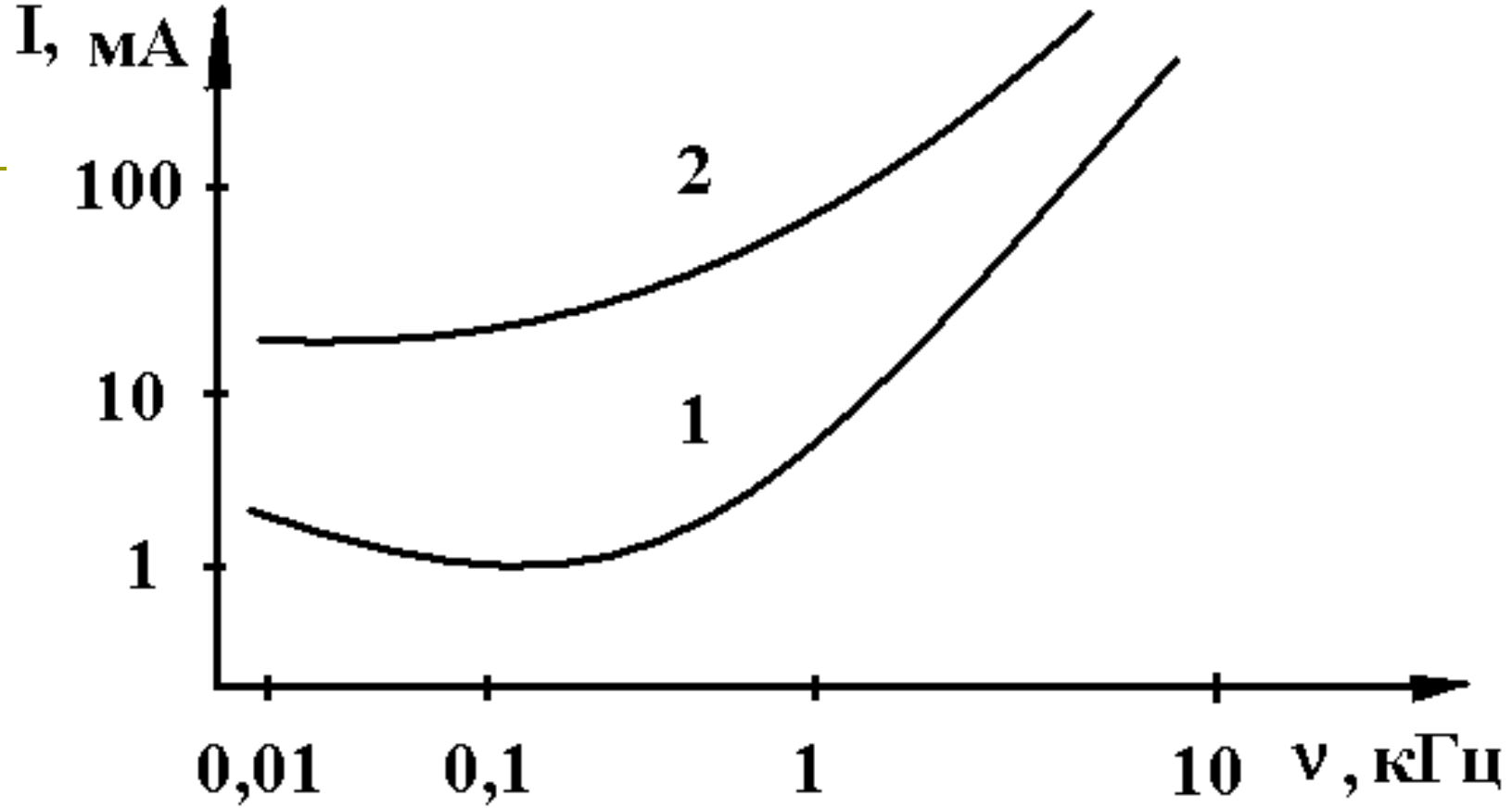
минимальная сила тока, раздражающее действие которого ощущает человек.

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

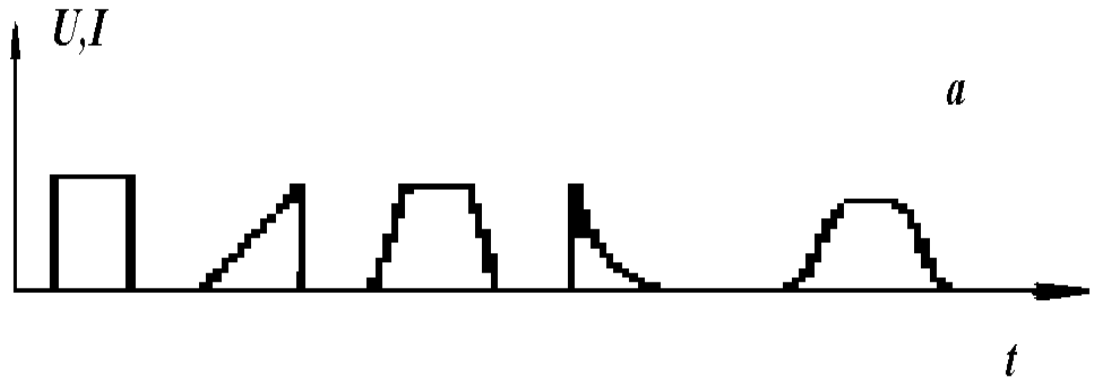
Электрический импульс

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

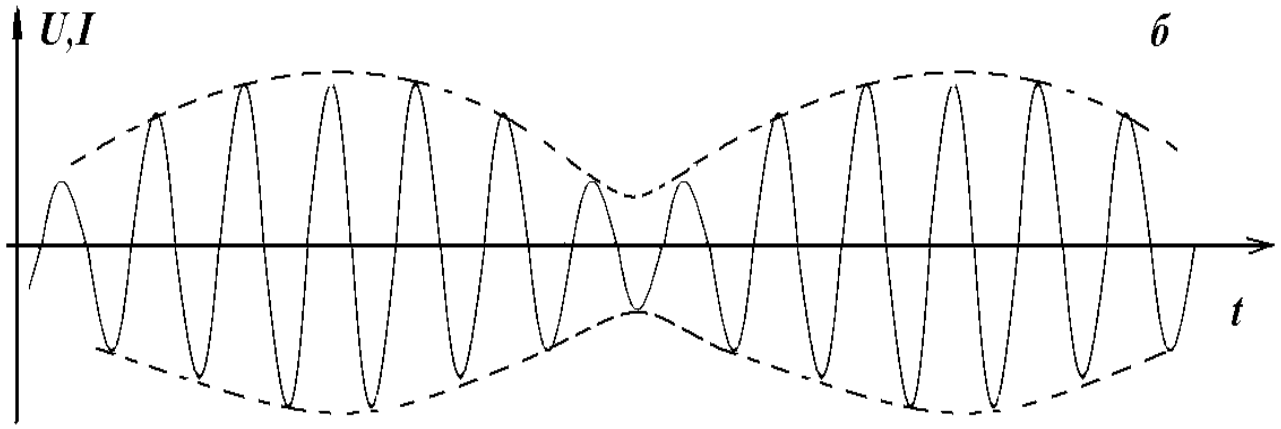
Выделяют две группы импульсов:

Видеоимпульсы — электрические импульсы постоянного тока или напряжения.

Радиоимпульсы — модулированные электромагнитные колебания.



Видеоимпульсы



Радиоимпульс

Импульсный ток

повторяющиеся импульсы

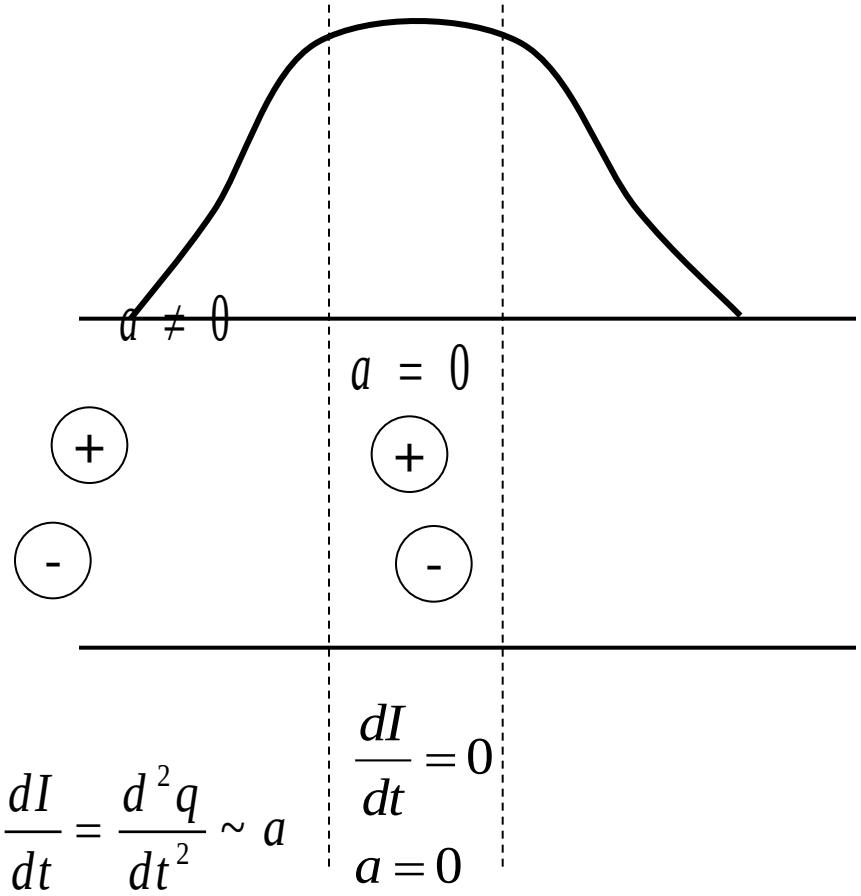
При использовании импульсного тока ***раздражающее действие*** зависит от **формы, амплитуды и длительности импульсов**.

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

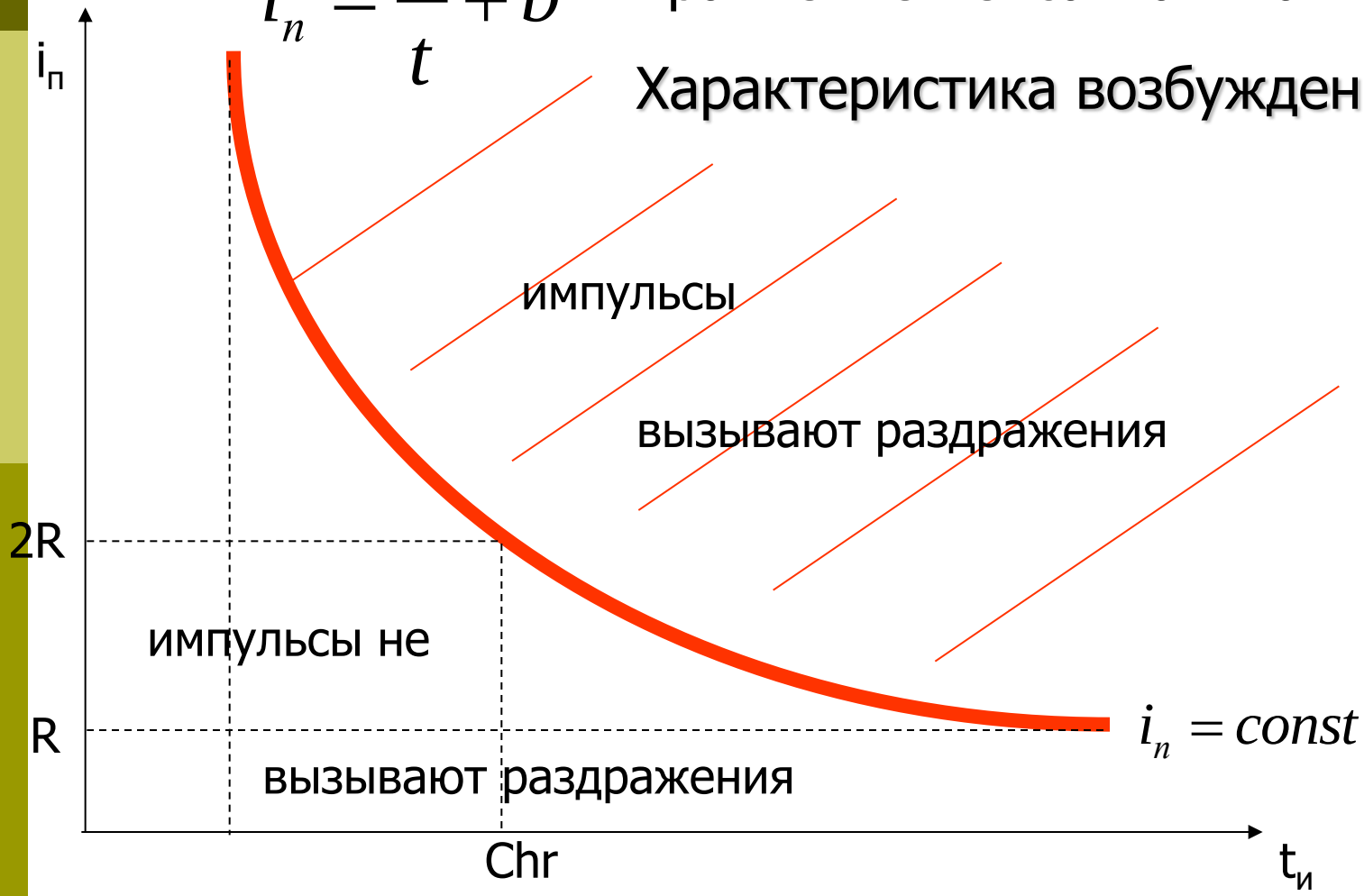


Раздражающее действие тока обусловлено ускорением при перемещении ионов тканевых электролитов

Биофизическое действие прямоугольных импульсов

$$i_n = \frac{a}{t} + b$$ - Уравнение Вейса-Лапика

Характеристика возбуждения

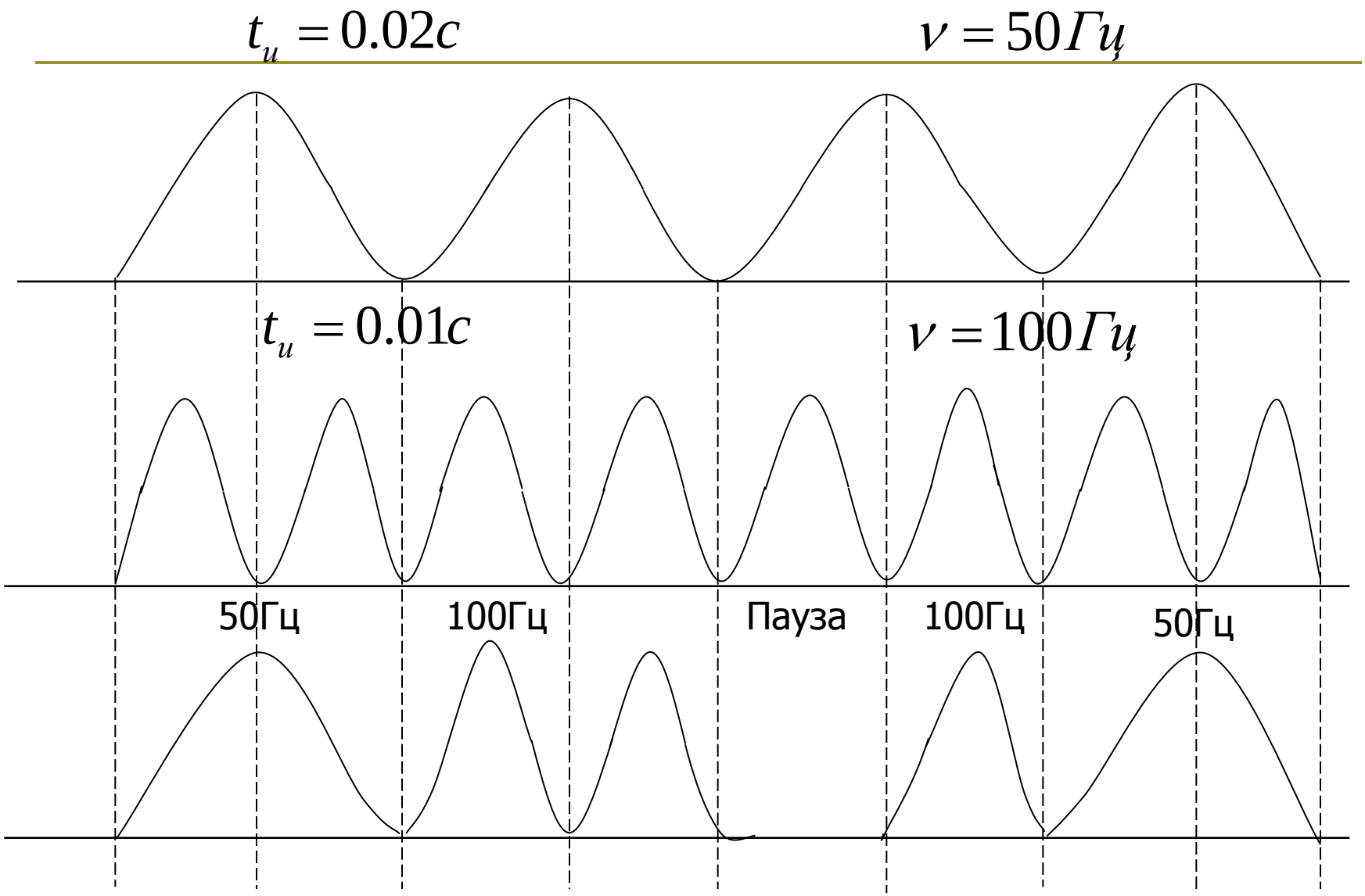


Функциональные характеристики

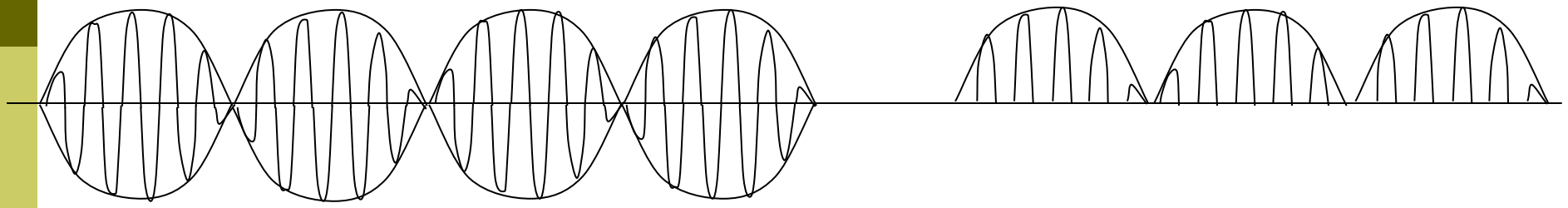
R – реобаза – значение порогового тока при котором раздражающее действие тока не зависит от длительности импульса

Chr – хронаксия – длительность импульса, соответствующая по амплитуде удвоенной реобазе

Диадинамический ток

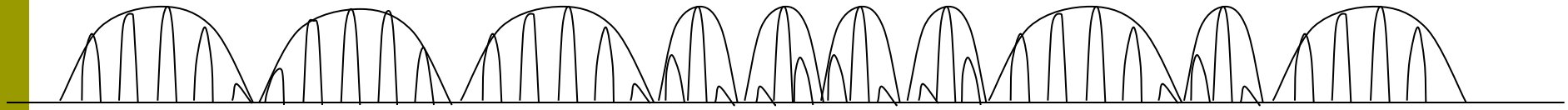


Синусоидально-модулированный ток

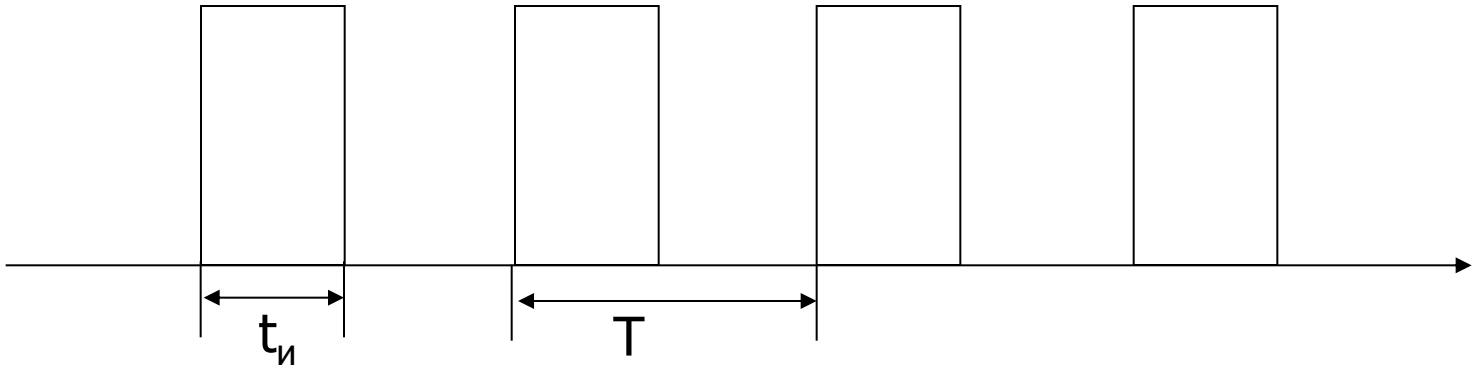


Модуляция 10-150 Гц

2~5 кГц



Применение прямоугольных импульсов



$t_и = 0.1 \div 1\ мс$

$\nu = 5 \div 150\ Гц$

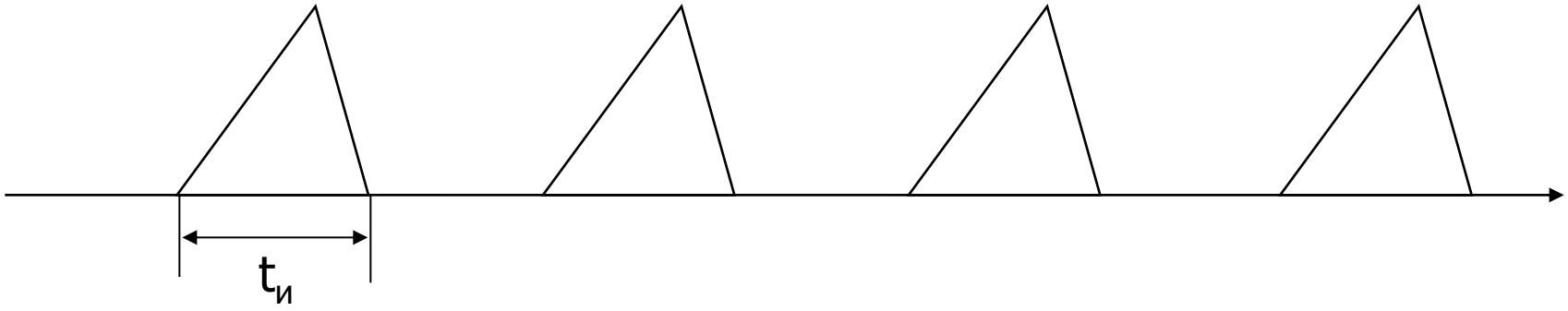
Лечение электросном

$t_и = 0.8 \div 3\ мс$

$\nu = 1 \div 1.2\ Гц$

Кардиостимулятор

Применение пилообразного импульсного тока

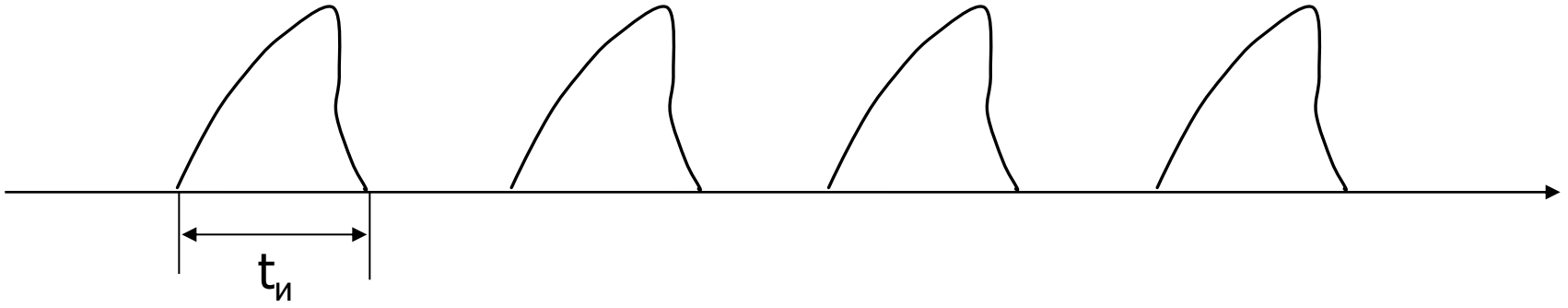


$$t_u = 1 \div 1.5 \ мс$$

$$\nu = 100 \ Гц$$

Возбуждение и стимуляция здоровых мышц

Применение экспоненциальных импульсов



$$t_и = 3 \div 60 \ мс$$

$$\nu = 8 \div 80 \ Гц$$

Возбуждение и стимуляция больных мышц

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-теплового движения***, поэтому ток или электромагнитная волна не вызывает раздражающего действия.

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 ν=1-2 МГц, напряжением 100-150 В,

сила тока I = 1-1,5 А.

Диатермокоагуляция

прижигание, «сваривание» ткани.

Плотность тока 6 -10 мА/мм^2, в результате чего температура ткани повышается и ткань коагулирует.

Диатермотомия

рассечение тканей при помощи электрода в форме лезвия.

Плотность тока – 40 мА/мм^2.

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.

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 tg δ.

$$q = \varepsilon_0 \varepsilon \omega E^2 \operatorname{tg} \delta$$

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.

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

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.

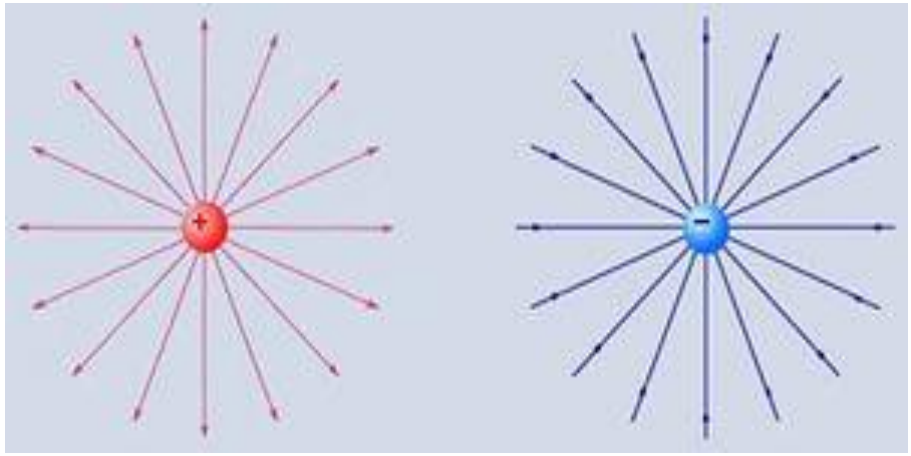
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}, \left[\frac{B}{м}\right]$$

2. **Потенциал** φ – энергетическая характеристика поля.

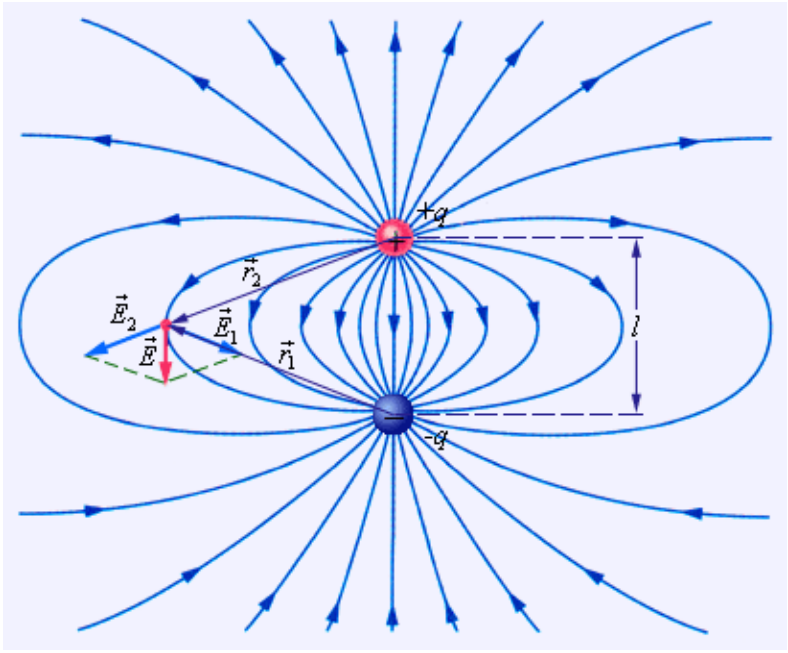
$$\varphi = \frac{W}{q}, [B]$$

Силовые линии электрического поля

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



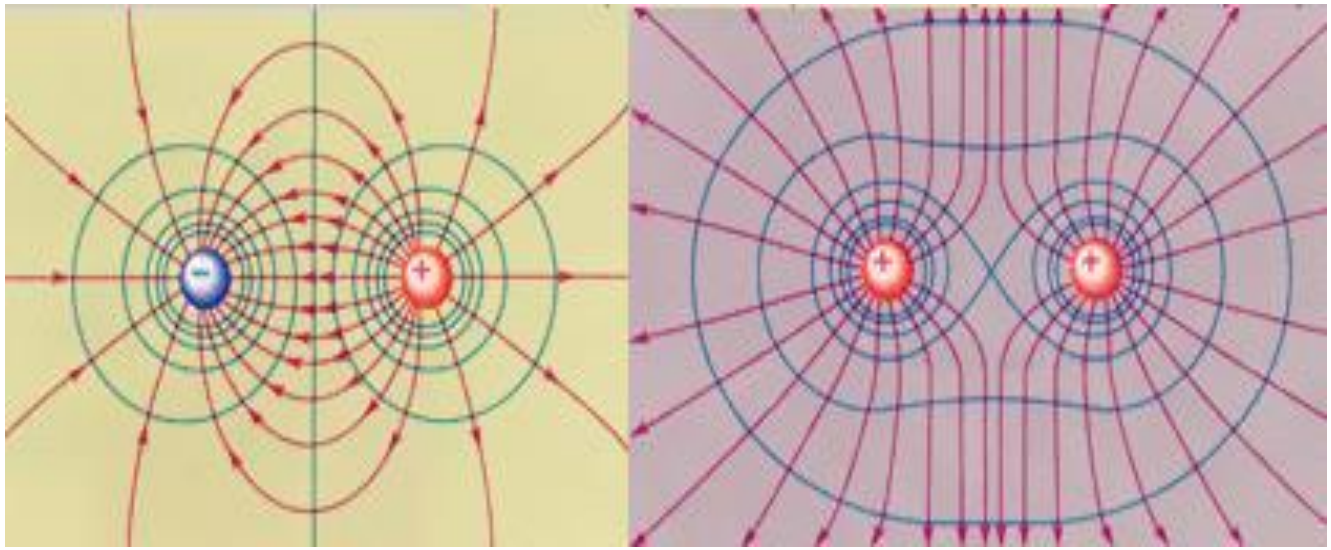
Силовые линии полей уединенных точечных зарядов



Силовые 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.**

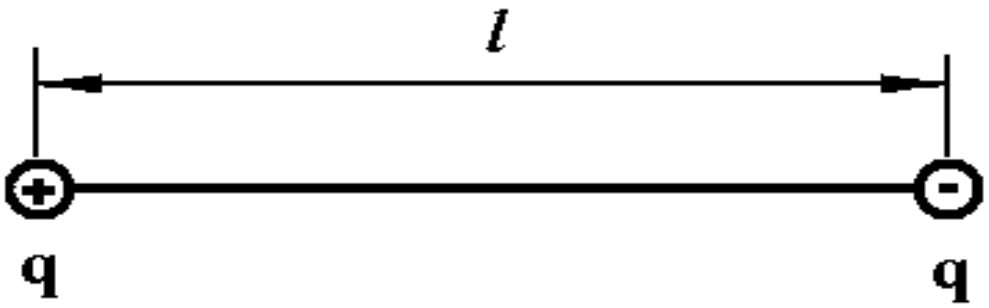
Примеры: **металлы, растворы солей и др.**

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.



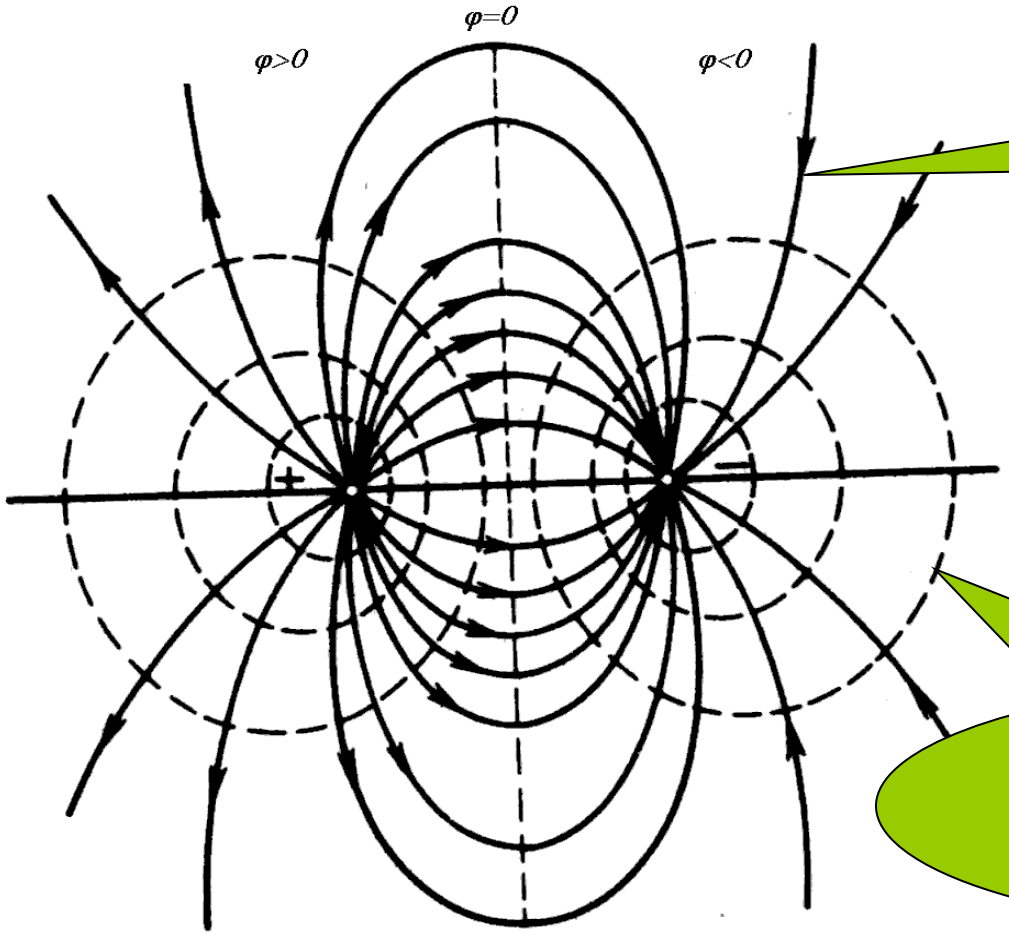
Характеристика диполя

векторная величина, называемая электрическим или **дипольным моментом** диполя — **p**. Вектор **p** равен произведению заряда на плечо диполя **L,** направленный от отрицательного заряда к положительному:

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

Единицей электрического момента диполя является *кулон-метр*

Электрическое поле диполя

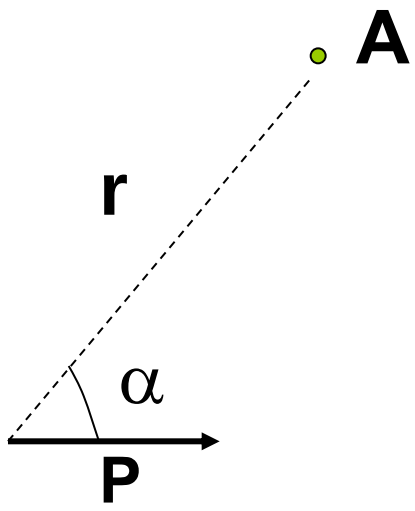


Силовая линия
E

Эквипотенциальная поверхность φ

Электрическое поле диполя

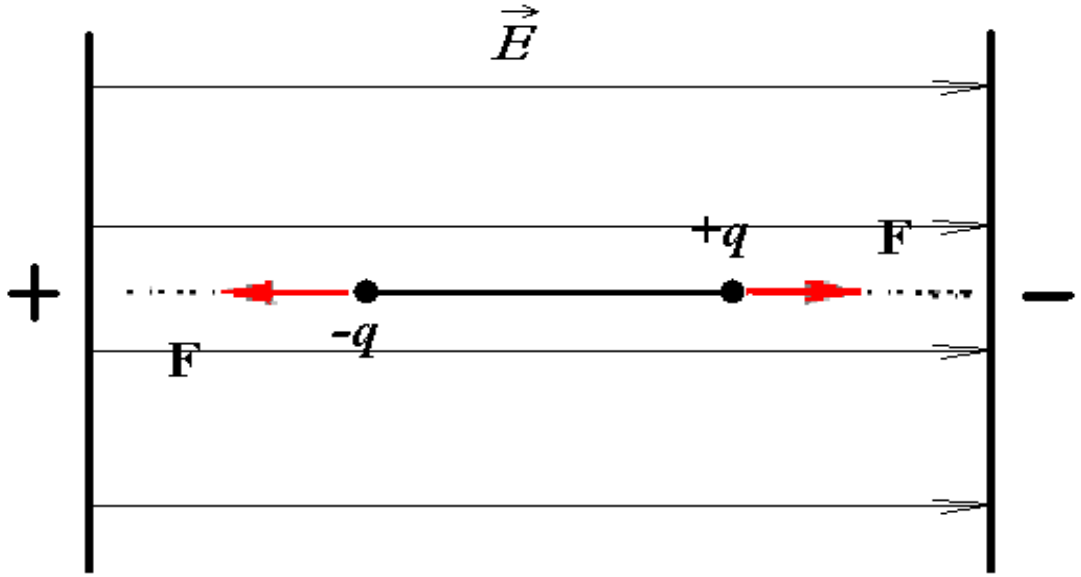
$r >> l$



$$E_A = \frac{p}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^3}$$

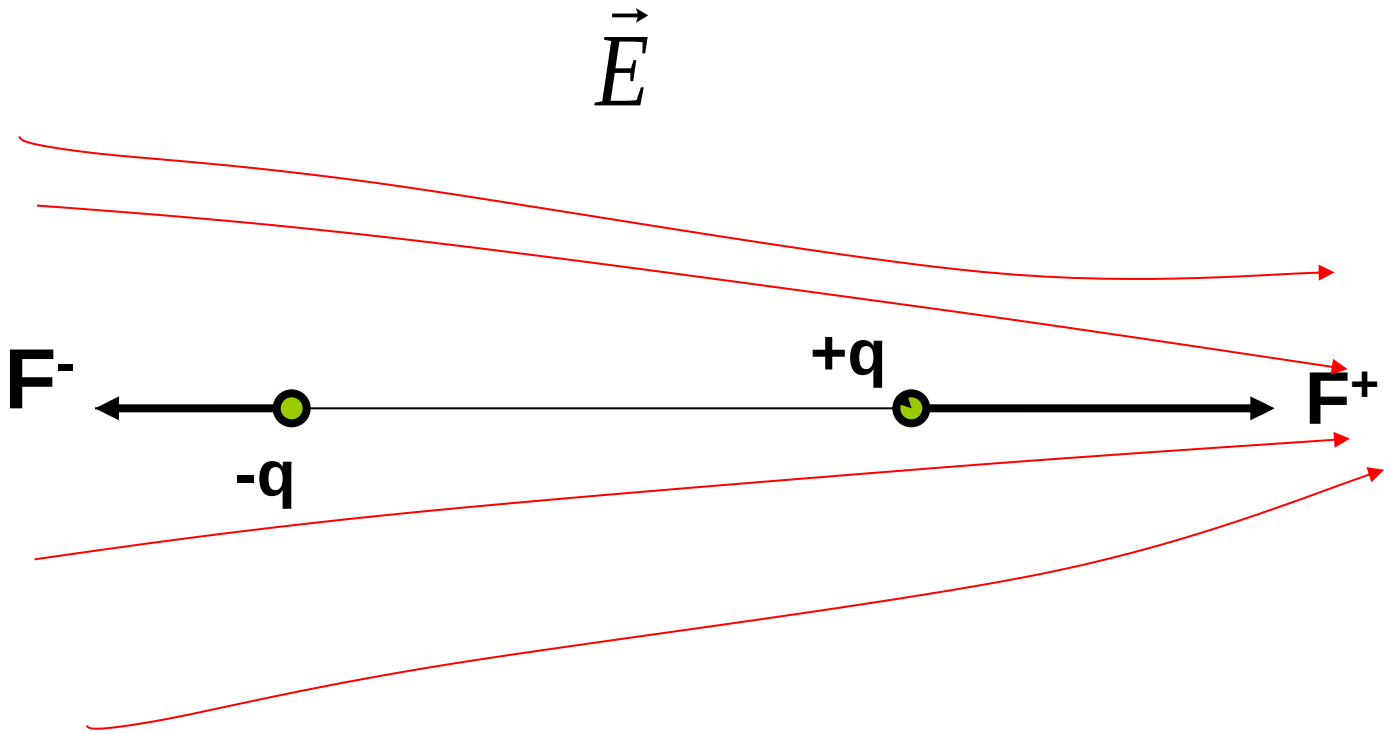
$$\varphi_A = \frac{p\cos\alpha}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2}$$

Диполь во внешнем однородном электрическом поле



$$\overrightarrow{M} = \overrightarrow{p} \; x \; \overrightarrow{E} \qquad M = p\,E \sin\alpha$$

Диполь во внешнем неоднородном электрическом поле



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.

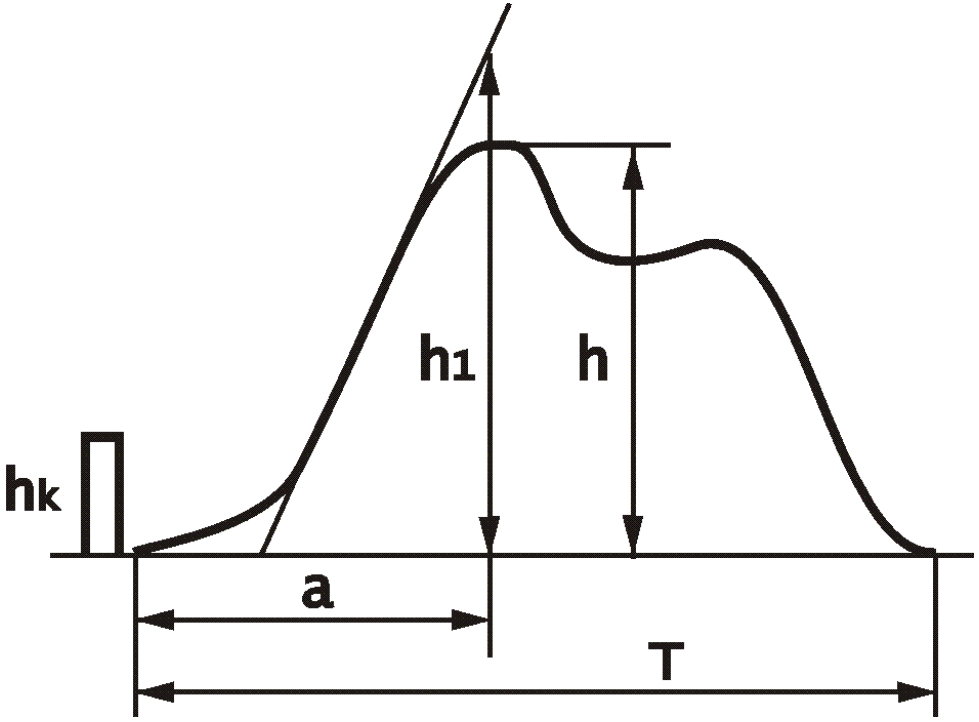
Основоположники реографии

- 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

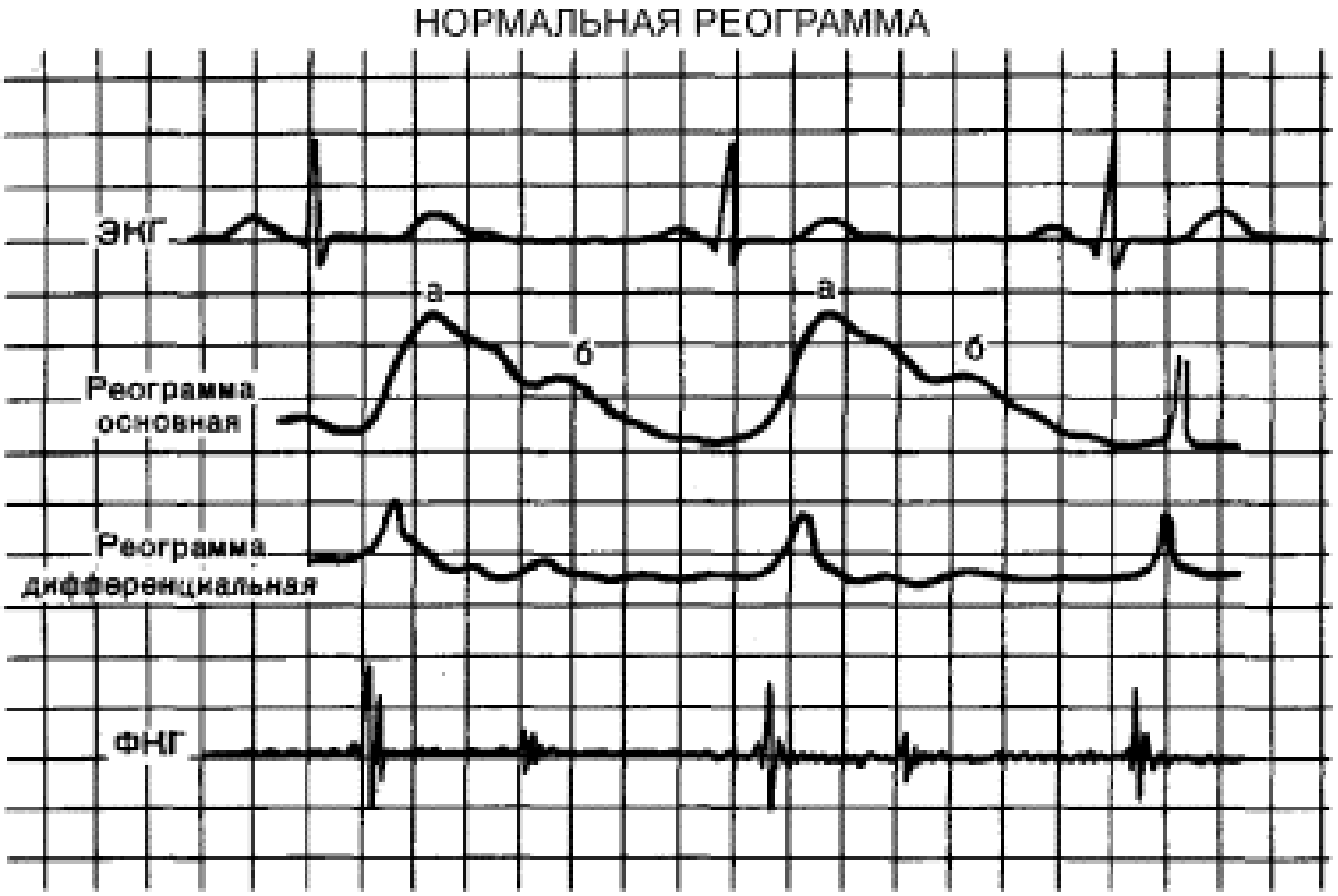


h–амплитуда реограммы;
h_1 – амплитуда для расчета ударного объема крови;
a – длительность восходящей части реограммы;
T–период реограммы;
hк–высота калибровочного импульса.

Показатели реограммы

- ***реографический индекс (РИ)*** – отношение амплитуды реограммы h к величине стандартного калибровочного импульса hк. РИ характеризует величину пульсового кровенаполнения.
- ***время восходящей части волны*** a, характеризующее ***полное раскрытие сосуда.***
- ***период*** реограммы T, соответствующий длительности сердечного цикла

Вид стандартной реограммы



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

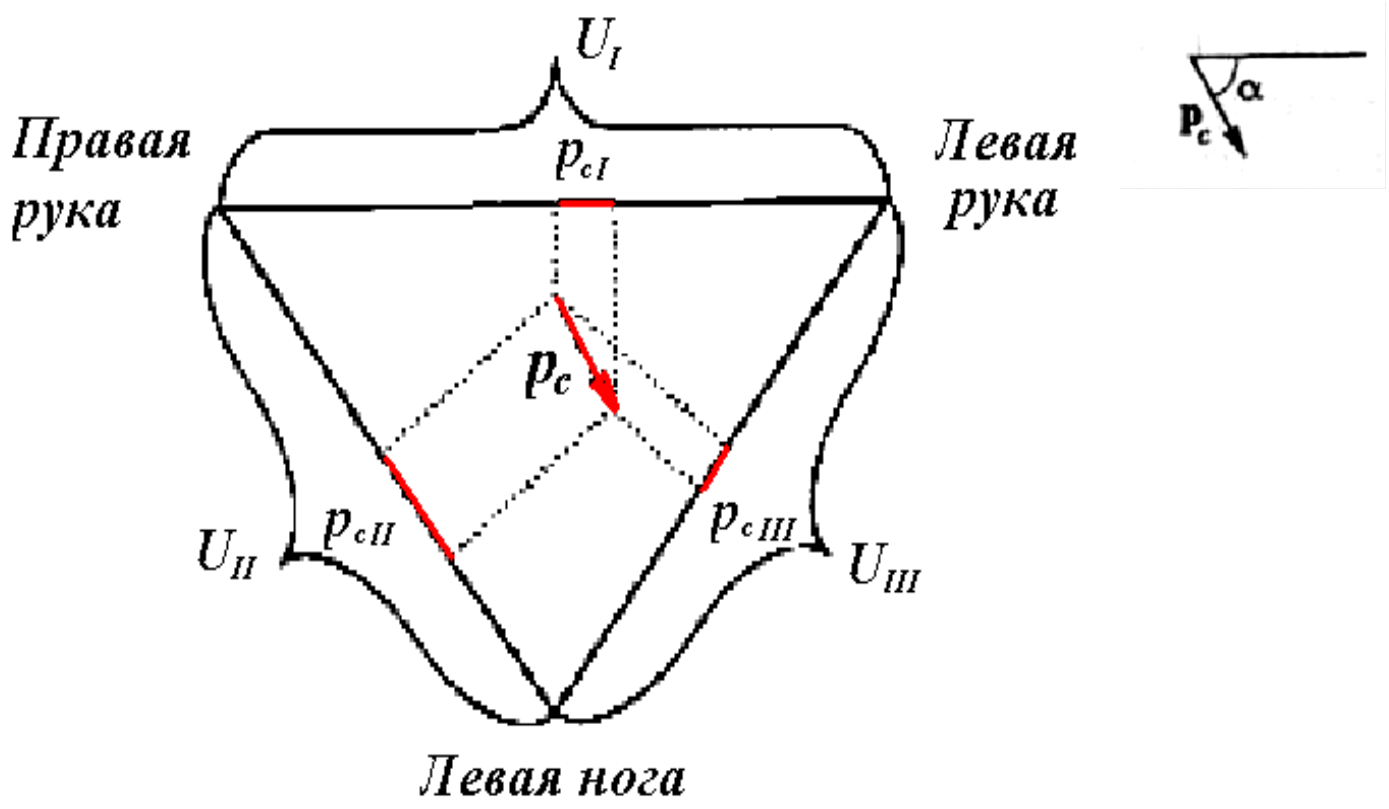
Теория отведений Эйнтховена

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

Отведение

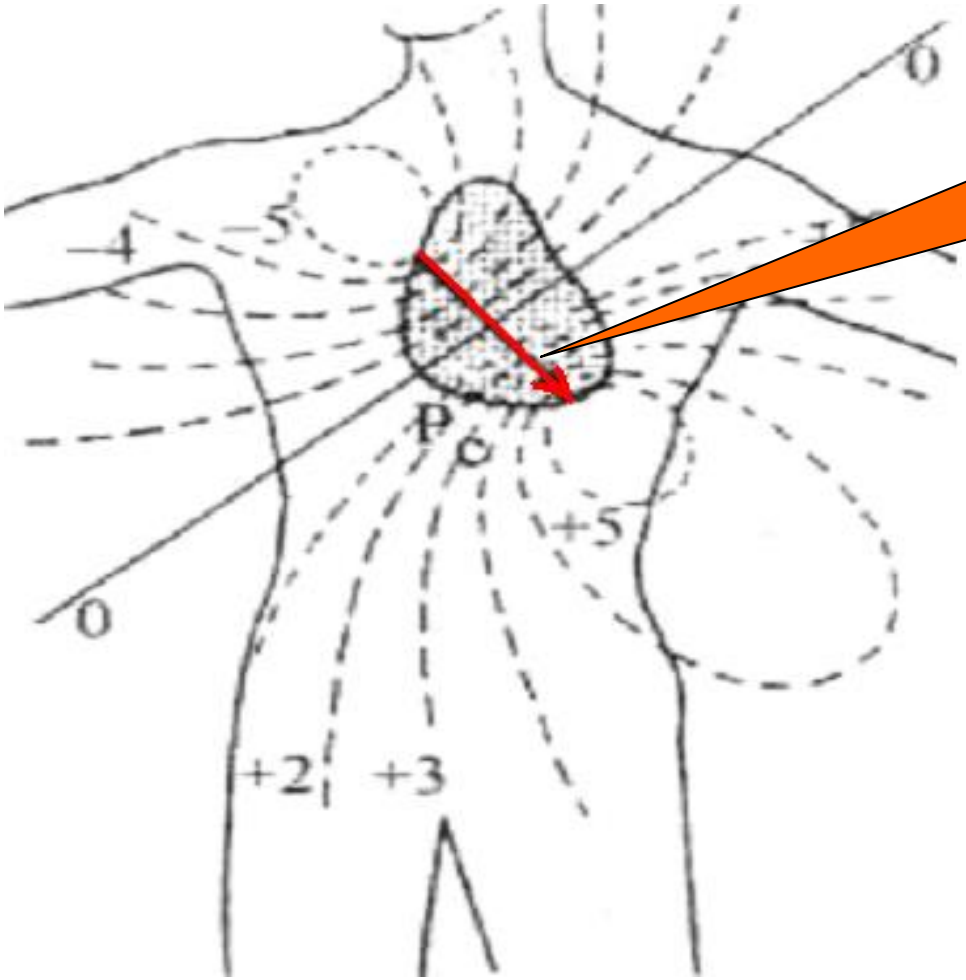
Разность потенциалов между точками на теле человека (например левая рука- правая рука) в физиологии принято называть «**отведениями**».

Три стандартных отведения



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

Поле диполя сердца

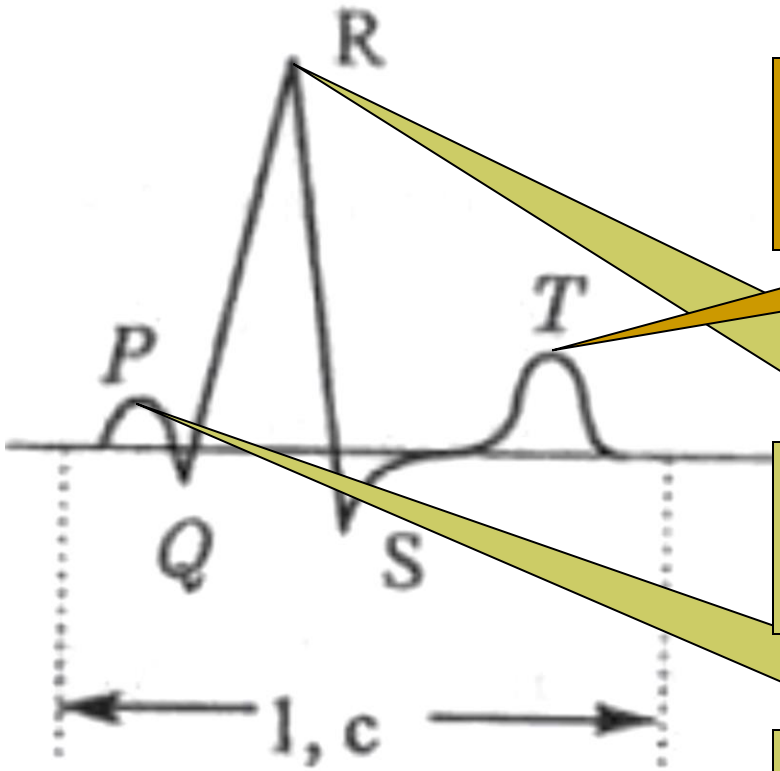


Электрическая ось сердца

Значения дипольного момента $\mathbf{p}_c$

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

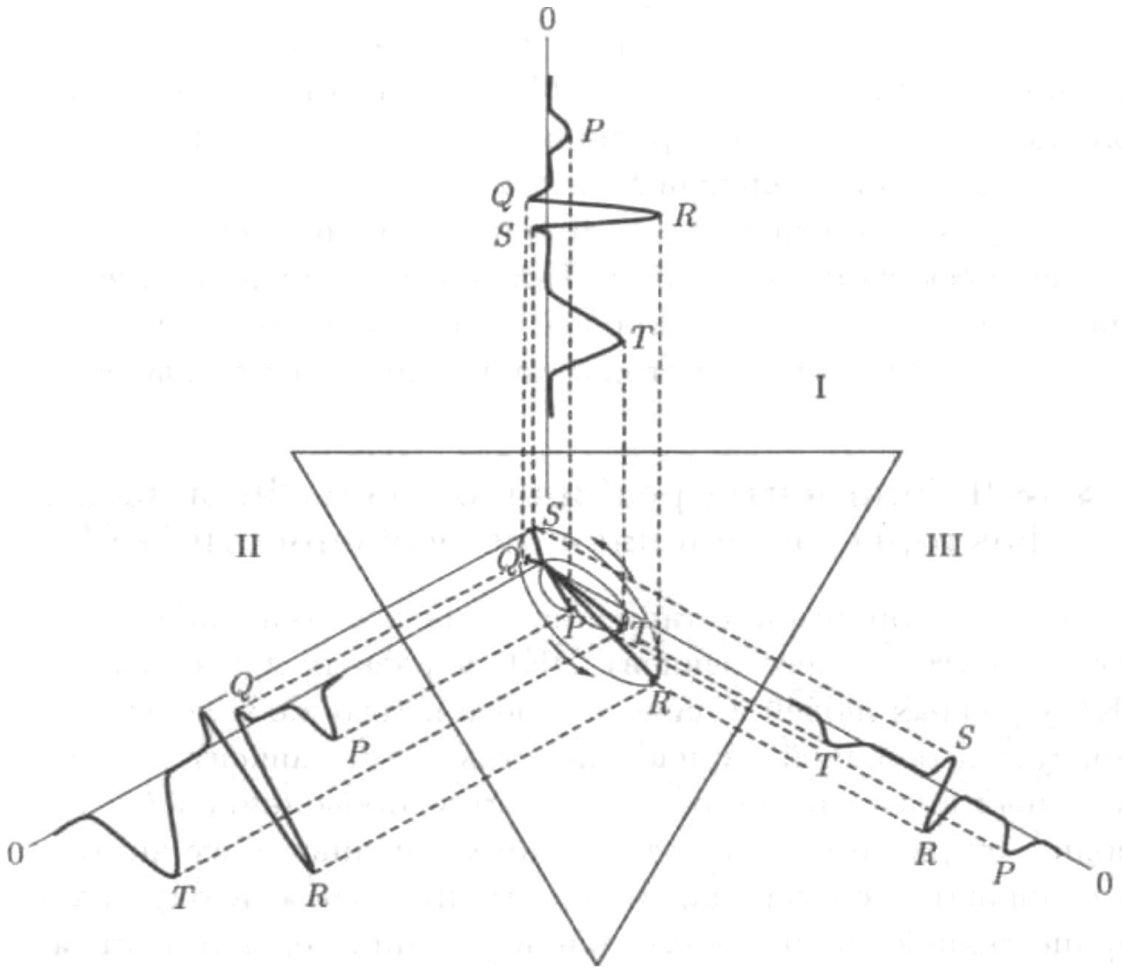


Падение возбуждения желудочков

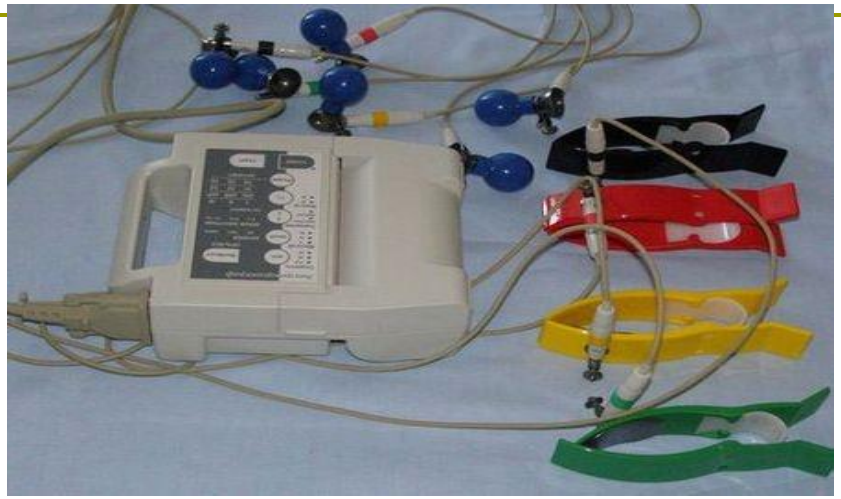
возбуждение желудочков

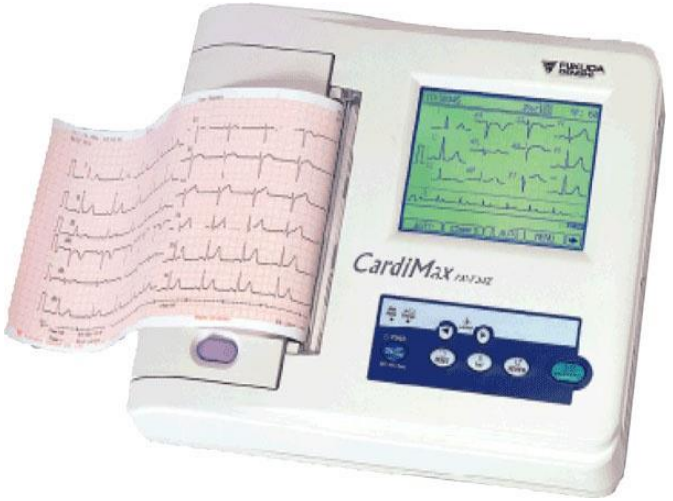
возбуждение предсердий

Нормальная ЭКГ в трех стандартных отведениях

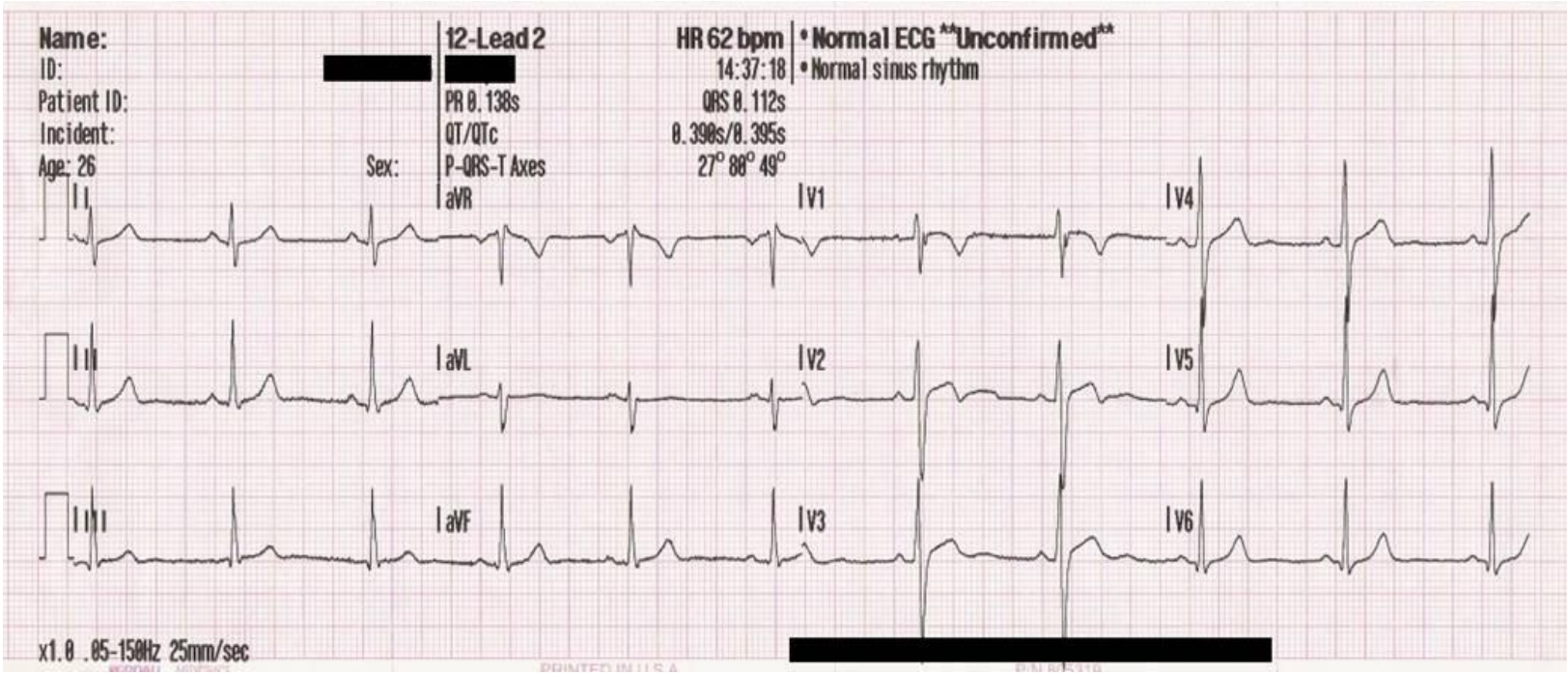


Кардиографы





Реальная электрокардиограмма



Факторы, определяющие особенности ЭКГ у отдельного человека:

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

Направление электрической оси сердца определяется вектором $\vec{P}_C$.

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

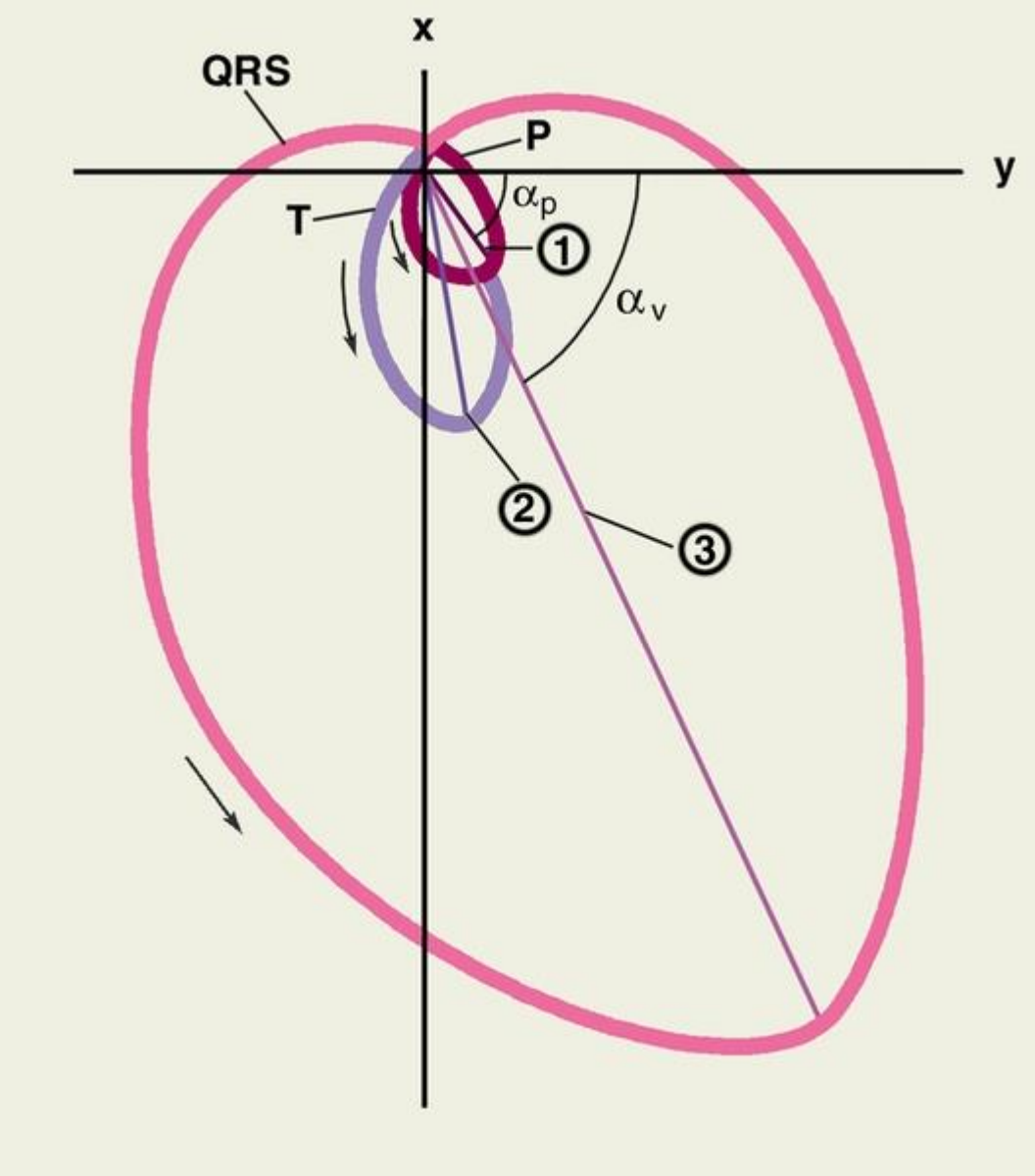
Направление электрической оси сердца

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

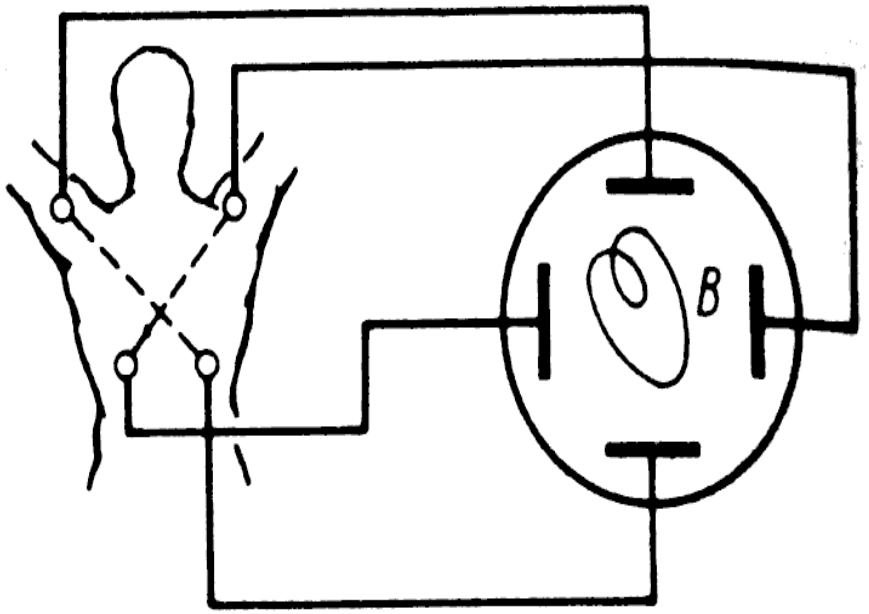
Векторкардиография — метод пространственно-количественного исследования электрического поля сердца в процессе кардиоцикла. В основе метода лежит принцип получения пространственной фигуры, являющейся графическим изображением изменений величины и направления электродвижущей силы (ЭДС) в течение всего сердечного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


x
QRS
P
y
T
α_p
①
α_v
②
③

Векторкардиография

Методика получения.

Напряжение от двух взаимно перпендикулярных отведений подают на взаимно перпендикулярные пластины **осциллографа**. При этом на экране получаются 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:

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

Дополнительная:

- Федорова В.Н., Е. В. Фаустов. Краткий курс медицинской и биологической физики с элементами реабилитологии: учебное пособие. -М.:ГЭОТАР-Медиа,2010 .-
- Антонов В.Ф., А. М. Черныш, Е. К. Козлова [и др.] Физика и биофизика. Курс лекций: учебное пособие.-М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008.-
- Ремизов А.Н., Максина А.Г. Сборник задач по медицинской и биологической физике: учеб. пособие для вузов. М. : Дрофа, 2010.
- Руководство к лабораторным работам по медицинской и биологической физике для самост. работы студентов /сост. О.Д. Барцева и др. Красноярск: Литера-принт, 2009.-
- Сборник задач по медицинской и биологической физике: учебное пособие для самост. работы студентов / сост. О.П.Квашнина и др. -Красноярск: тип.КрасГМА, 2007.-
- 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:

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

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

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ