

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В КОМПЛЕКСЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИООБЪЕКТЫ

к.т.н. А.Р. Корсунов
(представил д.т.н., проф. В.Д. Сахацкий)

Хорошо известны методики биомагнитотерапии, при которых варьируются такие параметры, как интенсивность магнитного поля, вектор его направленности, динамичность, но не учитывается структура указанного поля, ее составляющие и соответственно аксиальность магнитных моментов. Это приводит к размыванию детерминированности получаемых результатов.

Постановка проблемы. При анализе механизмов реализации биотропных эффектов магнитных полей в биоструктурах не рассматривается сложная структуризация магнитных полей (МП) и не делается попытка выделить наличие того или иного эффекта воздействия в зависимости от определенной составляющей структуры МП. Ставится проблема определения существования составляющих МП при его формировании и выделении соответствующих доминирующих факторов.

Анализ последних достижений и публикаций. До сих пор у человека не обнаружены специфические рецепторы, способные реагировать на действие магнитных полей. Вероятно их отсутствие может быть объяснено тем, что тысячелетняя эволюция человеческого организма и его предков протекала в условиях константного и геомагнитного поля. Тем не менее, исследования показывают [1], что искусственные магнитные поля (повышенной напряженности, динамического характера), влияя на физико-химические свойства и изменяя параметры среды микроокружения в тканях вызывают неспецифическую активацию любых сенсорных датчиков.

Последствия таких влияний являются далеко не всегда однозначно положительными и, во многом, предопределяются характеристиками биотропных параметров воздействующих МП: с параметрами интенсивности и крайности воздействия развиваются выраженные деструктивные нарушения [2].

Так в течении ряда лет проводились интенсивные исследования терапевтических эффектов импульсного бегущего магнитного поля (ИБМП), генерируемого полимагнитной системой (ПМС) «Аврора МК-01» с параметрами, которые задавались программно [3]:

- 1) уровень магнитной индукции 0,5...5 мГн;
- 2) линейная скорость перемещения ИБМП кратна скорости кровотока;
- 3) вектор перемещения бегущей волны магнитного поля и вектор магнитной индукции равнонаправленны с направлением артериального кровотока.

В иных случаях [4] предусматривалось воздействие ИБМП на весь организм с уровнем индукции 0,25...5 мГн и с частотой 0,1...1,0 Гц.

Таким образом, при магнитовоздействии учитываются только интенсивность воздействия, частота измерения, векторная ориентация и скорость перемещения. При этом не проводится структуризация МП с тем, чтобы выделить из него доминирующую составляющую.

Цель статьи. Выявить структурные компоненты МП и факторы, определяющие их доминирования в тех или иных условиях среды. Разработать методическую основу проведения магнитосеансов с учетом специфики структуры магнитных полей.

Основной материал исследований. Для создания переменных, пульсирующих и импульсных магнитных полей широко используются индукторы в виде соленоидов, цилиндрических и нецилиндрических коротких катушек, электромагнитов с сердечниками различных материалов. У источников переменного магнитного поля полюса меняются в соответствии с изменением направления тока. Магнитное поле индуктора характеризуется вектором магнитной индукции \vec{B} , вектором напряженности магнитного поля \vec{H} , градиентом магнитной индукции $\text{grad } \vec{B}$. Хорошо разработана расчетная часть определения значений указанных величин с учетом вида индуктора [5].

Однако необходимо принять во внимание, что в соответствии с мультипольной концепцией источника МП, его математическая модель при любом источнике для области внешнего пространства представляется полем эквивалентного эксцентричного точечного источника в виде потенциального ряда, постоянные коэффициенты которого равны мультипольным магнитным моментам – диполью, квадруполю, октополю и т.д., расположенным в центре принятой системы координат, связанной с источником поля.

Скалярный магнитный потенциал n -го мультиполя этой модели в сферической системе координат R, φ, θ аналитически описывается уравнением вида [6]:

$$U_n = \frac{1}{4\pi R^{n+1}} \sum_{m=0}^n (g_{nm} \cos m\varphi + h_{nm} \sin m\varphi) P_n^m(\cos \theta), \quad (1)$$

где g_{nm}, h_{nm} – постоянные коэффициенты; m – порядковый номер элементарного мультиполя n -го порядка; $P_n^m(\cos \theta)$ – присоединенные функции Лежандра первого рода.

Здесь необходимо выделить в первую очередь осевой дипольный момент зональной гармонике ($n = 0, m = 0$), магнитное поле которой не зависит от угловой координаты φ , что предполагает при переориентации источника равномерное воздействие этой составляющей МП на биообъект.

Далее отметим компоненты радиального дипольного момента секторальной гармонике ($n = 1, m = 1$), поле которой изменяется по закону $\sin\varphi$ и $\cos\varphi$. Радиальный дипольный момент обеспечивает угловое изменение интенсивности при магнитотерапии.

В режиме измерения напряженности магнитного поля магнитные оси датчиков чувствительны именно к осевой компоненте напряженности магнитного поля, которая находится путем дифференцирования потенциала U_n (1) по координате θ . В результате получим гармонический ряд в виде суммы мультиполей [7]:

$$H_0 = -\frac{1}{4\pi R^{n+2}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\partial U_n}{\partial \theta}. \quad (2)$$

Из (2) следует, что напряженность МП источника уменьшается с увеличением R тем быстрее, чем больше номер сферической гармонике n -го порядка. С практической точки зрения интерес представляют первые три гармоники ряда (2), а именно:

$$H_{\theta_1} \sim \frac{1}{4\pi R^3}; \quad H_{\theta_2} \sim \frac{1}{4\pi R^4}; \quad H_{\theta_3} \sim \frac{1}{4\pi R^5}$$

при $\theta = 90^\circ$ и $\theta = 0^\circ$.

Указанные компоненты принято по мере возрастания порядкового номера называть – дипольная, квадрупольная и октупольная.

Если источник МП соответствует рассмотренной выше модели, то располагая биообъект от подобного источника на расстояниях, учиты-

вающих рассмотренные зависимости, мы подвергнем его воздействию магнитного поля с определенной комбинацией дипольных и недипольных составляющих.

Как показывают расчеты, наиболее интенсивная квадрупольная составляющая МП на расстоянии ста габаритных размеров источника вносит погрешность в измерение уровня осевого дипольного момента порядка 1,5% [8].

В отличие от излучателя с дипольной моделью представляет интерес модель «искусственного» излучателя МП [9]. В качестве его элемента используется линейный проводник (ЛП) длиной L (м), с током \vec{I} (А). Напряженность МП подобного источника описывается соотношением

$$\vec{H}_\varphi = \frac{\vec{I} \cdot \vec{L}}{4\pi \cdot \vec{r}^2} \sin \theta, \quad (3)$$

где \vec{r} – расстояние от центра ЛП до точки измерения; θ – угол между осью ЛП и \vec{r} .

Основные типы излучателей МП, применяемые в магнитотерапии, являются разновидностью искусственного излучателя типа ЛП. Так для соленоида максимальное значение индукции B_{x_0} на оси имеет место в точке, лежащей на середине соленоида

$$B_{x_0} = \mu\mu_0 N \cdot \vec{I} \frac{1}{\sqrt{4r^2 + l^2}},$$

а для плоской цилиндрической катушки

$$B_{x_0} = \mu\mu_0 N \cdot \vec{I} \frac{r^2}{2(r^2 + x^2)^{3/2}},$$

где \vec{I} – ток, протекающий через катушку; N – число витков; μ_0, μ – магнитная постоянная и относительная магнитная проницаемость среды, т.е. интенсивность МП приблизительно обратно пропорциональна квадрату расстояния до ЛП, что и характерно для искусственных источников МП.

Выводы. Проведенный анализ показал, что в магнитотерапии биообъекты подвергаются в основном воздействию магнитным полем от источников, моделируемым излучателями типа линейного проводника.

Формирователи МП, которые можно представить в виде мультипольного источника, не принято использовать. Введение в магнитотерапию последних расширит инструментарий экспериментальных исследований в поисках резервных возможностей биоструктур, сформированных в условиях геомагнетизма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демецкий А.М. Современное представление о механизмах действия магнитных полей // *Магнитология*. – 1991. – № 1. – С. 6 – 11.
2. Малков Ю.В., Коробков А.И., Петрова Н.А. Аппарат для магнитотерапии и магнитофореза «Полюс-3» // *Мед. техника*. – 1993. – № 2. – С. 46 – 48.
3. Райгородский Ю.М., Горенков В.Ф., Кудрин Ю.А. и др. Механизмы воздействия ответных реакций живого организма (обзор по электронной технике) / В кн.: *Применение искусственных магнитных полей в экспериментальной и клинической медицине // Электроника СВЧ. Сер. I*. – 1987. – Вып. 4 (1249). – С. 16 – 21.
4. Гавинский Ю.В. Методическое пособие по применению в медицине физиотерапевтического комплекса «Магнитор-АМП». – Бийск: Изд-во АО «НПАП Алтаймедприбор». – 1992. – 56 с.
5. Викторов В.А., Малков Ю.В. Основы разработки аппаратуры для магнитотерапии и аппараты системы «Полюс» // *Медицинская техника* – 1994. – № 3. – С. 26 – 32.
6. Яновский Б.М. Земной магнетизм. – Л.: ЛГУ. – 1978. – 579 с.
7. Сергеев В.Г., Шихин А.Я. Магнитоизмерительные приборы и устройства. – М.: Энергоиздат. – 1982. – 152 с.
8. Боев В.М. Экспериментальное определение распределения полей рассеяния электрооборудования в окружающем пространстве // *Энергетика*. – 1981. – № 6. – С. 32–37.
9. Гольдштейн Л.Д., Зернов Н.В. Электромагнитные поля и волны. – М.: Сов. радио. – 1971. – 664 с.

Поступила 5.05.2004

КОРСУНОВ Анатолий Рувимович, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматики и радиоэлектроники Украинской инженерно-педагогической академии. В 1968 году окончил Харьковский государственный университет. Область научных интересов – инфраструктура электромагнитных комплексов сочетанного воздействия на биообъекты.
