

Лекция № 7

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЯХ. ОСНОВЫ РЕОГРАФИИ



ПОНЯТИЕ ПРО ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Электрический ток – направленное движение заряженных частиц.

Из определения следуют условия возникновения электрического тока:

1. Наличие направляющего фактора, которым является электрическое поле, а именно – разность потенциалов электрического поля (напряжение).
2. Наличие свободных заряженных частиц.

ВЕЩЕСТВА

(по поведению в электрическом поле) :

Проводники

(проводят электрический ток)

-1 рода - металлы, имеющие свободные электроны

-2 рода - растворы электролитов, в которых носителями заряда служат ионы

Полупроводники

(способность проводить электрический ток зависит от внешних условий, например, температуры)

Носители заряда – свободные электроны и «дырки».

Например, германий

Диэлектрики (не

проводят электрический ток)

В диэлектриках отсутствуют свободные заряженные частицы. Например, стекло.

Биологические ткани образованы проводниками 2 рода (жидкие среды) и диэлектриками (мембраны)

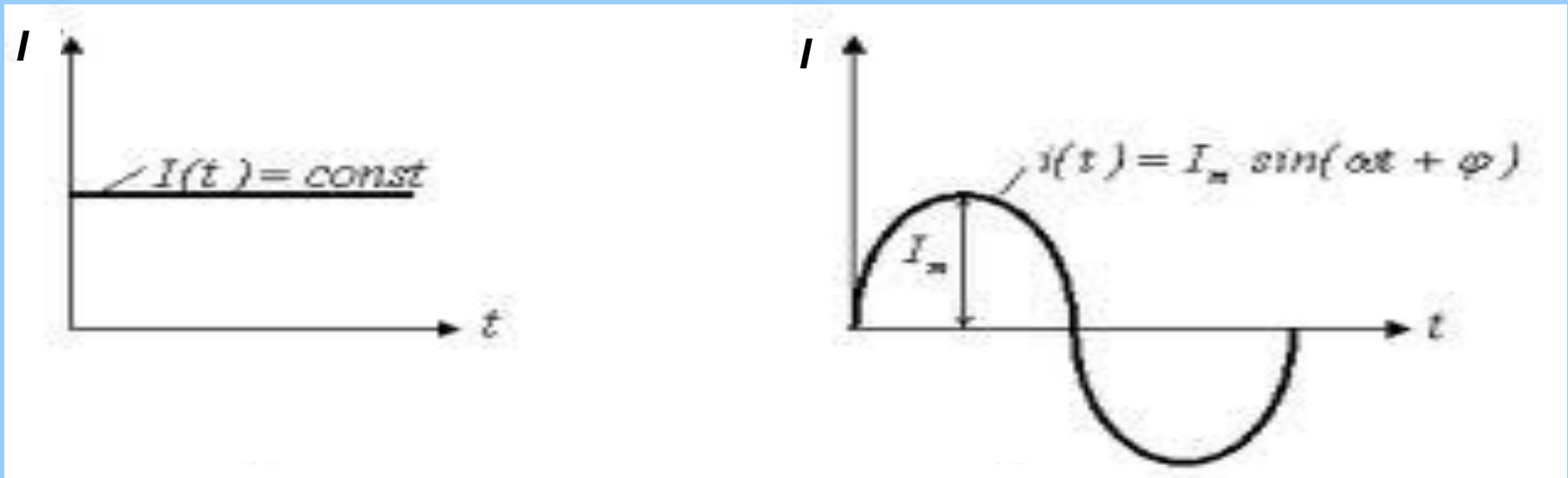
ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Основной характеристикой электрического тока является **сила тока** – общее количество заряда, пересекающее сечение проводника за единицу времени:

$$I = \frac{dq}{dt} \quad \left[\frac{Кл}{с} \right] = [A]. \quad 1mA = 10^{-3} A$$

При воздействии электрическим током на биологические ткани важное значение имеет **ПЛОТНОСТЬ ТОКА** – сила тока, приходящаяся на единицу сечения проводника или на единицу поверхности электрода:

$$J = \frac{I}{S} \quad \left[\frac{A}{м^2} \right].$$



Постоянный ток – это электрический ток, сила которого не меняется во времени по величине и направлению

Переменный ток - это ток, сила которого изменяется во времени по величине и направлению

ЗАКОН ОМА

ДЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

ПОКАЗЫВАЕТ, ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ СИЛА ТОКА В ПРОВОДНИКЕ

Для участка цепи

Для полной цепи

Сила тока:

$$I = \frac{U}{R}$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

1. Прямо пропорциональна разности потенциалов (напряжению или в полной цепи – ЭДС источника тока)
2. Обратно пропорциональна сопротивлению

U – напряжение, [В] ε – ЭДС, [В]
 R – сопротивление, [Ом]

Сопротивление – свойство проводника препятствовать прохождению в нём электрического тока. Обусловлено трением свободных электронов о ионы кристаллической решётки металла. Вследствие сопротивления проводник нагревается при прохождении тока.

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

ρ – удельное сопротивление, [Ом·м]

Обратные величины:
электропроводность

$$D = \frac{1}{R} \text{ [Ом}^{-1}\text{]} \quad \gamma = \frac{1}{\rho} \quad \gamma \text{ – удельная электропроводность, [Ом}^{-1}\text{·м}^{-1}\text{]}$$



$$J = \gamma \cdot E$$

ЗАКОН ОМА ДЛЯ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Плотность тока $\rightarrow J = q \cdot n \cdot (v_+ + v_-)$

Заряд ионов \downarrow q

Скорости катионов и анионов $\leftarrow v_+ + v_-$

число ионов \uparrow n

$$v_+ = u_+ \cdot E$$
$$v_- = u_- \cdot E$$

u_+ – подвижность катионов

u_- – подвижность анионов

E – напряжённость поля

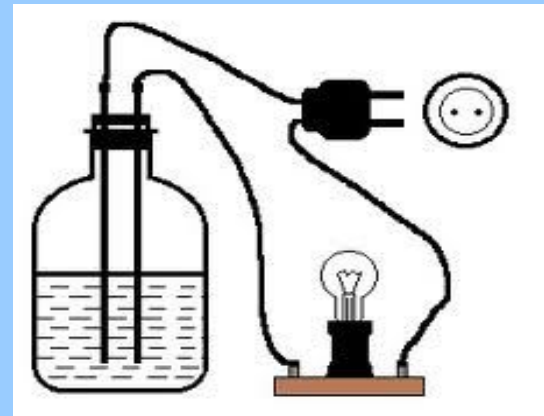
$$J = q \cdot n \cdot (u_+ + u_-) \cdot E$$

← ЗАКОН ОМА

Учитывая, что $J = \gamma \cdot E$

Электропроводность раствора

$$\gamma = q \cdot n \cdot (u_+ + u_-)$$



ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ ДЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В биологических тканях неодинакова подвижность ионов:

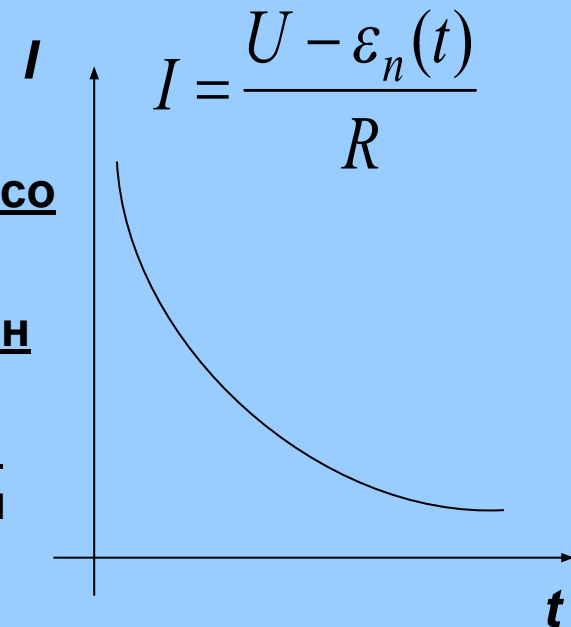
Наиболее электропроводны (обладают наименьшим сопротивлением) жидкие ткани: спинномозговая жидкость, кровь, лимфа.

Средней электропроводностью обладают мышцы и паренхиматозные органы (печень, почки и т.д.)

Наименее электропроводна сухая кожа, кости, жировая ткань, в которых ограничена подвижность ионов или обладающих диэлектрическими свойствами.

Если постоянный ток имеет силу, которая не повреждает биологические ткани, то при постоянном напряжении сила тока в биологических тканях падает со временем.

Это обусловлено: 1. Ёмкостными свойствами мембран – способностью накапливать заряд, в результате чего ток через них не протекает. 2. явлениями поляризации биологических тканей (разделением зарядов), которая порождает встречную ЭДС, уменьшающую силу тока, возникающего под действием внешнего напряжения



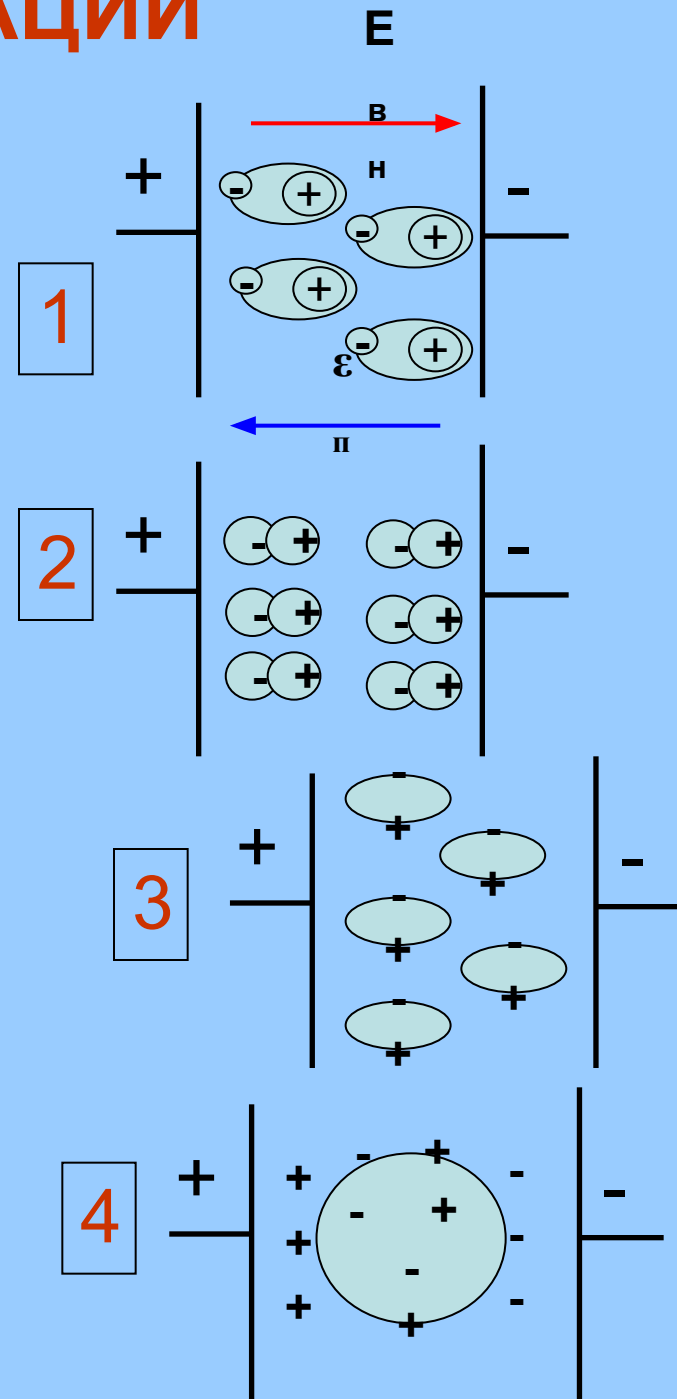
ВИДЫ ПОЛЯРИЗАЦИИ

1. **электронная (деформационная)** – деформация электронных орбиталей атомов неполярных диэлектриков под действием внешнего электрического поля

2. **ионная** – смещение ионов в кристаллической решётке вдоль направления электрического поля (разделение решётки на «подрешётки» - положительную и отрицательную с ориентацией в поле соответственно заряду)

3. **дипольная (ориентационная)** – выстраивание диполей вдоль силовых линий внешнего поля

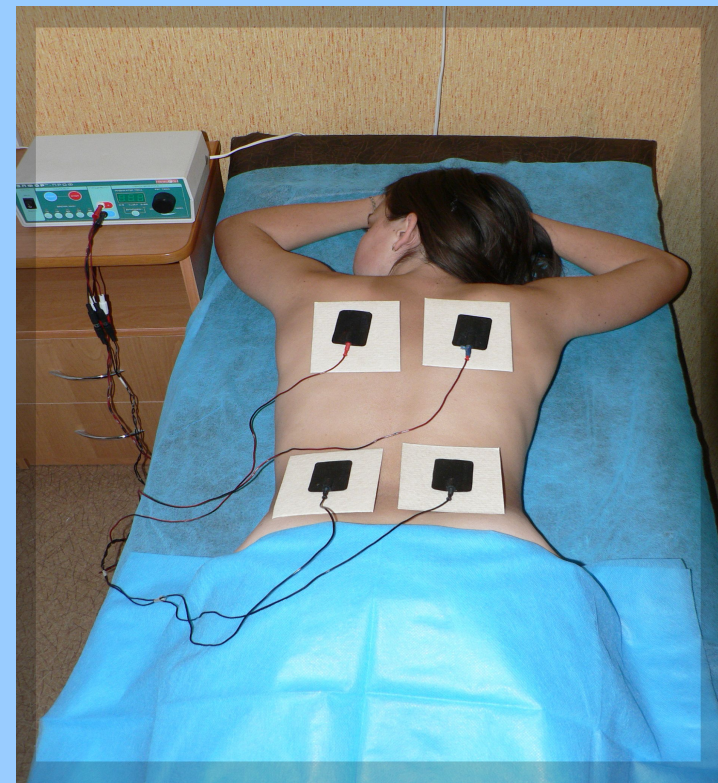
4. **макроструктурная** – возникает в объектах, неоднородных по электропроводности. В проводящей среде ионы двигаются в слое с высокой электропроводностью (например, цитоплазма или межклеточная жидкость) до слоя с малой электропроводностью (например, мембрана), где останавливаются. Из-за этого проводящая среда становится полярной. Для биологических объектов – основной вид п.



ГАЛЬВАНИЗАЦИЯ. ЭЛЕКТРОФОРЕЗ

Гальванизация — метод терапии, основанный на пропускании через области тела постоянного тока слабой силы (до 50 мА, плотность тока до $0,1 \text{ мА/см}^2$) путём наложения на кожу электродов, напряжение между которыми составляет 50-80 В.

Между электродом и кожей - толстая фланелевая прокладка для уменьшения электрического сопротивления кожи и защиты кожи от продуктов электролиза на электродах. Эффект гальванизации — поляризация тканей.



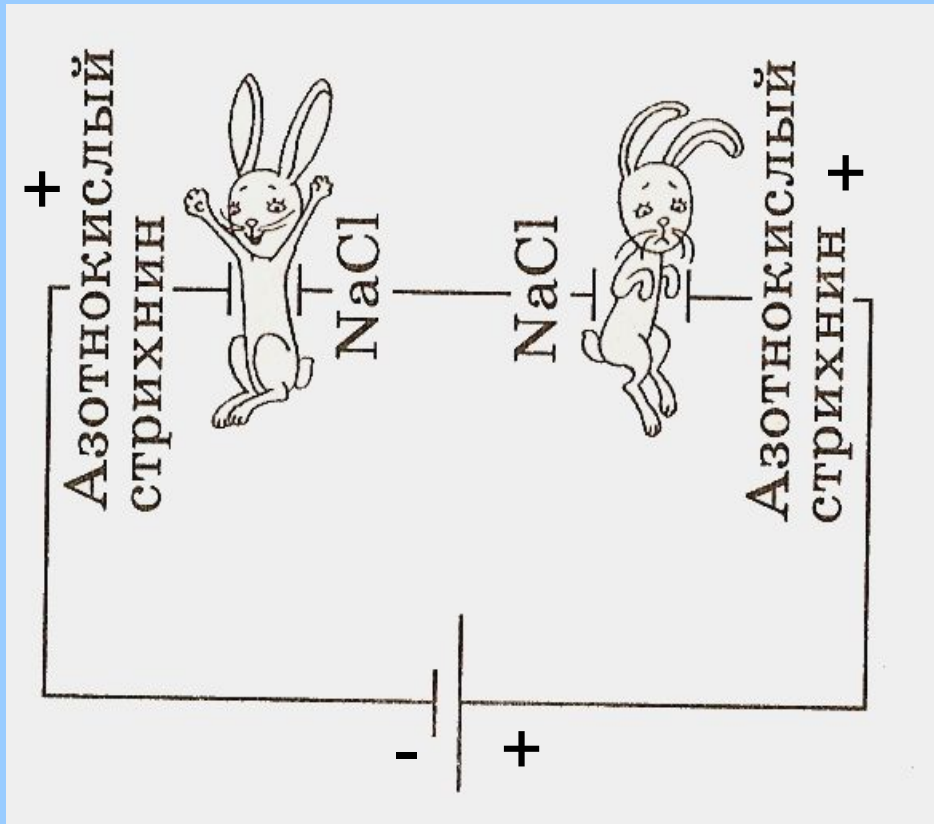
Электрофорез — введение с помощью постоянного тока слабой силы (до $0,5 \text{ мА/см}^2$), вызванного напряжением 50-80 В, лекарств через неповреждённую кожу.

Требование к лекарственному препарату — **должен быть электролитом.**

Врач должен знать, какой из ионов (анион или катион, или оба) оказывает лечебное действие и вводить его **с электрода одноимённой полярности - катион(+)** с анода (+); анион (-) с катода(-).

ЭЛЕКТРОФОРЕЗ

В результате отталкивания ионов от одноимённо заряженного электрода – они проникают под кожу и формируют подкожное депо препарата. Путь тока – участки наименьшего электрического сопротивления (протоки потовых желез, кровеносные и лимфатические сосуды, межклеточные пространства).



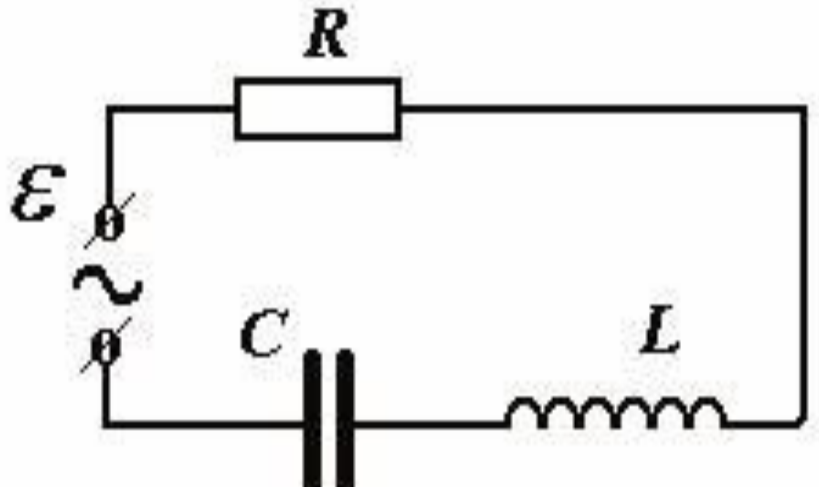
Достоинства метода:

1. Неинвазивность
2. Воздействие непосредственно в необходимой зоне (локальность)
3. Препарат минует системный кровоток
4. Пролонгированное действие
5. К локальному добавляется рефлекторное действие – препарат в коже раздражает свободные нервные окончания что приводит к рефлекторному усилению кровотока

Недостатки: 1. невозможность точного количественного учёта введённого препарата
2. Применим только к электролитам

ПОЛНАЯ ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. ИМПЕДАНС

Активное сопротивление



Реактивное сопротивление

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad [Ом]$$

$$X_L = \omega \cdot L \quad [Ом]$$

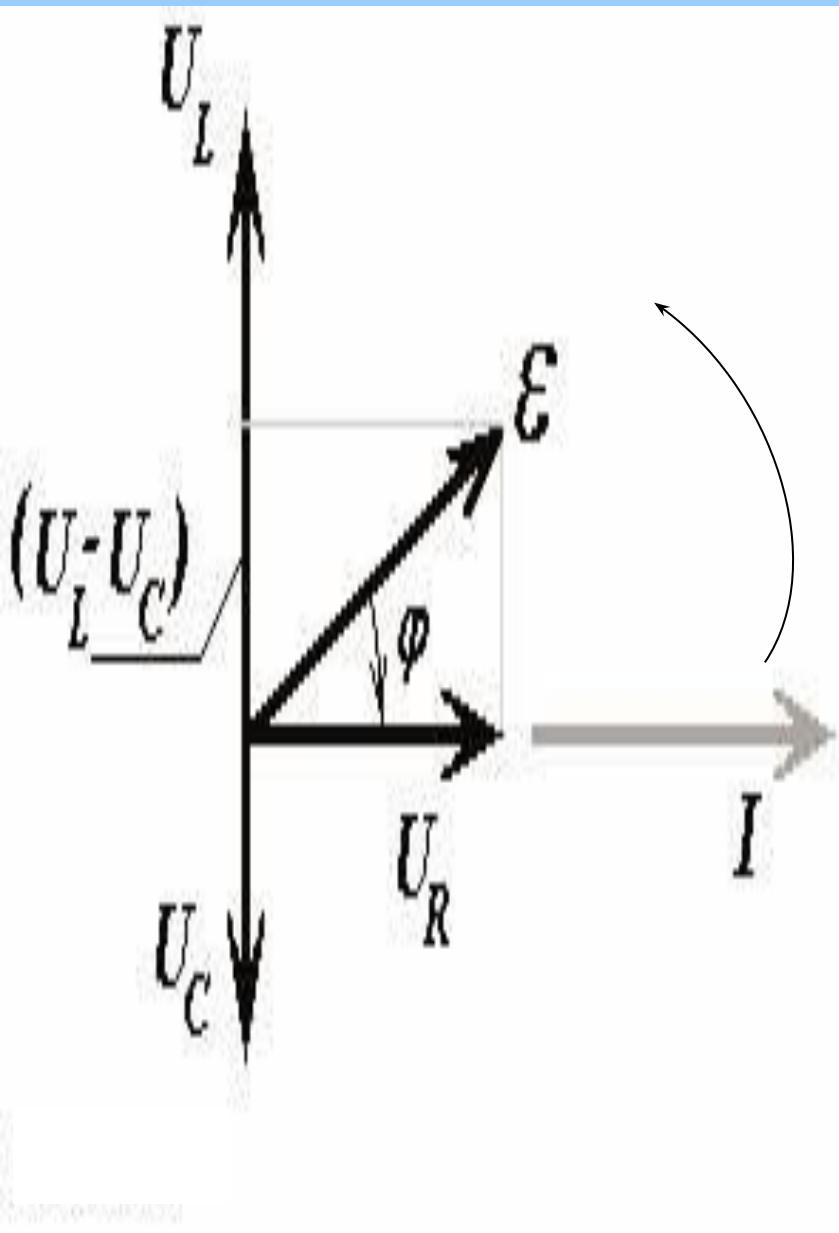
ПОЛНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЦЕПИ
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА - **ИМПЕДАНС**

$$\varepsilon_c = -L \cdot \frac{dI}{dt} \quad [L] = [Генри]$$

$$C = \frac{q}{U} \quad [C] = [Фарад]$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

ИМПЕДАНС — ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ
СУММА АКТИВНОГО И РЕАКТИВНОГО
СОПРОТИВЛЕНИЙ



1. Задают ось тока – вектор, показывающий колебание силы тока в цепи с частотой ω (вращение его по окружности).
2. Колебание напряжения на активном сопротивлении совпадает по фазе с осью тока.
3. Колебание напряжения на ёмкостном сопротивлении отстаёт от оси тока на 90° .
4. Колебания напряжения на индуктивном сопротивлении опережает ось тока на 90° .

$$\varepsilon^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2$$

$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2$$

ОСОБЕННОСТИ ИМПЕДАНСА БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ

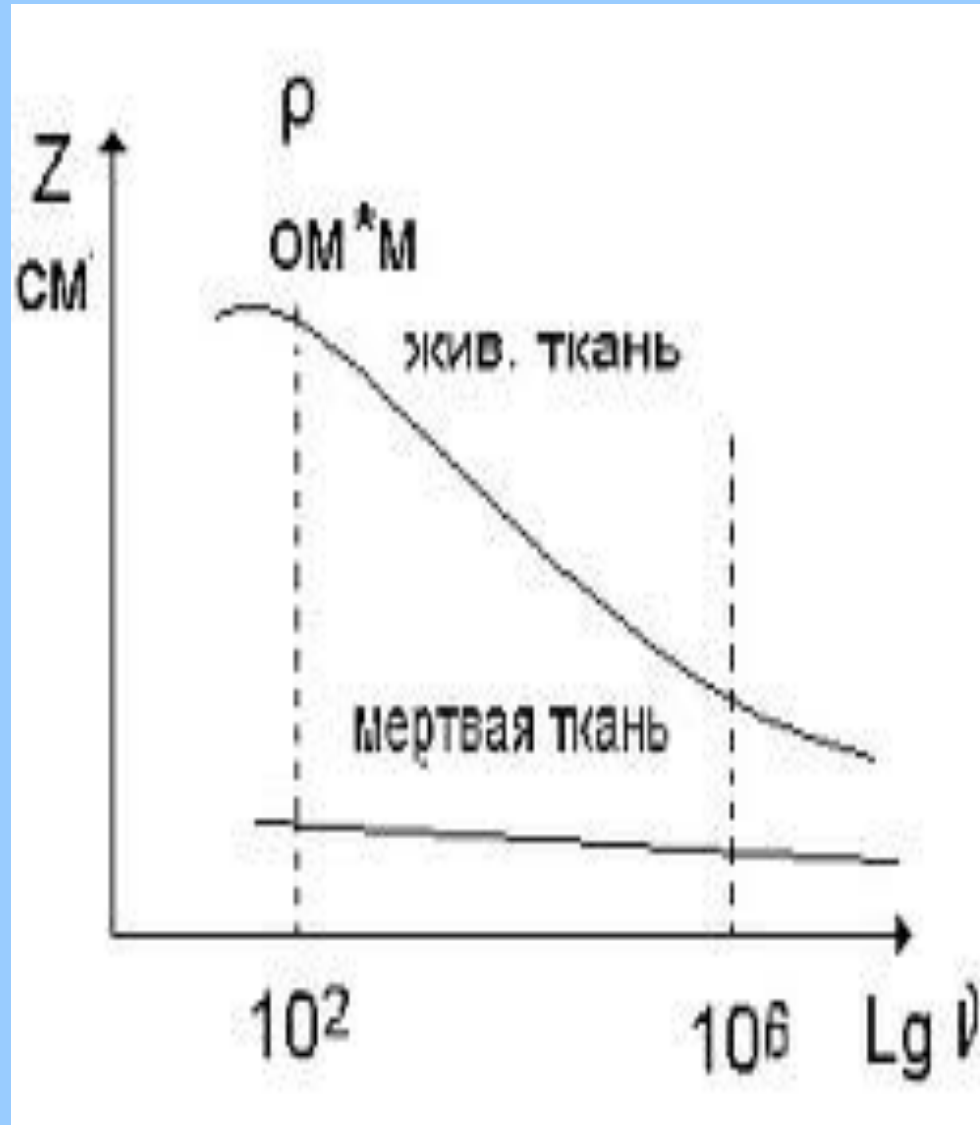
$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2} = \sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega \cdot C)^2}}$$

НЕТ ИНДУКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ!

Дисперсия импеданса – зависимость импеданса в живых тканях (вследствие наличия ёмкости у мембран) от частоты пропускаемого через ткань переменного тока.

Импедансометрия – исследование зависимости импеданса тканей от частоты для определения их жизнеспособности, наличия воспалительных процессов и т.

д.



ОСНОВЫ РЕОГРАФИИ

Реография – метод исследования кровенаполнения органов и тканей с помощью переменного тока частотой от 200 до 500 кГц по изменению их импеданса в ходе сердечного цикла.

Теоретическая основа метода – **ФОРМУЛА КЕДРОВА:**

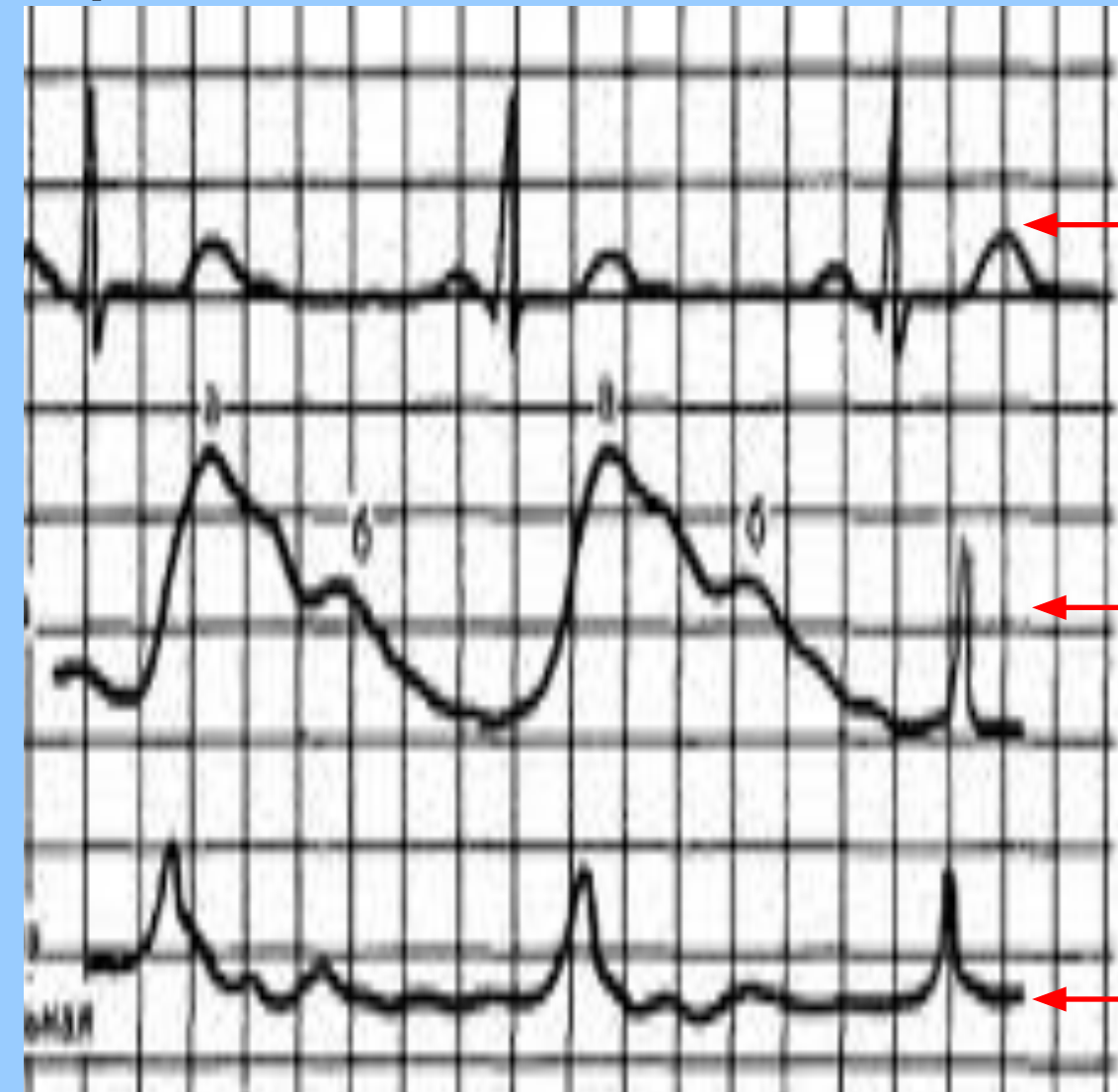
$$\begin{array}{l} \text{Объём органа во} \rightarrow \\ \text{время систолы} \end{array} \rightarrow \frac{\Delta V}{V} = -k \cdot \frac{\Delta R}{R} \leftarrow \begin{array}{l} \text{Сопротивление во} \\ \text{время систолы} \end{array}$$
$$\begin{array}{l} \text{Объём органа во} \rightarrow \\ \text{время диастолы} \end{array} \rightarrow \frac{\Delta V}{V} = -k \cdot \frac{\Delta R}{R} \leftarrow \begin{array}{l} \text{Сопротивление во} \\ \text{время диастолы} \end{array}$$

Электропроводность крови больше, чем исследуемых органов. Поэтому во время систолы (кровенаполнения) электрическое сопротивление органов снижается.

В реографии применяется переменный электрический ток, поскольку ткани более электропроводны для него.

При высоких частотах тока ёмкостной составляющей импеданса можно пренебречь, поэтому про изменения объёма крови судят по изменению активного сопротивления, которое входит в формулу Кедрова.

Реограмма — кривая, отражающая изменение электропроводности органа или ткани в течение сердечного цикла



ЭКГ

Интегральная
реограмма отражает
объём кровенаполнения

Дифференциальная
реограмма отражает
скорость кровенаполнения

В МЕДИЦИНЕ применяют с терапевтической и диагностической целью постоянный и низкочастотный переменный **ток МАЛОЙ СИЛЫ!**

Ток большой силы может вызывать существенные нарушения жизнедеятельности органов и тканей, вплоть до паралича дыхательного центра и фибрилляции желудочков сердца.





СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!!!