

Физические процессы,
происходящие в тканях
организма под действием
токов и электромагнитных
полей

лекция 7

Характер действия электромагнитных полей на биологические объекты зависит от частоты поля и от его напряжённости

Низкочастотный
диапазон

$\nu \leq 20\ 000$ герц (20 кГц)

Раздражение
органов и тканей

Высокочастотный
диапазон

$\nu > 500\ 000$ герц (500 кГц)

Нагревание
органов и тканей

Особенности действия низкочастотных ЭМП:

1. Пороговое значение токов проводимости, вызывающих возбуждение, зависит от частоты поля.
2. С увеличением частоты пороговая сила тока растёт, причём, начиная с 3 кГц, возбуждение практически не происходит
3. Электромагнитная энергия низкочастотного диапазона практически не поглощается тканями, то есть не происходит заметного нагрева ткани

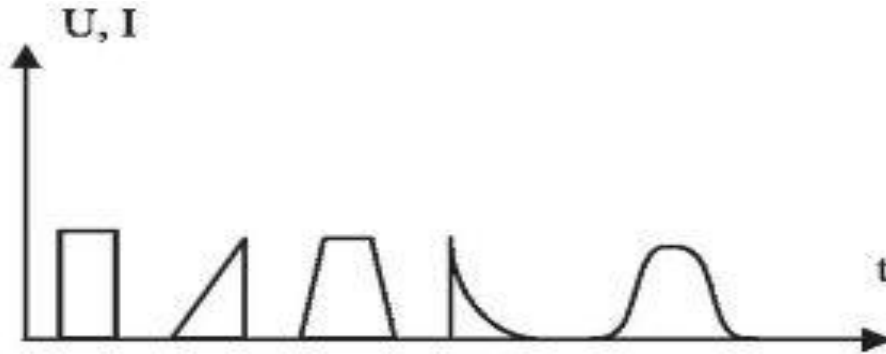
Постоянный электрический ток не оказывает на ткани раздражающего действия. Раздражение может возникать только при изменении силы тока и зависит от скорости этого изменения.

Переменный синусоидальный ток является сильным раздражителем, однако в терапевтических целях практически не используется, так как параметры этого тока довольно однообразны. В терапевтической практике применяется **импульсный** ток, параметры которого более разнообразны.

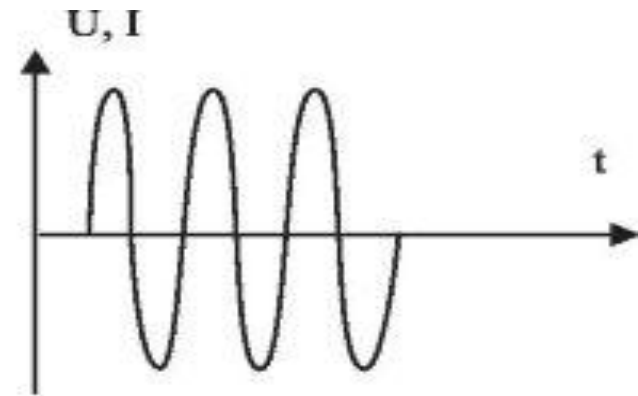
Электрическим импульсом называют кратковременное изменение напряжения или силы тока

Видеоимпульс – значение напряжения (тока) отличается от нуля или постоянного уровня в течение короткого промежутка времени

Радиоимпульс – в течение короткого промежутка времени наблюдается высокочастотное синусоидальное напряжение или ток

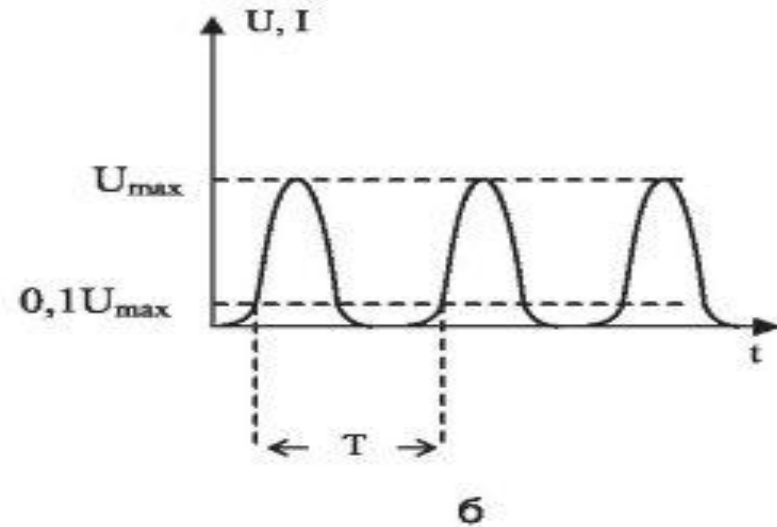
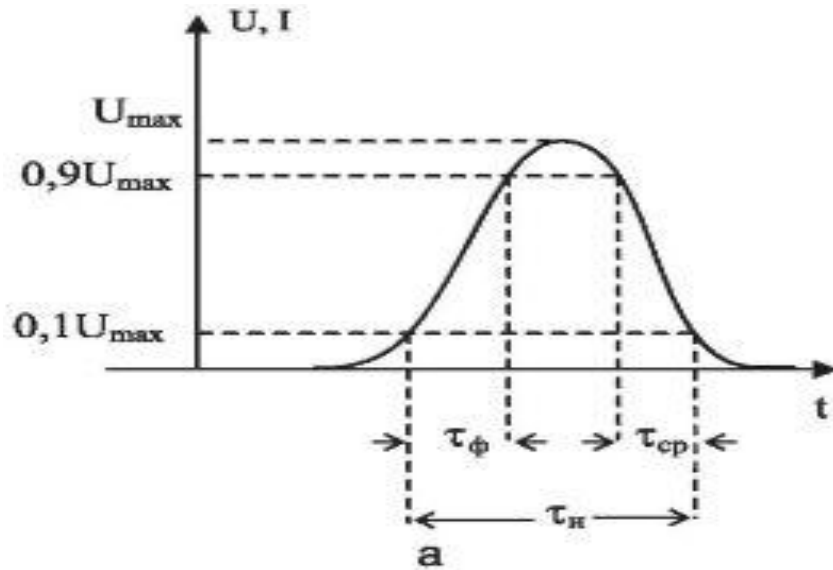


а) видеоимпульс



б) радиоимпульс

Характеристики импульса и импульсного тока



U_{\max} - максимальное значение
напряжения (тока) импульса

τ_{ϕ} - длительность фронта
импульса

$\tau_{\text{ср}}$ - длительность среза
импульса

$\tau_{\text{и}}$ - длительность импульса

T - период импульсного тока

Крутизна фронта $0,8U_{\max}/\tau_{\phi}$

Сквозность следования

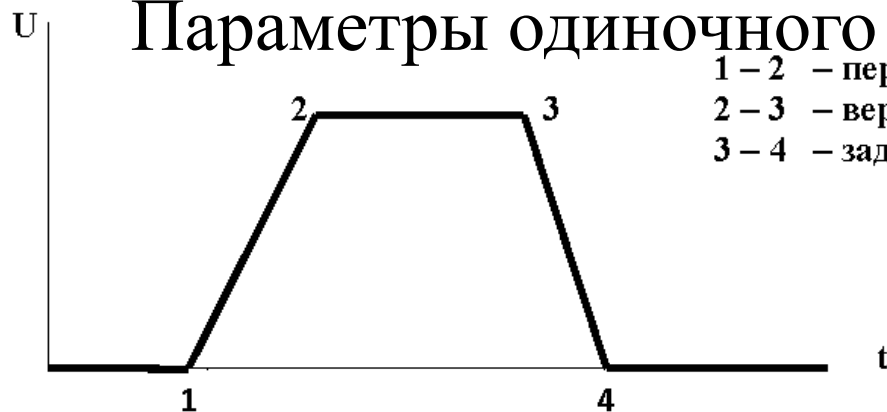
импульсов $Q=T/\tau_{\text{и}}$

Коэффициент заполнения $k=1/Q$

Частота повторения импульсов

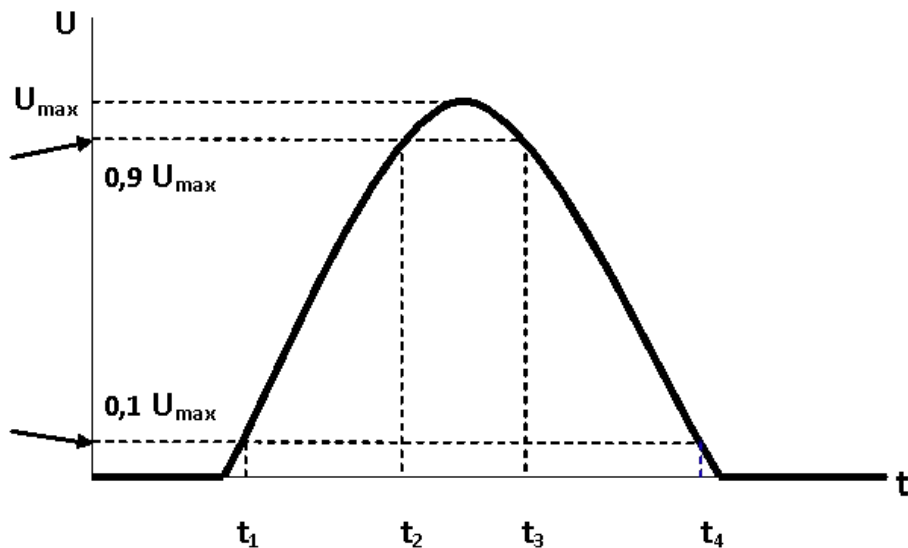
$\nu=1/T$

Параметры одиночного видеоимпульса



- 1 – 2 – передний фронт (фронт)
- 2 – 3 – вершина
- 3 – 4 – задний фронт (срез)

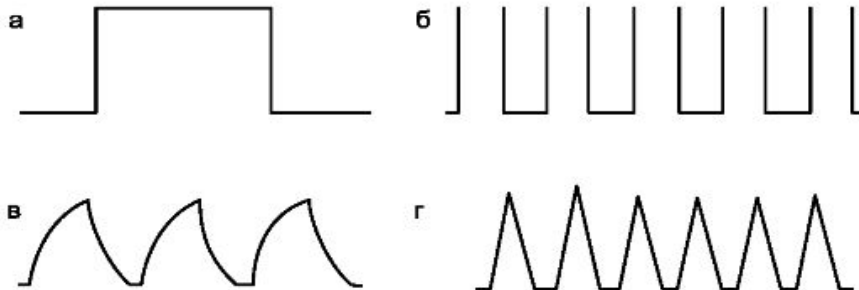
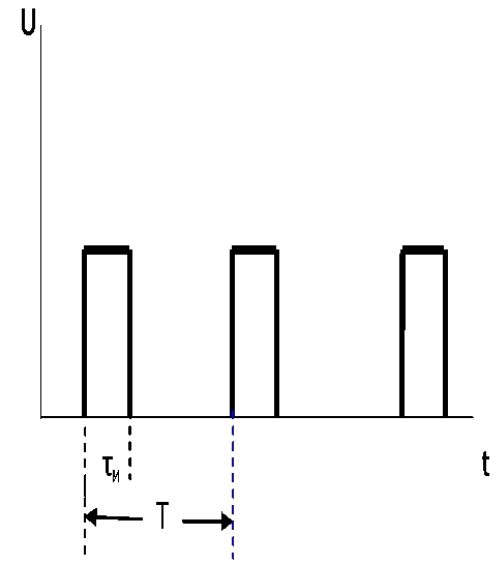
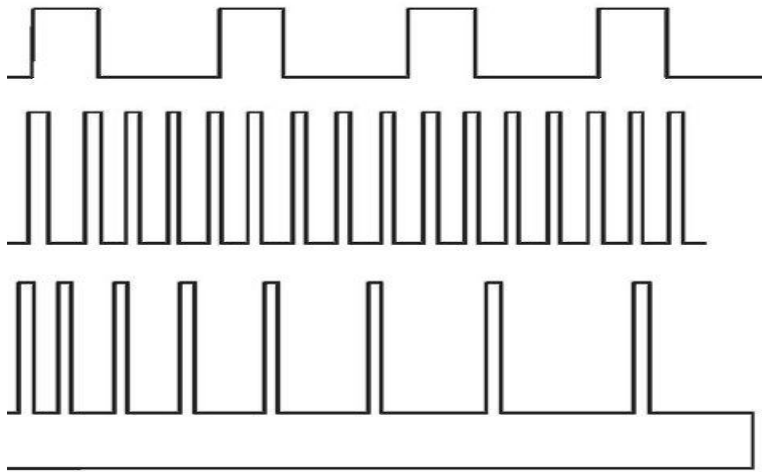
В реальном импульсе моменты перехода от фронта к вершине, от вершины к срезу и т.д. размыты. Поэтому приняты следующие обозначения:



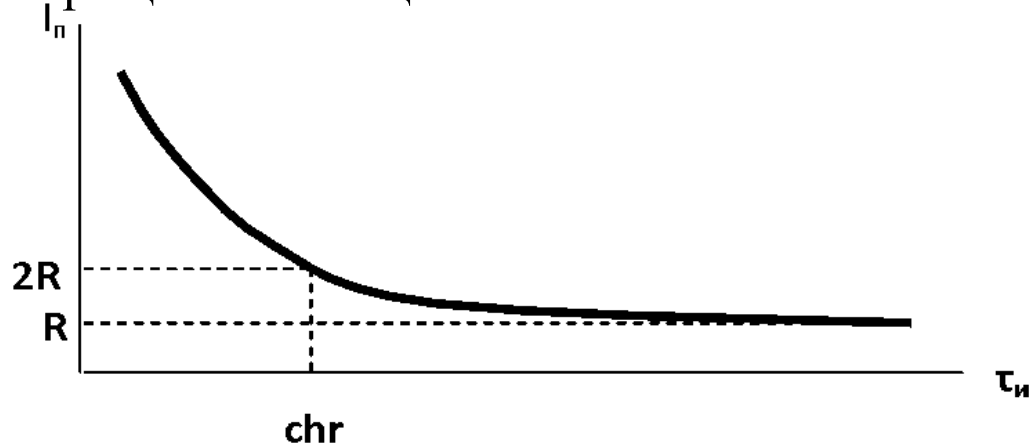
- $t_2 - t_1 = \tau_\phi$ – длительность фронта
- $t_4 - t_3 = \tau_c$ – длительность среза
- $t_4 - t_1 = \tau_{\text{и}}$ – длительность импульса
- U_{max} – амплитуда импульса

Отношение $\frac{0,9 U_{\text{max}} - 0,1 U_{\text{max}}}{\tau_\phi} = \frac{0,8 U_{\text{max}}}{\tau_\phi}$ называют крутизной фронта.

Импульсный ток это периодическая последовательность одинаковых импульсов



Характеристика возбуждения – определяет связь между пороговой силой тока $I_{п}$ и длительностью прямоугольного импульса $\tau_{и}$, который вызывает сокращение мышц



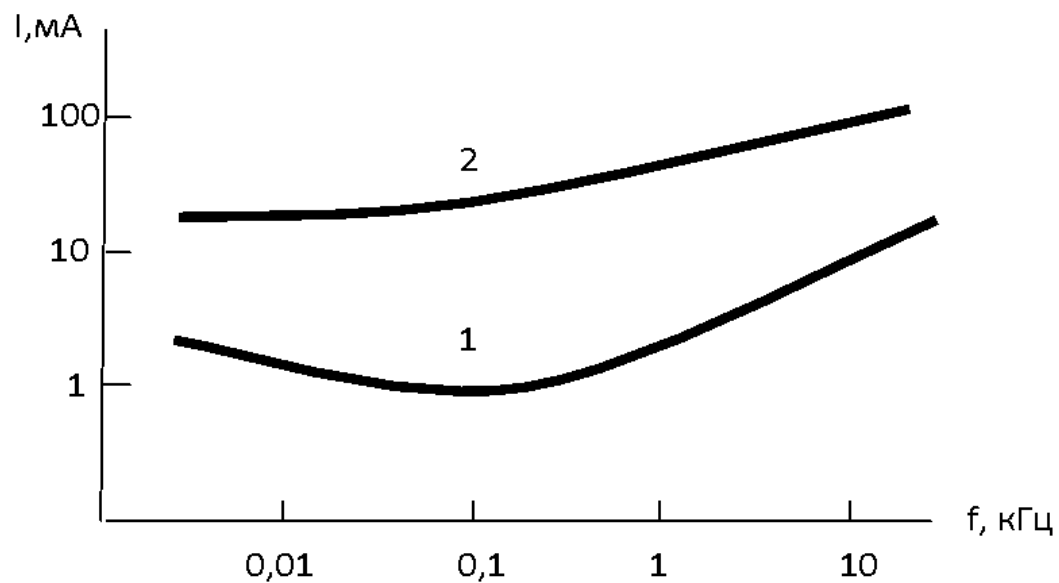
Каждой точке кривой и точкам, лежащим выше кривой, соответствуют импульсы, вызывающие сокращение мышц. Точки, расположенные ниже линии, отображают импульсы не вызывающие реакцию мышц.

Аналитически кривая описывается уравнением Вейса - Лапика:

$$I_{п} = \frac{a}{\tau_{и}} + b$$

$I_{п}$ – пороговая амплитуда импульса, “ a ” и “ b ” – коэффициенты, зависящие от природы возбудимой ткани и её функционального состояния.

Раздражающее действие переменного низкочастотного тока: порог ощутимого тока (1) и порог неотпускающего тока (2)



Токи, возникающие в тканях при действии электромагнитных полей высокой частоты, определяются **частотой**

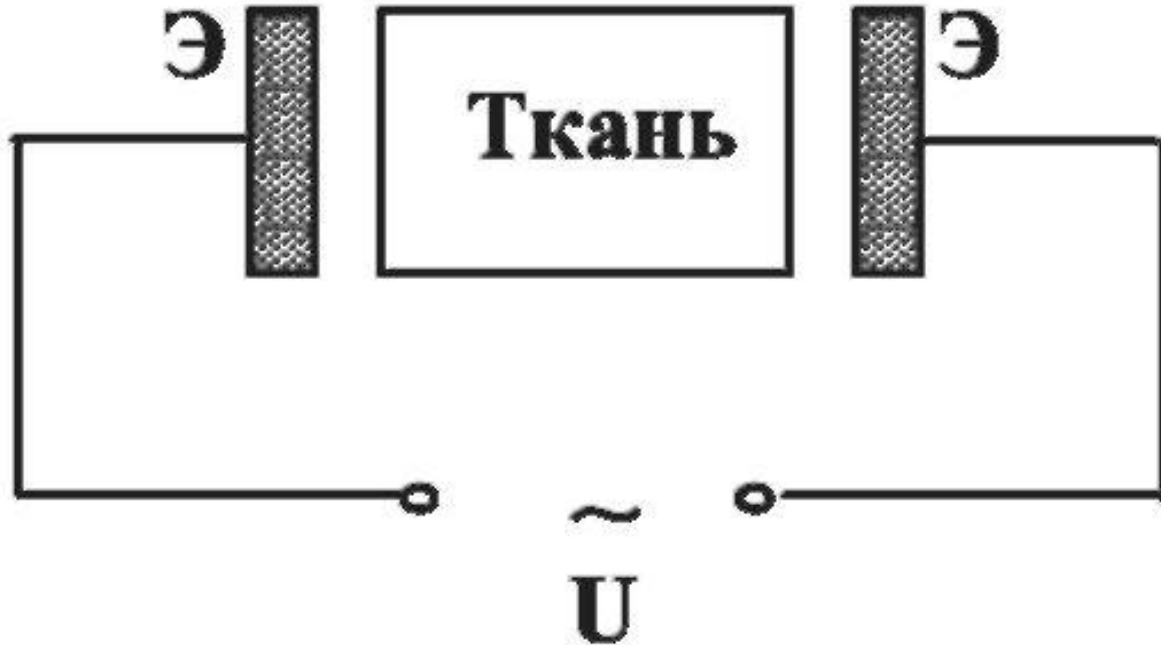
$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

$\nu < 20 \text{ МГц}$	$\nu > 20 \text{ МГц}$	$\nu > 300 \text{ МГц}$
Токи проводимости + токи смещения	токи смещения + токи проводимости	токи смещения, связанные с переориентацией молекул H_2O

Если частота $\nu=300 \text{ МГц}$, длина волны λ больше размеров тела человека, в этом случае действие электромагнитных полей как общее, так и локальное.

Если частота $\nu > 300 \text{ МГц}$, длина волны λ меньше размеров тела человека, в этом случае действие полей только локальное.

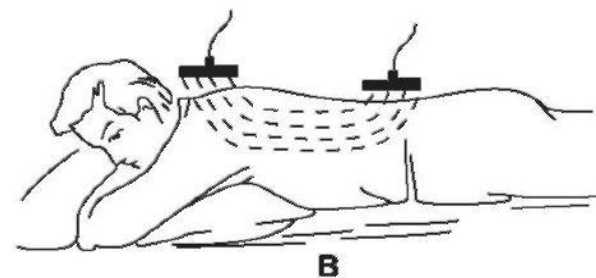
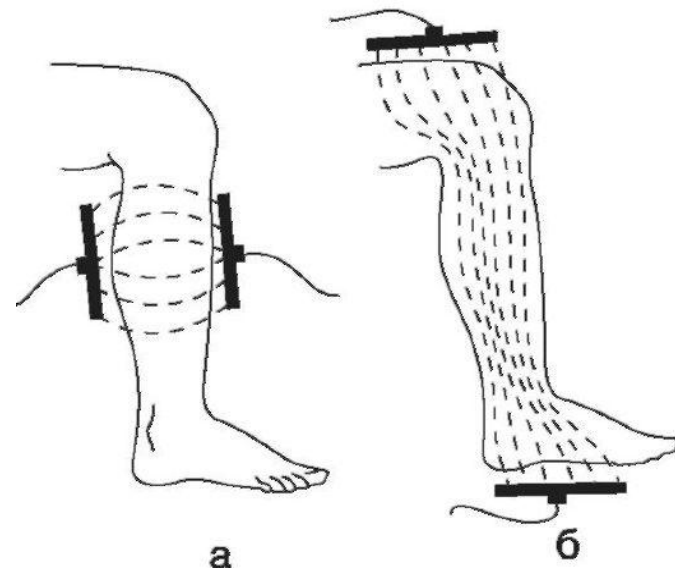
Схема воздействия полем УВЧ



Для проведения лечебной процедуры участок тела, на который оказывается воздействие, помещается между двумя электродами, которые являются выносными пластинами конденсатора, входящего в электрическую схему аппарата УВЧ. На эти пластины подается генерируемое переменное напряжение, и между ними возникает переменное электрическое поле, оказывающее лечебное воздействие

Способы наложения электродов:

- а) поперечный,
- б) продольный,
- в) тангенциальный



Нагревание органов и тканей под действием электрического поля УВЧ вызывает стойкую, длительную и глубокую гиперемия тканей в зоне воздействия. Особенно сильно расширяются капилляры, диаметр которых увеличивается в несколько раз. Под воздействием УВЧ-поля существенно ускоряется региональная лимфодинамика, повышается проницаемость тканевых барьеров.

Преимущества высокочастотной терапии перед традиционными тепловыми процедурами

1. Тепло образуется во внутренних тканях не за счет теплопроводности кожи и подкожной жировой клетчатки, а непосредственно внутри.
2. Подбирая частоту поля, можно осуществлять **термоселективное** воздействие, то есть преимущественное образование теплоты в нужных органах и тканях

Диатермия

$$V = (0,5 - 2,0) \text{ МГц}$$

Метод электротерапии – глубокое прогревание токами высокой частоты и большой силы.

Используются плоские электроды, накладываемые на тело. Действует электрическая составляющая электромагнитного поля.

$\lambda = (150 - 600)$ метров следовательно действие поля как общее, так и локальное

$U = (100 - 150)$ вольт

$I = (1 - 3)$ ампера

Количество теплоты q , выделяющееся при диатермии в единице объёма (1 м^3) за единицу времени (1 с) определяется формулой:

$$q = J^2 \rho$$

где J - плотность тока, ρ – удельное сопротивление тканей.

Индуктотермия

$$\nu = (10 - 15) \text{ МГц}$$

Метод электролечения, основанный на воздействии на определенные участки тела высокочастотным переменным магнитным полем. Если в переменном магнитном поле находится проводящее тело, то по всему его объему возникают вихревые токи (токи Фуко), протекание которых сопровождается выделением теплоты. Используются электроды в виде катушек. Действует магнитная составляющая электромагнитного поля. Длина волны $\lambda = 15-30$ метров, следовательно действие поля как общее, так и локальное. Количество тепла q , которое выделяется в 1 м^3 за 1 с определяется в этом процессе формулой:

где k – коэффициент пропорциональности

$$\omega = 2\pi\nu - \text{круговая частота переменного магнитного поля} \quad q = \frac{k\omega^2}{\rho} B_{\max}^2 \sin^2(\omega t)$$

B_{\max} – амплитудное значение индукции переменного магнитного поля,

ρ - удельное сопротивление ткани, t - время

Ультравысокочастотная терапия (УВЧ) $\nu = (40 - 50) \text{ МГц}$

Метод электролечения, основанный на воздействии на ткани высокочастотным переменным электрическим полем.

Используются плоские электроды, не контактирующие с телом пациента. Действует электрическая составляющая электромагнитного поля (ЭМП).

$\lambda = (6 - 7,5) \text{ метров}$ следовательно действие поля как общее, так и локальное

Тепло в 1 м^3 за 1 с , выделяющееся за счёт токов проводимости, выражается формулой:

$$q = \frac{E^2}{\rho}$$

Здесь: E – напряжённость электрического поля; ρ – удельное сопротивление тканей

Количество тепла в 1 м^3 за 1 с за счёт токов смещения:

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

Здесь: $\omega = 2\pi f$ – круговая частота переменного электрического поля

E – напряжённость поля

ε – диэлектрическая проницаемость тканей

$\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь, характеризующий запаздывание поворотов молекул относительно изменения внешнего электрического поля

Сверхвысокочастотная терапия СВЧ $\nu > 300$ МГц

Метод, основанный на воздействии на ткани переменным высокочастотным электромагнитным полем.

Электрод представлен в виде излучателя, который находится на расстоянии и на пациента действует электромагнитная волна. Длина волны в зависимости от частоты поля находится в пределах $\lambda = 10^{-2} - 1$ м. Это означает, что СВЧ оказывает только локальное воздействие.

Выделяют следующие диапазоны СВЧ:

ДМВ дециметровые волны	СМВ сантиметровые волны	КВЧ крайневысокочастотные волны
$\lambda = 62.5$ см $\nu = 460$ МГц	$\lambda = 12.6$ см $\nu = 2375$ МГц	$\lambda = 6-8$ мм $\nu = 57\ 065$ МГц

При СВЧ терапии в тканях возникают только токи смещения, связанные с переориентацией молекул воды.

Отдельные виды СВЧ


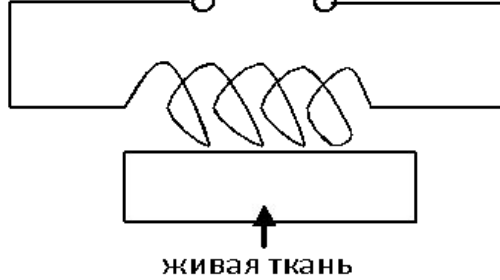

При ДМВ терапии в тканях возникают колебания дипольных молекул связанной H_2O . Температура в тканях увеличивается на $1,5^\circ C$. Коэффициент отражения электромагнитной волны от поверхности тела (30 – 35) %. Тепло проникает на глубину (9 – 11) см.

При СМВ терапии в тканях возникают колебания молекул свободной H_2O .

Так как длина волны меньше, чем при ДМВ, то глубина проникновения уменьшается до (3 – 5) см. Коэффициент отражения волн от поверхности увеличивается до 75 %. В результате, на поверхности возникает стоячая волна и возможен перегрев кожи и подкожной жировой клетчатки. Температура на поверхности кожи увеличивается на $(1 – 3)^\circ C$, а на глубине на $0,5^\circ C$.

При КВЧ терапии возникают колебания молекул воды гидратированных белков. Так как длина волны крайне мала, то глубина проникновения в ткань составляет примерно $(0,2 = 0,6)$ мм. В результате основное действие оказывается на кожу и подкожную жировую клетчатку.

Сводная таблица

Вид воздействия	Частота МГц (стандартная частота)	Длина волны λ , м	Схема приложения
диатермия	0,5 - 2	150 - 600	
индуктотермия	10 - 15 (13,56)	3 - 15	
УВЧ	40 - 50 (40,68)	6,0 - 7,5	
СВЧ	100 - 100 000 (2375)	10^{-3} - 1	