

УДК 616-009.62/550.38

ДИНАМИКА БОЛЕВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ КРЫС-САМЦОВ И КРЫС-САМОК В УСЛОВИЯХ ЧЕТЫРНАДЦАТИДНЕВНОГО УМЕРЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ

Хусаинов Д. Р.¹, Темурьянц Н. А.¹, Туманянц К. Н.¹, Коренюк И. И.¹,
Хорольская К. Д.²

¹Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия

²Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение «Гимназия №11 имени К. А. Тренева», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: gangliu@yandex.ru

В результате проведенного исследования было выяснено, что болевая чувствительность, как крыс-самцов, так и крыс-самок в условиях четырнадцатидневного умеренного электромагнитного экранирования (ЭМЭ) демонстрирует в первую неделю фазу гиперальгезии, а на вторую – гипоальгезии; без значимых гендерных различий. Фурье анализ показал, что в условиях ЭМЭ биоритмологические характеристики болевой чувствительности крыс обоих полов заметно перестраивались. Так, к его воздействию наиболее чувствительными оказались короткие периоды с длиной 2 – 3 суток (полностью исчезают), в меньшей степени средние – 3 – 5 суток (перестраиваются) и не подвергся изменению семидневный период.

Ключевые слова: болевая чувствительность, экранирование, крысы, период.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что физические факторы оказывают существенное влияние на функционирование живых систем, среди которых стали классическими исследования биологических эффектов ионизирующих излучений, реализующихся в рамках различных космических программ [1, 2]. Но, наряду с ионизирующими излучениями важнейшую роль играет фактор снижения (вплоть до нуля) напряженности геомагнитного поля, в том числе, и в повседневной жизни. В современной научной литературе накоплен большой исследовательский материал о биологических эффектах гипомангнитной среды, так показано, что электромагнитное экранирование (ЭМЭ) вызывает заметные изменения в функционировании живых организмов: смещаются фазы биологических ритмов [3–6], снижается работоспособность [7], подавляется половая мотивация [8], усиливается агрессивность и изменяется болевая чувствительность [4, 5, 9, 10]. Среди прочего, показаны фазные изменения болевой чувствительности у моллюсков [5, 9] и мышей [2, 5], которые состоят из двух сменяющихся периодов: гиперальгезии и гипоальгезии. Следует отметить, что среди грызунов наиболее распространенными лабораторными животными являются мыши

и крысы, но фундаментальный вопрос болевой чувствительности у крыс в условиях ЭМЭ не исследовался. Также важным аспектом является факт гендерных отличий болевой чувствительности, которые значимы и для исследований воздействий ЭМЭ на ноцицепцию. В связи с изложенным целью исследования явилось: выяснить особенности динамики болевой чувствительности крыс обоих полов при четырнадцатидневном умеренном ЭМЭ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на 30-ти белых беспородных крысах-самцах массой 200–240 г и 30-ти крысах-самках 180–200 г (возраст животных 8 месяцев), содержащихся в стандартных условиях вивария. Все животные представляли собой однородную выборку со средней двигательной активностью и средним уровнем болевой чувствительности; все самки в начале эксперимента находились в фазе диэструса. Крысы каждого пола были разделены на три группы: контроль (n=10) и две группы ЭМЭ по 10 особей в каждой. Крысы групп ЭМЭ подвергались 14-ти дневному умеренному электромагнитному экранированию. Ежедневно животные этих групп помещались в экранирующую камеру в 15.00 и находились в ней до 10.00 следующего дня, таким образом, животные находились в камере по 19 часов в сутки. Экранирующая камера представляет собой комнату размером 2x3x2 м, изготовленную из железа «Динамо». Внутри комнаты находится контур из колец Гельмгольца. Коэффициент экранирования BDC составляет для вертикальной составляющей 4,4, для горизонтальной – 20. Внутри камеры для частот выше 170 Гц и в области частот от 2×10^{-3} до 0,2 Гц уровень спектральной плотности магнитного шума ниже 10 нТл/Гц. Коэффициент экранирования камеры на частотах 50 и 150 Гц порядка трех. На частотах больше 1 МГц имеет место практически полное экранирование. Крысы контрольных групп в этот четырнадцатидневный период не были подвержены воздействию ЭМЭ и содержались в стандартных условиях вивария. При этом, все сопутствующие условия содержания обеих групп: освещенность, температура и т.д. создавались максимально идентичными.

Болевые реакции крыс регистрировались в классических болевых моделях: «Горячая пластина» и «Электростимуляция». В тесте «Горячая пластина» регистрировали латентный период болевой реакции (ЛПБР) животных при температуре пластины 55⁰ С, в «Электростимуляция» болевой порог (БП) по напряжению токового сигнала.

Статистическую обработку полученных результатов осуществляли с помощью критерия Манна-Уитни. Для иллюстративности материала все данные представлены в виде коэффициента отличий между контрольной и экспериментальной группами (КО) в процентном отношении. КО рассчитывался по следующей формуле:

$$КО = \frac{R_э - R_к}{R_к} \cdot 100\%,$$

где R_к и R_э – среднее значение набранных баллов в контрольной и экспериментальной выборках, соответственно.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика болевой чувствительности крыс-самцов в условиях четырнадцатидневного умеренного электромагнитного экранирования.

В результате анализа динамики болевой чувствительности крыс-самцов в обоих тест моделях было обнаружено, что болевые реакции животных демонстрируют двунаправленный характер: в первую фазу наблюдается усиление болевой чувствительности – гипералгезия, во вторую фазу – гипоалгезия. Отмеченный феномен полностью совпадает с литературными данными, в которых описывается динамика болевой чувствительности мышей, моллюсков и др. [4, 5, 9]. Рассмотрим детально периодичность болевой чувствительности крыс-самцов в каждом тесте по отдельности.

В тесте «Горячая пластина» ЛПБР крыс-самцов демонстрировал достоверное снижение показателя на третий день эксперимента и КО составлял $-36,89\%$ ($p \leq 0,05$) от контрольных значений (рис. 1). Следовательно, можно считать, что с третьего дня умеренного ЭМЭ начинается фаза гипералгезии, в течение которой показатели ЛПБР экспериментальной группы крыс-самцов становятся достоверно меньшими по сравнению с этим показателем у контрольных животных. В дальнейшем, вплоть до шестых суток эксперимента, наблюдалось постепенное обострение болевой чувствительности крыс-самцов, которое выражалось в уменьшении ЛПБР у экспериментальных животных и, как следствие, увеличении отрицательности КО, который составлял на четвертые сутки $-38,46\%$ ($p \leq 0,05$), на пятые $-46,96\%$ ($p \leq 0,01$) и на шестой день показатель становился максимально отрицательным: $-60,32\%$ ($p \leq 0,001$). На седьмой день КО оставался отрицательным и составлял $-53,42\%$, $p \leq 0,001$, но уже на восьмой день значения этого показателя у экспериментальной группы не отличались от контрольной.

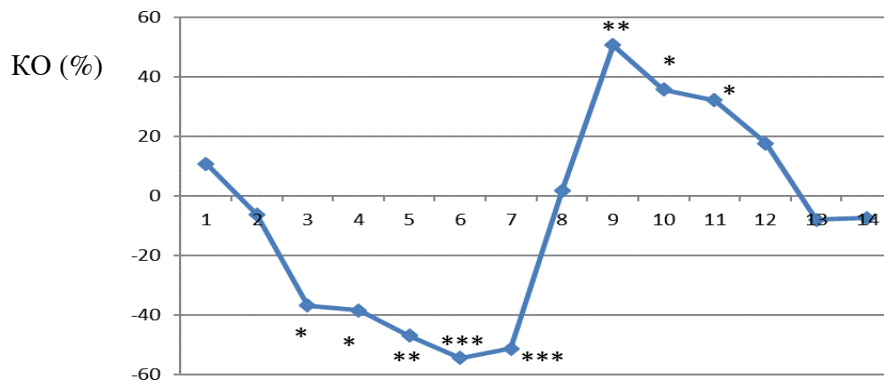


Рис. 1. Динамика болевой чувствительности крыс-самцов, рассчитанная по латентному периоду болевой реакции.

Примечание: * – достоверные различия экспериментальной группы от контрольных значений при $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$.

В тесте «Электростимуляция» болевая чувствительность крыс экспериментальной группы в четырнадцатидневный период проявила идентичную периодичность: с третьих по седьмые (включительно) сутки наблюдалось выраженное снижение БП крыс, а на 9–11-е сутки, наоборот, его увеличение (рис. 2).

Значения контрольной группы выражены нулевой линией. По оси абсцисс отмечены значения отличий экспериментальных показателей от контрольных в процентном выражении (например: +20 – выше контроля на 20%; -20 – меньше на 20 %)

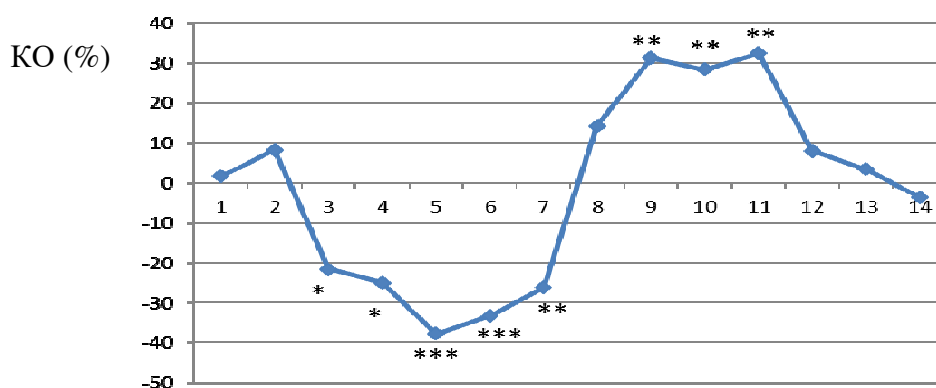


Рис. 2. Динамика болевой чувствительности крыс-самцов, рассчитанная по болевому порогу.

Примечание: обозначения те же, что и на рис. 1.

Так, на 3 – 7-е сутки КО, рассчитанный по БП, находился в отрицательном диапазоне и составлял -21,56 % ($p \leq 0,05$), -25 % ($p \leq 0,05$), -37,7 % ($p \leq 0,001$), -33,3 % ($p \leq 0,001$) и -26,2 % ($p \leq 0,01$), соответственно (рис. 2). Также, как и в случае с ЛПБР, уже на восьмой день эксперимента происходил резкий «перелом»: фаза гипералгезии заканчивалась, и болевая чувствительность крыс перестраивалась в фазу гипоалгезии. С 9-тых по 11-е сутки КО, рассчитанный по БП, составлял 31,3 % ($p \leq 0,01$), 28,4% ($p \leq 0,01$) и 32,4 % ($p \leq 0,01$), соответственно.

Следовательно, в обоих болевых тестах в условиях умеренного ЭМЭ болевая чувствительность крыс-самцов демонстрирует яркую двухфазную реакцию, первоначально формируется фаза гипералгезии, а затем гипоалгезии.

Динамика болевой чувствительности крыс-самок в условиях четырнадцатидневного умеренного электромагнитного экранирования.

Выяснено, что болевая реакция крыс-самок, так же, как и крыс-самцов, под влиянием умеренного ЭМЭ имеет двухфазный характер: первоначально развивается гипералгезия, за которой следует фаза гипоалгезии (рис. 3, 4). Так, в тесте «горячая пластина» (рис. 3) с третьего по седьмой день экранирования у крыс-самок наблюдалось существенное сокращение латентного периода болевой реакции на –

80 % (фаза гиперальгезии) при уровне значимости 0,001. К восьмому дню показатель болевой чувствительности приближался к контрольным значениям и на 10 и 11 дни экранирования КО составлял 11 % и 15 % ($p \leq 0,05$), соответственно.

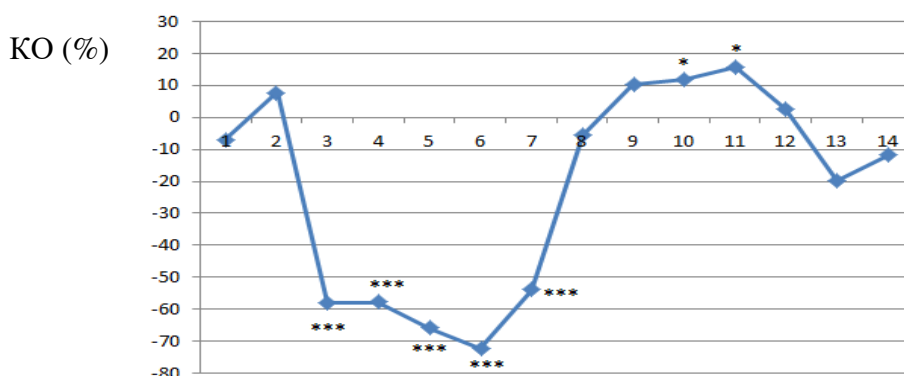


Рис. 3. Динамика болевой чувствительности крыс-самок, рассчитанная по латентному периоду болевой реакции.

Примечание: обозначения те же, что и на рис. 1.

В тесте «электростимуляция» у крыс-самок фаза гиперальгезии была более краткосрочной и менее выраженной: достоверное падение БП отмечалось на 5-е (КО = -46 %, $p=0,01$), 6-е (КО = -39 %, $p=0,01$) и 7-е (КО = -45 %, $p=0,01$) сутки экранирования (рис. 4). Достоверное увеличение показателей БП (фаза гипоальгезии) крыс-самок зарегистрировано на 9 – 11 сутки экранирования. КО в эти дни находился в пределах 50 % – 57 %, при $p=0,01$.

Таким образом, в результате настоящего исследования было выяснено, что в условиях четырнадцатидневного умеренного снижения электромагнитного фона существенно изменяется временная организация болевой чувствительности крыс обоих полов. В результате болевая чувствительность экспериментальных животных демонстрирует две ярко выраженные фазы: первоначально – гиперальгезия, затем – гипоальгезия. Опираясь на предыдущие исследования и литературные данные, в которых показано возможное участие в ноцицептивных и других эффектах гипомагнитной среды опиоидной системы и мелатанина [4, 5, 9, 10] логично полагать, что и в случае с крысами механизм действия идентичен. Однако, гипомагнитная среда способна изменять активность нервной системы, как на уровне биолектрогенеза [2, 11], так и на гормональном уровне [12, 13]. В связи с этим, механизм влияния гипомагнитной среды на болевую чувствительность может иметь сложный многоуровневый характер, который еще предстоит выяснить.

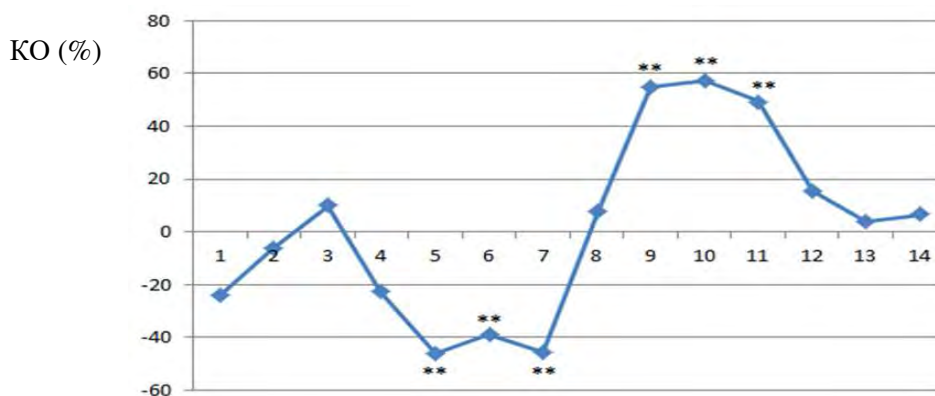


Рис. 4. Динамика болевой чувствительности крыс-самок, рассчитанная по болевому порогу.

Примечание: обозначения те же, что и на рис. 1.

Итак, гипомагнитная среда оказывает влияние на уровень болевой чувствительности крыс, и, наряду с этим, затрагивает ее ритмологическую составляющую. Для ее более детальной оценки был проведен анализ Фурье.

Биоритмологические изменения болевой чувствительности крыс-самцов и крыс-самок в условиях четырнадцатидневного умеренного электромагнитного экранирования.

В результате Фурье анализа были выявлены длины ритмов колебаний уровня болевой чувствительности, которые можно разделить на три условные группы: недельные – 7 суток, средние – 3 – 5 суток и короткие 2 – 3 суток (табл. 1,2). Как и следовало ожидать, в парадигме 14-ти дневного эксперимента, у всех групп животных проявился семидневный цикл, который сохранялся во всех случаях в независимости от экспериментальных условий. У контрольных групп крыс-самцов наличествовал средний период длительностью 4,7 суток, а также слабо выраженный период(ы) длительностью порядка 2 – 2,8 суток (табл. 1). В условиях ЭМЭ короткие периоды (2 – 2,8 суток) полностью исчезали, а средний ритм сокращался более чем на сутки и составлял 3,5 суток. Следовательно, можно констатировать наличие явного фазового сдвига в области средних ритмов в сторону их сокращения в условиях ЭМЭ с разницей порядка 1,2 суток. При этом, факт исчезновения ритмов с коротким периодом свидетельствует о ярком десинхронозе в этом диапазоне. Создается впечатление, что короткие ритмы «сливаются» со средними и трансформируются в ритм длительностью около 3,5 суток.

Значения длин периодов у контрольных групп крыс-самок по сути не отличался от таковых у крыс-самцов, однако в диапазоне средних ритмов есть отличие: у самцов длина среднего ритма равняется 4,7 суток, а у самок период среднего диапазона составляет 3,8 – 4 суток (табл. 2). В условиях ЭМЭ у крыс самок, так же, как и у самцов, полностью исчезали короткие периоды длительностью 2 – 2,8 суток. Средние ритмы в условиях ЭМЭ тоже сокращались, но если у самцов это

сокращение было более чем на сутки, то у самок оно составляла около 0,5 суток. Следовательно, у самок проявлялся заметный десинхронизм в диапазоне коротких периодов, но выраженность фазового сдвига в среднем диапазоне длин периода была менее заметной, по сравнению с самцами. Но, кроме этого, у самок сглаживалась непосредственная выраженность периодов средней длительности, что указывает на большую чувствительность этого диапазона к воздействию ЭМЭ, в отличие от таковой у самцов.

Таким образом, к действию ЭМЭ наиболее чувствительны короткие периоды с длиной 2 – 3 суток (полностью исчезают), в меньшей степени средние – 3 – 5 суток (перестраиваются) и не подвергся изменению семидневный период. Также показано, что временная организация болевой чувствительности крыс-самцов и самок в условиях четырнадцатидневного ЭМЭ не имеет ярких отличий, но у последних средний диапазон ритмов несколько чувствительнее к воздействию гипомангнитного фактора.

Таблица 1

Результаты анализа Фурье для крыс-самцов

Группа	Длина периода (сутки)		
	ГП самцы К	7	4,7
ГП самцы ЭМЭ	7	3,5	отсутствуют
ЭЛ самцы К	7	4,7	2 – 2,8 (слабо выражены)
ЭЛ самцы ЭМЭ	7	3,5	отсутствуют

Таблица 2

Результаты анализа Фурье для крыс-самок

Группа	Длина периода (сутки)		
	ГП самки К	7	3,8
ГП самки ЭМЭ	7	3,5 (слабо выражены)	отсутствуют
ЭЛ самки К	7	4	2 – 2,8 (слабо выражены)
ЭЛ самки ЭМЭ	7	3,5 (слабо выражены)	отсутствуют

В результате настоящего исследования было выяснено, что в условиях четырнадцатидневного умеренного снижения электромагнитного фона существенно изменяется временная организация болевой чувствительности крыс обоих полов. В результате болевая чувствительность экспериментальных животных демонстрирует две ярко выраженные фазы: первоначально – гиперальгезия, затем – гипоальгезия.

Следовательно, гипомангнитная среда оказывает влияние не только на уровень болевой чувствительности, но и на ее ритмологическую составляющую.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Болевая чувствительность, как крыс-самцов, так и крыс-самок в условиях четырнадцатидневного умеренного ЭМЭ демонстрирует в первую неделю фазу гиперальгезии, а на вторую – гипоальгезии; без значимых гендерных различий. Следовательно, электромагнитная среда является важным фактором, влияющим на систему ноцицепции.
2. В условиях умеренного ЭМЭ у крыс обоих полов исчезли ритмы длительностью 2 – 2,8 суток, гендерно зависимо перестраивались и подавлялись ритмы 3 – 5 суток и не подвергся изменению семидневный период.
3. У крыс обоих полов спектр средних ритмов длительностью около 4 – 4,7 суток заменялся на 3,5 суток. Однако, у крыс-самок в условиях ЭМЭ наблюдалось не только сокращение, но и заметное угнетение выраженности этого спектра.
4. В условиях ЭМЭ биоритмологические характеристики болевой чувствительности крыс обоих полов заметно перестраивались, что еще раз демонстрирует существенное значение геомагнитного фона в организации временного профиля биологических систем.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках инициативной части государственного задания № 6.5452.2017/8.9 Минобрнауки России в сфере научной деятельности темы «Временная организация физиологических систем человека и животных: феноменология и механизмы генерации и регуляции микро- и мезоритмов».

Работа выполнена на оборудовании КП ФГАОУ ВО КФУ им. В. И. Вернадского» «Экспериментальная физиология и биофизика».

Список литературы

1. Лебедева-Георгиевская К.Б. Влияние антиортостатического вывешивания на активность, адаптацию к новой среде, исследовательское поведение и обмен моноаминов в мозге мышей / К.Б. Лебедева-Георгиевская, М.И. Матвеева, А.С. Базян и др. // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2017. – Т. 51., № 1. – С. 39–45.
2. Ходанович М.Ю. Влияние долговременного снижения уровня геомагнитного поля на биоэлектрическую активность мозга лабораторных крыс / Ходанович М.Ю., Кривова Н.А., Гуль Е.В. и др. // Вестник Томского государственного университета. – 2011. – № 348. – С. 155–160.
3. Замощина Т.А. Влияние моделируемых гипомангнитных условий дальнего космического полета на ритмическую организацию поведенческой активности крыс / Замощина Т.А., Кривова Н.А., Ходанович М.Ю. и др. // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2012. – Т. 46, № 1. – С. 17–23.
4. Костюк А.С. Участие опиоидной системы в изменениях ноцицепции мышей при электромагнитном экранировании / А. С. Костюк // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. – 2014. – Т. 27 (66), № 2. – С. 113–122.
5. Темуриянц Н. А. Блокада опиоидных рецепторов налоксоном у моллюсков *Helix albescens* модифицирует инфрадианную ритмику ноцицепции при умеренном электромагнитном экранировании / Н.А. Темуриянц, Е.Н. Чуян, К.Н. Туманянц, А.С. Костюк, Н.С. Ярмолюк // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. – 2015. – Т. 1 (67), № 2. – С. 170–182.

6. Темурьянц Н.А. Электромагнитное экранирование изменяет поведение крыс / Н.А. Темурьянц, А. С. Костюк, К.Н. Туманянц // Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова. – 2015. – Т. 65, № 2. – С. 222.
7. Можаровская И.А. Биоритмологические особенности физической выносливости крыс-самцов в норме и условиях умеренного электромагнитного экранирования / Можаровская И.А., Хусаинов Д.Р. // В книге: Космос и биосфера Тезисы докладов XII Международной крымской конференции, посвященной 100-летию Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского, 120-летию А.Л. Чижевского, 100-летию В.А. Троицкой и 130-летию П.М. Нагорского. – 2017. – С. 121–125.
8. Темурьянц Н.А. Экзогенный мелатонин влияет на половое поведение крыс-самцов, находящихся в условиях электромагнитного экранирования // Темурьянц Н.А., Туманянц К.Н., Ярмолюк Н.С. и др. // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: Биология, химия. – 2014. – Т. 27, № 4 (66). – С. 75–83.
9. Темурьянц Н.А. Участие мелатонина в изменении ноцицепции моллюсков и мышей при длительном электромагнитном экранировании / Н.А. Темурьянц, А.С. Костюк, К.Н. Туманянц // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 2013. – Т. 99, № 11. – С. 1333–1341.
10. Ходанович М. Ю. Влияние длительного снижения уровня геомагнитного поля на агрессивность у лабораторных крыс и активацию опиоидергических нейронов / М.Ю. Ходанович // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2013. – №1 (21). – С. 146–169.
11. Kokhan V.S. Risk of defeats in the central nervous system during deep space missions / V.S. Kokhan, M. I. Matveeva, A.S. Shtemberg, A. Mukhametov // Neuroscience & Biobehavioral Reviews. – 2016. – Т. 71. – С. 621–632.
12. Wei Yiwen Modulation of resting state brain functional connectivity by exposure to acute fourth generation long term evolution electromagnetic field: An fMRI study / Yiwen Wei, Jiayi Yang, Zhiye Chen, Tongning Wu // Bioelectromagnetics. – 2019. – V.40, Issue1. – P. 42–51
13. Zhang X. Effects of hypomagnetic field on noradrenergic activities in the brainstem of golden hamster / X.Zhang, J.-F. Li, Q.-J. Wu, B. Li, J.-C. Jiang // Bioelectromagnetics. – 2007. – № 28. – P. 155–158.

THE EFFECT OF 14-DAY MODERATE ELECTROMAGNETIC SHIELDING ON THE DYNAMICS OF PAIN SENSITIVITY IN MALE AND FEMALE RATS

*Khusainov D. R.¹, **Temuryants N. A.¹**, Tumanyants K. N.¹, Korenyuk I. I.¹,
Khorolskaya K. D.²*

¹*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russia*

²*Municipal budgetary educational institution “K. A. Trenyov gymnasium № 11”, Simferopol, Crimea, Russia*

E-mail: gangliu@yandex.ru

Many authors have shown that electromagnetic shielding (EMS) causes noticeable changes in the functioning of living organisms: a shift in the phases of biological rhythms, a decrease in muscular efficiency rate, the suppression of sexual motivation, increase in aggression and a change in pain sensitivity. At the same time, from a fundamental point of view, the pain sensitivity of rats under EMS is poorly understood (not enough studied).

Experiments were carried out on 30 outbred male rats (200–240 g) and 30 female rats (animals 8 months old). All animals were a homogeneous sample with an average motor activity and level of pain sensitivity, and all the females at the beginning of the experiment were in the diestrus phase. The rats of each sex were divided into three groups: the control

(n = 10) and two EMS groups (n = 10 each of them). Rats of EMS groups were subjected to 14-day moderate EMS. The rats of the control groups during this fourteen-day period were not exposed to EMS and were kept in standard vivarium conditions. At the same time, all the other conditions of the housing of both groups: light, temperature, etc. created as identical as possible. The pain reactions of the rats were recorded in the classic pain models: “hot plate” and “electrostimulation”. In the hot plate test the latent period of the pain response of animals at a plate temperature of 55°C was recorded, in the electrostimulation – pain threshold in volts.

As a result of the study, it was found that the pain sensitivity of both male and female rats under conditions of a fourteen-day moderate EMS exhibits a hyperalgesia phase in the first week, and hypoalgesia in the second week without significant gender differences. Fourier analysis showed that under the conditions of EMS the biorhythmological characteristics of pain sensitivity in rats of both sexes were noticeably rearranged. Thus, short periods with a length of 2–3 days (completely disappear) turned out to be most sensitive to its effects, to a lesser extent, average periods of 3–5 days (rearranged) and the seven-day period did not change.

Keywords: pain sensitivity, shielding, rats, period

References

1. Lebedev-St. George K.B., Matveeva M. I., Bazan A. S., [et. al.] Influence of antiorthostatic suspension on the activity, adaptation to the new environment, exploratory behavior and monoamine metabolism in brains of mice, *Aerospace and environmental medicine*, **51** (1), 39 (2017).
2. Khodanovich M.Yu., Krivova N.A. Gul E.V. [et. al.] The effect of long-term decrease in the level of the geomagnetic field on the bioelectric activity of the brain of laboratory rats, *Bulletin of Tomsk state University*, **348**, 155 (2011).
3. Samoshina T.A., Krivova N.A. Khodanovich M.Yu. [et. al.] The influence of the simulated hypomagnetic conditions of long-range space flight on the rhythmic organization of the behavioral activity of rats, *Aerospace and environmental medicine*, **46** (1), 17 (2012).
4. Kostyuk A.S. Involvement of opioid system in the changes of nociception of mice in electromagnetic shielding, *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsionalnogo universiteta im. V. I. Vernadskogo. Seriya: «Biologiya, khimiya»*, **27** (2), 113 (2014).
5. Temuryants N.A., Chuyan E.N., Tumanyants K.N., Kostyuk A.S., Yarmolyuk N.S. The blockade of the opioid receptors with naloxone in the helix albescens modifies the infra-Diane nociception in moderate electromagnetic shielding, *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsionalnogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Seriya: «Biologiya, khimiya»*, **1** (2), 170 (2015).
6. Temuryants N.A., Kostyuk A.S., Tumanyants K.N. Electromagnetic shielding modifies the behavior of rats, *Journal of higher nervous activity them. I. P. Pavlov*, **65** (2), 222 (2015).
7. Mozharovskiy I.A., Khusainov D.R. Biorhythmic features of physical endurance of rats in norm and temperate electromagnetic shielding, *In: the Cosmos and the biosphere abstracts of the XII International Crimean conference dedicated to the 100th anniversary of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky, the 120th anniversary of A. L. Chizhevsky, the 100th anniversary of V. A. Troitskaya, and the 130th anniversary of the P. M. Nagorskiy*, 121 (2017).
8. Temuryants N. A. Tumanyants K. N., Yarmolyuk N. S. [et al.] Exogenous melatonin affects the sexual behavior of male rats under electromagnetic shielding, *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsionalnogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Seriya: «Biologiya, khimiya»*, **27** (4), 75 (2014).
9. Temuryants N.A., Kostyuk A.S., Tumanyants K. N. Involvement of melatonin in changing nociception mollusks and mice with prolonged electromagnetic shielding, *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal im. I.M. Sechenova*, **99** (11), 1333 (2013).

10. Khodanovich M.Yu. Effect of long-term reduction in the level of the geomagnetic field on aggression in laboratory rats and the activation of neurons opioidergic, *Bulletin of the Tomsk state University. Biology*, **1** (21), 146 (2013).
11. Kokhan V.S., Matveeva M.I., Shtemberg A.S., Mukhametov A. Risk of defeats in the central nervous system during deep space missions, *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, **71**, 621 (2016).
12. Wei Yiwen, Yang Jiayi, Chen Zhiye, Wu Tongning Modulation of resting state brain functional connectivity by exposure to acute fourth generation long term evolution electromagnetic field: An fMRI study, *Bioelectromagnetics*, **40** (1), 42 (2019).
13. Zhang X., Li J.-F., Wu Q.-J., Li B., Jiang J.-C. Effects of hypomagnetic field on noradrenergic activities in the brainstem of golden hamster, *Bioelectromagnetics*, **28**, 155 (2007).