



Кафедра медицинской и
биологической физики

Работа низкочастотной и высокочастотной терапевтической аппаратуры. .

*Лекция №5
для студентов 1 курса, обучающихся по специальности
31.05.03 - Стоматология*

Уравнения Максвелла

Открытие тока смещения позволило Максвеллу создать единую теорию электрических и магнитных явлений. Эта теория объяснила все известные в то время экспериментальные факты и предсказала ряд новых явлений, существование которых подтвердилось впоследствии. Основным следствием теории Максвелла был вывод о существовании электромагнитных волн, распространяющихся со скоростью света. Теоретическое исследование свойств этих волн привело Максвелла к созданию электромагнитной теории света.

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \\ \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \end{array} \right.$$

$$\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k}$$

Закон Гаусса для электрического поля -
Электрический заряд является источником электрической индукции

Закон Гаусса для магнитного поля - Не существует магнитных зарядов

Закон индукции Фарадея - Изменение магнитной индукции порождает вихревое электрическое поле.

Теорема о циркуляции магнитного поля -
Электрический ток и изменение электрической индукции порождают вихревое магнитное поле

Оператор Гамильтона – «набла»

Волновое уравнение

$$\Delta \vec{E} = \varepsilon \mu \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

Уравнение для электрического поля

$$\Delta \vec{H} = \varepsilon \mu \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2}$$

Уравнение для магнитного поля

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

Оператор Лапласа - дельта

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2}$$

Волновое уравнения, скорость волны

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 299792458 \text{ м / с};$$

Скорость электромагнитных волн = скорости света

$$c_{\text{среда}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \mu}}; \quad n = \sqrt{\varepsilon \mu}$$

Скорость света в среде – закон Максвелла

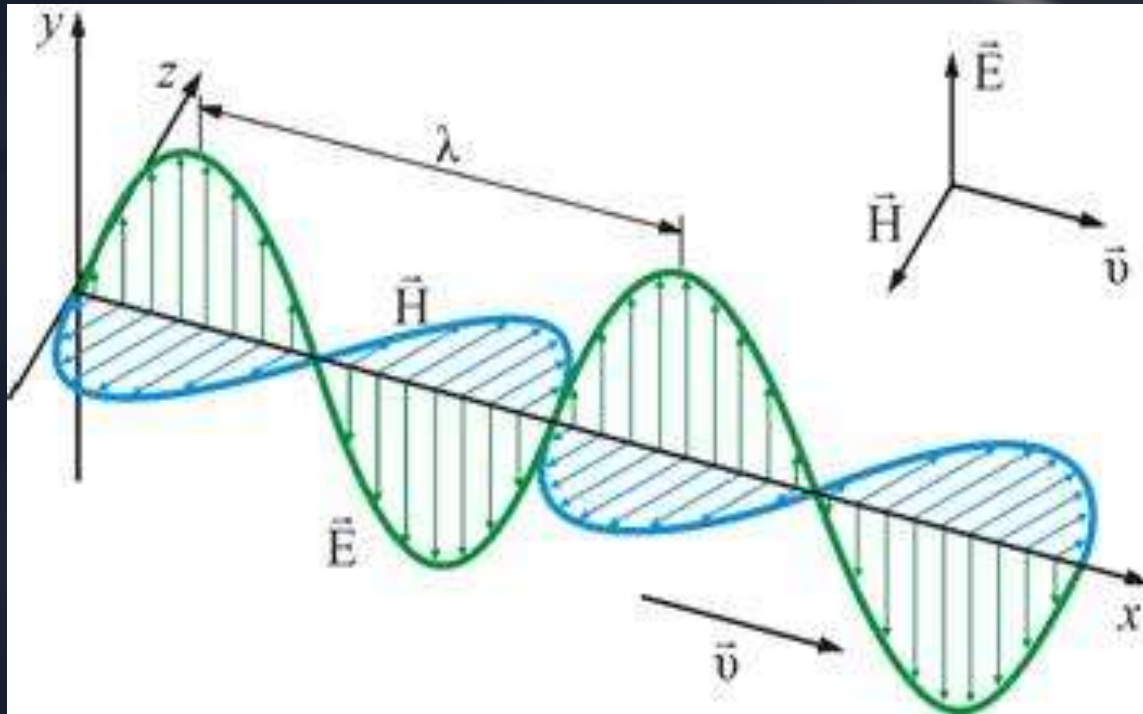
Плоская электромагнитная волна

$$\begin{cases} \vec{E} = \vec{E}_0 e^{i(\omega t - \vec{k} \vec{r})} \\ \vec{H} = \vec{H}_0 e^{i(\omega t - \vec{k} \vec{r})} \end{cases}$$

Плоская монохроматическая линейно поляризованная волна электромагнитная волна, распространяющаяся в направлении волнового вектора $\vec{k}$ с частотой ω

$$\begin{cases} \vec{k} \times \vec{H} = -\frac{\omega}{c} \varepsilon \vec{E} \\ \vec{k} \times \vec{E} = \frac{\omega}{c} \mu \vec{H} \end{cases}$$

$$\vec{k}^2 = \frac{\omega^2}{c^2} \varepsilon(\omega) \mu$$



Дисперсионное соотношение

Особенности распространения электромагнитных волн

1. частичное поглощение волн диэлектриком.
2. практически полное отражение волн от металлов.
3. преломление волн на границе диэлектриков.
4. интерференция и дифракция волн.

Характеристики волны

1. Поток энергии – Φ
2. Объемная плотность энергии – W_p
3. Интенсивность волны (плотность потока энергии волны) – I
4. Длина волны
5. Частота волны

Интенсивность волны.

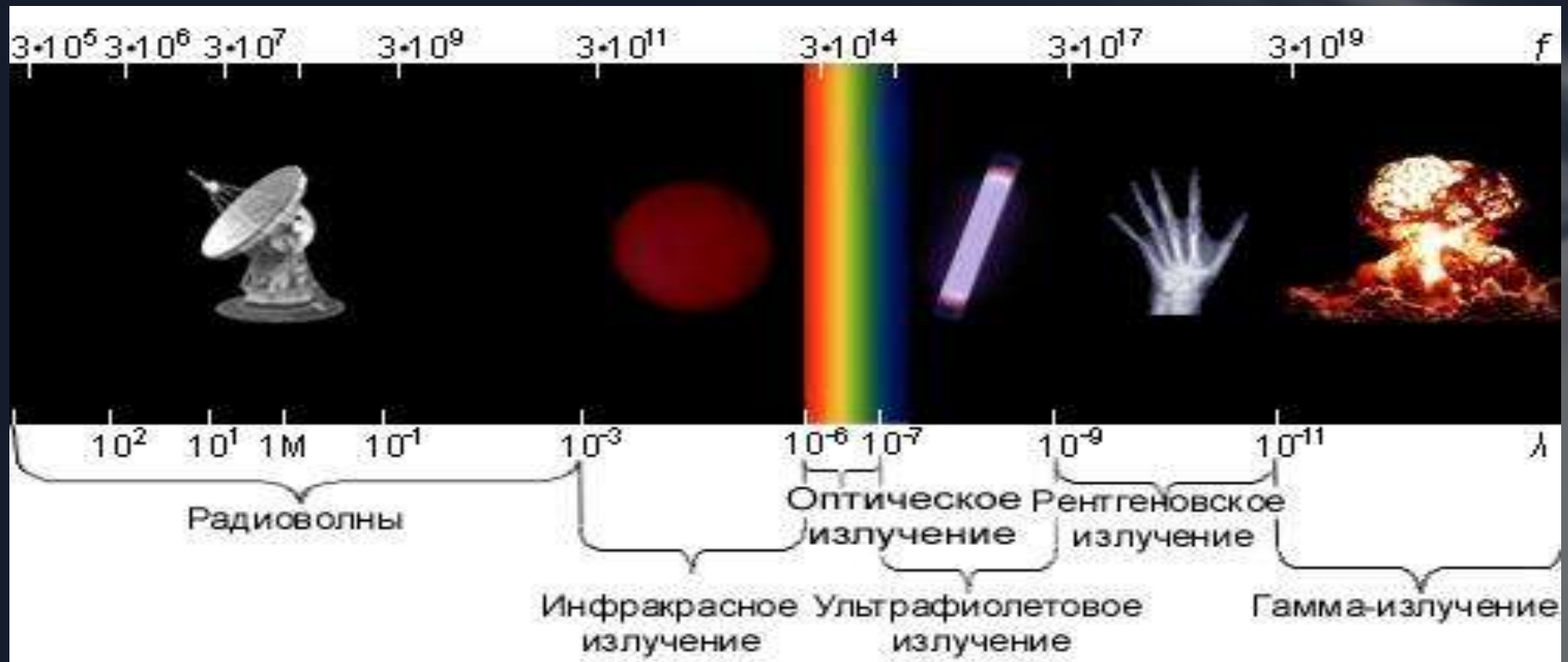
величина, равная потоку энергии волны, проходящей через единичную площадь, перпендикулярную к направлению распространения волны:

$$I = \Phi/S \quad [\text{Вт/м}^2]$$

Вектор Умова-Пойнтинга

$$\vec{S} = [\vec{E}, \vec{H}]$$

Шкала электромагнитных волн



Шкала электромагнитных волн

Радиоволны обусловлены переменными токами в проводниках и электронными потоками.

Инфракрасное, видимое и ультрафиолетовое излучения возникаю при переходах атомов и молекул из возбужденного в основное состояние.

Рентгеновское излучение возникает при внутриатомных процессах.

γ -излучение имеет ядерное происхождение.

Интервалы частот электромагнитных волн

Низкие (НЧ)	До 20 Гц
Звуковые (ЗЧ)	20 Гц – 20 кГц
Ультразвуковые (УЗЧ)	20 кГц – 200 кГц
Высокие (ВЧ)	200 кГц- 30 МГц
Ультравысокие (УВЧ)	30 – 300 МГц
Сверхвысокие (СВЧ)	300 МГц – 300 ГГц
Крайне высокие (КВЧ) Терагерцовое излучение	Свыше 300 ГГц

Результат воздействия переменным током на биологические ткани зависит от:

- 1. частоты**
- 2. формы импульса**
- 3. длительности импульса**
- 4. амплитуды импульса**

Физиотерапевтическую электронную аппаратуру
низкой и звуковой частоты называют
низкочастотной.

Электронную аппаратуру всех других частот
называют обобщающим понятием
высокочастотная.

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.

Воздействие переменными токами высокой частоты

Преимущества прогревания высокочастотными токами:

- 1. Прогрев нужных тканей за счет подбора частоты**
- 2. Управление мощностью тепловыделения**
- 3. Дозирование нагрева**

Тепловая мощность q

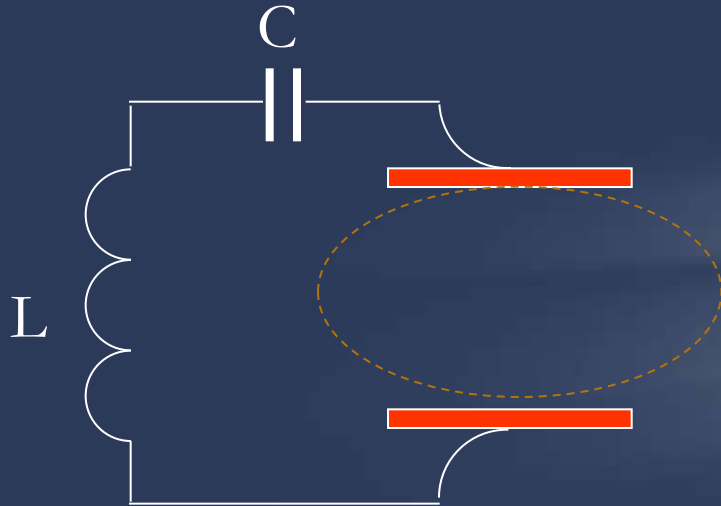
выделяющаяся в единице объема ткани при протекании тока, пропорциональна квадрату плотности тока j , умноженному на удельное электросопротивление ткани ρ .

$$q = j^2 \rho , \quad \text{т.к.}$$

$$P = I^2 R = j^2 S^2 \rho L / S = j^2 \rho V$$

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
глубоколежащих 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

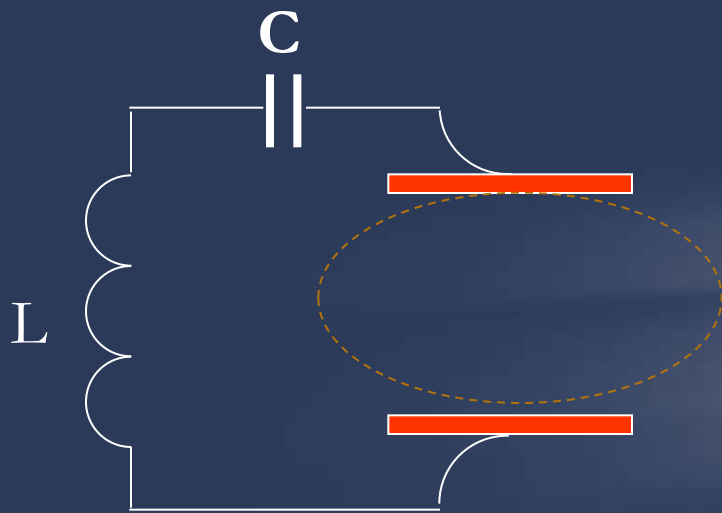
рассечение тканей при помощи электрода в форме лезвия.

Плотность тока – 40 мА/мм^2 .

Аппарат для электрохирургии



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 $n=100-400$ кГц,

сила $I = 10-15$ мА

напряжение — 10 – 30 кВ.

Часто формируется *искровой разряд*.

Аппарат «Искра 1» (для местной дарсонвализации)



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.

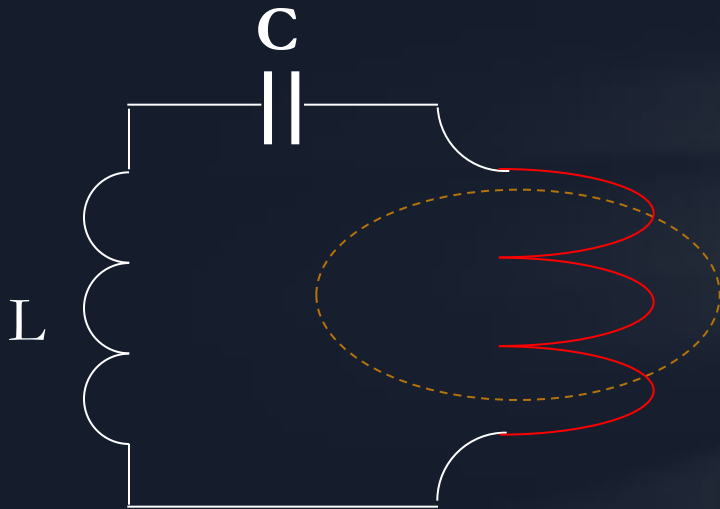
Импульсная магнитотерапия «Алимп-1»





Действие ВЧ магнитного поля

Индуктотермия



Аппарат для индуктотермии ИКВ 4

ВЧ магнитотерапия (индуктотермия)

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

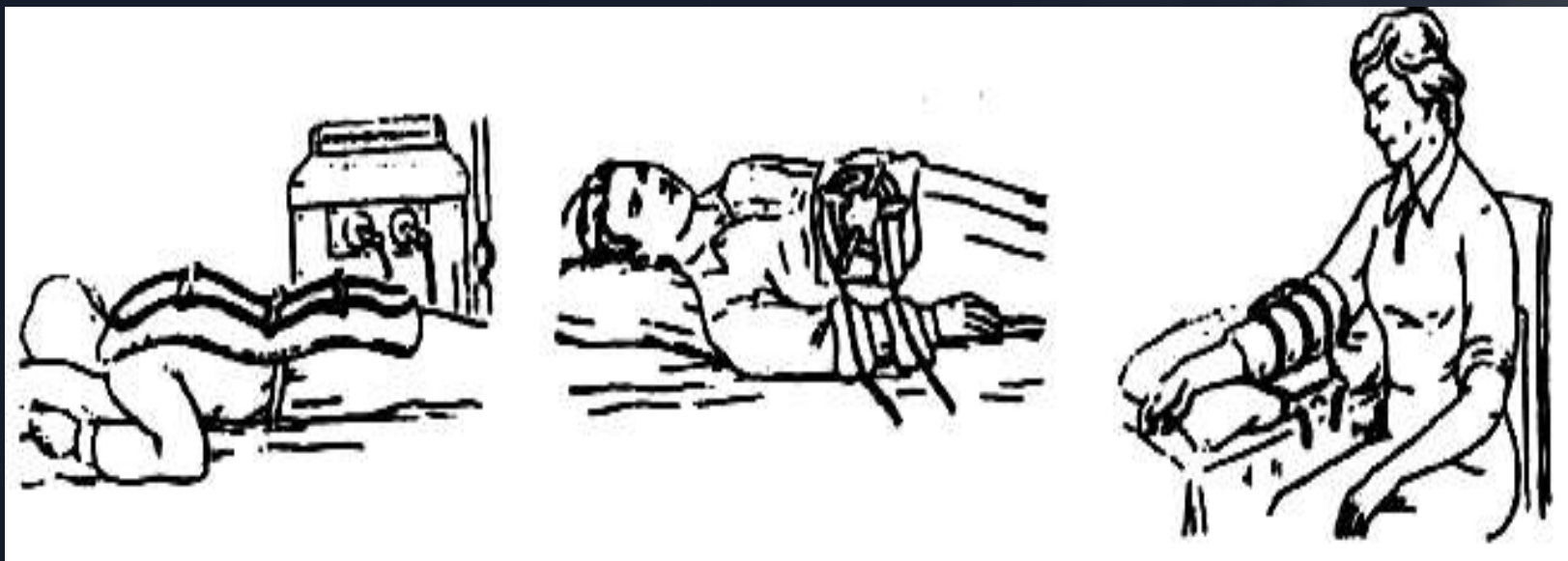
Больше теплоты выделяется в тканях с меньшим удельным сопротивлением. Поэтому сильнее нагреваются ткани, богатые сосудами, например мышцы. В меньшей степени нагреваются такие ткани, как жир.

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 .

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

Высокочастотная магнитотерапия



Способы наложения индуктора кабеля при различных методиках высокочастотной магнитотерапии

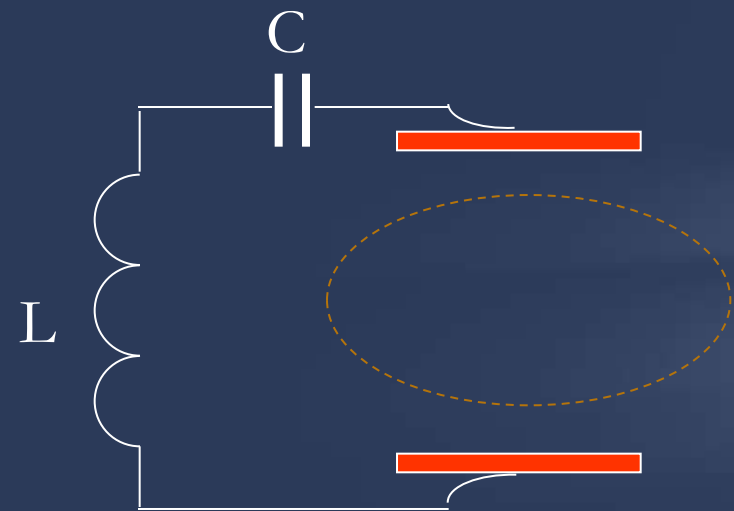


Ультравысокочастотная (УВЧ) терапия

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

В России в аппаратах УВЧ используется
частота 40,58 МГц,

УВЧ – терапия

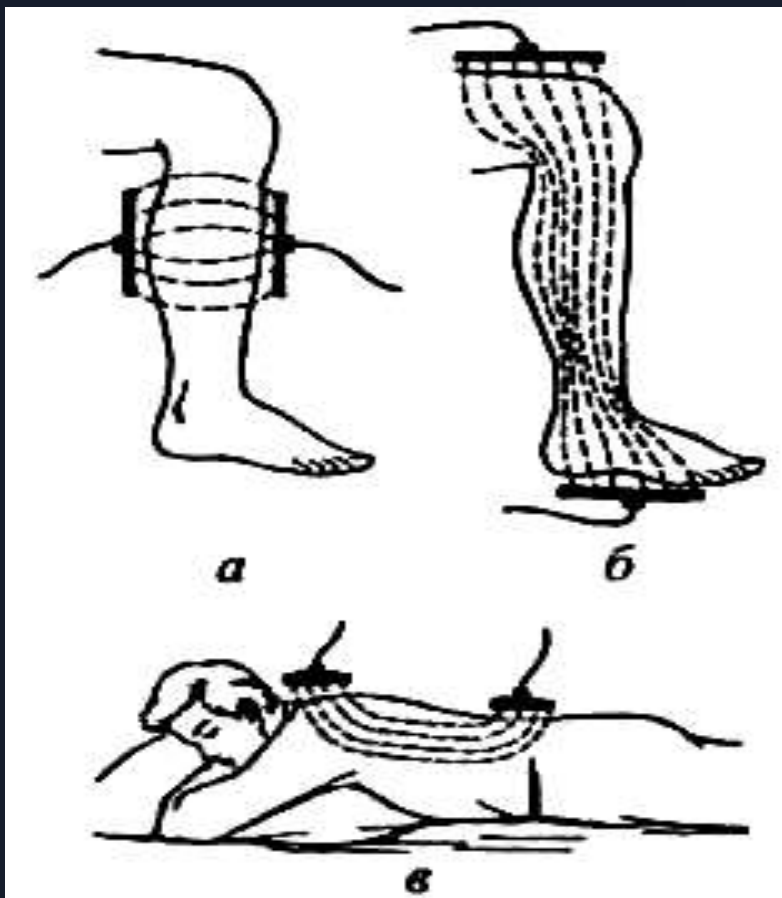


Частота 30 – 300 МГц

Ткани диэлектрики:
жировая, костная,
сухожилия...

Электропроводящие ткани - ткани
насыщенные жидкостью: мышцы,
печень, сердце...

УВЧ терапия



Способы наложения электродов при
УВЧ терапии:

а — поперечное,

б — продольное,

в — тангенциальное.

Аппарат для УВЧ терапии



УВЧ-ТЕРАПИЯ



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 $\operatorname{tg} \delta$.

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

При УВЧ терапии *диэлектрические
ткани организма нагреваются
интенсивнее проводящих.*

В диэлектрике происходят ориентационная и структурная поляризации молекул. Возникает колебательное движение молекул, сопровождающееся выделением теплоты (диэлектрические потери). В общем случае

$$Q = Q_{\text{э}} + Q_{\text{д}}$$

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*.



СМВ-терапия



Микроволновая терапия



КВЧ-терапия

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.

Аппараты СВЧ -терапии





Лечебное использование токов и электромагнитных волн

- 1. Дарсонвализация** — воздействие слабых электрических разрядов при частотах до 500 кГц на нервные рецепторы кожи и слизистой оболочки с терапевтической целью.
- 2. Диатермия** — нагревание тканей при прохождении тока до 1,5 А с частотой 1-2 МГц, напряжение 100-150 В.
Жир, кости, кожа — нагреваются **сильнее**.
Легкие, печень, лимфатические узлы — **слабее**.

Лечебное использование токов и электромагнитных волн

3. Диатермокоагуляция — сваривание кровеносных сосудов для уменьшения кровопотери при операциях .

При диатермокоагуляции применяют плотность тока 6-10 мА/мм², в результате чего температура ткани повышается и ткань коагулирует.

4. Диатермотомия — рассечение мягких тканей. Плотность тока при этом доводят до 40 мА/мм², в результате чего острым электродом (электроножом) удается рассечь ткань.

Лечебное использование электромагнитных волн

5. Индуктотермия – прогревание токопроводящих тканей с помощью магнитного поля частотой 10-15 МГц, вызывающего в тканях вихревые электрические токи.

Выделяемая при этом теплота пропорциональна $\frac{\nu^2 B^2}{\rho}$

Следовательно, сильнее нагреваются ткани ρ богатые сосудами (мышцы, а не жир)

6. УВЧ-терапия – воздействие на ткани электрического поля с частотой 30-300 МГц.

Выделяемая теплота пропорциональна $\nu \cdot E^2$

Следовательно, в этом случае диэлектрические ткани нагреваются сильнее.

Лечебное использование электромагнитных волн

- 7. **СВЧ-терапия** — прогревание водосодержащих тканей при частоте 2000-3000 МГц, вследствие поляризации и переориентации молекул воды.
- 8. **КВЧ-терапия** — воздействие электромагнитными полями с частотой 3000 МГц на рецепторные зоны и биологически активные точки для коррекции функций внутренних органов.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА:

Обязательная:

1. Медицинская и биологическая физика: учебник., Ремизов А.Н. [и др.], М.: Дрофа, 2010
2. 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

Контрольные вопросы

1. Какой эффект возникает в коже при диатермии при плотности тока более 40 мА/мм^2