

УДК 612.014.42:612.8.02:559.323.41

ПОВЕДЕНИЕ КРЫС ПРИ УМЕРЕННОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ЭКРАНИРОВАНИИ

¹Туманянц К.Н., ¹Чуян Е.Н., ¹Хусаинов Д.Р., ²Костюк А.С.,
¹Ярмолюк Н.С., ¹Черетаев И.В., ¹Чайка А.В.

¹Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского,
Симферополь, e-mail: timur328@gmail.com;

²Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, e-mail: alexkostyuk@mail.ru

Установлено, что пребывание крыс в условиях умеренного электромагнитного экранирования 19 часов в сутки в течение 10 суток приводит к увеличению внутривидовой и межвидовой агрессивности животных. В тесте «открытое поле» изменений поведенческой реакции крыс, находившихся в экранирующей камере, отмечено не было.

Ключевые слова: электромагнитное экранирование, поведение, внутривидовая агрессивность, межвидовая агрессивность, тест открытое поле, крысы

BEHAVIOR OF RATS UNDER INFLUENCE OF LONG-TERM ELECTROMAGNETIC SHIELDING

¹Tumanyants K.N., ¹Chuyan E.N., ¹Khusainov D.R., ²Kostyuk A.S.,
¹Yarmolyuk N.S., ¹Cheretaev I.V., ¹Chajka A.V.

¹V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Republic of Crimea, Simferopol,
e-mail: timur328@gmail.com;

²Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kiev, e-mail: alexkostyuk@mail.ru

It has been found that long-term electromagnetic shielding (19 hours per day for 10 days) leads to an increase in inter- and interspecies aggressiveness's. On the other hand animals kept under the open field conditions do not show significant deviations from their normal behavior. Therefore, one could conclude that moderate electromagnetic shielding causes a change of aggressive behavior in rats.

Keywords: electromagnetic shielding, open field test, behavior, interspecific aggression, rats

Изучение феноменологии и механизмов действия ослабленного геомагнитного поля (ГМП), вызванного электромагнитным экранированием (ЭМЭ), позволило установить, что одновременное даже умеренное снижение интенсивности постоянной и переменной его компонент вызывают существенные изменения в состоянии физиологических систем животных [4, 5, 7]. Для дальнейшего развития этих представлений необходимо продолжить исследования феноменологии ЭМЭ и механизмов его действия на организменном уровне.

Адекватной характеристикой целостных реакций на любое воздействие, в том числе и ЭМЭ, является изменения поведения, которое играет важную роль в адаптации организма и рассматривается как интегральный показатель ответа на любое воздействие. Ранее нами было показано, что в условиях ЭМЭ снижается половая мотивация, развивается депрессивноподобное поведение крыс.

Целью настоящего исследования явилось исследование особенности агрессивного поведения, а также поведения крыс в открытом поле в условиях умеренного ЭМЭ.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены на 60 белых беспородных крысах-самцах массой 190 ± 10 г с соблюдением принципов биоэтики в соответствии с международными принципами Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или других научных целей.

Для экспериментов отбирали крыс одинакового возраста, характеризующихся средней двигательной активностью и низкой эмоциональностью в тесте открытого поля. Такой отбор позволил относительно быстро выделить крыс с одинаковыми конституциональными особенностями, одинаково реагирующих на действие различных раздражителей.

Отобранных крыс делили на две группы. Крыс каждой группы помещали в ящики размером $790 \times 450 \times 390$ мм из непрозрачного пластика, крышки и стенки которых имели вентиляционные отверстия. Обеспечивался свободный доступ животных к стандартному для грызунов корму и воде. Контейнеры с животными экспериментальной группы ($n = 10$) помещались в экранирующую камеру ежедневно с 15.00 до 10.00 ч следующего дня, т.е. они находились в условиях ЭМЭ 19 ч в сутки в течение 10 дней.

Ящики с животными контрольной группы ($n = 10$) находились за пределами камеры в той же комнате. Для животных обеих групп соблюдался одинаковый режим температуры ($23 \pm 1^\circ\text{C}$), влажности, освещенности, шума. Ежедневно с 10.00 до 15.00 ч

животных обеих групп извлекали из ящиков для тестирования и уборки клеток.

Ослабление фонового электромагнитного поля (ЭМП) достигалось применением экранирующей камеры размером 2×3×2 м, изготовленной из двухслойного железа «Динамо». Коэффициент экранирования V_{DC} , измеренный с помощью феррозондового магнитометра, составляет для вертикальной составляющей 4,4, для горизонтальной – 20. Коэффициент экранирования камеры на частотах 50 и 150 Гц порядка трех. В области частот от 150 Гц до 100 кГц происходит слабое экранирование, тогда как на частотах больше 1 МГц имело место полное экранирование. Устройство камеры описано ранее [4, 5].

Освещенность внутри и вне камеры, а также внутри ящиков измерялась с помощью люксметра ТКЛ-ПКМ (модель 63). Внутри ящиков освещенность колебалась от 0,1 до 0,2 лк, внутри экранирующей камеры и в лаборатории, где содержались крысы контрольной группы, освещенность была такого же уровня, а в лаборатории, в которой проводили тестирование и уборку клеток, колебалась от 480 до 500 лк.

Исследования проведены трехкратно с интервалом в 2 месяца с соблюдением принципов двойного слепого эксперимента.

Для изучения агрессивности, вызванной фрустрацией, был использован тест «вызванная агрессия» для 2-х особей [1].

Определялась также межвидовая агрессивность крыс в тесте «реакция на мышь». Для этого в течение 3-х минут определяли контакты каждой крысы с интактной мышью.

Реакцию крысы на мышь оценивали по следующей 5-бальной шкале: 0 баллов – нет реакции; 1 балл – крыса обнюхивает мышь; 2 балла – крыса вылизывает и активно обнюхивает мышь; 3 балла – крыса носит мышь в зубах, покусывает ее или активно преследует; 4 балла – крыса преследует мышь и убивает с латентным периодом более 10 с; 5 баллов – крыса бросается на мышь и убивает ее с латентным периодом менее 10 с.

Открытое поле представляло собой квадратную арену площадью 1 м² с бортиками высотой 40 см и полом, разделенным на квадраты. Регистрировали горизонтальную и вертикальную двигательную активность, а также число болюсов и уринаций в каждый день 10-тисуточного эксперимента.

Во всех случаях соблюдали следующую последовательность проведения тестов: сначала проводили тест открытое поле, затем реакцию на мышь и тест вызванной агрессии, после чего крыс возвращали в клетку. Эффекты ЭМЭ оценивали по коэффициенту эффективности (КЭ, %), учитывающему изменения изучаемых показателей по отношению к данным контрольной группы.

Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета специализированных программ «MedStat». Вычисляли среднее значение каждого из исследованных поведенческих показателей и ошибку средней ($M \pm S.E.$). Для оценки значимости различий исследуемых показателей применялся однофакторный дисперсионный анализ. Сравнение средних величин различных показателей проводили по t-критерию Стьюдента, целесообразность применения которого была показана проверкой полученных данных на закон нормального распределения. Различия между группами, а также исходными данными каждой группы и значениями исследуемых показателей в каждый последующий день эксперимента считали значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Как показали проведенные исследования, у животных, находившихся в условиях ЭМЭ, значительно увеличивается внутривидовая и межвидовая агрессивность. Если у крыс контрольной группы на протяжении всего 10-тисуточного эксперимента порог внутривидовой агрессивности изменялся в очень небольших пределах (от 54 до 62 В), то пребывание животных в экранирующей камере на 3 сутки приводило к резкому снижению этого показателя до 34 В, т.е. на 40% относительно данных контрольной группы животных, КЭ_{эмэ} снижался до –39% ($p < 0,01$). В последующие сроки эксперимента порог агрессивности несколько возрастал и достигал на 7 сутки 54 В, в дальнейшем вновь снижался, достигая на 10 сутки 40 В (КЭ_{эмэ} = –25%) ($p < 0,01$) (рис. 1).

Таким образом, в условиях ЭМЭ внутривидовая агрессивность существенно возросла, причем минимальное значение порога зафиксировано на 3 сутки, а повторное снижение имело место на 10 сутки эксперимента.

Результаты проведенного исследования показали, что ЭМЭ приводит к возрастанию и межвидовой агрессии. Так, крысы контрольной группы на протяжении всего 10-тидневного эксперимента демонстрировали либо полное отсутствие реакции на мышь (0 баллов), либо обнюхивание животного (1 балл). Пребывание животных в экранирующей камере приводило к возрастанию реакции на мышь. Уже на 2 сутки пребывания животных в условиях ЭМЭ агрессивность увеличивалась, а на 4 сутки экранирование приводило к ее возрастанию до $1,70 \pm 0,16$ балла. На 5–6 сутки наблюдения этот показатель несколько снижался (1,33 и 0,99 баллов соответственно), а на 7–10 сутки снова возрастал, достигая максимума на 7 день (рис 2).

Таким образом, у крыс, помещенных в экранирующую камеру, во все дни десятидневного эксперимента межвидовая агрессивность возрастает. Эти данные согласуются с результатами других работ, в которых изучали влияние ослабленного ГМП на этот компонент оборонительного поведения животных.

Так, показано, что 25-суточное воздействие гипогеомагнитных условий дальнего космического полета приводит к увеличению внутривидовой агрессии в ночное время, снижению адаптивных возможностей циркадианной системы крыс к сезонному дрейфу продолжительности светлого промежутка суток и развитию внешнего и внутреннего десинхроноза [3].

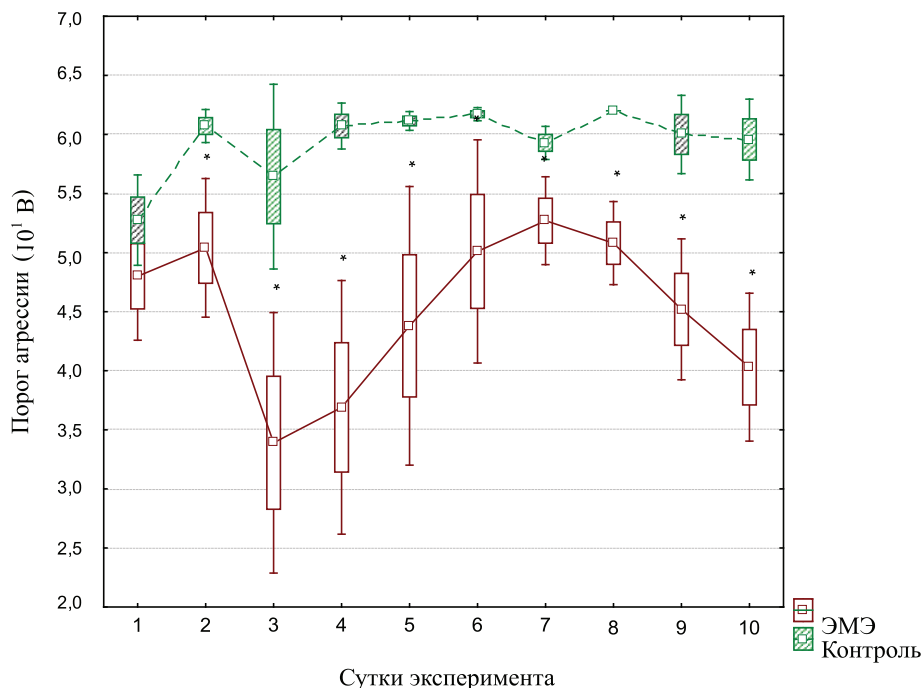


Рис. 1. Динамика порога внутривидовой агрессии (В) у крыс самцов при умеренном электромагнитном экранировании.

* $p < 0,05$ – уровень статистически значимых различий между значениями порога агрессивности у крыс контрольной группы и животных, подвергнутых действию ЭМЭ

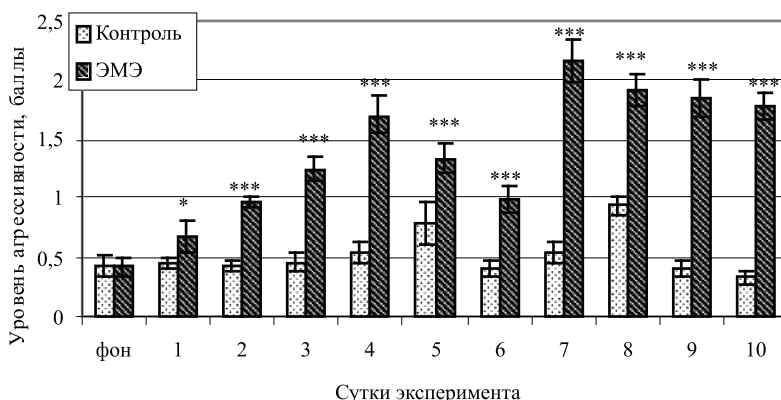


Рис. 2. Динамика межвидовой агрессивности у интактных крыс и животных, находящихся в условиях ЭМЭ:

* – уровень статистически значимых различий между значениями агрессивности у крыс контрольной группы и крыс, подвергающихся действию ЭМЭ – * $p < 0,05$; *** – $p < 0,001$

Пребывание крыс в многослойной пермаллоевой камере (18 часов ежедневного в течение 21 суток), также приводило к возрастанию межвидовой агрессивности крыс, причем по динамике этого показателя описаны индивидуальные различия в реакции животных на гипомагнитную среду [2].

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что пребывание животных в ЭМЭ не приводит к существенным изменениям их поведения в те-

сте открытого поля по сравнению с данными контрольных животных (рис. 3). Так же как и у контрольных животных, у крыс экспериментальной группы в этом тесте наблюдается одинаковое прогрессирующее с каждым днем снижение вертикальной и горизонтальной двигательной активности, к концу эксперимента значения двигательной активности в тесте открытого поля у экспериментальной и контрольной группы крыс достигают практически одних и тех же значений (рис. 3).

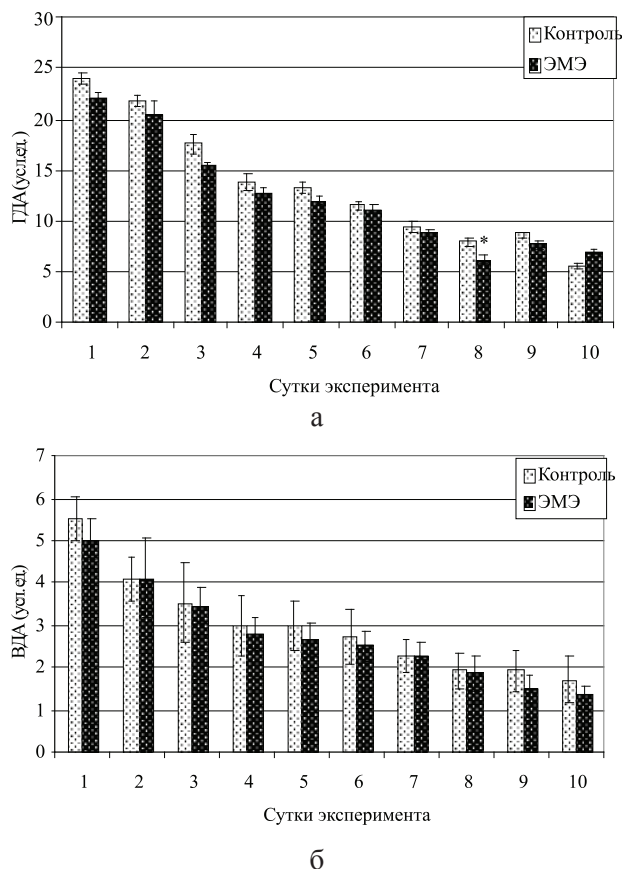


Рис. 3. Динамика горизонтальной (А) и вертикальной (Б) двигательной активности ($M \pm SE$) у крыс в тесте «открытое поле» в контрольной группе и у животных, содержащихся в условиях ЭМЭ

Таким образом, в проведенных нами экспериментах так же, как в работе [9], не выявлено возрастания горизонтальной и вертикальной двигательной активности крыс, находящихся в условиях ЭМЭ, в тесте открытого поля, свидетельствующего об увеличении возбудимости ЦНС и склонности возбудительного процесса к инертному течению, характерных для стресс-реакций. Наоборот, имело место их прогрессирующее снижение с увеличением сроков наблюдения, т.е. угашение.

Кроме того, согласно данным литературы, изменения поведения в тесте открытого поля, у крыс, находящихся в условиях ЭМЭ не сопровождаются активацией стресс-реализующей гипоталамо-гипофизарной системы, а также экспрессией генов, ассоциируемых со стрессом [9]. Таким образом, эти данные позволяют нам считать, что в условиях ЭМЭ у крыс не развивается стресс-реакция.

Механизмы обнаруженных изменений поведения изучаются. Так, известна тесная взаимосвязь между агрессивным поведени-

ем и активностью опиоидной системы [10], а также утверждение А.Н. Frey [8] о вовлечении этой системы в реакцию организма на действие электромагнитных факторов. Показано, что снижение числа опиоидергических клеток под влиянием гипомангнитной среды, наиболее выраженное в структурах таламуса и сером околотоводопроводном веществе, а также уменьшение числа активных, т.е. экспрессирующих веществ, опиоидергических нейронов [6].

Изменения активности опиоидной системы следует расценить как причину модификации болевой чувствительности животных, что может быть причиной изменения агрессивности животных.

Ранее нами [4] также были обнаружены 3-фазные изменения ноцицепции моллюсков и мышей при длительном ЭМЭ, которые сопровождаются фазными изменениями активности опиоидной системы, определяемыми по влиянию налоксона на параметры реакции избегания термического стимула: I фаза – торможение ее активации, в силу чего прогрессирует гипералгезия,

II фаза – возрастание ее активности, результатом чего является полное нивелирование антиноцицептивного эффекта ЭМЭ налоксоном, III фаза – прогрессирующее уменьшение активности опиоидной системы, когда налоксон только редуцирует антиноцицептивный эффект, что, по-видимому, связано с развитием ее толерантности к действию экранирования.

Такие фазные изменения активности опиоидной системы могут быть обусловлены соответствующими перестройками секреции мелатонина, которая меняется под влиянием электромагнитных факторов [4]. При начальном их угнетении секреции мелатонина снижается чувствительность опиоидных рецепторов, уменьшается продукция β-эндорфина. Во II фазе, по-видимому, продукция мелатонина усиливается, активируются M1 и M2 рецепторы, а также опиоидная система, что и обуславливает развитие антиноцицептивного эффекта, снижение агрессивности. Дальнейшее исследование позволит выявить участие и других нейрохимических систем в изменении поведения животных в условиях ЭМЭ.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках базовой части государственного задания № 2015/701 Минобрнауки России в сфере научной деятельности темы «Обоснование применения оздоровительно-превентивных технологий на основе действия низкоинтенсивных факторов различной природы».

Список литературы

1. Буреш Я., Бурешова О., Хьюстон Д. П. Агрессия, вызванная болью // Методики и основные эксперименты по изучению мозга и поведения. – М.: Высшая школа, 1991. – С. 130–131.

2. Девидин Д.В., Пальчикова Н.А., Трофимов А.В., Селятицкая В.Г., Казначеев В.П. Динамика физиологических характеристик и эмоционально-поведенческой реактивности животных в преформированной геомагнитной среде // Бюлл. СО РАМН. – 2005. – № 3. – С. 71–77.

3. Замошина Т.А., Кривова Н.А., Ходанович М.Ю., Труханов К.А., Тухватулин Р.Т., Заева О.Б., Зеленская А.Е., Гуль Е.В. Влияние моделируемых гипомагнитных условий дальнего космического полета на ритмическую организацию поведенческой активности крыс // Авиакосм. и экол. медицина. – 2012. – Т. 46, № 1. – С. 17–23.

4. Темуриянц Н.А., Костюк А.С., Туманянц К.Н. Участие мелатонина в изменении ноцицепции моллюсков и мышей при длительном электромагнитном экранировании // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. – 2013. – Т. 99, № 11. – С. 1333–1341.

5. Темуриянц Н.А., Костюк А.С., Туманянц К.Н. Динамика и инфранианная ритмика температурной/болевого чувствительности моллюска *Helix albescens* в условиях воздействия электромагнитных полей // Нейрофизиология. – 2010. – Т. 42, № 4. – С. 329–339.

6. Ходанович М.Ю., Гуль Е.В., Зеленская А.Е., Пан Э.С., Кривова Н.А. Влияние долговременного ослабления геомагнитного поля на агрессивность лабораторных крыс и активацию опиоидергических нейронов // Вест. Томского государственного университета. Биология. – 2013. – Т. 1 (21). – С. 146–160.

7. Эффекты слабых электромагнитных воздействий у беспозвоночных животных (регенерация планарий, ноцицепция моллюсков) / Н.А. Темуриянц, Е.Н. Чуян, А.С. Костюк и др. – Симферополь: ДИАИПИ, 2012. – 303 с.

8. Frey A.H. Electromagnetic field interactions with biological systems // FASEB J. 7. – 1993. – № 2. – P. 272–281.

9. Kitaoka K. Chronic exposure to an extremely low-frequency magnetic field induces depression-like behavior and corticosterone secretion without enhancement of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis in mice / K. Kitaoka, M. Kitamura, S. Aoi, N. Shimizu, K. Yoshizaki // Bioelectromagnetics. – 2013. – Vol. 34. – P. 43–51.

10. Tordiman S. Aggression and the three opioid families (endorphins, enkephalins, and dynorphins) in mice / S. Tordiman, M. Carlier, D. Cohen et al / Behav Genet. – 2003. – Vol. 33, Iss. 5. – P. 529–536.