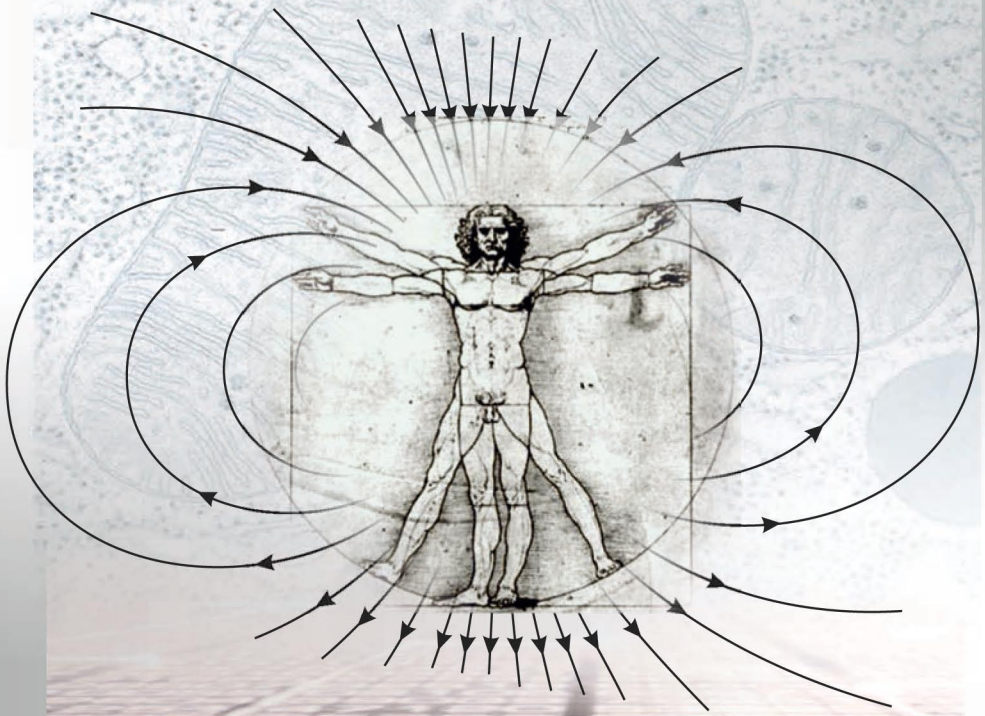
90 лет
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

ЭЛЕКТРОМАГНИТОТЕРАПИЯ:

НОВЫЕ ДАННЫЕ И ТЕХНОЛОГИИ



УДК 615.84

Электромагнитотерапия: новые данные и технологии / В. С. Улащик [и др.] ; под. общ. ред. В. С. Улащика ; Ин-т физиологии НАН Беларуси. – Минск : Беларуская навука, 2018. – 323 с. – ISBN 978-985-08-2316-8.

В книге изложены новые данные по электромагнитологии и электромагнитотерапии, полученные за последние годы сотрудниками Института физиологии НАН Беларуси. Даны сведения об обезболивающем, противовоспалительном и антипиретическом действии различных факторов электромагнитной природы. Особое внимание уделено разработанным новым методам электромагнитотерапии и использованию их в неврологии, артрологии, дерматологии, стоматологии и других областях клинической медицины.

Рассчитана на биологов, физиологов, врачей и студентов-медиков, интересующихся проблемами изучения и использования электромагнитных полей и излучения.

Табл. 26. Ил. 31. Библиогр.: 414 назв.

Авторы:

В. С. Улащик, А. Ю. Молчанова, И. П. Жаворонок,
Т. Б. Мелик-Касумов, Н. И. Счастная, Н. В. Войченко,
И. Л. Морозова, Л. А. Никифоренков, О. В. Кистень

Рецензенты:

академик НАН Беларуси, доктор медицинских наук,
профессор А. Н. Михайлов;
академик НАН Беларуси, доктор биологических наук,
профессор С. Н. Черенкевич;
член-корреспондент НАН Беларуси, доктор медицинских наук,
профессор В. А. Кульчицкий

ISBN 978-985-08-2316-8

© Институт физиологии НАН Беларуси, 2018
© Оформление. РУП «Издательский дом «Беларуская навука», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

Глава 1. **Введение в электромагнитотерапию** 6

1.1. Физическая характеристика электромагнитных полей 6
1.2. Взаимодействие электромагнитных полей и излучения с организмом 11
1.3. Краткая характеристика методов электромагнитотерапии 16
1.3.1. Высокочастотная электротерапия 18
1.3.2. Магнитотерапия 21
1.3.3. Фототерапия 25
1.4. Сочетанная электромагнитотерапия 28

Глава 2. **Современные представления о механизмах и особенностях биологических эффектов электромагнитного излучения** 31

2.1. Общая схема действия факторов электромагнитной природы на биологические объекты 32
2.2. Первичные механизмы действия факторов электромагнитной природы на биологические объекты 35
2.2.1. Тепловая концепция 35
2.2.2. Нетепловая концепция 38
2.2.3. Влияние на функционирование мембран. Изменение электрических характеристик нейронов 40
2.2.4. Влияние на метаболизм и регуляторные системы клетки 43
2.2.5. Влияние ЭМИ на клеточный цикл и регуляцию экспрессии генов 45
2.3. Кожа как первичный акцептор ЭМИ 46
2.4. Особенности действия на организм различных факторов ЭМИ . . 51
2.4.1. Микроволновое излучение 51
2.4.2. Воздействие ЭМИ КВЧ на живые объекты 52
2.4.3. Воздействие ЭМИ СВЧ на биологические объекты 55
2.4.4. Механизм действия НИЛИ на биологические объекты 58

Глава 3. **Новые сведения о биологическом действии факторов электромагнитной природы** 62

3.1. Изменение кожной чувствительности под действием микроволн 62
3.1.1. Модуляция микроволнами активности чувствительных проводников подкожного нерва 63

3.1.2. Влияние миллиметровых волн на тактильную, болевую и температурную чувствительность 70
3.2. Изменение параметров терморегуляции при действии электромагнитного излучения в норме и при лихорадке 74
3.2.1. Модуляция параметров терморегуляции низкоинтенсивным лазерным излучением 75
3.2.2. Модуляция параметров терморегуляции электромагнитным излучением миллиметрового диапазона 81
3.2.3. Влияние миллиметрового излучения на содержание в крови интерлейкина-6 87
3.3. Эндоканнабиноиды как звено в реализации биологических эффектов электромагнитного излучения 93
3.3.1. Эндоканнабиноиды и кожная чувствительность. 94
3.3.2. Эндоканнабиноиды и терморегуляция. 96

Глава 4. **Фотомагнитотерапия и ее лечебное использование** 102

4.1. Общие сведения о фотомагнитотерапии и предпосылках к ее разработке 102
4.2. Изучение биологического действия фотомагнитотерапии на различных экпериментальных моделях 105
4.2.1. Исследование раздельного и сочетанного действия света и магнитного поля при экспериментальном артрите 106
4.2.2. Влияние низкочастотного импульсного магнитного поля и видимого света различного диапазона на течение экспериментального дерматита 111
4.3. Эффективность фотомагнитотерапии при заболеваниях суставов и кожи 120
4.3.1. Использование фотомагнитотерапии при заболеваниях суставов 120
4.3.2. Фотомагнитотерапия в комплексном лечении пациентов с дерматитами 128

Глава 5. **Обезболивающее действие физических факторов электромагнитной природы** 137

5.1. Физиологические механизмы боли и физиотерапевтические методы ее коррекции. 138
5.1.1. Периферические и центральные системы боли 139
5.1.2. Физиотерапевтические методы коррекции боли. 144
5.2. Действие факторов электромагнитной природы на афферентную импульсацию соматического нерва 151
5.2.1. Модуляция полихроматическим поляризованным светом афферентной импульсации в соматическом нерве 152
5.2.2. Биологические эффекты электромагнитного излучения крайне высоких частот 157

5.2.3. Действие лазерного излучения на афферентную импульсацию соматического нерва 162
5.3. Исследование обезболивающего действия электромагнитных волн и излучения 163
5.3.1. Сочетанное действие оптического излучения и магнитного поля на болевую чувствительность. 164
5.3.2. Раздельное и сочетанное действие электрических токов на болевую чувствительность 170
5.3.3. Влияние низкочастотного переменного магнитного поля на болевую чувствительность экспериментальных животных. 177

Глава 6. **Обоснование и лечебно-профилактическое использование лекарственной вакуум-дарсонвализации** 183

6.1. Физиологическое и лечебное действие местной дарсонвализации, очагового дозированного вакуума, вакуум-дарсонвализации 183
6.1.1. Местная дарсонвализация 183
6.1.2. Вакуум-терапия 187
6.1.3. Вакуум-дарсонвализация 195
6.2. Предпосылки сочетанного применения лекарственных средств, вакуум-терапии и местной дарсонвализации 197
6.3. Обоснование сочетанного использования лекарственных средств, очагового дозированного вакуума и местной дарсонвализации 201
6.3.1. Исследование сохранности физико-химических свойств 1 %-ного раствора никотиновой кислоты 201
6.3.2. Исследование сохранности физико-химических свойств мази «Хондроарт» 202
6.3.3. Исследование сохранности физико-химических свойств мази «Репарэф-2» 202
6.3.4. Исследование сохранности физико-химических свойств мази «Ибупрофен» 203
6.3.5. Морфологическая оценка терапевтических свойств лекарственной вакуум-дарсонвализации у крыс с экспериментальным периодонтитом 203
6.4. Аппаратура и технология лечебно-профилактического использования лекарственной вакуум-дарсонвализации 209
6.4.1. Аппарат вакуум-дарсонвализации многофункциональный . . 209
6.4.2. Общие рекомендации по использованию лекарственной вакуум-дарсонвализации 211
6.5. Эффективность лекарственной вакуум-дарсонвализации у пациентов с хроническим простым маргинальным гингивитом, хроническим периодонтитом 213

6.6. Эффективность лекарственной вакуум-дарсонвализации у пациентов с неврологическими проявлениями остеохондроза позвоночника, остеоартрозом 216
6.7. Показания и противопоказания к использованию лекарственной вакуум-дарсонвализации 218
6.8. Перспективы развития метода лекарственной вакуум-дарсонвализации 219

Глава 7. **Использование транскраниальной магнитной стимуляции в неврологии: экспериментальные и клинические данные** 223

7.1. Основы ТМС 224
7.1.1. Краткая история метода ТМС 224
7.1.2. Современные представления о механизмах ТМС 226
7.1.3. Аппаратура и основные характеристики ТМС 230
7.1.4. Показания и противопоказания к применению ТМС 234
7.2. ТМС пациентов после полушарного инфаркта мозга в восстановительный период 237
7.2.1. Характеристика пациентов после полушарного инфаркта мозга в ранний и поздний восстановительные периоды 237
7.2.2. Динамика степени двигательных нарушений под воздействием ТМС 240
7.2.3. Динамика когнитивных расстройств 243
7.2.4. Динамика психоэмоциональных расстройств 245
7.2.5. Нейрофизиологическая характеристика эффективности ТМС 249
7.2.6. Оценка эффективности ТМС в зависимости от факторов риска и локализации очага полушарного инфаркта 255
7.3. Экспериментальное обоснование противосудорожного действия импульсных магнитных полей 257
7.3.1. Антиконвульсивная эффективность ТМС на модели электрошоковых судорог 257
7.3.2. Антиконвульсивная эффективность ТМС на коразоловой модели судорог 261
7.3.3. Антиконвульсивная эффективность ТМС на пикротоксиновой модели судорог 264
7.3.4. Экспериментальное обоснование сочетанного применения рТМС и антиконвульсантов 268
7.4. Комплексная терапия эпилепсии с использованием рТМС 272
7.4.1. Клиническая эффективность ТМС 272
7.4.2. Нейрофизиологическая характеристика эффективности ТМС 279
7.4.3. Качество жизни – индикатор эффективности ТМС 281

Заключение 289

Список использованных источников 291

Глава 1

ВВЕДЕНИЕ В ЭЛЕКТРОМАГНИТОТЕРАПИЮ

В начале XX в. на пересечении сфер интересов физики электромагнитных полей и биологии зародилась и стала бурно развиваться новая наука – *электромагнитная биология*, изучающая механизмы взаимодействия биологических объектов с электромагнитными полями. Логическим развитием событий явилось ее взаимодействие с медициной, в результате которого практическое здравоохранение получило новое направление в лечебно-профилактическим использовании физических факторов – *электромагнитотерапию.*

Электромагнитотерапия – один из наиболее обширных разделов физиотерапии, методы которого основаны на использовании электромагнитных полей и излучения с лечебно-профилактическими и реабилитационными целями.

1.1. Физическая характеристика электромагнитных полей

Электромагнитное поле (ЭМП) представляет собой форму материи, посредством которой осуществляется взаимодействие электрически заряженных частиц. В нем условно могут быть выделены электрическая и магнитная составляющие. Образуемые ими поля обозначают как электрическое (ЭП) и магнитное (МП). Первое из них, как известно, формируется покоящимися зарядами, а второе – движущимися зарядами, намагниченными телами и переменным электрическим полем. Магнитное и электрическое поле могут существовать отдельно друг от друга только тогда, когда их величина неизменна во времени. Переменные же магнитные и электрические поля отдельно друг от друга существовать не могут.

Электромагнитное поле распространяется в пространстве со скоростью около $3 \cdot 10^8$ м/с в виде электромагнитных волн, которые характеризуются длиной волны, равной отношению скорости распространения к частоте.

Область распространения электромагнитных волн делится на три зоны: ближнюю (зона индукции), промежуточную и дальнюю (волновую) [1]. Ближняя зона располагается примерно до расстояния, равного 1/6 длины волны от источника (излучателя). Дальняя зона начинается с расстояния от излучателя, равного примерно 6 длинам волн. Между этими двумя зонами располагается промежуточная зона. В зависимости от формы источника на пациента в ближней зоне будет воздействовать преимущественно электрическая или магнитная составляющие ЭМП, а в дальней зоне – электромагнитное излучение (ЭМИ).

В природе и технике встречаются электромагнитные поля различных типов и параметров. Их совокупность образует спектр электромагнитного излучения, который разделяют по длине волны и частотному диапазону на различные области. В физиотерапии используются не все из них, а преимущественно электромагнитные поля радиоволнового и оптического диапазона (табл. 1.1) [2].

Таблица. 1.1. **Спектр электромагнитного излучения, используемого в физиотерапии**

Вид излучения	Диапазон длин волн, м	Полоса частот, Гц
Радиоволновое:		
крайне низкочастотное	10^8–10^7	3–30
сверхнизкочастотное	10^7–10^6	30–300
инфранизкочастотное	10^6–10^5	300–3000
очень низкочастотное	10^5–10^4	$3(10^3$–$10^4)$
низкочастотное	10^4–10^3	$3(10^4$–$10^5)$
среднечастотное	10^3–10^2	$3(10^5$–$10^6)$
высокочастотное	10^2–10	$3(10^6$–$10^7)$
очень высокочастотное	10–1	$3(10^7$–$10^8)$
ультравысокочастотное	10–10^{-1}	$3(10^8$–$10^9)$
сверхвысокочастотное	10^{-1}–10^{-2}	$3(10^9$–$10^{10})$
крайне высокочастотное	10^{-2}–10^{-3}	$3(10^{10}$–$10^{11})$

Окончание табл. 1.1

Вид излучения	Диапазон длин волн, м	Полоса частот, Гц
Оптическое		
Инфракрасное:		
далекое	10^{-3}–$5\cdot10^{-5}$	$3\cdot10^{11}$ – $6\cdot10^{12}$
среднее	$5\cdot10^{-5}$–$2{,}5\cdot10^{-6}$	$6\cdot10^{12}$ – $1{,}2\cdot10^{14}$
ближнее	$2{,}5\cdot10^{-6}$–$7{,}6\cdot10^{-7}$	$(1{,}2–3{,}95)10^{14}$
Видимое:		
красное	$(7{,}6–6{,}2)10^{-7}$	$(3{,}95–4{,}8)10^{14}$
оранжевое	$(6{,}2–5{,}9)10^{-7}$	$(4{,}8–5{,}1)10^{14}$
желтое	$(5{,}9–5{,}8)10^{-7}$	$(5{,}1–5{,}2)10^{14}$
зеленое	$(5{,}8–5{,}1)10^{-7}$	$(5{,}2–5{,}9)10^{14}$
голубое	$(5{,}1–4{,}8)10^{-7}$	$(5{,}9–6{,}3)10^{14}$
синее	$(4{,}8–4{,}5)10^{-7}$	$(6{,}3–6{,}7)10^{14}$
фиолетовое	$(4{,}5–4{,}0)10^{-7}$	$(6{,}7–7{,}5)10^{14}$
Ультрафиолетовое:		
длинноволновое	$(4–3{,}2)10^{-7}$	$(7{,}5–9{,}4)10^{14}$
средневолновое	$(3{,}2–2{,}8)10^{-7}$	$(9{,}4–10{,}7)10^{14}$
коротковолновое	$(2{,}8–1{,}8)10^{-7}$	$(1{,}07–1{,}7)10^{15}$

Количество электромагнитной энергии W, переносимой в единицу времени t через единицу поверхности площадью S, перпендикулярной направлению распространения излучения, называется интенсивностью электромагнитного излучения I или плотностью потока энергии (ранее плотность потока мощности). Эту величину в физиотерапии выражают в Вт/м^2 или мВт/см^2:

$$I = \frac{W}{St}.$$

При распространении электромагнитных волн в различных средах, включая и биологические, происходит их отражение, преломление, рассеяние, поглощение, дифракция и интерференция. Кроме того, в организме снижается скорость распространения электромагнитных волн по сравнению со скоростью их распространения в воздухе, а следовательно, уменьшается и длина волны [2].

Длина волны в биологических тканях λ определяется преимущественно диэлектрическими свойствами составляющих их сред и определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{C}{f\sqrt{\varepsilon}},$$

где ε – диэлектрическая проницаемость биологических тканей; f – частота электромагнитных колебаний; C – скорость света в вакууме.

Интенсивность электромагнитного излучения при его распространении в тканях экспоненциально убывает. Расстояние, на котором величина электромагнитной энергии уменьшается в e^2 (приблизительно в 7,3 раза), называется глубиной проникновения, или проникающей способностью электромагнитного излучения в данную среду [2]. Основной вклад в уменьшение интенсивности ЭМИ вносит поглощение электромагнитной энергии в тканях. Сведения о глубине проникновения электромагнитного излучения различной частоты представлены в табл. 1.2 [3].

Важно подчеркнуть, что ЭМИ взаимодействует только со средами, в которых присутствуют свободные или связанные электрические заряды. Живые ткани обладают как свободными, так и связанными зарядами. Взаимодействие с тканями и поглощение ими электромагнитной энергии сопровождается преобразованием ее в другие виды. Степень преобразования различными тканями организма энергии ЭМП в электрическую определяется их емкостным сопротивлением X_c:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C},$$

где X – емкостное сопротивление; π – число, равное 3,14; f – частота электромагнитных колебаний; C – емкость тканей.

Превращение электромагнитной энергии в магнитную зависит от индуктивного сопротивления X_L тканей:

$$X_L = 2\pi f L,$$

где f – частота электромагнитных колебаний; L – индуктивность тканей.

Изменение указанных характеристик тканей, прежде всего X_c, зависит от частоты ЭМП. При увеличении частоты воздействующего электромагнитного поля емкостное сопротивление тканей уменьшается. В результате увеличивается сила тока, проходящего через различные органы и ткани [2].

Таблица 1.2. **Параметры неионизирующего электромагнитного излучения в вакууме и модельной биологической среде**

Параметр	Диапазон волн											
	Низкочастотные волны			Радиоволны				Микроволны				
Частота, Гц	3	$3\cdot10$	$3\cdot10^{2}$	$3\cdot10^{3}$	$3\cdot10^{4}$	$3\cdot10^{5}$	$3\cdot10^{6}$	$3\cdot10^{7}$	$3\cdot10^{8}$	$3\cdot10^{9}$	$3\cdot10^{10}$	$3\cdot10^{11}$
Длина волны в вакууме	105 км	104 км	103 км	100 км	10 км	1 км	100 м	10 м	1 м	100 мм	10 мм	1 мм
Длина волны в среде	4,1 км	1,3 км	380 м	110 м	30 м	6,7 м	2,0 м	58 см	12 см	13 мм	2,2 мм	0,45 мм
Коэффициент прохождения в среду	$8{,}3\cdot10^{-5}$	$2{,}6\cdot10^{-4}$	$7{,}7\cdot10^{-4}$	$2{,}4\cdot10^{-3}$	$7{,}7\cdot10^{-3}$	$1{,}6\cdot10^{-2}$	$4{,}6\cdot10^{-2}$	0,13	0,34	0,41	0,53	0,79
Глубина проникновения в среду	660 м	210 м	60 м	20 м	6,0 м	1,3 м	37 см	11 см	60 мм	16 мм	0,8 мм	0,18 мм

Примечание. Частоты от 0 до 300 Гц принято называть крайне низкими частотами, а частоты от $3\cdot10^{10}$ до $3\cdot10^{11}$ Гц – крайне высокими частотами.

1.2. Взаимодействие электромагнитных полей и излучения с организмом

Характер взаимодействия электромагнитных полей с различными тканями организма определяется их электрическими, магнитными и оптическими свойствами и зависит от вида и параметров (прежде всего частоты) используемого физического фактора [2–6].

Под действием электромагнитных полей радиочастотного диапазона в различных тканях и средах происходит направленное перемещение заряженных частиц (в первую очередь ионов), а также перераспределение электрических зарядов и формирование объемного дипольного момента (поляризация тканей). Упорядоченное и направленное движение свободных электрических зарядов (ионов) в тканях создает в них *ток проводимости*. Индивидуальные процессы частотнозависимой поляризации диполей воды, биологических макромолекул, субклеточных структур, т. е. связанных зарядов во внешнем электромагнитном поле, формируют *ток смещения*. В сложных средах, к числу которых относятся биологические ткани, содержащие заряды обоих типов, ЭМП создает и ток проводимости, и ток смещения, причем последний нарастает по мере повышения частоты поля и становится значимым на высоких частотах.

Постоянные электрические поля вызывают однонаправленное движение ионов к соответствующим полюсам. В результате перераспределяется содержание ионов в компартментах различных тканей и внутренней среде. Кроме того, происходит смещение электронных облаков атомов и молекул (электронная поляризация) или ориентация дипольных молекул (ориентационная поляризация). За счет движения связанных ионов возможно смещение клеток в постоянном электрическом поле [7].

Переменное электрическое поле вызывает разнонаправленные маятникообразные движения ионов и колебательные смещения дипольных молекул, поляризация которых пропорциональна электрической напряженности поля, а также зависит от его частоты и линейных размеров биологических молекул.

Биологические эффекты применения ЭМП низкой частоты ($f < 10^5$ Гц) обусловлены преимущественно током проводимости, основным носителем которого являются ионы. Плотность тока в тканях при наведении в них внешнего ЭМП мала и не превышает $2{,}3 \cdot 10^{-3}$ А/м^2 в интерстиции и 10^{-6}А/м^2 – в плазмолемме [2, 7]. При подведении к поверхности тела ЭМП с помощью электродов-антенн в теле человека возникают уже более значительные токи проводимости, способные вызывать изменения функциональных свойств тканей организма, клетки которых обладают возбудимыми мембранами. Пороговое значение тока проводимости, вызывающее возбуждение нервной и мышечной клеток, определяется частотой действующего электромагнитного поля. С ее увеличением пороговая величина тока нарастает и, начиная с частоты $3 \cdot 10^3$ Гц, при приложении переменного тока к коже человека возбуждения его нервов и мышц не возникает. В силу малого поглощения электромагнитной энергии в низкочастотном диапазоне не происходит и заметного нагрева тканей, так как выделяемое тепло существенно меньше метаболической теплопродукции организма и не превышает мощность рассеяния тепловой энергии биологическими тканями.

Что же касается электромагнитного излучения высокой частоты, то наряду с токами проводимости оно вызывает в организме значительные токи смещения. Последние определяют преобразование электромагнитной энергии в тепловую в основном за счет трения и соударений в вязкой среде цитозоля ориентирующихся во внешнем ЭМП диполей воды и биологических макромолекул.

Физиологические механизмы теплоотдачи организма не компенсируют возникающую в высокочастотном диапазоне теплопродукцию, в результате чего происходит нагревание облучаемых тканей. Степень нагрева тканей и порог теплового воздействия зависят от плотности потока энергии и частоты ЭМП. Данные о пороге теплового воздействия ЭМП радиочастот приведены в табл. 1.3 [1].

В частотном диапазоне 10^6–$2 \cdot 10^7$ Гц повышение температуры тканей способно вызывать как ток проводимости, так и ток

Таблица 1.3. **Пороги теплового воздействия ЭМП радиочастот**

Диапазон волн	Пороги теплового эффекта
Средние (500 кГц)	Ниже 8000 В/м
Короткие (14,88 МГц)	2250 В/м
Ультракороткие	
(30–50 МГц)	800 В/м
(69,7 МГц)	150 В/м
(155 МГц)	50 В/м
(191 МГц)	20 В/м
Микроволны:	
дециметровые	Выше 40 мВт/см^2
сантиметровые	
3 см	10 мВт/см^2
10 см	10 мВт/см^2
миллиметровые	7 мВт/см^2

смещения. При частоте ЭМП выше $2 \cdot 10^7$ Гц ведущую роль в нагревании тканей играет ток смещения.

На взаимодействие ЭМП с организмом существенно влияет содержание воды в тканях. В силу высокой диэлектрической проницаемости коэффициент поглощения энергии электромагнитных волн в тканях с большим содержанием воды в 60 раз выше, а проникающая способность – в 10 раз меньше, чем эти показатели в тканях с малым содержанием воды. Кроме того, в последних длина электромагнитных волн по сравнению с таковой в воздухе значительно меньше (в 2–2,5 раза), чем в богатых водой тканях (в 6,5–8,5 раза).

Вокруг распространяющихся в тканях организма токов, индуцированных действием ЭМП, формируются магнитные поля. Максимальная величина магнитной индукции в тканях с высокой электропроводностью, находящихся в переменном ЭМП, не превышает 10^{-10} Тл в интерстиции и 10^{-13} Тл в плазмолемме. Действием таких слабых магнитных полей, по-видимому, можно пренебречь [2].

Под влиянием постоянного магнитного поля входящие в состав тканей организма надмолекулярные жидкокристаллические

структуры ориентируются относительно вектора магнитной индукции. В результате такого ориентационного смещения формируются собственные магнитные поля надмолекулярных комплексов, которые, согласно правилу Ленца, будут ослаблять приложенное внешнее магнитное поле. Такой диамагнитный эффект наиболее выражен у фосфолипидных компонентов биологических мембран, что может сказываться на их функциональной активности.

Взаимодействие переменного магнитного поля с организмом сопровождается генерацией вихревого электрического поля. Вектор напряженности электрических полей, индуцируемых в биологических тканях переменными магнитными полями, всегда направлен перпендикулярно вектору магнитной индукции, а его силовые линии имеют форму замкнутых витков (вихрей). Возникающие при использовании переменных магнитных полей терапевтических параметров электрические поля способны вызывать перемещение заряженных частиц, сопровождающееся различными эффектами в тканях (изменение жидкокристаллического состояния фосфолипидов мембран, снижение электрокинетического потенциала, индукция фазовых гель-золь переходов в цитозоле клеток и др.). С повышением частоты вихревые токи поглощаются тканями, что может приводить к их нагреву. Кроме того, магнитные поля могут взаимодействовать со свободными радикалами и влиять на скорость свободнорадикальных реакций, изменять физико-химические свойства и структуру воды, влиять на ориентацию и активность белков и ферментов и др. [8, 9]. Многие стороны взаимодействия магнитных полей с биологическими структурами объясняют теории циклотронного резонанса и ионного параметрического резонанса, согласно которым этот физический фактор по резонансному механизму влияет на заряженные частицы, прежде всего на катионы кальция, магния, калия и др. [7, 10].

Взаимодействие электромагнитных волн оптического диапазона с биологическими объектами проявляется в волновом и квантовом эффекте, вероятность формирования которого изменяется

в зависимости от длины волны. При оценке особенностей действия ЭМИ оптического диапазона наряду с такими закономерностями его волнового распространения, как отражение, рассеяние и поглощение, необходимо также учитывать корпускулярные эффекты – фотохимический, фотоэлектрический, фотолитический и др. [2, 4, 7].

В механизме фотобиологического действия ЭМП оптического диапазона определяющим является поглощение энергии световых квантов атомами и молекулами биологических тканей. В результате образуются электронно-возбужденные состояния молекул, вследствие дезактивации которых происходят различные фотохимические и фотофизические процессы [7, 11]. Характер первичных фотобиологических реакций определяется энергией квантов оптического излучения. В инфракрасной области энергии фотонов [$(1{,}6–2{,}4)10^{-19}$ Дж] достаточно только для увеличения энергии колебательных процессов биологических молекул. Видимое излучение, энергия фотонов которого составляет $(3{,}2–6{,}4)10^{-19}$ Дж, способно вызвать электронное возбуждение и фотолитическую диссоциацию молекул. Кванты ультрафиолетового излучения с энергией, равной $(6{,}4–9{,}6)10^{-19}$ Дж, вызывают ионизацию молекул и разрыв ковалентных связей.

Основной результат поглощения оптического излучения биологическими объектами – образование тепла и первичных фотопродуктов, выступающих пусковым механизмом фотобиологических процессов. Первый тип энергетических превращений присущ в максимальной степени инфракрасному излучению, а второй – ультрафиолетовому излучению. Следовательно, можно утверждать, что специфичность (особенности) биологического действия оптического излучения зависит от длины волны. Наряду с этим степень и спектр фотобиологических эффектов в организме зависят и от интенсивности оптического излучения. Последняя, как известно, обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника до облучаемой поверхности.

Лазерное излучение, обладающее такими отличительными свойствами, как когерентность, монохроматичность, поляризо-

ванность и направленность, по сравнению с традиционными видами оптического излучения характеризуется более высокой биологической активностью и некоторыми специфическими механизмами взаимодействия с биологическими структурами. Они достаточно подробно рассмотрены в ряде книг и обзоров [12–15].

Таким образом, электромагнитные поля и излучение характеризуются определенным пространственно-временным распределением энергии, которая при взаимодействии ЭМП с биологическими тканями трансформируется в тепло и другие виды энергии. Происходящие при этом физико-химические процессы служат пусковым звеном физиологического и лечебного действия физических факторов электромагнитной природы. При этом каждому из рассмотренных типов электромагнитных полей и излучения присущ свой спектр вызываемых физико-химических явлений, определяющих особенности и специфичность их действия на организм, которые более детально будут изложены в последующих главах.

1.3. Краткая характеристика методов электромагнитотерапии

Воздействие электромагнитных полей и излучения на организм человека может осуществляться как через различные физические среды (воздух, вода), так и путем непосредственного контакта тканей с излучателем или электродами. В связи с этим методы лечебного использования электромагнитных полей и излучения условно делят на контактные и дистантные. В первом случае говорят о воздействии на пациента электрического тока, который может изменяться по силе, форме и частоте. При методах второй группы (расположение пациента в ближней зоне) на него воздействуют электрическое или магнитное поле, а в дальней зоне – электромагнитные излучения, которые также могут изменяться по величине силовых характеристик, форме и частоте. Классификация используемых в физиотерапии методов, основанных на применении электромагнитного излучения и полей, приведена в табл. 1.4 [2]. Ниже будет дана краткая характеристика тех методов электромагнитотерапии, которые рассматриваются далее.

Таблица 1.4. **Методы лечебного применения электромагнитных полей и излучения**

Вид и характер полей	Методы лечебного применения
Постоянные электрические токи	
непрерывные	Гальванизация Лекарственный электрофорез
импульсные токи	Электросонтерапия Транскраниальная электроаналгезия Короткоимпульсная электроаналгезия Диадинамотерапия Электростимуляция Электропунктура Биорегулируемая электростимуляция
Переменные электрические токи:	
низкой частоты	Амплипульстерапия Интерференцтерапия Флюктуоризация Ультратонотерапия
средней частоты	Местная дарсонвализация
Электрическое поле:	
постоянное	Франклинизация
импульсное	Импульсное электрическое поле
высокой и ультравысокой частоты	УВЧ-терапия
Магнитное поле:	
постоянное	Постоянная магнитотерпия
импульсное	Импульсная магнитотерапия
низкой частоты	Низкочастотная магнитотерапия
высокой частоты	Высокочастотная магнитотерапия
Электромагнитное излучение:	
сверхвысокой частоты	Дециметроволновая терапия Сантиметроволновая терапия
крайне высокой частоты	КВЧ-терапия
Электромагнитное излучение оптического диапазона:	
инфракрасное излучение	ИК-облучение
видимое излучение	Видимое облучение (фототерапия)
ультрафиолетовое излучение	УФ-облучение:
длинноволновое (ДУФ)	длинноволновое
средневолновое (СУФ)	средневолновое
коротковолновое (КУФ)	коротковолновое
монохроматическое когерентное излучение	Лазеротерапия

1.3.1. Высокочастотная электротерапия

Под высокочастотной электротерапией понимают применение с лечебно-профилактическими целями электрических токов, магнитных электрических и электромагнитных полей с частотой от сотен килогерц (кГц) до тысяч мегагерц (МГц). Биофизическую основу действия на организм методов высокочастотной электротерапии составляют колебательные движения и смещения ионов, заряженных частиц и дипольных молекул. Они приводят к возникновению термических и осцилляторных эффектов в тканях и клетках. С увеличением частоты роль теплового эффекта снижается, а осцилляторного, наоборот, возрастает [4, 6, 16, 17].

Местная дарсонвализация – лечебно-профилактическое воздействие на участки тела пациента слабым импульсным переменным током средней частоты и высокого напряжения. Отечественные аппараты для местной дарсонвализации (серия «Искра», «Импульс-1», «Корона-М», «Блик», АВД-М и др.) работают, как правило, на частоте 110 кГц.

Первичное действие местной дарсонвализации связано с эффектом искрового разряда, а также колебательными движениями электрически активных элементов в клетках и тканях, приводящими к химическим и физико-химическим изменениям в них.

Терапевтическое использование дарсонвализации обусловлено ее вазомоторным, болеутоляющим, трофическим, противозудным и противовоспалительным действием, а также регулирующим влиянием на вегетативную нервную систему. Местную дарсонвализацию применяют при заболеваниях периферических нервов, некоторых кожных заболеваниях, сосудистых спазмах, варикозном расширении вен, кардиалгии, отморожении, трофических язвах и ранах, ночном недержании мочи и др.

Дециметроволновая терапия – лечебное использование электромагнитных волн дециметрового диапазона. Для ДМВ-терапии используют стационарные («Волна-2М», «Электроника Терма») и портативные (ДМВ-15 «Ромашка», ДМВ-20 «Ранет») аппараты, работающие на частоте около 460 МГц (65 см).

Дециметровые волны нетепловой интенсивности вызывают сложные физико-химические процессы в тканях вследствие ориентационных колебаний дипольных молекул связанной воды, а также боковых групп белков и гликолипидов, характеристические частоты которых соизмеримы с частотами воздействующих электромагнитных колебаний. При увеличении плотности потока энергии СВЧ-колебаний (более 0,01 Вт/см^2) часть их энергии превращается в тепловую, что наиболее выражено в богатых водой тканях. Следствием этих процессов являются активация клеточного дыхания, улучшение белкового обмена и энзиматической активности, конформационные перестройки гликолипидов плазмолеммы, изменение проницаемости и функциональных свойств мембран, улучшение микроциркуляции и стимуляция метаболизма тканей.

Лечебные эффекты применения дециметровых волн: противовоспалительный, секреторный, сосудорасширяющий, иммуномодулирующий и трофический. ДМВ-терапия показана при подострых и хронических воспалительных заболеваниях внутренних органов, язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, бронхиальной астме, хроническом обструктивном бронхите, ревматоидном артрите, деформирующем остеоартрозе, туберкулезе легких и др.

Сантиметроволновая терапия – метод электротерапии, при котором на ткани организма воздействуют электромагнитным полем сверхвысокой частоты (2375 МГц, длина волны 12,6 см; 2450 МГц, длина волны 12,2 см). Для проведения СМВ-терапии применяют переносные («Луч-2», «Луч-3», «Вариация», «Мирта-02») и передвижные («Луч-58», «Луч-11») аппараты.

Механизм действия сантиметровых волн принципиально не отличается от такового дециметровых волн. Однако существенное уменьшение длины волны микроволнового излучения приводит к участию в поверхностной поляризации тканей и формированию тока смещения преимущественно молекул свободной воды, боковых цепей фосфолипидов и аминокислот. Сантиметровые волны стимулируют эндокринную систему организма, усиливают регионарную гемо- и лимфодинамику, способствуют

рассасыванию продуктов аутолиза клеток из очага воспаления, активируют метаболизм и трофику облучаемых тканей.

Лечебные эффекты применения сантиметровых волн: противовоспалительный, анальгетический, трофический, секреторный, сосудорасширяющий. К показаниям для сантиметроволновой терапии относят подострые и хронические воспалительные заболевания периферической нервной системы, дегенеративно-дистрофические заболевания суставов и позвоночника в стадии обострения, гнойничковые заболевания кожи, подострые и хронические заболевания органов дыхания, женских половых органов, мочевыводящих путей, предстательной железы, глаз, придаточных пазух носа, полости рта.

Миллиметроволновая (крайневысокочастотная) терапия – лечебное применение электромагнитных волн миллиметрового диапазона, или крайне высокой частоты. Аппараты для КВЧ-терапии являются источником электромагнитных колебаний частотой 61,2 ГГц (длина волны 4,9 мм), 53,5 ГГц (5,6 мм) и 42,2 ГГц (7,1 мм). Наиболее известны аппараты для КВЧ-терапии «Явь», «Шлем», «Инициация-2МТ», «Квотер», «Амфит-02», «Стелла-2» и др.

Миллиметровые волны полностью поглощаются поверхностными слоями кожи, не оказывают теплового воздействия. Ответная реакция организма развивается по типу кожно-висцеральных рефлексов, формирующихся вследствие изменения ионной проницаемости клеточных и субклеточных мембран и релаксационных колебаний дипольных молекул воды и отдельных субъединиц белковых структур [18]. Многие авторы миллиметровым волнам приписывают информационный и биорезонансный механизм действия.

Под влиянием КВЧ-терапии восстанавливаются реологические свойства крови, улучшается микроциркуляция и регионарное кровообращение, изменяется деятельность вегетативной и эндокринной систем, корригируется гуморальный и клеточный иммунитет, повышается неспецифическая резистентность организма к неблагоприятным факторам внешней среды.

Лечебные эффекты в результате применения миллиметровых волн: иммуностимулирующий, нейромодулирующий, секретор-

ный, регенераторный. Показания для КВЧ-терапии: подострые и хронические воспалительные заболевания периферической нервной системы (невралгии, нейропатии), язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки в стадии обострения, заболевания кожи (гнездная алопеция, псориаз, ограниченная склеродермия), нейроциркуляторная дистония различных типов и др.

1.3.2. Магнитотерапия

При магнитотерапии на организм пациента воздействуют магнитными полями различной направленности, частоты и интенсивности. В соответствии с параметрами и условиями применения магнитных полей магнитотерапию условно делят на ряд методов (см. рис. 1.1).

Для их реализации сегодня промышленность выпускает огромное количество аппаратов и устройств для магнитотерапии, характеристика которых приводилась нами ранее [19]. Наиболее известными являются следующие магнитотерапевтические аппараты: «Полюс», «Магнитер», «Градиент», «СПОК», «Тесламед»,

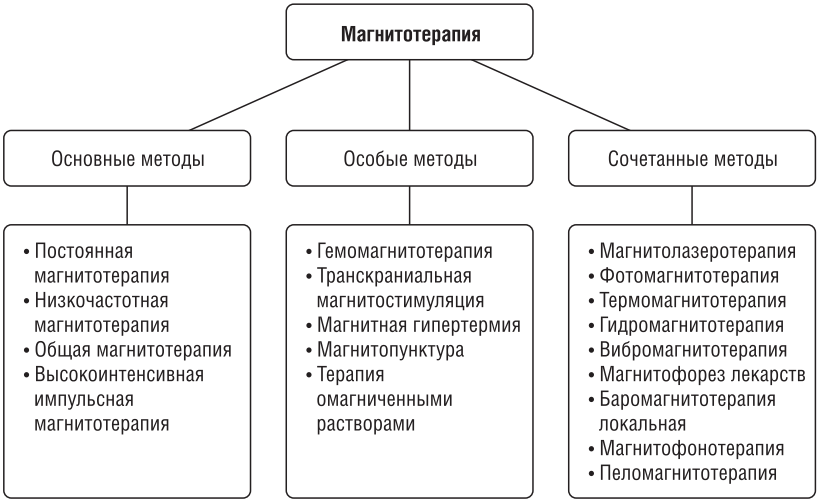


Рис. 1.1. Классификация методов магнитотерапии

«Сета-Д», «АМО-АТОС», «АЛИМП», «АЛМАГ», «Радиус-Магнит», «Магнитотурбатрон» и многие другие.

В основе влияния магнитных полей на организм лежит их взаимодействие со структурными образованиями, обладающими особыми магнитными свойствами, анизотропией магнитных свойств или определенной частотой собственных колебаний. К их числу можно отнести: химические реакции, протекающие по свободнорадикальному типу; жидкие кристаллы, характеризующиеся анизотропией магнитных свойств; молекулы воды, совершающие фазовые переходы и активационные колебательные движения; макромолекулы, являющиеся крупными анизотропными диамагнитными соединениями и обладающие анизотропией магнитной восприимчивости; различные ионы, на которые магнитные поля могут оказывать резонансное действие; структуры, чувствительные к действию электрических токов и полей, индуцируемых переменными магнитными полями, и др. [8, 19].

Действие магнитных полей различных параметров проявляется на атомарно-молекулярном (конформация макромолекул и макромолекулярных комплексов; образование свободных форм веществ; изменение физико-химических свойств воды; резонансные явления и др.); мембранно-клеточном (изменение конформации мембран; повышение проницаемости клеточных мембран и модуляция активности ионных каналов; повышение реакционой активности клеточных ферментных систем; активация биоэнергетических процессов в клетке) и органно-тканевом (торможение циркуляции биологических жидкостей; модуляция состояния свертывающей и противосвертывающей систем крови; стимуляция нейроэндокринной системы; активация адаптационных процессов в организме; модификация функционального состояния ЦНС, а также звеньев вегетативной нервной системы и др.) уровнях [9, 19, 20].

Наиболее значимыми для клиники являются противоотечный, противовоспалительный, обезболивающий, иммуномодулирующий, гемокоагулирующий, гипотензивный, седативный и трофикорегенераторный эффекты магнитных полей. Магнитотерапия с применением различных видов магнитных полей и тех-

нологий показана при следущих заболеваниях и патологических состояниях:

заболеваниях сердечно-сосудистой системы (артериальная гипертензия, ИБС, вегетососудистая дистония, постинфарктный кардиосклероз);

травмах и заболеваниях нервной системы (преходящие нарушения мозгового кровообращения, ишемические мозговые инсульты, травмы позвоночника и спинного мозга, невриты, невралгии, неврозы, неврастения, каузалгии, фантомные боли и др.);

заболеваниях периферических сосудов (облитерирующий атеросклероз, облитерирующий тромбангиит, синдром Рейно, хроническая венозная недостаточность, диабетические ангиопатии и др.);

заболевания и повреждения опорно-двигательного аппарата (деформирующий остеоартроз, артриты и полиартриты, эпикондилиты, ушибы, вывихи, растяжения сумочно-связочного аппарата и др.);

заболевания органов дыхания (острые пневмонии затяжного течения, хронический бронхит, бронхиальная астма и др.);

заболевания органов пищеварения (язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки, хронический гастрит, дискинезия желчевыводящих путей, хронический холецистит, хронический язвенный колит и др.);

заболевания уха, горла и носа (вазомоторный ринит, риносинусит, гайморит, фронтит, хронический отит, трахеит и др.);

глазные болезни (коньюнктивит, кератит, ирит, увеит, начальная форма глаукомы, иридоциклит и др.);

стоматологические заболевания (пародонтоз, гингивит, язвенные поражения слизистой оболочки ротовой полости, послеоперационные раны и травмы и др.);

подострые и хронические заболевания мочеполовой системы (цистит, уретрит, пиелонефрит, аднексит, простатит, эпидидимит, бесплодие, климактерический синдром и др.);

кожные болезни (псориаз, нейродермит, трофические язвы, раны, ожоги, обморожения, пролежни).

Особое место в ряду магнитотерапевтических методов занимает **высокоинтенсивная импульсная магнитотерапия**,

под которой понимают применение с лечебно-профилактическими целями импульсного магнитного поля высокой интенсивности (0,7 Тл и выше).

Отличительными особенностями этого метода являются: высокие показатели магнитной индукции, в десятки раз превышающие величины магнитных полей, создаваемых в обычных магнитотерапевтических аппаратах, обеспечивают возможность воздействия на глубоко расположенные нервные, мышечные, костные структуры и внутренние органы; большая скорость изменения магнитного поля ведет к индукции в структурах организма электрических полей и токов значительной интенсивности; небольшая длительность импульсов (100–200 мкс) обеспечивает безопасность использования высокоинтенсивного магнитного поля [19].

В тканях организма под действием высокоинтенсивных магнитных полей (ВИМП) по закону электромагнитной индукции наводится ЭДС, величина которой зависит от скорости изменения магнитной индукции, а также индуцируется сильное электрическое поле, которое способно вызвать нейростимулирующий эффект, что оказывает влияние на различные клетки, органы и ткани. Под влиянием ВИМП изменяется заряд клеток, состояние ее коллоидов, проницаемость клеточных мембран и гистогематических барьеров, улучшается микроциркуляция, подавляется афферентная импульсация и др.

При воздействии ВИМП на мозг изменяется биоэлектрическая активность нейронов, в структурах мозга происходят метаболические и другие изменения. Эти специфические реакции мозга на высокоинтенсивные импульсные магнитные поля лежат в основе такого метода, как **транскраниальная магнитостимуляция**, которая детально будет рассмотрена в главе 7.

ВИМП за счет различных механизмов оказывают достаточно выраженное противоотечное, обезболивающее, противовоспалительное, миостимулирующее, нейротропное, трофико-регенераторное действие, что обосновывает эффективное использование высокоинтенсивной импульсной магнитотерапии в первую очередь при лечении травматических повреждений, воспалительных