

Н. В. Кузьменко, С. В. Сурма, В. Е. Стефанов, О. В. Васильева, Б. Ф. Щеголев

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОСЛАБЛЕННОГО ЭКРАНИРОВАНИЕМ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ГЕМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КРЫС ЛИНИИ ВИСТАР

В условиях непрерывно меняющегося магнитного поля Земли и его постоянного воздействия на генезис живых систем очень актуальными являются исследования магнитобиологических эффектов в условиях слабых и сверхслабых внешних магнитных полей [1]. Кроме того, при организации долгосрочных пилотируемых космических полетов особое внимание должно уделяться изучению влияния на космонавтов таких внешних факторов, которые обладают большой проникающей способностью и существенно отличаются от «земных условий». В первую очередь речь должна идти о влиянии сверхслабых низкочастотных магнитных полей на сердечно-сосудистую систему человека.

К настоящему времени уже проведен ряд исследований, посвященных влиянию состояния геомагнитного поля на работу сердечно-сосудистой системы. Так, мониторинг сердечно-сосудистой функции космонавтов на станции «Мир» показал, что во время геомагнитных бурь наблюдается уменьшение variability сердечного ритма [2]. Исследования, проведенные японскими учеными в субарктических областях, продемонстрировали уменьшение частоты и variability сердечного ритма у людей при естественных флуктуациях геомагнитного поля [3]. В работе [4] отмечено существенное влияние состояния геомагнитного поля на величину барорецепторного рефлекса (одного из основных механизмов регулирования уровня артериального давления путем изменения частоты сердечных сокращений).

Целью настоящей работы было изучение воздействия ослабленного экранированием магнитного поля Земли (ОМПЗ) на гемодинамические показатели млекопитающих — лабораторных крыс линии Вистар.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на белых крысах — трехмесячных самцах линии Вистар массой 300 г. Для проведения экспериментов были изготовлены 2 камеры (экранирующая и имитирующая) в виде цилиндров диаметром 60 см и длиной 140 см,

Кузьменко Наталья Владимировна — канд. биол. наук, старший научный сотрудник, Институт экспериментальной медицины Федерального центра сердца, крови и эндокринологии им. В. А. Алмазова; e-mail: kuzmenko@niiekf.ru

Сурма Сергей Викторович — канд. техн. наук, научный сотрудник, ФГБУН Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН; e-mail: svs-infran@yandex.ru

Стефанов Василий Евгеньевич — канд. биол. наук, доцент, заведующий кафедрой, Санкт-Петербургский государственный университет; e-mail: vastef@mail.ru

Васильева Ольга Вячеславовна — канд. техн. наук, заведующая лабораторией, ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей»; e-mail: prometej_35otdel@mail.ru

Щеголев Борис Федорович — канд. хим. наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН; e-mail: shcheg@mail.ru

© Н. В. Кузьменко, С. В. Сурма, В. Е. Стефанов, О. В. Васильева, Б. Ф. Щеголев, 2013

закрытые с одного торца и открытые с другого так, чтобы в глубину камеры легко помещалась клетка с крысами. Поверхность экранирующей камеры была покрыта несколькими слоями аморфного магнитомягкого материала АМАГ-172, что обеспечивало 40-кратное уменьшение величины индукции МПЗ внутри камеры (с 48 до 1,2 мкТл). Замеры величины индукции магнитного поля Земли вовне и внутри камеры проводились отечественным трехкомпонентным магнитометром НВ0302.1А (0,1–100 мкТл). Имитирующая камера была изготовлена из картона и покрыта черным полиэтиленом.

В экранированную камеру помещали крыс подопытной группы (8 штук). Крысы контрольной группы (8 штук) содержались в имитационной камере. Обе камеры находились в одинаковых условиях, крысы имели свободный доступ к пище и воде.

Для исследования влияния ослабления геомагнитного поля на организм крысы проводились измерения веса крыс, а также основных гемодинамических параметров: систолического артериального давления ($АД_{сис.т.}$), межсистолического интервала (МСИ). Выполнялся спектральный анализ variability сердечного ритма и оценка симпатовагусного баланса.

Крысы взвешивались перед началом эксперимента, через одну, две и три недели после начала содержания в экранирующей камере, а также через одну и две недели после завершения экранирования.

Измерения гемодинамических параметров и спектральный анализ variability сердечного ритма были проведены перед началом эксперимента на 1–2-е, 5–6-е, 8–9-е, 12–13-е, 19–20-е сутки после начала экранирования и на 1–2-е, 5–6-е, 12–13-е после окончания экранирования (измерение гемодинамических параметров у 16 крыс занимало 2 дня: 4 опытных и 4 контрольных животных в день. Во время измерения условия экранирования и имитационной камеры сохранялись с помощью переносного картонного цилиндра с экранирующим покрытием и переносного картонного цилиндра без покрытия.

Гемодинамические показатели измеряли с применением компьютерной программы Chart на NIBP системе неинвазивного измерения кровяного давления (ADInstruments), включающей ML125 NIBP-контроллер, MLT125R-датчик пульса и хвостовую манжетку для крыс. Используемая система позволяет регистрировать систолическое артериальное давление ($АД_{сис.т.}$) на хвостовой артерии крысы, межсистолический интервал, а также проводить спектральный анализ variability сердечного ритма. С помощью математических методов, принятых Североамериканским обществом электрофизиологии и электрофизиологии [5], проводился расчет в $мс^2/Гц$ низкочастотной части спектра (НЧ: 0,15–0,8 Гц), используемой как маркер активности симпатической нервной системы, и высокочастотной части спектра (ВЧ: 0,8–2,5 Гц), характеризующей вагусную (парасимпатическую) активность. Также рассчитывалась общая спектральная плотность мощности (НЧ + ВЧ). По соотношению величин НЧ/ВЧ делался вывод о симпатовагусном балансе в регуляции работы сердца. Для проведения спектрального анализа variability сердечного ритма брали «короткие» записи пульсаций, продолжительностью в 1 мин.

Результаты измерений, обработанные программой Excel, представлены в виде «среднее \pm ошибка». Сравнение средних значений проводилось по t-критерию Стьюдента.

Результаты экспериментов

На первом этапе работ проводилось взвешивание и измерение исходных гемодинамических параметров, а также спектральных характеристик вариабельности сердечного ритма контрольной и опытной групп крыс. Результаты этих измерений, представленные в табл. 1 и 2, показали отсутствие отличий в измеряемых параметрах между обеими группами животных.

У крыс из опытной группы, помещенных в экранирующую камеру, в первые двое суток наблюдались существенное урежение сердечного ритма ($p < 0,05$), увеличение ВЧ ($p < 0,01$) и НЧ+ВЧ ($p < 0,01$) по сравнению с животными, помещенными в имитационную камеру (см. табл. 1). На 5–6-й день экспозиции в камерах данные тенденции сохранялись (см. табл. 1). Результаты взвешивания крыс, проведенного через одну неделю после помещения животных в камеры, показали, что прирост веса (в граммах и процентах) был существенно ($p < 0,01$) выше в группе, находящейся в экранированной камере (см. табл. 2).

На 8–9-й день экспозиции в камерах существенных различий между группами в показателях АД_{сист.}, МСИ, ВЧ и НЧ+ВЧ не было, однако в экранированной группе наблюдалась тенденция к увеличению НЧ-компоненты спектральной плотности мощности и значительное отклонение симпато-вагусного баланса в сторону симпатической активности ($p < 0,05$) (см. табл. 1).

Далее на 12–13-й и 19–20-й дни экспозиции групп в камерах, а также на 1–2-й и 5–6-й дни после извлечения из камер существенных различий в измеряемых показателях между группами обнаружено не было (см. табл. 1).

Результаты взвешивания животных показали, что тенденция к большему приросту веса сохранялась в экранированной группе в течение всего периода наблюдений (см. табл. 2). К концу наблюдений, т.е. через две недели после извлечения из камер, крысы, находившиеся в ослабленном МП, весили достоверно больше ($p < 0,05$), чем особи контрольной группы (см. табл. 2).

Следует отметить, что само по себе помещение животных в камеры (экранированную и имитационную) вызывало существенные сдвиги всех исходных показателей. Если в экранированной группе эти изменения начинались уже через 1 день после начала экспозиции, то в контрольной группе первые существенные изменения (ВЧ и НЧ+ВЧ компонентов) нами были зафиксированы на 8–9-й день экспозиции (см. табл. 1).

В дальнейшем как в опытной, так и в контрольной группах наблюдался рост АД_{сист.}, удлинение МСИ, увеличение всех спектральных характеристик вариабельности сердечного ритма (НЧ, ВЧ, НЧ+ВЧ, НЧ/ВЧ) по сравнению с исходными показателями (см. табл. 1). Через 13 дней после извлечения крыс из камер тенденции данных изменений сохранялись.

Обсуждение результатов исследования

Результаты проведенных экспериментов показали, что условия ослабления МПЗ за счет экранирования оказывают влияние на частоту сердечного ритма и на спектральные характеристики его вариабельности, особенно в первые сутки после начала экранирования. Так, в первые два дня после начала экранирования наблюдалось существенное урежение сердечного ритма, а также увеличение высокочастотного (парасимпатического) компонента спектра, его вариабельности и общей спектральной

Таблица 1. Изменение гемодинамических параметров и спектральных характеристик варибельности сердечного ритма у крыс линии Вистар в зависимости от изменений геомагнитного поля

Группа	Время	АД _{серд} , мм рт.ст.	МСИ, мс	НЧ, мс ² /Гц	ВЧ, мс ² /Гц	НЧ + ВЧ, мс ² /Гц	НЧ/ВЧ
<i>Исходные данные</i>							
Контроль	–	107,1 ± 8,3	159,7 ± 11,4	23,5 ± 12,0	115,9 ± 31,0	139,4 ± 42,0	0,19 ± 0,04
Опыт	–	107,7 ± 5,7	156,1 ± 15,1	24,9 ± 12,2	116,5 ± 31,2	141,4 ± 40,0	0,21 ± 0,09
<i>Экранирование геомагнитного поля</i>							
Контроль	1-2-й день	104,4 ± 8,8	163,3 ± 9,1	22,5 ± 8,3	101,6 ± 12,6	124,1 ± 17,8	0,23 ± 0,07
Опыт	1-2-й день	105,1 ± 7,0	179,9 ± 9,0(**)*	30,7 ± 10,1	140,0 ± 21,7**	170,7 ± 30,4**	0,22 ± 0,05
Контроль	5-6-й день	113,1 ± 3,9	163,5 ± 10,0	26,2 ± 10,5	105,1 ± 17,5	131,2 ± 26,8	0,24 ± 0,06
Опыт	5-6-й день	108,8 ± 7,4	177,0 ± 13,3(*)	42,7 ± 25,6	164,8 ± 65,4	207,4 ± 84,6	0,24 ± 0,09
Контроль	8-9-й день	109,1 ± 7,6	172,4 ± 9,9	37,8 ± 9,2	190,3 ± 54,1(*)	228,2 ± 60,4(*)	0,21 ± 0,03
Опыт	8-9-й день	108,4 ± 8,4	181,8 ± 11,4(**)	54,8 ± 18,6(*)	168,4 ± 32,7(*)	223,3 ± 51,0(*)	0,31 ± 0,06*
Контроль	12-13-й день	112,2 ± 7,2	177,6 ± 12,0(*)	57,0 ± 14,5(**)	180,9 ± 40,7(*)	237,8 ± 39,0(**)	0,35 ± 0,10(*)
Опыт	12-13-й день	108,9 ± 7,6	182,8 ± 16,6(*)	56,2 ± 23,6(*)	148,2 ± 31,7	204,4 ± 44,2(*)	0,40 ± 0,19
Контроль	19-20-й день	120,2 ± 4,1(**)	171,8 ± 14,2	45,1 ± 22,2	184,4 ± 64,6	229,5 ± 69,2	0,29 ± 0,16
Опыт	19-20-й день	118,3 ± 7,2(*)	176,5 ± 12,7(*)	50,8 ± 22,4(*)	179,7 ± 95,1	230,5 ± 106,7	0,33 ± 0,13
<i>Снятие экранирования геомагнитного поля</i>							
Контроль	1-2-й день	115,0 ± 6,3	176,7 ± 5,7(*)	73,9 ± 36,4(*)	161,5 ± 28,1(*)	235,3 ± 58,9(**)	0,45 ± 0,18(**)
Опыт	1-2-й день	114,0 ± 4,3	186,0 ± 10,1(**)	76,2 ± 41,4(*)	200,8 ± 56,7(*)	277,0 ± 94,7(*)	0,51 ± 0,24(*)
Контроль	5-6-й день	119,7 ± 9,5(*)	173,3 ± 10,4	45,8 ± 14,0(*)	142,8 ± 26,1	188,6 ± 38,7	0,33 ± 0,09(**)
Опыт	5-6-й день	115,5 ± 7,2	184,7 ± 8,4(**)	60,0 ± 22,3(*)	177,6 ± 39,6(*)	237,7 ± 61,5(*)	0,35 ± 0,1(*)
Контроль	12-13-й день	117,7 ± 4,4(*)	181,8 ± 10,9(**)	91,6 ± 44,0(**)	203,7 ± 56,2(**)	295,3 ± 99,3(**)	0,43 ± 0,14(**)
Опыт	12-13-й день	114,9 ± 9,6	193,6 ± 16,1(**)	86,4 ± 35,9(**)	190,5 ± 39,0(**)	276,9 ± 70,9(**)	0,43 ± 0,13(**)

Примечание. ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$ — достоверность относительно контроля; (***) $p < 0,01$; (*) $p < 0,05$ — достоверность относительно исходного значения.

Таблица 2. Изменение веса у крыс линии Вистар в зависимости от изменений геомагнитного поля

Показатели	Контроль	Опыт
<i>Исходные данные</i>		
Вес, г	301,4 ± 24,8	308,4 ± 15,9
<i>Через 1 неделю экранирования геомагнитного поля</i>		
Вес, г	328,3 ± 25,7	351,3 ± 22,4
Прирост веса, г	26,9 ± 3,1	42,9 ± 8,7 **
Прирост веса, %	9,1 ± 1,3	13,8 ± 2,3**
<i>Через 2 недели экранирования геомагнитного поля</i>		
Вес, г	338,5 ± 24,0	366,0 ± 22,0
Прирост веса, г	10,3 ± 3,3	14,8 ± 4,8
Прирост веса, %	3,2 ± 1,1	4,2 ± 1,4
<i>Через 3 недели экранирования геомагнитного поля</i>		
Вес, г	348,5 ± 29,8	380,6 ± 29,4
Прирост веса, г	10,0 ± 9,5	14,6 ± 9,2
Прирост веса, %	2,9 ± 2,7	3,9 ± 2,4
<i>Через 1 неделю после снятия экранирования геомагнитного поля</i>		
Вес, г	352,9 ± 30,4	386,3 ± 18,8
Прирост веса, г	4,4 ± 3,8	5,6 ± 14,5
Прирост веса, %	1,3 ± 1,0	1,8 ± 4,1
<i>Через 2 недели после снятия экранирования геомагнитного поля</i>		
Вес, г	368,3 ± 32,7	407,8 ± 22,8 *
Прирост веса, г	15,4 ± 6,7	21,5 ± 6,6
Прирост веса, %	4,3 ± 1,8	5,5 ± 1,6

Примечание. ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$ — достоверность относительно контроля.

плотности мощности, что сопровождалось достоверно большим приростом веса у экранированных крыс в первую неделю наблюдений по сравнению с контрольной группой. Отмеченный эффект согласуется с результатами из работы [6], где в опытах на крысах показано, что магнитоиндуцированная стимуляция вагуса существенно уменьшает потребление пищи и снижает прирост веса.

В проведенной нами работе через 12–13 дней после начала экранирования МПЗ и далее до конца эксперимента существенных различий в величине гемодинамических показателей и спектральных характеристиках вариабельности сердечного ритма между крысами контрольной и опытной групп уже не было. Это, возможно, свидетельствует о том, что приблизительно за две недели организм крысы адаптируется к условиям ослабления МПЗ.

Полученные нами экспериментальные данные позволили сделать вывод о влиянии состояния геомагнитного поля на вегетативную нервную систему. Вероятно, первой реакцией организма на экранирование геомагнитного поля является усиление тонуса блуждающего нерва, однако примерно через две недели наступает адаптация к условиям ослабления МПЗ. Известно, что при ряде сердечно-сосудистых патологий,

например, при артериальной гипертензии различного генезиса, а также при ишемической болезни сердца у пациентов наблюдается усиление активности симпатической нервной системы [7] по сравнению со здоровыми людьми. Уменьшение вариабельности и увеличение частоты сердечного ритма у людей при флуктуациях геомагнитного поля, наблюдаемые некоторыми исследователями [2, 3] косвенно свидетельствуют о повышении активности симпатической нервной системы, что может быть опасно для пациентов с сердечно-сосудистой патологией. Поэтому факт усиления активности парасимпатической нервной системы в условиях экранирования геомагнитного поля объясняет положительные результаты при использовании в больницах экранированных палат для защиты таких больных при геомагнитных возмущениях [8, 9].

Литература

1. Слабые низкочастотные магнитные поля в биологии и медицине / Сурма С. В., Щеголев Б. Ф., Васильева О. В., Рубанова Н. С., Цырлин В. А. / Бюллетень ФЦСКЭ. Экспериментальная медицина. 2011. С. 25–29.
2. Естественные и техногенные низкочастотные магнитные поля как факторы потенциально опасные для здоровья: обзор / Птицина Н. Г., Виллорези Д., Дорман Л. И., Ючи Н., Тясто М. И. // Успехи физ. наук. 1998. Т. 168, № 7. С. 767–791.
3. Geomagnetic disturbance associated with decrease in heart rate variability in a subarctic area / Otsuka K., Cornélissen G., Weydahl A., Holmeslet B., Hansen T. L., Shinagawa M., Kubo Y., Nishimura Y., Omori K., Yano S., Halberg F. // Biomed. Pharmacother. 2001. Vol. 55. Suppl. 1. P. 51s–56s.
4. Gmitrov J., Ohkubo C. Artificial static and geomagnetic field interrelated impact on cardiovascular regulation // Bioelectromagnetics. 2002. Vol. 23(5). P. 329–338.
5. American Heart Association. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use // Circulation. 1996. Vol. 93. P. 1043–1065.
6. Magnetically induced vagus nerve stimulation and feeding behavior in rats / Ziomber A., Juszcak K., Kaszuba-Zwoinska J., Machowska A., Zaraska K., Gil K., Thor P. // J. Physiol. Pharmacol. 2009. Vol. 60(3). P. 71–77.
7. Шляхто Е. В., Конради А. О., Цырлин В. А. Вегетативная нервная система и артериальная гипертензия. СПб.: ООО «Медицинское издательство», 2008. 312 с.
8. Гурфинкель Ю. И., Любимов В. В. Применение пассивного экранирования в клинике как первый шаг на пути создания необходимого инструментария по защите помещений с больными людьми от биотропного влияния электромагнитных полей // Тез. докл. 4-го Междунар. пушчинского симпозиума. «Корреляции биологических и физико-химических процессов с космическими и гелио-геофизическими факторами». Пушкино, 1996. С. 20–21.
9. Гурфинкель Ю. И., Любимов В. В. Опыт экранирования пациентов с ишемической болезнью сердца и организация службы слежения за геомагнитной обстановкой в условиях клиники // Препринт N 1 (1097). М.: ИЗМИРАН. 1997. 30 с.

Статья поступила в редакцию 11 декабря 2012 г.