

УДК 591.481.1: 577.3: 011.891.5

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КРАЙНЕ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ НА КРОСС-КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ СВЯЗИ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Мартынюк В.С.¹, Ислямов Р. И.²

¹ *Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина*

² *Крымский государственный медицинский университет им. С.И. Георгиевского, Симферополь, Украина*

E-mail: mavis@science-center.net

Изучено однократное действие переменного магнитного поля (ПемП) частотой 8 Гц индукцией 5 мкТл на сопряженность метаболических процессов в головном мозге животных. Показано, что однократное действие ПемП приводит к существенной перестройке регуляции метаболических процессов во всех мозговых структурах. Характер изменений связей между метаболическими звеньями зависит от локализации исследуемых метаболических процессов и является причиной нивелирования индивидуально-типологических особенностей у животных.

Ключевые слова: переменное магнитное поле, головной мозг, метаболические кросс-корреляции.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно анализ взаимосвязи различных показателей функциональной активности органов и тканей организма позволяет выявить особенности регуляции и взаимосогласованности процессов на организменном уровне и, в итоге, охарактеризовать функциональное состояние различных органов и тканей, в том числе и отделов головного мозга. В настоящее время не вызывает сомнений, что индивидуальные различия в поведении животных во многом обусловлены как морфофункциональной, так и биохимической индивидуальностью мозга [1, 2]. В этой связи изучение кросс-корреляционных связей метаболических показателей в разных структурах головного мозга у животных с разными индивидуально-типологическими особенностями является актуальной экспериментальной задачей. Одновременно с этим давно известна чувствительность организма животных и человека к действию слабых низкочастотных электромагнитных полей [3-5]. Однократное воздействие данного фактора изменяет активность липидного, энергетического, тиол-дисульфидного обмена в разных тканях животных [6-8]. Экспериментально показано, что эта чувствительность и реактивность зависит от конституциональных характеристик организма [9, 10]. Но в большинстве магнитобиологических исследований проводят анализ ответных реакций на уровне экспериментальных групп, т.е. на популяционном уровне. В таком формате исследований очень важно, чтобы в экспериментальных группах был представлен весь спектр индивидуально-типологических особенностей животных, что не всегда соблюдается. В связи с этим в данном исследовании были изучены кросс-

корреляционные связи метаболических показателей в разных структурах головного мозга животных, находящихся в обычных условиях электромагнитного фона и при действии ПеМП 8 Гц 5 мкТл. При этом, группы животных были представлены всем спектром индивидуально-типологических особенностей, выявляемых в тесте «открытого поля».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования выполнены на 80 белых беспородных крысах-самцах в возрасте 5-7 месяцев, массой 180-250 г. Индивидуально-типологические особенности животных оценивали в тесте «открытого поля». В настоящем исследовании "открытое поле" представляло собой площадку размером 90×90 см², расчерченную на квадраты и ограниченную барьером высотой 30 см. Во время опыта "открытое поле" равномерно освещали лампой накаливания мощностью 100 Вт, расположенной на высоте 100 см от уровня поля в центре площадки. Животное помещали на средину площадки и в течение 2-х минут регистрировали горизонтальную активность (ГА) по количеству пересеченных квадратов, вертикальную активность по количеству подъемов на задние лапы (ВА), а также груминг и уровень дефекации и урикации. На основании данных двигательной активности животных составлялись следующие подгруппы: животные с низкой активностью (НА) (ГА=5÷22; ВА=2÷5), средней активностью (СА) (ГА=25÷32; ВА=7÷8) и высокой активностью (ВА) (ГА=36÷43; ВА=9÷12). При этом выделенные подгруппы животных характеризовались близким уровнем груминга и дефекации, различие между которыми носили недостоверный характер, поэтому эти параметры не учитывали при формировании подгрупп животных.

Импульсное (меандр) магнитное поле частотой 8 Гц индукцией 5 мкТл создавали с помощью колец Гельмгольца. Источником сигналов служил генератор Г6-28, позволяющий создавать магнитные поля отдельных установленных частот и амплитуд. Индукцию создаваемого ПеМП контролировали микротесламетром Г-79. В данной серии исследований однократная экспозиция животных в переменном магнитном поле составила 3 часа. Выбор частоты ПеМП обусловлен ее геофизической значимостью и биологической активностью.

По окончании экспозиции животных декапитировали, быстро извлекали головной мозг, препарировали разные структуры головного мозга, замораживали при -20°C и использовали для получения гомогенатов на основе 0.05 М фосфатного буфера в соотношении 1 часть ткани и 10 частей буфера.

Активность процессов перекисного окисления липидов оценивали по реакции конечных продуктов свободно-радикального окисления с 2-тиобарбитуровой кислотой [11] в модификации [12]. Определение суммарных тиоловых групп проводили по их реакции с реактивом Элмана (5,5-дитиобис(2-нитробензойная) кислота ДТНБ) [13] в модификации [12]. Активность сукцинатдегидрогеназы (СДГ) определяли по методу [14], адаптированному к конкретным объемам гомогенатов тканей мозговых структур. Активность НАД-дегидрогеназ определяли по скорости восстановления гексацианоферрата калия [15]. Активность моноаминоксидазы (МАО) определяли по цветной реакции продуктов окислительного деаминарования серотонина с 2,4-динитрофенилгидразином.

О достоверности различий между средними значениями показателей в разных экспериментальных группах судили по критерию Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как видно из таблицы 1, в норме в коре левого полушария характерна высокая положительная связь содержания продуктов ПОЛ с активностью сукцинатдегидрогеназы и отрицательная - с активностью НАДН-дегидрогеназ. Подобное отношение наблюдается и в правом полушарии. В наличии положительной корреляция между активностью свободно-радикальных процессов и сукцинатдегидрогеназы нет ничего необычного, так как данный фермент входит в II-й комплекс электрон-транспортной цепи митохондрий и является поставщиком электронов в Q-цикл Митчела, который в свою очередь обеспечивает генерацию супероксиданиона и перекиси водорода.

Таблица 1.
Влияние ПеМП на кросс-корреляционные связи метаболических показателей
в коре левого полушария головного мозга животных

		Тиоловые группы	Активность СДГ	Активность НАДДГ	Активность MAO
ТБКАП	Контроль	0.197	0.524*	-0.480*	-0.193
	ПеМП	0.118	-0.344	0.134	-0.141
Тиоловые группы	Контроль		0.585*	-0.762*	-0.285
	ПеМП		-0.098	-0.758*	-0.633*
Активность СДГ	Контроль			-0.540*	-0.137
	ПеМП			-0.106	-0.432*
Активность НАДДГ	Контроль				0.479*
	ПеМП				0.619*

Примечания : * - достоверная оценка коэффициента корреляции.

Концентрация суммарных тиоловых групп коррелирует в левом полушарии с активностью сукцинатдегидрогеназы и активностью НАДН-дегидрогеназ. Однако данные корреляции имеют разный знак. В правом же полушарии указанные связи гораздо слабее или вообще отсутствуют.

В норме активность сукцинатдегидрогеназы в коре больших полушарий противофазно изменяется по отношению к активности НАДН-дегидрогеназ, что указывает на реципрокную регуляцию активности разных путей входа восстановленных эквивалентов – НАДН•Н⁺ и ФАДН₂ – электрон-транспортную цепь митохондрий (табл. 1, 2).

Для активности MAO в коре больших полушарий наибольшая положительная корреляционная связь выявлена по отношению к активности НАДН-дегидрогеназ, наибольшая отрицательная – по отношению к тиоловым группам (табл. 1, 2). Данные факты могут быть объяснены тем, что для работы MAO требуется ФАДН₂ и повышение активности этого фермента приводит к активному расходованию

данного кофактора, а работа электрон-транспортных цепей митохондрий поддерживается за счет НАДН•Н⁺. Одновременно с этим моноаминоксидазная реакция сопровождается продукцией перекиси водорода, что приводит к расходованию низкомолекулярных тиолов в пероксидазных реакциях или их окислению, если речь идет о тиоловых группах, входящих в состав белков.

Таблица 2.
Влияние ПеМП на кросс-корреляционные связи метаболических показателей в коре правого полушария головного мозга животных

		Тиоловые группы	Активность СДГ	Активность НАДДГ	Активность МАО
ТБКАП	Контроль ПеМП	0.278 -0.279	0.479* 0.519*	-0.540* 0.352	-0.360 0.295
Тиоловые группы	Контроль ПеМП		-0.005 -0.063	-0.409* -0.429*	-0.340 -0.424*
Активность СДГ	Контроль ПеМП			-0.308 -0.432*	-0.067 -0.032
Активность НАДДГ	Контроль ПеМП				0.442* 0.328

Примечание: * - достоверная оценка коэффициента корреляции.

Как видно из Таблицы 3 особенностью таламуса является наличие высокой кросс-корреляции практически для всех изучаемых показателей. Кроме того, все коэффициенты корреляции имеют положительный знак. Таким образом, этот отдел головного мозга, который играет второстепенную роль в ориентировочно-исследовательском поведении животных в новой обстановке, характеризуется жесткими связями метаболических процессов, сильно отличающимися от коры больших полушарий. Вероятно, данный факт отражает один из механизмов, лежащих в основе системных функций таламуса.

Таблица 3.
Влияние ПеМП на кросс-корреляционные связи метаболических показателей в таламусе животных

		Тиоловые группы	Активность НАДДГ	Активность МАО
ТБКАП	Контроль ПеМП	0.860* 0.705*	0.640* 0.600*	0.738* 0.537*
Тиоловые группы	Контроль ПеМП		0.453* 0.139	0.891* 0.848*
Активность НАДДГ	Контроль ПеМП			0.381 0.048

Примечание: * - достоверная оценка коэффициента корреляции.

В гипоталамусе, так же как и в таламусе, имеют место другие принципы регуляции исследуемых процессов, по сравнению с корой больших полушарий. Высокая положительная связь выявлена практически для всех исследованных показателей - тиоловых групп и активности MAO, а также для уровня ТБКАП и активности НАДН-дегидрогеназ (табл. 4).

Таблица 4.
Влияние ПеМП на кросс-корреляционные связи метаболических показателей в гипоталамусе животных

		Тиоловые группы	Активность НАДГ	Активность MAO
ТБКАП	Контроль ПеМП	0.396 0.532*	0.692* 0.123	0.178 0.497*
Тиоловые группы	Контроль ПеМП		0.228 0.288	0.851* 0.635*
Активность НАДГ	Контроль ПеМП			0.121 -0.010

Примечание: * - достоверная оценка коэффициента корреляции.

Как видно (табл. 1, 2), при исходно низкой корреляции ТБКАП и тиоловых групп в коре, как левого, так и правого полушарий действие ПеМП не привело к усилению сопряженности данных процессов. Следует отметить, что в коре правого полушария знак зависимости меняется на противоположный. Это может свидетельствовать о более выраженных изменениях сопряженности процессов перекисного окисления липидов и тиол-дисульфидного обмена в коре правого полушария в сравнении с левым.

Противоположные изменения происходят в сопряжении уровня ТБКАП и активности сукцинатдегидрогеназы. В данном случае действие ПеМП приводит к смене знака зависимости в левом полушарии, тогда как в правом не происходит существенных сдвигов (табл. 1, 2). Что касается связи ТБКАП с активностью НАДН-дегидрогеназ, то, как в левом, так и в правом полушариях действие магнитного поля меняет знак зависимости и уменьшает силу связи. Такие изменения свидетельствуют о дезорганизации системы регуляции метаболических процессов в данной структуре головного мозга и, вероятно, являются причиной нивелирования индивидуально-типологических особенностей у животных, обнаруженного в более ранних исследованиях [7,8].

Экспозиция животных в переменном магнитном поле не приводит к изменениям корреляционной связи между содержанием ТБКАП и активностью MAO в левом полушарии, тогда как в правом эти изменения более выражены, о чем свидетельствует смена знака зависимости (табл. 1, 2).

Действие ПеМП приводит к уменьшению сопряженности тиол-дисульфидного обмена и активности сукцинатдегидрогеназы, а также активности сукцинатдегидрогеназы и НАДН-дегидрогеназ в коре левого полушария.

Одновременно с этим усиливается связь тиол-дисульфидного обмена, а также активности сукцинатдегидрогеназы с активностью МАО (табл.1, 2). Несколько иная ситуация складывается в правом полушарии. Действие ПеМП в данной структуре вызывает усиление связи для тиол-дисульфидного обмена и активности МАО, и уменьшения связи активностей НАДН-дегидрогеназ и МАО.

Как указывалось выше, для таламуса интактных животных характерны высокие значения коэффициентов кросс-корреляции метаболических показателей. Влияние ПеМП практически не сказывается на связи содержания ТБКАП с уровнем тиоловых групп и активностью НАДН-дегидрогеназ, а также на зависимость содержания SH-групп от активности МАО (табл. 3). В тоже время, сила связи ТБКАП-МАО, SH-группы - НАДН-дегидрогеназы и НАДН-дегидрогеназы - МАО заметно уменьшается, что в целом свидетельствует об индивидуальности реакции организма животных на действие ПеМП, при этом эти особенности не коррелируют с результатами теста в «открытом поле» и являются сугубо индивидуальными.

В гипоталамусе действие ПеМП приводит к перестройкам регуляции метаболических процессов, которые характеризуются усилением связи содержания ТБКАП с уровнем тиоловых групп и активностью МАО (табл. 4). Параллельно с этим снижается сила связи между содержанием ТБКАП и активностью НАДН-дегидрогеназ, также между уровнем суммарных тиоловых групп и активностью МАО.

Таким образом, анализ кросс-корреляционных связей метаболических показателей показывает, что уже при однократном действии ПеМП указанных характеристик происходит перестройка регуляции изучаемых процессов во всех исследуемых мозговых структурах. Характер изменений связей между метаболическими звеньями зависит от локализации исследуемых метаболических процессов и является причиной нивелирования индивидуально-типологических особенностей у животных.

Анализ литературы показывает, что причиной таких изменений может быть одновременно несколько явлений, возникающих при действии ПеМП. Так, в ответ на действие данного физического фактора, происходит активация клеток диффузной эндокринной системы – APUD-системы, секретирующих широкий спектр биологически активных веществ [16, 17], наблюдается снижение продукции мелатонина [17, 18], снижение концентрации кислорода в тканях [19], изменение биоритмической организации процессов [6, 20] и ряд других явлений. Все это в конечном итоге отражается на метаболических и морфофункциональных свойствах клеток тканей и на организменном уровне активируют функциональные системы, ответственные за реализацию общих неспецифических реакций типа тренировки или активации [21].

ВЫВОД

Однократное действие ПеМП частотой 8 Гц 5 мкТл приводит к существенной перестройке регуляции метаболических процессов во всех мозговых структурах. При этом характер изменений связей между метаболическими звеньями зависит от

локализации исследуемых метаболических процессов и является причиной нивелирования индивидуально-типологических особенностей у животных.

Список литературы

1. Гуляева Н.В. Биохимические корреляты индивидуально-типологических особенностей поведения крыс / Н.В. Гуляева, М.Ю. Степанчев // Журн. высш. нерв. деят. — 1997. — Т. 47, № 2. — С. 329–338.
2. Симонов П.В. Избранные труды: Т 1. Проблема индивидуальных (типологических) различий. / П.В. Симонов— М.: Наука. — 2004. — С. 226–288.
3. Александров В.В. Экологическая роль электромагнетизма. / Александров В.В.— СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2005. — 716 с.
4. Мартынюк В.С. У природы нет плохой погоды: космическая погода в нашей жизни. / Мартынюк В.С., Темуриянц Н.А., Владимирский Б.М. — Киев, 2008. — 179 с.
5. Пресман А.С. Электромагнитное поле и живая природа. / Пресман А.С. — М.: Наука, 1968. — 310 с.
6. Мартынюк В.С. К вопросу о синхронизирующем действии сверхнизкочастотных магнитных полей на биологические системы / В.С. Мартынюк // Биофизика. — 1992. — Т.37, № 4. — С. 569–573.
7. Влияние слабого переменного магнитного поля крайне низкой частоты на энергетический обмен в головном мозге и печени животных с разными конституциональными особенностями / С.Б. Мартынюк, З.А. Овечкина, В.С. Мартынюк [и др.] // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И.Вернадского. Серия «Биология, химия». — 2001. — Т.12(51), № 2. — С. 35–38.
8. Влияние переменного магнитного поля крайне низкой частоты на метаболические процессы в печени животных с разными индивидуально-типологическими особенностями / З.А. Овечкина, В.С. Мартынюк, С.Б. Мартынюк [и др.] // Биофизика. — 2001. — Т. 46, №. 5. — С. 915–918.
9. Грабовская Е.Ю. Реакции крыс с различными индивидуальными особенностями двигательной активности на действие слабого переменного магнитного поля сверхнизкой частоты: Автореф. дис... канд. биол. наук: 03.00.13 / Е.Ю. Грабовская— Симферопольский гос. ун-т. — Симферополь, 1992. — 23 с.
10. Temuryants N.A. Influence Of Electromagnetic Fields Of Extremely Different Frequency Diapason On Infradian Rhythms Of Physiological Processes / N.A. Temuryants, V.S. Martynyuk, E.N. Chuan // In: Biophotonics and Coherent Systems in Biology. — Berlin-Heidelberg-New York: Springer, 2006. — P. 191–202.
11. Ohkaw H. Assay for Lipid Peroxides in Animal Tissues by Thiobarbituric Acid Reaction / H. Ohkaw, N. Ohishi, K. Yagi // Analytical Biochem. 1979. — V. 95. — P.351–358.
12. Мартынюк В.С. Влияние слабых переменных магнитных полей инфранизких частот на временную организацию физиологических процессов. Дис ... канд. биол. наук. / В.С. Мартынюк — Симферополь, 1992 — С. 41-42.
13. Вережкина И.В. Колориметрический метод определения SH-групп и –S-S связей в белках при помощи 5,5 – дитиобис (2-нитробензойной) кислоты / И.В. Вережкина, А.И. Точилкин, Н.А. Попова // Современные методы в биохимии. — М.: Медицина, 1977. — С. 223–231.
14. Кривченкова Р.С. Определение активности сукцинатдегидрогеназы в суспензии митохондрий / Кривченкова Р.С. // В кн.: "Современные методы в биохимии. — М.: Медицина, 1977. — С. 44.
15. Карузина И.И. Выделение микросомной фракции печени и характеристика ее окислительных систем / И.И. Карузина, А.И. Аргаков // В кн. «Современные методы в биохимии». — М.: Медицина, 1977.— С.57.
16. Мартынюк В.С. Реакция тучных клеток на действие переменных магнитных полей в условиях in vitro / В.С. Мартынюк, Р.Х. Абу Хада // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И.Вернадского. Серия «Биология, химия». — 2001. — Т.14 (53), № 2 — С. 3–7.
17. Темуриянц Н.А. Роль некоторых компонентов диффузной нейроэндокринной системы в реализации магнитобиологических воздействий / Н.А. Темуриянц, А.В. Шехоткин, В.С. Мартынюк // Биофизика. — 2001. — Т. 46, вып. 5. — С. 901–904.
18. Effects of weak alternating magnetic fields on nocturnal melatonin production and mammary carcinogenesis in rats / W. Loscher, U. Wahnschaffe, M. Mevissen [et al.] // Oncology. — 1994. — Vol. 51. — P. 288–295.
19. Сташков А.М. Гипоксическое и антиокислительное биологическое действие многодневного применения слабого и переменного магнитного поля сверхнизкой частоты / А.М. Сташков, И.Е. Горохов // Биофизика. — 1998. — Т. 43, № 5. — С. 807–810.

20. Ли А.В. Роль магнитного поля в формировании биоритмов центральной нервной системы / А.В. Ли, И.Г. Власова // В кн.: Современные аспекты биоритмологии. – М.:Изд-во ун-та Дружбы народов, 1987. – С. 91–97.
21. Гаркави Л.Х. Адаптационные реакции и резистентность организма / Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1990. – 224 с.

Мартинюк В.С. Вплив магнітного поля наднизької частоти на крос-кореляційні зв'язки метаболічних показників / В.С. Мартинюк, Р.І. Іслямов // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2010. – Т. 23 (62). – № 2. – С. 123-130.

Вивчено одноразову дію змінного магнітного поля (ЗМП) частотою 8 Гц індукцією 5 мкТл на спряженість метаболічних процесів у головному мозку тварин. Показано, що одноразова дія ЗМП призводить до суттєвої перебудови регуляції метаболічних процесів у всіх мозкових структурах. Характер змін зв'язків між метаболічними ланками залежить від локалізації метаболічних процесів і є причиною нівелювання індивідуально-типологічних особливостей у тварин.

Ключові слова: змінне магнітне поле, головний мозок, метаболічні крос-кореляції.

Martynyuk V.C. Influence of extremely low frequency magnetic field on cross-correlations of metabolic parameters / V.C. Martynyuk, R.I. Islyamov // Scientific Notes of Taurida V.Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2010. – V.23 (62). – № 2. – P. 123-130.

We study the single effect of an extremely low frequency magnetic field (ELF MF) with frequency of 8 Hz induction 5 mT for cross-correlations of metabolic processes in the brain of animals. It was shown that a single action ELF MF leads to a substantial reorganization of the regulation of metabolic processes in all brain structures. The features of changes of cross-correlations between metabolic depends on the localization of the investigated metabolic processes and is responsible for leveling the individual-typological characteristics of animals.

Keywords: extremely low frequency magnetic field, brain, metabolic cross-correlation.

Поступила в редакцію 19.04.2010 г.