



**ФГБОУ ВО
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра нормальной физиологии

Электричество

Автор: Панченко Е.И.

- **Электрический ток** – упорядоченное движение свободных заряженных частиц
- **Электропроводность** – свойство веществ проводить электрический ток
- **Сопротивление** – свойство проводника противодействовать установлению электрического тока
- **Сила тока** – количество заряда, прошедшего через площадь поперечного сечения проводника за единицу времени.

$$I = \frac{dq}{dt} \quad \text{где } q\text{-заряд, } t\text{-время } [I]=1 \text{ А (ампер)}$$

- **Плотность тока** – отношение силы тока к площади поперечного сечения проводника.

$$j = \frac{I}{S} \quad , \text{ где } S - \text{площадь поперечного сечения проводника } [j]=1 \text{ А/м}^2$$

- [R=1 Ом]

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

- **Удельное сопротивление** – сопротивление цилиндрического проводника единичной длины и единичной площади поперечного сечения [$\rho=1\text{Ом}\cdot\text{м}$]

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t),$$

ρ_0 – удельное сопротивление при 20^0C

α – температурный коэффициент сопротивления

$$\rho = \frac{1}{g}, \text{ где } g - \text{удельная электропроводность}$$

Электрическое поле есть разновидность материи, посредством которой осуществляется силовое воздействие на электрические заряды, находящиеся в этом поле.

1. Главное свойство электрического поля – действие его на электрические заряды с некоторой силой.
2. Электрическое поле неподвижных зарядов называют **электростатическим** (оно не меняется со временем).
3. Электростатическое поле создается только электрическими зарядами.
Оно существует в пространстве, окружающем эти заряды, и неразрывно с ними связано.
4. Переменное электрическое поле не связано с зарядами неразрывно.

Характеристики электрического поля

- Силовой характеристикой электрического поля является **напряженность**

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

где F – сила, действующая со стороны поля на неподвижный заряд q_0 .

Электростатическое поле называют **однородным**, если его напряженность во всех точках поля одинакова.

В противном случае поле называют **неоднородным**.

- Силовыми линиями** (линиями напряженности) называют линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора **напряженности** в этой точке поля. Они начинаются на положительных и оканчиваются на отрицательных зарядах.

Характеристики электрического поля

- **Потенциалом** в данной точке поля называется скалярная величина,
численно равная
потенциальной энергии $W_{\text{п}}$ единичного
положительного заряда, помещенного в эту точку.
$$\varphi = \frac{W_{\text{п}}}{q}$$
- **Эквипотенциальной поверхностью** называется геометрическое место точек в электростатическом поле, **имеющих одинаковый потенциал**. В любой точке эквипотенциальной поверхности вектор напряженности электростатического поля перпендикулярен к ней и направлен в сторону убывания потенциала
- **Связь между напряженностью и потенциалом** электростатического поля: $\vec{E} = -\text{grad } \varphi$

Принцип суперпозиции полей

- Если в данной точке пространства различные заряженные частицы создают электрические поля, напряженности которых

$$\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3 \dots,$$

то результирующая напряженность поля в этой точке равна

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$$

Электрический диполь

- **Электрический диполь** – системы двух равных по величине и противоположных по знаку электрических зарядов $+q$ и $-q$, расположенных на расстоянии l друг от друга (плечо диполя) $\vec{p} = q\vec{l}$.
- **Электрический момент диполя** - вектор направлен по оси диполя от отрицательного заряда к положительному.
- На диполь, помещенный во внешнее однородное электрическое поле, действует пара сил с моментом силы:

$$\vec{M} = [\vec{p}_e \vec{E}]$$

стремящаяся повернуть диполь в направлении вектора напряженности поля.

Диэлектрики

- **Диэлектриками** называют тела, не проводящие электрического тока.
- К диэлектрикам относят твердые тела (эбонит, фарфор), жидкости (чистая вода) и газы.
- При изменении внешних условий (нагревание, воздействие ионизирующих излучений ...) диэлектрик может проводить электрический ток.
- Изменение состояния диэлектрика при помещении в электрическое поле можно объяснить его молекулярным строением.
- **Выделяют три класса диэлектриков:** полярные (вода, нитробензол), неполярные (водород, кислород), кристаллические (NaCl).

- Полярные - молекулы этих диэлектриков не симметричны, «центры масс» их положительных и отрицательных зарядов не совпадают, поэтому такие **молекулы обладают электрическим дипольным моментом даже в случае, когда электрического поля нет.**
- В отсутствие электрического поля дипольные моменты молекул ориентированы хаотически и векторная сумма моментов всех N молекул равна нулю:

$$\sum_{i=1}^N \vec{p}_i = 0.$$

- Если диэлектрик поместить в электрическое поле, то дипольные моменты молекул стремятся ориентироваться вдоль поля, однако полной ориентации не будет вследствие молекулярно-теплого хаотического движения.

$$\sum_{i=1}^N \vec{p}_i \neq 0.$$

- Неполярные - **молекулы в отсутствие электрического поля не имеют дипольных моментов.**
- В таких молекулах заряды электронов и ядер расположены так, что «центры масс» положительных и отрицательных зарядов совпадают.
- Если неполярную молекулу поместить в электрическое поле, то разноименные заряды несколько сместятся в противоположные стороны и молекула будет иметь дипольный момент.
- Молекулы такого диэлектрика в отсутствие поля:

$$\sum_{i=1}^N \vec{p}_i = 0.$$

- и при наложении поля:

$$\sum_{i=1}^N \vec{p}_i \neq 0.$$

- Кристаллические - **решетка состоит из положительных и отрицательных ионов** (можно схематически рассматривать как совокупность двух «подрешеток», одна из которых заряжена положительно, другая — отрицательно).
- При отсутствии поля подрешетки расположены симметрично и суммарный электрический момент такого диэлектрика равен нулю.
- Если диэлектрик поместить в электрическое поле, то подрешетки немного сместятся в противоположные стороны и диэлектрик приобретет электрический момент.

- Все эти процессы, происходящие в разных диэлектриках при наложении электрического поля, объединяют общим термином **поляризация**, т. е. **приобретение диэлектриком дипольного момента**.
- Для первого класса диэлектриков характерна **ориентационная поляризация**, для второго — **электронная**, т. е. смещение главным образом электронных оболочек, для третьего — **ионная**.
- Для оценки состояния поляризации диэлектрика вводят величину, называемую **поляризованностью**, среднее значение которой равно отношению суммарного электрического момента элемента объема V диэлектрика к этому объему:

$$\vec{P}_e = \sum_{i=1}^N \vec{p}_i / V.$$

- **Диэлектрическая проницаемость среды ε** равна отношению силы взаимодействия зарядов в вакууме к силе взаимодействия этих же зарядов на том же расстоянии в среде:

$$\frac{F_0}{F} = \varepsilon$$

Различие диэлектрической проницаемости нормальных и патологических тканей и сред как в постоянных, так и в переменных, электрических полях можно использовать для диагностических целей.

Проводники и диэлектрики

- **Проводники** – вещества, содержащие **свободные** носители электрического заряда (металлы и их сплавы, электролиты, из биологических тканей – нервные волокна, кровеносные и лимфатические сосуды, спинномозговая жидкость)
- **Диэлектрики** - вещества, в которых нет свободных носителей электрического заряда (биологические ткани – кожа сухая, кость, сухожилия)

	ρ , Ом*м		ρ , Ом*м
Спинномозговая жидкость	0,55	Ткань жировая	33,3
Кровь	1,66	Кожа сухая	10^5
Мышцы	2	Кость без надкостницы	10^7
Ткань мозговая и нервная	14,3		

Теория Максвелла

- **В основе теории Максвелла лежат два положения:**
- 1. Всякое переменное электрическое поле порождает вихревое магнитное. Переменное электрическое поле было названо Максвеллом током смещения, так как оно подобно обычному току, вызывает магнитное поле.
- 2. Всякое переменное магнитное поле порождает вихревое электрическое (основной закон электромагнитной индукции)

- **Первое уравнение Максвелла:**

$$\oint H_l dl = I_{np} + \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{dE}{dt} S,$$

которое показывает, что вихревое магнитное поле порождается как токами проводимости I_{np} (движущимися электрическими зарядами), так и токами смещения (переменным электрическим полем E).

- **Второе уравнение Максвелла:**

$$\oint E_l dl = -\frac{d\Phi}{dt},$$

которое связывает скорость изменения магнитного потока сквозь любую поверхность и циркуляцию вектора напряженности электрического поля, возникающего при этом. Циркуляция берется по контуру, на который опирается поверхность.

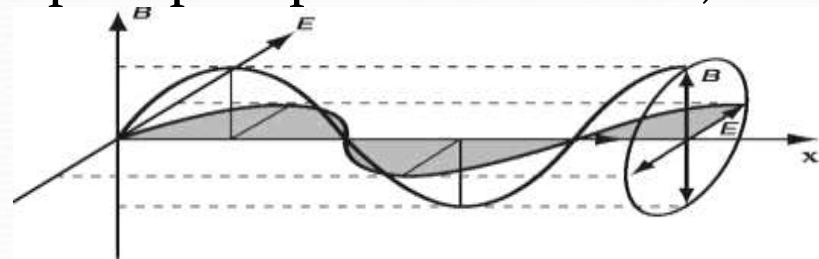
- Электромагнитными (электрическими) колебаниями называют периодические (или почти периодические) взаимосвязанные изменения зарядов, токов и характеристик электрического и магнитного полей.
- Распространение электромагнитных колебаний в пространстве происходит в виде электромагнитных волн.
- Взаимное образование электрических и магнитных полей приводит к понятию **электромагнитной волны — распространение единого электромагнитного поля в пространстве.**

- Распространение плоской электромагнитной волны описывается двумя уравнениями — соответственно для электрической и магнитной компонент единого электромагнитного поля.

$$E = E_m \cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \right],$$

$$B = B_m \cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \right].$$

- Здесь E и B соответственно напряженность электрического поля и магнитная индукция,
- E_m , B_m — их амплитудные значения.
- Векторы $\vec{E}$, $\vec{B}$, $\vec{v}$ (скорость распространения волны) взаимно перпендикулярны.



- В теории Максвелла было получено выражение для скорости распространения электромагнитной волны :

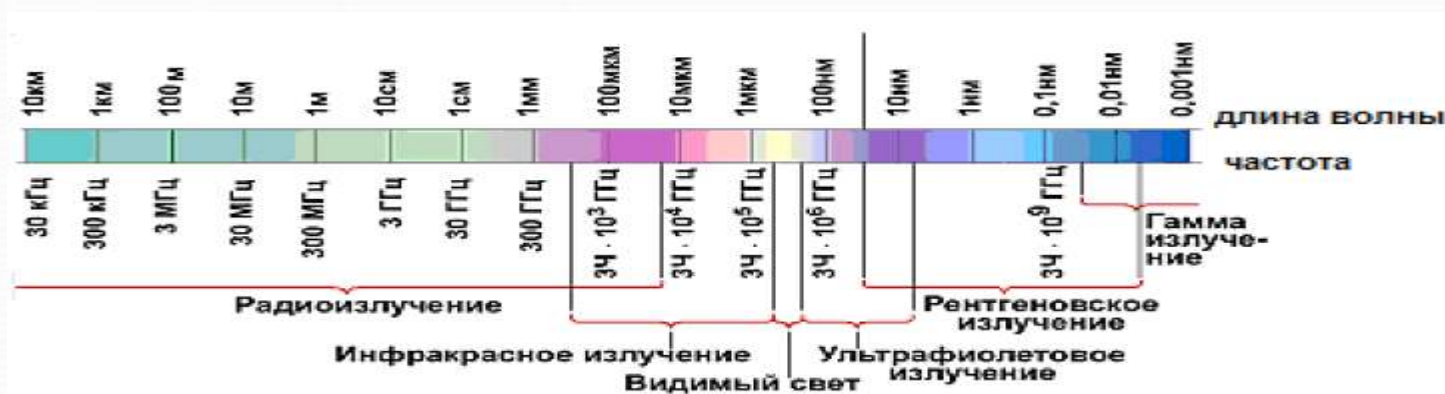
$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}}.$$

- $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}$ - скорость света в вакууме, ε и μ – соответственно диэлектрическая и магнитная проницаемости, ε_0 , μ_0 - соответственно электрическая и магнитная постоянные.
- Скорость распространения электромагнитных волн равна скорости света.

Свойства электромагнитных волн:

- Поперечные волны;
- скорость распространения в вакууме не зависит от частоты;
- частичное поглощение волн диэлектриком;
- практически полное отражение волн от металлов;
- преломление волн на границе диэлектриков;
- интерференция, дифракция волн.

- Из теории Максвелла вытекает, что различные электромагнитные волны, в том числе и световые, имеют общую природу.
- В связи с этим целесообразно представить всевозможные электромагнитные волны (электромагнитное излучение) на единой шкале. Вся шкала условно подразделена на шесть диапазонов: **радиоволны (длинные, средние и короткие)** - обусловлены переменными токами в проводниках и электронными потоками (макроизлучатели), **инфракрасные, видимые, ультрафиолетовые** - исходят из атомов, молекул и быстрых заряженных частиц (микроизлучатели), **рентгеновские волны** - излучение возникает при внутриатомных процессах - **и гамма-излучение** - имеет ядерное происхождение.



Действие постоянного электрического тока на ткани организма

Гальванизация - метод лечебного воздействия *постоянным током* небольшой величины (до 50 мА) (напряжение 60—80 В).

Электрофорез – метод *введения лекарственных веществ* в организм (ионы йода, металлы, пенициллин и др.) при помощи *постоянного электрического тока*. Препарат вводится с электрода, знак которого имеют вводимые ионы: с катода – отрицательные ионы, с анода – положительные ионы.

Предельно допустимая плотность тока при электрофорезе и гальванизации:

$$j_{пред} = 0,1 \text{ мА} / \text{см}^2$$

Переменный ток

- **Переменный ток** — любой ток, изменяющийся со временем. Однако чаще термин «переменный ток» применяют к квазистационарным токам (время установления одинакового значения по всей цепи значительно меньше периода колебаний), зависящим от времени по гармоническому закону.
- **Сопротивление организма** прежде всего, определяется **сопротивлением кожи**, а эта величина, зависит от ее состояния: толщины, влажности.
- Внутри тела ток в основном распространяется по **кровеносным и лимфатическим сосудам, мышцам и оболочкам нервных волокон**.
- Сопротивление тканей зависит от состояния организма.
- **Сопротивление увеличивается:**
при воспалительных процессах, сопровождающихся набуханием клеток (уменьшается сечение межклеточных соединений.)
- **Уменьшение сопротивления:**
происходит при состояниях с повышенной потливостью.

- Моделировать электрические свойства биологических тканей можно, используя **резисторы**, которые обладают **активным сопротивлением**, и **конденсаторы** — носители **емкостного сопротивления**.

- В качестве модели обычно используют эквивалентную электрическую схему тканей организма: она представляет собой схему, состоящую из резисторов и конденсаторов, частотная зависимость (дисперсия) импеданса которой близка к частотной зависимости импеданса биологической ткани.

- Эквивалентная схема поверхностных тканей может быть представлена как последовательное соединение активного сопротивления R и емкости C :

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

- Эквивалентная схема глубоколежащих тканей может быть представлена как параллельное соединение активного сопротивления R и емкости C :

$$Z = \frac{R}{\sqrt{1 + (RC\omega)^2}}.$$



рис.4

- Частотная зависимость импеданса позволяет оценить жизнеспособность тканей организма, что важно знать для пересадки (трансплантации) тканей и органов. Различие в частотных зависимостях импеданса получается и в случаях здоровой и больной ткани.
- Импеданс тканей и органов зависит также и от их физиологического состояния. Так, при кровенаполнении сосудов импеданс изменяется в зависимости от состояния сердечно-сосудистой деятельности.
- Диагностический метод, основанный на регистрации изменения импеданса тканей в процессе сердечной деятельности, называют **реографией** (импеданс-плетизмография).

Действие переменного (гармонического) электрического тока низкой частоты (меньше 500 кГц)

- Оказывает **раздражающее действие**: под действием низкочастотного тока происходит 1) перемещение ионов, изменение их концентрации вблизи мембран клеток 2) изменение мембранного потенциала 3) изменение функционального состояния клетки.
- При этом в физиотерапии используют токи, находящиеся между **порогом осязаемого значения** и **порогом неотпускающего значения**.
- **Порогом осязаемого значения** называют наименьшую силу тока, раздражающее действие которого ощущает человек.
- Среднее значение порога осязаемого тока на частоте 50 Гц составляет на участке предплечье-кисть порядка 1 мА.
- **Порогом неотпускающего значения** называют наименьшую силу тока, при которой человек не может самостоятельно освободиться от проводника (источника тока), так как происходит непроизвольное сгибание сустава.
- Среднее значение порога неотпускающего значения на частоте 50 Гц составляет 6 – 10 мА.

- В проводящих телах, находящихся в переменном магнитном поле, вследствие электромагнитной индукции возникают токи, которые принято называть **вихревыми**.
- Эти токи могут использоваться для прогревания биологических тканей и органов. Такой лечебный метод называется — **индуктотермия**
- При индуктотермии количество теплоты, выделяющееся в тканях, пропорционально квадратам частоты и индукции переменного магнитного поля и обратно пропорционально удельному сопротивлению:
$$q = k \frac{\omega^2}{\rho} B_m^2 \sin^2 \omega t.$$
- Поэтому сильнее будут нагреваться ткани, богатые сосудами, например мышцы, чем такие ткани, как жир.
- Лечение вихревыми токами возможно также при **общей дарсонвализации**.

В тканях, находящихся в переменном электрическом поле, возникают токи проводимости в проводниках и частично в диэлектрике, а также имеет место изменение поляризации диэлектрика.

Обычно для лечебной цели используют электрические поля ультравысокой частоты, поэтому соответствующий физиотерапевтический метод получил название **УВЧ-терапии**.

- Нагрев **проводящих тканей** можно оценить по формуле:

$$\Delta Q_1 = k_1 j E,$$

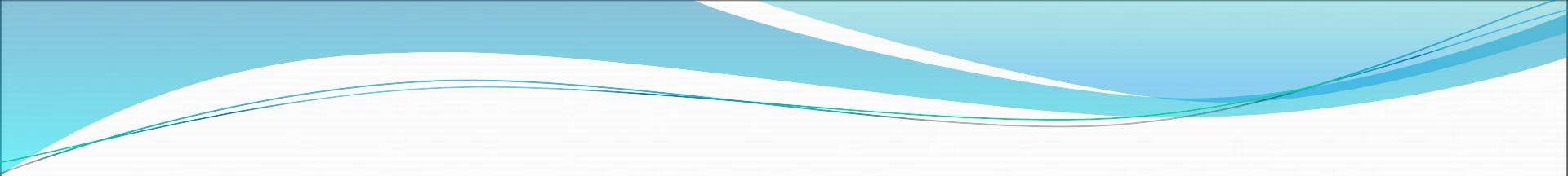
где ΔQ_1 – количество теплоты, выделяющееся в единице объема за единицу времени, j – удельная электропроводность тканей, E – напряженность электрического поля, k_1 – коэффициент пропорциональности.

- В **тканях-диэлектриках** количество теплоты

$$\Delta Q_2 = k_2 \epsilon \nu E \operatorname{tg} \delta,$$

где ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость тканей, ν – частота колебаний, E – напряженность электрического поля, δ – угол диэлектрических потерь, k_2 – коэффициент пропорциональности.

- При частоте 25 - 50 МГц ткани диэлектрики нагреваются интенсивнее проводящих тканей.



Спасибо за внимание!