

УДК 577.3

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ С БИОПОЛЕМ ЧЕЛОВЕКА

Е.А. Цветкова, В.А. Гольдаде

Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель

INTERACTION BETWEEN ELECTROMAGNETIC FIELDS AND HUMAN BIOFIELD

Е.А. Tsvetkova, V.A. Goldade

V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of NASB, Gomel

В статье содержится обзор работ о влиянии внешних электромагнитных полей на организм человека. Возможные механизмы такого влияния объясняются на основе представлений о взаимодействии внешних электромагнитных полей с биополем человека. Внимание акцентировано на характеристиках полей, создаваемых телом человека. В частности, рассмотрены: биомагнетизм органов человека и влияние на него слабых низкочастотных и постоянных магнитных полей; биоэлектрический эффект, основным признаком которого является генерация живым органом квазипостоянного электрического поля, влияющего на биохимические и структурные процессы в клетках. Приведены примеры моделирования биофизических свойств живых тканей аналогами из синтетических полимерных материалов, применяемых в изделиях медицинской техники.

Ключевые слова: электромагнитное поле, биополе, биомагнетизм, биоэлектрический эффект, моделирование биополя.

The paper contains a review of papers on the effect of external electromagnetic fields upon the human organism. Possible mechanisms of such influence are explained on the basis of interaction between external electromagnetic field and human biofield. The attention is accented on the characteristics of the fields which are created by a human body. In particular, the following characteristics are considered: biomagnetism of man's organs and the effect of exposure to the weak low-frequency and permanent magnetic fields, as well as the bioelectric phenomenon whose main feature is generation of the quasi-constant electric field that influences both on biochemical and structural processes in the cells. Some examples of simulating biophysical properties of the living tissues using synthetic polymer materials employed in medical appliances are presented.

Keywords: electromagnetic field, biofield, biomagnetism, bioelectric effect, biofield modeling.

Введение

Практическое использование электромагнитных полей (ЭМП) в медицине основано на знании механизмов их взаимодействия с биополем живых организмов. Для области спектра ЭМП, где энергия кванта $h\nu > kT$ (kT – кинетическая энергия молекул при температурах, свойственных живым организмам), т.е. от инфракрасного диапазона до гамма-излучения, все виды биологической активности живых организмов, основанные на тепловых эффектах, обнаружены и достаточно хорошо изучены [1]–[3]. Иначе обстоит дело в отношении исследования действия на организм электромагнитных полей в области, где $h\nu < kT$, – от СВЧ до инфранизких частот вплоть до «нулевой частоты», соответствующей постоянным электрическим и магнитным полям.

Долгое время считалось, что ЭМП этого диапазона частот не оказывают какого-либо влияния на живые организмы [4], [5]. Такое заключение было сделано на основе простых физических соображений: так как в этой области $h\nu \ll kT$, то поглощения электромагнитных волн живыми тканями, связанного с преобразованием электромагнитной энергии в тепловую, можно ожидать при напряженностях электрического

поля более 100 В/м и напряженностях магнитного поля более $8 \cdot 10^3$ кА/м. Эти значения на несколько порядков превышают характерные значения напряженностей электрического и магнитного поля биосферы [6]. Поэтому физики скептически относились к появлявшимся время от времени сообщениям биологов и медиков о реакциях животных и человека на ЭМП, значительно более слабые, чем требовалось для проявления теплового эффекта.

Вопреки этим категорическим заключениям продолжались попытки обнаружить биологическое действие низкочастотных и постоянных электрических и магнитных полей при напряженностях, значительно более низких, чем теоретически оцененные. Так, было установлено, что переменные магнитные поля (МП) частотой 0,01 Гц с амплитудами порядка 10 нТл подавляют размножение некоторых видов бактерий [7], оказывают существенное воздействие на систему крови животных [8].

Относительно механизма столь высокой чувствительности биообъектов к ЭМП пока нет единого мнения, и существуют различные гипотетические модели. Например, в работе [9] предложена модель, автор которой считает, что

комбинированное с постоянным геомагнитным полем переменное низкочастотное (порядка единиц герц) МП влияет на скорость биохимических реакций, в которых участвуют ионы кальция. Эта гипотеза критикуется в работе [10], где в результате анализа уравнений теплового движения иона в макромолекуле показано, что вероятность влияния переменного МП с энергией квантов порядка 10^{-13} эВ на фоне теплового движения фононов с энергией порядка 10^{-2} эВ мала.

Учитывая большие значения диэлектрической проницаемости биотканей, можно было бы ожидать в них существенного усиления внутренних электрических полей при наложении внешнего ЭМП. Такая гипотеза рассматривается в работе [11], однако в ней не учтено влияние электропроводности, которая у биообъектов также значительна. Легко показать, что максвелловское время релаксации электропроводящей среды организма $\tau = \epsilon\epsilon_0/\sigma$ (где σ – удельная электропроводность) составляет величину порядка 10^{-6} с, поэтому внешние низкочастотные электрические поля в нём должны быть экранированы [12].

В настоящей работе предложена концепция влияния на организм человека внешних электромагнитных полей, основанная на их взаимодействии с биополем живого организма, которое имеет электромагнитную природу и обусловлено биомагнетизмом и биоэлектретным состоянием живых тканей.

1 Биомагнетизм

В электромагнитном излучении живых организмов, ограниченном со стороны коротких волн оптическим излучением, а со стороны длинных волн – радиоволнами длиной около 60 см, выделяют четыре диапазона:

- а) постоянное и низкочастотное электрическое и магнитное поле;
- б) радиоволны сверхвысоких частот;
- в) инфракрасное излучение;
- г) оптическое излучение.

В таблице 1.1 [16] представлены параметры, характерные для ЭМП, создаваемых телом человека, указаны типы приёмников, чувствительных к излучению разного вида, и способы его регистрации.

Низкочастотные поля возникают главным образом при протекании физиологических процессов, обуславливающих электрическую активность органов: кишечника (характерное время процессов ~1 мин), сердца (~1 с), мозга (~0,1 с), нервных волокон (~10 мс). Спектр излучений, соответствующих этим процессам, ограничен сверху значениями частоты, не превосходящими ~1 кГц.

Жизнедеятельность организма сопровождается протеканием в тканях слабых электрических токов – биотоков, возникающих вследствие электрической активности клеток. Биотоки порождают так называемое биомагнитное поле с индукцией $10^{-14} \div 10^{-11}$ Тл, существующее и за пределами организма (рисунок 1.1). Измерение параметров и характеристик биомагнитного поля и получение информации о генерирующих его биотоках составляет предмет возникшего в 1970-х годах научного направления, названного биомагнетизмом, в отличие от магнитобиологии, изучающей воздействие внешних МП на живые организмы [14]. На рисунке 1.1 изображена кривая чувствительности СКВИД, порог чувствительности к полю у которого на два порядка выше, чем у лучших несверхпроводящих магнетометров [13], [14].

Таблица 1.1 – Характеристики электромагнитных полей, источником которых является тело человека

Вид ЭМП	Электрическое	Магнитное	Электромагнитное излучение СВЧ диапазона	Инфракрасное (ИК) излучение	Видимое излучение
Частота, Гц	0 – 10^3		$\sim (3 \div 30) \cdot 10^9$	$10^{12} \div 3,75 \cdot 10^{14}$	$(3,75 \div 7,5) \cdot 10^{14}$
Длина волны	$> 10^5$ м	$> 10^5$ м	(10 ÷ 1) см	3 мм ÷ 0,8 мкм	(0,8 ÷ 0,4) мкм
Датчики	Электроды	СКВИД*	Антенны-аппликаторы	Тепловизоры	ФЭУ**
Способ регистрации	Контактный и бесконтактный	Бесконтактный	Контактный	Дистанционный	Дистанционный
Источники полей	Электрически заряженные частицы	Биотоки	Ткани и органы		Поверхность тела

*СКВИД (от англ. Superconducting Quantum Interference Device) – сверхпроводящий квантовый магнетометр

**ФЭУ – фотоэлектронный умножитель

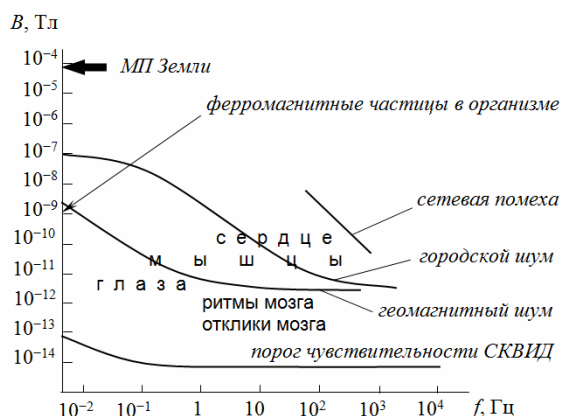


Рисунок 1.1 – Место биоманнитных сигналов человека на шкале магнитных полей [13]. Указаны характерные уровни помех и частотные диапазоны сигналов

Ткани организма практически диамагнитны и в этом отношении подобны воде. Однако в организме имеются парамагнитные вещества, молекулы и ионы. МП тела человека исключительно слабое – его индукция в $10^7 \div 10^9$ раз слабее МП Земли (таблица 1.2), его флуктуаций (геомагнитный шум) и полей технических устройств (рисунок 1.1) [16], но в некоторых случаях магнитную индукцию полей человека удастся надежно измерять и применять практически. Так, например, возможность регистрации временной зависимости индукции МП сердца (биотоков сердца) использована при создании магнитокардиографии как метода диагностики.

Таблица 1.2 – Индукция (B) магнитного поля органов человека и окружающей среды

Объект	B , Тл
Сердце	10^{-11}
Мозг	10^{-13}
Поле Земли	$5 \cdot 10^{-5}$
Магнит ЯМР томографа	$10^{-8} \div 10^{-9}$

Основные медицинские методы, основанные на измерении МП тела человека, – магнитокардиография (МКГ) и магнитоэнцефалография (МЭГ). Достоинством МКГ по сравнению с традиционной электрокардиографией (ЭКГ) является возможность определения местоположения источников поля с погрешностью порядка 1 см.

Кроме параметров внешнего поля, результат взаимодействия ЭМП с живыми тканями определяется их электрическими и магнитными свойствами. Параметрами при описании этих свойств являются удельная электропроводность, зависящая от концентрации и подвижности свободных носителей зарядов в биологических тканях, а также диэлектрическая и магнитная проницаемость. Учитывая их, можно рассчитать силовые

характеристики ЭМП в тканях и количественно оценить изменения, происходящие при воздействии ЭМП на ткани.

В МП происходит ориентация и диффузия молекул или ионов; на ионы, перемещающиеся вместе с биологической жидкостью, действует сила Лоренца; при распространении электрического импульса возбуждения имеет место эффект Холла и др. [4].

В настоящее время физический механизм влияния МП на биологические объекты до конца не установлен. Так как биологические системы являются слабомагнитными объектами, объяснить влияние на них используемых с лечебными целями слабых (5–50 мТл) МП, учитывая только магнитную восприимчивость, весьма затруднительно, и механизм воздействия МП на живые организмы является предметом дискуссий [17]–[19]. Информация о вероятных механизмах первичного (физико-химического) действия постоянных и переменных МП на биологические объекты представлена и систематизирована в работах [20]–[22] следующим образом:

1. Как известно, ориентационные и концентрационные эффекты, характерные для диа- и парамагнитных молекул, входящих в состав биологических объектов, незначительны, так как энергия их магнитного поля меньше энергии теплового движения. Однако в состав тканей входят макромолекулы, являющиеся крупными анизотропными диамагнитными частицами. Энергия магнитного поля такой макромолекулы может превышать энергию её теплового движения, и поэтому МП даже терапевтических доз могут индуцировать изменение ориентации и концентрационные изменения биологически активных агентов (ферментов, нуклеиновых кислот, сложных протеидов и др.). Это должно проявиться в изменении кинетики биохимических реакций и скорости биофизических процессов, в которых рассматриваемые соединения участвуют. К настоящему времени этот механизм подтвержден *in vitro* при изучении химических реакций. В МП могут ориентироваться не только биологически активные макромолекулы, но и надмолекулярные и клеточные структуры. Одним из примеров такой ориентации является выстраивание цепочек эритроцитов при действии МП [23].

2. МП влияет на химические реакции, протекающие в биологических объектах в соответствии со свободнорадикальным механизмом. Свободный радикал содержит, по крайней мере, один неспаренный валентный электрон, обладает спиновым моментом и поэтому может взаимодействовать с внешним МП. Вследствие этого изменяются скорости биохимических реакций, протекающих с участием кислорода, а также скорости большинства ферментативных реакций, определяющих наиболее важные для жизнедеятельности организма процессы.

3. В механизме первичного действия МП большое значение имеет ориентационная перестройка жидких кристаллов (ЖК), составляющих основу многих внутриклеточных структур. ЖК обладают анизотропией магнитных свойств, которая обусловлена наличием в их структуре бензольных колец. Имеются результаты теоретических расчетов и косвенные экспериментальные данные, на основании которых сделан вывод о том, что ЖК могут быть магнитно-анизотропными структурами клеток крови и синовиальной жидкости (СЖ), которые ориентируются в МП [24], [25]. Деформации жидкокристаллических мембран могут повлиять на их проницаемость, играющую большое значение в регуляции биохимических процессов и выполнении мембранами их биологических функций.

4. Биологическое действие МП можно объяснить и с учётом их влияния на некоторые физико-химические характеристики воды (поверхностное натяжение, вязкость, электропроводность, диэлектрическую проницаемость, оптическую активность и др.). Внутриклеточная (связанная, или структурированная) вода как своеобразный сегнетоэлектрик обладает особыми электрическими свойствами. Под влиянием внешних МП увеличивается устойчивость квазикристаллической структуры воды, и – как следствие – должен изменяться процесс обмена веществ в клетке. Изменение свойств и структуры воды при действии МП может влиять на физико-химические процессы в организме, например, на выполнение специфических функций молекулами белков, нуклеиновых кислот, полисахаридов и других макромолекул, образующих с водой единую систему.

5. Одним из важных факторов, влияющих на регуляцию процессов в живых системах, является активность ионов. Она определяется, прежде всего, их гидратацией и наличием связи с макромолекулами. Имеющим множество колебательных состояний системам *ион – вода, белок – ион, белок – ион – вода* свойственна магнитная анизотропия. При действии МП компоненты системы с разными магнитными и электрическими свойствами будут совершать колебательные движения, векторные параметры которых могут не совпадать по направлению. Вследствие этого для части ионов может наблюдаться разрыв их связи с макромолекулами и уменьшение гидратации, и обусловленное этим увеличение ионной активности. Увеличение под влиянием МП ионной активности в живых тканях подтверждено экспериментально и является предпосылкой стимуляции клеточного метаболизма. Следовательно, повышение ионной активности в тканях – реальный механизм первичного действия МП [26].

6. При действии МП могут возникать определённые макроскопические эффекты. Одним из

них можно считать магнитогидродинамическое уменьшение скорости циркуляции проводящих жидкостей в живом объекте [27]. Теоретически обосновано, что МП, применяемые в медицине, могут оказывать существенное влияние на течение биологических жидкостей в крупных сосудах. С уменьшением диаметра сосуда магнитогидродинамический эффект становится менее значительным.

7. В переменном МП, наряду с диамагнетизмом и парамагнетизмом биологических объектов, могут появляться индуцированные переменные ЭМП, которые возникают при любом изменении МП. Напряженность индуцированного электрического поля прямо пропорциональна скорости изменения МП. Так как в тканях имеются свободные заряды, ионы или электроны, индуцированное электрическое поле вызовет их движение, то есть электрический ток. При помещении человека в переменное МП напряженностью 10 кА/м плотность индукционного тока в его теле составляет приблизительно $(0,15 \div 1,5) \cdot 10^{-5}$ А/м². Индукционный ток оказывает многообразное биологическое действие [4].

Таким образом, постоянное МП может влиять на живые системы вследствие обусловленных им диа- и парамагнитных эффектов, а переменное – еще и вследствие генерации переменных электрических токов. Рассмотренные механизмы реализуются в организме человека с участием множества белковых структур, отличающихся на субмолекулярном, молекулярном и надмолекулярном уровне. Происходящие в них изменения трансформируются в реакции клеток, тканей и реакции организма в целом.

2 Биоэлектрический эффект

Процессы жизнедеятельности сопряжены с возникновением в клетках и тканях электродвижущих сил. Выяснение физико-химических причин и механизмов генерации электрических полей в биологических объектах очень важно для биофизики и медицины [28].

Одной из причин длительного существования электрического поля в органической ткани является *биоэлектрический эффект* – способность живых тканей находиться в состоянии неравновесной электрической поляризации [29].

Систематическое изучение биоэлектрического эффекта было начато в 1848 г. немецким физиологом Э. Дюбуа-Реймоном, который обнаружил, что между внутренним содержимым клетки и контактирующей с клеткой наружной жидкостью существует стационарная разность потенциалов (мембранный потенциал). В 1868 г. немецкий нейробиолог Ю. Бернштейн впервые проанализировал колебания потенциала, которые возникают при распространении возбуждения по нервному волокну и длятся тысячные доли секунды [30]. Для объяснения природы мембранного

потенциала были предложены различные теории. В мембранно-ионной теории принято [16], [18], что биоэлектрические потенциалы обусловлены различием в концентрациях ионов калия, натрия и хлора внутри клетки и вне ее, а также различной проницаемостью мембраны, покрывающей живые клетки, для указанных ионов. Через поры, имеющиеся в мембране, в клетку и из нее проникают молекулы воды и других веществ, а также ионы, имеющие размеры, сопоставимые с размерами пор. Если ионы фиксируются на структурных элементах мембраны, то стенки пор оказываются электрически заряженными; в зависимости от знака заряда стенок пор прохождение через них ионов затрудняется или облегчается. Наличие в мембране фосфатных и карбоксильных групп является причиной того, что её проницаемость значительно меньше для анионов, чем для катионов; для различных катионов проницаемость мембраны также неодинакова и закономерно изменяется при изменении функционального состояния ткани.

Основным признаком биоэлектрического эффекта является генерация квазипостоянного биоэлектрического поля (КПБЭП), напряженность которого в клетках достаточна для оказания влияния на биохимические и структурные процессы. Поэтому одним из важнейших следствий биоэлектрического эффекта является рост тканей, обусловленный изменениями пространственных и временных параметров живой системы под влиянием собственного биоэлектрического поля организма, на возможность которого указывается в концепции полей биологии [29].

Электрический эффект проявляется во всех важнейших биополимерах – белках (включая ферменты), полисахаридах и некоторых полинуклеотидах [31]. Явление электрической поляризации, характерное для биоэлектрических объектов, обусловлено распределением в тканях следующих электрически неравновесных объектов: диполей белковых макромолекул (а также наличием дефектов белковых структур); ионов, обуславливающих как собственную, так и примесную проводимость тканей; подвижных носителей заряда, прежде всего, электронов; структурированной воды, связанной с макромолекулами.

Представление об электрическом состоянии в ряде разделов биофизики рассматривают как основу для построения моделей мембран, причину возникновения нервного импульса, явлений биологической памяти, электрических явлений в процессах регенерации и роста тканей и т. д. [16].

Методика изучения электрического эффекта в биоматериалах и биополимерах по существу не отличается от применяемой для исследования обычных электрических объектов методом электрично-термического анализа (ЭТА), основанным на регистрации тока термостимулированной деполяризации.

Однако при исследовании биоматериалов приходится учитывать специфику приготовления образцов биологического происхождения [31].

С использованием классических методов изучения электрического эффекта выявлены, в частности, термостимулированные токи (ТСТ) при деполяризации костной ткани живых организмов. Как и в неживом веществе, механизм образования электрического состояния в биологических структурах связан с формированием поляризационного заряда в результате образования системы «замороженных» диполей и компенсирующих их зарядов. Наличие поляризационного заряда обуславливает усиление тока в тканях. Все максимумы, проявляющиеся на зависимости силы тока от температуры (рисунок 2.1) при температурах выше комнатной обусловлены пространственным зарядом; различие в их положении на температурной шкале вызвано различием в структуре ферментов, входящих в состав костной ткани животных и человека [31].

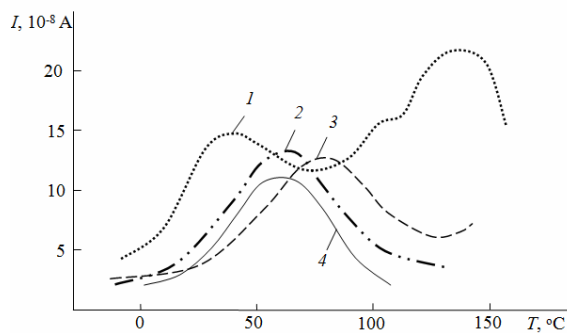


Рисунок 2.1 – Зависимость тока деполяризации в бедренных костях животных и человека от температуры [31]

(1 – крыса; 2 – собака; 3 – бык; 4 – человек)

В одной из наших работ [32] методом ЭТА исследованы пробы натуральной синовиальной жидкости (СЖ). При нагревании электрически нейтральной СЖ регистрировалась температурная зависимость ТСТ (рисунок 2.2). Пик положительных токов при (28÷31)°C на графике функции $I(T)$ для натуральной СЖ (кривая 1 на рисунке 2.2) соответствует тепловому разрушению дипольной упорядоченной структуры мезофазы ЖК компонентов СЖ. В этом же диапазоне температур происходит разрушение гидратных оболочек биополимеров, что также свидетельствует о проявлении электрического эффекта. В результате трения молекулярная структура СЖ нарушается, изменяется ее электрическое состояние, и уменьшаются пиковые значения силы тока (кривая 2 на рисунке 2.2).

Таким же методом в [33] исследовано зарядовое состояние крови человека. В экспериментах использовали кровь I–IV групп с положительным резус-фактором. Нагревание крови сопровождается разупорядочением пространственных зарядовых и дипольных структур

компонентов крови и разрушением связей в комплексных белковых соединениях, а положение высокотемпературного токового пика на спектре ТСТ характеризует группу крови. К этому можно добавить, что при анализе спектров ТСТ простейших биополимеров – коллагена и желатина – наличие низкотемпературного пика обычно связывают с разориентацией диполей, а наличие высокотемпературных пиков – с релаксацией пространственного заряда [31].

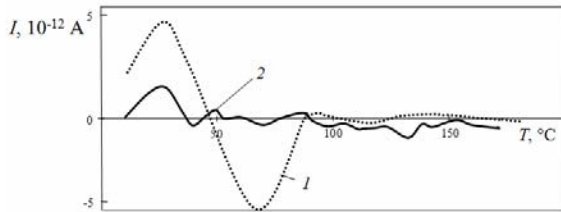


Рисунок 2.2 – Спектр термостимулированного тока синовиальной жидкости. 1 – исходная СЖ; 2 – после трения в течение 2 ч ($P = 2$ МПа, $v = 0,1$ м/с) в паре «сверхвысокомолекулярный полиэтилен – сплав СоСгМо»

Анализируя приведенные на рисунках 2.1 и 2.2 результаты, можно констатировать, что крови и синовиальной жидкости свойственен спонтанный квазиэлектретный эффект, обусловленный координационным характером связей их надмолекулярных структур. Параметры различных тканей, характеризующие этот эффект, *in vivo* зависят от природы биофизических и биохимических процессов, протекающих в организме человека.

Биоэлектретное состояние биологических систем проявляется во многих имеющих место в организме электрических явлениях. Последние оказывают энергетическое воздействие на структуру и функции системы, обуславливая ее биологически целесообразное изменение и течение основных процессов жизнедеятельности [18].

При любом хирургическом вмешательстве биополе в области операционной раны изменяется, обуславливая изменение характеристик взаимодействия внешних ЭМП с биополем человека и продолжительные посттравматические эффекты.

Практический интерес представляет методология моделирования биофизических свойств живых тканей в искусственных органах с учётом влияния внешнего ЭМП на функционирование биосистем. В этих целях используют системы на основе синтетических полимерных материалов – полимерные композиты, растворы и студни полимеров, наполненные коллоидными частицами. В качестве дисперсионных сред коллоидной основы биосовместимых полимерных материалов можно использовать биологические жидкости, лекарственные средства и физиологические растворы. Биоэлектрические потенциалы и

магнитное поле с индукцией, характерной для живых тканей, можно моделировать посредством электрической поляризации и введения в коллоидную полимерную основу дисперсных магнетиков.

Приведем примеры корректировки электрических и магнитных полей в организме человека.

Для лечения переломов, остеопороза и после удаления костных осколков конечностей применяют электрическую стимуляцию кости. Электромагнитное поле в ней создают посредством электродов, которые контактируют с кожей или введены в тело пациента хирургическим путем [34], а также катушек индуктивности, в которые помещают больную конечность [35].

Поле электретных имплантатов способствует компенсации повреждений костной и хрящевой тканей [36]. Электреты в искусственных органах, изготовленных из материалов на основе оксида тантала (Ta_2O_5) и политетрафторэтилена (ПТФЭ), формируют из высокочистого тантала в виде покрытий на имплантатах. Покрытия из Ta_2O_5 толщиной $0,15 \div 0,45$ мкм получают методом электролитического анодирования, а полимерные покрытия толщиной 30–40 мкм наносят из водной суспензии ПТФЭ с последующей сушкой и оплавлением. Электризацию покрытий осуществляют, используя коронный разряд или вспомогательные жидкие электроды.

В [37] сообщалось о разработке эластичного магнитного материала, предназначенного для имплантации в тенонное пространство глаза и обеспечивающего функционирование зрительного нерва.

На основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена – базового полимерного материала для узлов трения эндопротезов суставов – создан искусственный хрящ. Микропористый слой, напоминающий хрящ, сформирован на поверхности трения головки эндопротеза тазобедренного сустава. Электретный заряд этого слоя способствует улучшению смазочных свойств синовиальной жидкости и биосовместимости эндопротеза; поры слоя служат емкостью для лекарств, обеспечивая их пролонгированное выделение в послеоперационную рану [38].

Заключение

Таким образом, логично предположить, что биополе человека, формируемое вследствие биомагнетизма и биоэлектретного состояния органических сред, является первичным объектом, с которым взаимодействует внешнее ЭМП. Придерживаясь этой гипотезы, можно понять вероятные механизмы воздействия слабых электрических и магнитных полей на биологические объекты, следствием которого являются ориентационные и концентрационные эффекты, изменение активности ионов и структуры связанной в клетках воды, диамагнитные и парамагнитные

свойства макромолекул и их проявление. С применением электретных и магнитных имплантатов органов и тканей возможна компенсация дефектов биополя в организме человека.

Продолжение исследований биоэлектрического состояния необходимо для выявления биохимических звеньев, участвующих в генерации некомпенсированного электрического заряда в биоструктурах, находящихся в электретном состоянии, для расширения представлений о физико-химических процессах метаболизма и обоснования новых способов моделирования живых тканей в целях совершенствования методик лечения пациентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Электромагнитные поля в биосфере*: в 2-х томах. Том 2. Биологическое действие электромагнитных полей; под ред. Н.В. Красногорской. – М.: Наука, 1984. – 328 с.
2. *Becker, R.O.* The Body Electric: Electromagnetism and the Foundation of Life / R.O. Becker, G. Selden. – New York, NY: Quill, Williams Morrow, 1985. – 370 p.
3. *Dubrov, A.P.* The Geomagnetic Field and Life: Geomagnetobiology / A.P. Dubrov. – New York, NY: Plenum Press, 1978. – 362 p.
4. *Влияние ЭМП на живые организмы* // [Электронный ресурс]. – 2005. – Режим доступа: <http://www.medicreferat.com.ru/pageid-183-1.html>. – Дата доступа: 12.10.2011.
5. *Мартынюк, В.С.* У природы нет плохой погоды: космическая погода в нашей жизни / В.С. Мартынюк, Н.А. Темуриянц. – Киев: Нац. ун-т, 2008. – 179 с.
6. *Яновский, Б.М.* Земной магнетизм / Б.М. Яновский. – Л.: Изд. Лен. ун-т, 1978. – 592 с.
7. *Ачкасова, Ю.Н.* Избирательная чувствительность бактерий к инфранизкочастотным магнитным полям / Ю.Н. Ачкасова // В кн.: *Электромагнитные поля в биосфере*. Т. 2. – М.: Наука, 1984. – С. 72–78.
8. *Физиологически активные инфранизкочастотные магнитные поля* / В.Б. Макеев [и др.] // В кн.: *Электромагнитные поля в биосфере*. Т. 2. – М.: Наука, 1984. – С. 62–72.
9. *Леднев, В.В.* Биоэффекты слабых комбинированных постоянных и переменных магнитных полей / В.В. Леднев // *Биофизика*. – 1996. – Т. 41, вып. 1. – С. 224–231.
10. *Жадин, М.Н.* Действие магнитных полей на движение иона в макромолекуле. Теоретический анализ / М.Н. Жадин // *Биофизика*. – 1996. – Т. 41, вып. 4. – С. 832–849.
11. *Сидоренко, В.М.* Механизм влияния слабых электромагнитных полей на живой организм / В.М. Сидоренко // *Биофизика*. – 2001. – Т. 46, вып. 3. – С. 500–504.

12. *Гвоздарев, А.Ю.* Механизм воздействия электромагнитных полей на биологические объекты с позиций модели неоднородного модифицированного физического вакуума / А.Ю. Гвоздарев // [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа: <http://pulse.vvbservis.ru/Ether/Bio/>. – Дата доступа: 12.10.2011.

13. *Ожогин, В.И.* Магнитные поля биологических объектов / В.И. Ожогин // *Физическая энциклопедия*. Т. 2.; под общ. ред. А.М. Прохорова. – М.: Советская энциклопедия, 1990. – С. 680–681.

14. *Холодов, Ю.А.* Магнитные поля биологических объектов / Ю.А. Холодов, А.Н. Козлов, А.М. Горбач. – М.: Наука, 1990. – 144 с.

15. *Romalis, M.V.* Atomic magnetometers for materials characterization / M.V. Romalis, H.B. Dang // *Materials today*. – 2011. – Vol. 14, № 6. – P. 258–262.

16. *Биофизика*: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / В.А. Антонов [и др.]; под ред. проф. В.Ф. Антонова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Гуманит. изд. центр «ВЛАДОС», 2003. – 288 с.

17. *Белановский, А.С.* Основы биофизики в ветеринарии / А.С. Белановский. – М.: Агропромиздат, 1989. – 271 с.

18. *Ремизов, А.Н.* Медицинская и биологическая физика: учеб. для вузов / А.Н. Ремизов, А.Г. Максина, А.Я. Потапенко. – 4-е изд., перераб. и дополн. – М.: Дрофа, 2003. – 560 с.

19. *Викторов, В.А.* К механизму лечебного действия низкочастотного ЭМП. Часть 2. ЭМП – лечебный фактор прямого действия / В.А. Виктор, Ю.В. Малков // *Магнитология. Вестник межд. медико-биолого-технической ассоциации магнитологов*. – 1993. – № 1 (5). – С. 3–7.

20. *Медицинская магнитология и нанотехнологии* / А.М. Демецкий [и др.]. – СПб.: АСПИН, 2004. – 239 с.

21. *Улащик, В.С.* Новые методы и методики физической терапии / В.С. Улащик. – Минск: Беларусь, 1986. – 175 с.

22. *Улащик, В.С.* Общая физиотерапия: учебник / В.С. Улащик, И.В. Лукомский. – Минск: Книжный дом, 2004. – 512 с.

23. *Монич, В.А.* Воздействие электромагнитных полей низкой интенсивности на мембраны эритроцитов / В.А. Монич, С.Л. Малиновская // *Механизмы действия магнитных и электромагнитных полей на биологические системы: тезисы докладов I Всесоюзной конф.*, Ростов-на-Дону, 1989. – С. 68–69.

24. *Жидкие кристаллы: дискотические мезогены* / Н.В. Усольцева [и др.]. – Иваново: Ивановский гос. ун-т, 2004. – 546 с.

25. *Браун, Г.* Жидкие кристаллы и биологические структуры / Г. Браун, Д. Уолкен; пер. с англ. под ред. Я.М. Варшавского. – М.: Мир, 1982. – 420 с.

26. Улащик, В.С. Введение в теоретические основы физической терапии / В.С. Улащик. – Минск : Наука и техника, 1981. – 238 с.
27. Дорфман, Я.Г. Физические явления, происходящие в живых объектах под действием постоянных магнитных полей / Я.Г. Дорфман // В кн. : Влияние магнитных полей на биологические объекты. – М. : Наука, 1971. – С. 15–23.
28. Макаревич, А.В. Электрические поля и электроактивные материалы в биотехнологии и медицине / А.В. Макаревич, Л.С. Пинчук, В.А. Гольдаде. – Гомель : ИММС НАНБ, 1998. – 106 с.
29. Кулин, Е.Т. Биоэлектретный эффект / Е.Т. Кулин. – Минск : Наука и техника, 1980. – 216 с.
30. Seyfarth, E.-A. Julius Bernstein (1939-1917) : pioneer neurobiologist and biophysicist / E.-A. Seyfarth // *Biological Cybernetics*. – 2006. – Vol. 94. – P. 2–8.
31. Mascarenhas, S. Bioelectrets: Electrets in biomaterials and biopolymers / S. Mascarenhas // In : *Electrets* / Ed. by G.M. Sessler, Berlin: Springer Verlag. – 1987. – P. 321–346.
32. Tsvetkova, E.A. Physical Properties of Synovial Fluid as a Joint Lubricating Medium / E.A. Tsvetkova // *Biophysics*. – 2005. – Vol. 50, № 2. – P. 320–325.
33. *Electret-thermal analysis of blood* / L.S. Pinchuk [et al.] // *Medical Engineering and Physics*. – 2002. – Vol. 24. – P. 361–364.
34. Revell, P.A. Pathology of Bone / P.A. Revell. – Berlin : Springer-Verlag, 1986. – 390 p.
35. Black, J. Tissue response to exogenous electromagnetic signals / J. Black // *Orthop. Clin. North Am.* – 1994. – Vol. 15. – P. 15–31.
36. Morgunov, M.S. Application of electrets in traumatology and orthopedy / M.S. Morgunov, V.P. Homutov, I.M. Sokolova // *Proc. 8th Int. Symp. on Electrets*. – Paris, 1994. – P. 863–868.
37. Цветкова, Е.А. Разработка материалов на основе полимеров для постоянных магнитов медицинской техники : дис. ...канд. техн. наук : 02.05.01 / Е.А. Цветкова. – Гомель, 1993. – 121 с.
38. *Tribology and Biophysics of Artificial Joints* / L.S. Pinchuk [et al.]. – Kidlington, Oxford Joints: Elsevier Ltd., 2006. – 350 p.

Поступила в редакцию 27.10.11.