

БИОФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СЛАБЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ.

Белова Н.А., Ермаков А.М., Леднев В.В.

Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Россия
e-mail: belovanat@mail.ru

Магнитные поля различных типов широко используются в медицинской практике как в России, так и за рубежом. Иногда магнитотерапия является незаменимым методом лечения некоторых патологий, в частности, несрастающихся переломов костей, разности в длине ног у детей и подростков, постоперационных нарушений остроты и угла зрения у больных глаукомой и ряда других. Используемые при этом параметры магнитных полей были подобраны разработчиками чисто эмпирически. В большинстве магнитотерапевтических аппаратов используются переменные магнитные поля промышленных частот (50-60 Гц) с относительно большими амплитудами (от нескольких единиц до десятков милаТесла). В большинстве случаев применяется воздействие полей на отдельные участки тела человека (область перелома кости, ростковые зоны костей у детей, глаза и т.д.). Обоснованием использования конкретных параметров магнитного поля (частота, амплитуда, форма импульса) служит эмпирически обнаруженная эффективность использования данного типа поля в терапии конкретной патологии.

Биологическая эффективность переменных магнитных полей с большими амплитудами, используемых в ряде терапевтических процедур, не вызывает сомнения. Тем не менее, можно констатировать практическое отсутствие каких-либо детальных исследований зависимости величины биоэффектов от параметров поля, используемом в том или ином магнитотерапевтическом аппарате, т.е. от частоты, амплитуды и формы сигнала.

Результаты нашего многолетнего изучения биофизических механизмов взаимодействия магнитных полей с биосистемами, показали возможность создания принципиально нового поколения магнитотерапевтической аппаратуры, основанной на использовании комбинированных магнитных полей (КМП) в режиме магнитного параметрического резонанса (в биосистемах). В серии работ мы показали возможность модуляции (активации и ингибирования) функционально – метаболических свойств биосистем различных типов с помощью слабых и крайне слабых комбинированных магнитных полей. При этом нами выявлено несколько типов первичных мишеней воспринимающих воздействие магнитных полей на различные биопроцессы, а также определены зависимости величины биоэффектов от параметров используемого поля. Соответственно, можно выделить биотропные магнитные поля следующих типов:

1. Комбинированные магнитные поля, настроенные на параметрический резонанс для ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} и K^+ . Первичной мишенью воздействия таких полей являются некоторые Ca^{2+} -зависимые биохимические реакции и, в первую очередь, реакции опосредуемые Ca^{2+} -кальмодулин - зависимыми киназами и протеинкиназой С. Максимальный биологический эффект достигается при условиях, когда величина амплитуды переменной компоненты поля в 1.8 раз больше величины постоянной компоненты поля ($\sim 50 \cdot 10^{-6}$ Тл), а частота переменной компоненты поля связана с величиной постоянной компоненты поля простым арифметическим выражением:

$$f_n = \frac{1}{n} \frac{q}{2\pi m} B_{DC}, \text{ где } f_n - \text{резонансная частота, (Герц); } q - \text{заряд иона (Кулон); } m -$$

масса иона (килограмм); B_{DC} - магнитная индукция постоянной компоненты (Тесла), n - целое число, равное 1, 2, 3....

2. Комбинированные магнитные поля, настроенные на параметрический резонанс для спинов ядер биологически важных элементов (водород, калий, марганец, фосфор, хлор, медь, натрий). Максимальный биологический эффект достигается при условиях, когда величина амплитуды переменной компоненты поля в 1.8 раз больше величины постоянной компоненты поля, а частота переменной компоненты поля равна Ларморовской частоте для данного типа ядерного спина.

3. Комбинированные магнитные поля, настроенные на параметрический резонанс для спинов ядер биологически важных элементов при использовании переменной компоненты поля с крайне слабой амплитудой (10^{-6} - 10^{-9} Тл).

4. Комбинированные магнитные поля, настроенные на магнитные моменты, создаваемые орбитальным движением электронов.

Для полей типов 3 и 4 мы нашли определенные закономерности в зависимости величины биоэффектов от соотношения амплитуда/частота - наличие резко выраженных «пиков» и «провалов» биологической эффективности КМП при определенных значениях соотношения амплитуда/частота, а также сохранение величины биоэффектов при одновременном пропорциональном изменении амплитуды и частоты поля. Теоретический анализ полученных экспериментальных данных показал, что величина биоэффектов КМП в использованном нами диапазоне частот и амплитуд зависит от параметра $\gamma B_{AC}/f$, где γ - величина гиромангнитного отношения для данного типа магнитного момента, а B_{AC} и f_{AC} - соответственно, величины магнитной индукции и частоты переменной компоненты магнитного поля. Зависимость величины биоэффекта от параметра $\gamma B_{AC}/f$ является полиэкстремальной: хорошо выраженные максимумы имеют место при $\gamma B_{AC}/f = 0.9; 2.75$ и менее выраженные - при 4.5 и 6.1; биоэффекты отсутствуют при значениях $\gamma B_{AC}/f = 1.8; 3.8; 5.3; 6.7$

Нами было показано, что поля типов 1-4 могут быть использованы для изменения скорости протекания ряда важных биопроцессов - пролиферации и дифференцировки клеток в культуре, регенерации планарий, гравитропической реакции в проростках стеблей льна, генерации активных форм кислорода нейтрофилами. Мы показали также, что эти магнитные поля оказывают существенное влияние на функции сердечно - сосудистой системы человека и, в частности, на вариабельность сердечного ритма (BCP), т.е. на изменение длительности R-R интервалов в последовательных циклах сокращений сердца за определенный промежуток времени. Соответствующие экспериментальные данные были получены при изучении влияния КМП на BCP у добровольцев, находящихся в катушечной системе большого объема (2м*2м*2м), обеспечивающей воздействие однородного по амплитуде переменного магнитного поля на все тело испытуемого. Мы показали, что КМП могут как увеличивать, так и снижать величину стресса у человека (в известных нам публикациях магнитные поля рассматриваются исключительно как фактор стресса). Результаты воздействия КМП на BCP оценивали используя стандартный набор общепринятых параметров, характеризующих статистические и спектральные характеристики динамического ряда кардиоинтервалов и, в первую очередь, стресс - индекс Баевского, SI (Stress Index), суммарную мощность спектра BCP, TP (Total Power), и отношение средних значений низкочастотного и высокочастотного компонент BCP, LF/HF (Low Frequency/High Frequency).

На рис. 1 представлены данные, показывающие что экспонирование добровольцев в поле типа 3 ($B_{AC} = 1.6$ мкТл, $f = 76$ Гц) приводит к существенному снижению величины стресс - индекса Баевского, SI, через 5-15 минут после приложения поля. Напротив, экспонирование испытуемых в поле типа 4 ($B_{AC} = 0.192$ мкТл, $f = 3000$ Гц) сопровождается повышением величины SI также через 5 -15 минут после аппликации поля. Изменения величины SI, индуцируемые КС ПеМП, достигают своего максимального значения после 15-20 минут воздействия. По истечении 15 - 20 минут иногда наблюдается временное снижение величины биоэффекта и затем его восстановление.

Приведенные данные впервые показывают возможность получения хорошо воспроизводимой модуляции - увеличения или понижения - стресс - индекса и ряда других параметров характеризующих BCP человека при экспонировании всего тела человека в комбинированных магнитных полях с крайне слабыми амплитудами переменной компоненты поля. Различный знак биоэффектов КС ПеМП обусловлен тем, что они воздействуют на принципиально различные первичные мишени (магнитные моменты): в данном случае на ядерные спины атомов водорода и магнитные моменты, создаваемые орбитальным движением электронов. Воздействие этих типов магнитных полей и некоторых других типов индуцирует изменение величины SI у различных испытуемых в 1.5 - 4.0 раза. Для сравнения заметим, что легкая физическая нагрузка сопровождается увеличением SI в 1.5-2.0 раза, эмоциональный предэкзаменационный стресс у школьников и студентов приводит к

возрастанию SI в 1.1 - 3.9 раза, у космонавтов во время магнитной бури SI возрастает в 1.4 – 1.7 раза и, наконец, у спортсменов, участвующих в соревнованиях по спортивным играм и в единоборствах, отмечалось увеличение SI в 20-30 раз по сравнению с фоном.

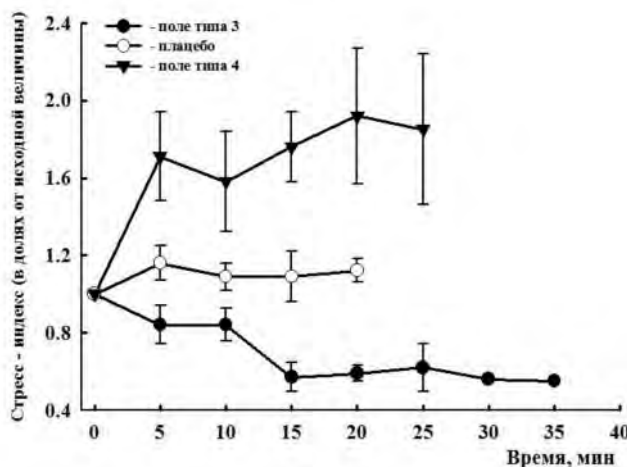


Рисунок 1. Модуляция – повышение и понижение – величины «рабочего» стресса у добровольцев при их экспонировании в крайне слабых переменных магнитных полях.

По вертикальной оси отложены величины стресс - индекса Баевского в долях от исходной величины, принятой за единицу. По горизонтальной оси отложено время экспонирования всего тела добровольца в магнитном поле. Обозначения: ● – поле типа 3 ($B_{AC}=1,6$ мкТл, $f=76$ Гц), число испытуемых – 10 человек; ▼ – поле типа 4 ($B_{AC}=0,192$ мкТл, $f=3000$ Гц), число испытуемых – 8 человек; ○ – плацебо, число испытуемых – 10 человек. Для большинства экспериментальных точек приведены ошибки среднего значения.

Представленные результаты открывают принципиально новые возможности практического использования КМП различных типов для регуляции скорости протекания важных биологических процессов и, в частности, физиологических и биохимических процессов в организме человека. Разработанные методы могут послужить основой разработки новых технологий для лечения ряда широко распространенных социально-значимых болезней таких как сердечно – сосудистые заболевания, диабет II типа и других.