

УДК 537.622.4+544.163.3-022.54:57

ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ УМЕРЕННОГО ФЕРРОМАГНИТНОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ ОТ СВОЙСТВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Темурьянц Н. А., Туманянц К. Н., Чуюн Е. Н., Ярмолюк Н. С.

*Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь, Республика Крым, Россия
E-mail: timur328@gmail.com*

Эффективность ослабления естественного электромагнитного фона Земли применением ферромагнитного экрана зависит от свойств биологического объекта. При регистрации термочувствительности наземных моллюсков и мышей в тесте «горячая пластика» были выявлены существенные различия в степени выраженности ноцицептивного эффекта животных: у моллюсков она гораздо выше и продолжительнее, чем у мышей. Кроме того, определена сезонная зависимость эффекта. Ферромагнитное экранирование приводит также к угнетению полового поведения крыс, более выраженного у самцов, чем у самок. Степень его снижения у самок зависит от фазы эстрального цикла животного.

Ключевые слова: ферромагнитное экранирование, ноцицепция, половое поведение, биологические объекты, моллюски, мыши, крысы.

ВВЕДЕНИЕ

Для изучения механизмов реализации солнечно-земных связей перспективны исследования биологической эффективности гипомагнитного поля (ГМП), которое может быть достигнуто как экранированием различными материалами, так компенсацией с помощью колец Гельмгольца. Но если при ферромагнитном (ФМЭ) и электромагнитном экранировании (ЭМЭ) уменьшается статическое магнитное и переменное магнитное поле (ПеМП) любых частотных диапазонов, то кольца Гельмгольца ослабляют только постоянную составляющую магнитного поля (МП) Земли. К сожалению, во многих исследованиях результаты этих двух разных видов воздействий обсуждаются вместе. Например, в последнем обширном обзоре, посвященном биологическим эффектам ГМП, результаты исследования эффектов этих двух разных воздействий и разной продолжительности сведены в одну таблицу [1]. Неслучайно при таком подходе многие авторы отмечают низкую воспроизводимость эффектов ГМП [1]. Причиной невоспроизводимости результатов таких исследований может быть их зависимость не только от параметров воздействующего фактора, но и от свойств биологических объектов, используемых в экспериментах. Анализ результатов проводимых нами многолетних исследований эффектов умеренного ФМЭ позволил бы выделить свойства биологических объектов, которые влияют на результаты экспериментов [2].

Поэтому целью исследования явился анализ многолетних исследований эффективности ГМП, в которых использованы разнообразные животные (моллюски, мыши, белые крысы), с целью выделить зависимость эффективности умеренного ФМЭ от свойств биологических объектов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проведены на беспозвоночных наземных моллюсках *Helix albescens* и позвоночных лабораторных животных (беспородные мыши, белые крысы) с соблюдением принципов биоэтики и Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или других научных целей, в различные сезоны года (Directive 2010/63/EU, Страсбург, 2010) [3].

Изучение влияния низкоинтенсивных электромагнитных факторов на ноцицепцию проведено на моллюсках *Helix albescens*, широко распространенных на территории Крымского полуострова.

Как наземные [4, 5], так и морские моллюски [6] используются для изучения не только феноменологии, но и механизмов действия различных электромагнитных факторов.

Сбор моллюсков для эксперимента производился в поле, вдали от предприятий, линий электропередач. Моллюсков содержали в стеклянных террариумах при температуре $22\pm 2^\circ\text{C}$, высокой влажности, продолжительности фаз «свет – темнота» (L:D) 1:23 ч и избытке пищи (морковь, капуста).

В эксперименте использовались половозрелые особи, одинаковые по массе и размерам. До эксперимента моллюски не менее одной недели находились в активном состоянии.

Для определения параметров ноцицепции в экспериментах использовались также лабораторные мыши-самцы весом 10 ± 2 г, полученные из Медицинской академии Крымского федерального университета.

Исследования проводились также на беспородных крысах-самцах и самках массой 190 ± 10 г. Для экспериментов отбирали крыс одинакового возраста, характеризующихся средней двигательной активностью (вертикальная двигательная активность 5–7 усл. ед. – число подъемов на задние лапы, горизонтальная двигательная активность 24–28 усл. ед. – число пересечений квадратов) и низкой эмоциональностью (0–1 усл. ед. – число болюсов и уринаций в тесте «открытое поле»). Такой отбор позволил относительно быстро выделить крыс с одинаковыми конституциональными особенностями [7], одинаково реагирующих на действие различных раздражителей.

У самок делали мазки вагинального содержимого, обрабатывали их согласно общепринятой методике для определения фазы эстрального цикла [8]. После такого исследования были выделены группы крыс, находящиеся в различных фазах эстрального цикла.

Экранирующая камера, использованная в настоящем исследовании, представляла собой комнату размером $2\times 3\times 2$ м, изготовленную из двухслойного железа «Динамо». Коэффициент экранирования $V_{\text{ДС}}$, измеренный с помощью феррозондового магнитометра, составляет для вертикальной составляющей 4,4, для

горизонтальной – 20. Измерялась также спектральная плотность магнитного шума в камере как в области ультранизких (от 2×10^{-4} Гц до 0,2 Гц), так и в области радиочастот (от 15 Гц до 100 кГц). В области сверхнизких частот измерения производились с помощью феррозондового магнитометра в паре со спектроанализатором, в области радиочастот – индукционным методом. 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 $10 \text{ нТл/Гц}^{0.5}$. 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.

Освещенность внутри и вне камеры, а также внутри ящиков с животными 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 животные контрольной группы, освещенность была такого же уровня, а в лаборатории, в которой проводили тестирование и уборку клеток и террариумов, колебалась от 480 до 500 лк.

О состоянии термонцицептивной чувствительности животных судили по порогу (П) и латентному периоду (ЛП) реакции избегания в тесте «горячая пластинка». Для изучения ноцицепции у моллюсков в нашем исследовании использовалась стеклянная пластинка, на нижнюю поверхность которой с применением метода напыления в вакууме был нанесен проводящий слой из нитрида титана [9], что позволяло при пропускании через него тока легко изменять температуру пластинки.

В экспериментах на мышах использовалась металлическая пластинка, нагреваемая электрическим током до 45°C . Мышь помещали на пластинку и с помощью секундомера регистрировали латентный период (ЛП) – время, через которое появлялись первые болевые реакции (отдергивание и лизание конечностей) [10]. В этом тесте животному предъявляли по три попытки (через три минуты друг за другом), затем вычисляли среднее арифметическое из трех измерений.

Для реализации поставленной цели было проведено несколько серий экспериментов на моллюсках и мышах. В каждой серии животных делили на две равноценные группы. Животные первой (контрольной) группы находились в стандартных лабораторных условиях. Особей второй группы ежедневно подвергали действию ФМЭ по 23 часа в сутки. Животные контрольной группы находились за пределами камеры в лаборатории в затемненных условиях, второй группы содержались в экранирующей камере. Регистрацию показателей реакции избегания проводили у каждого животного ежедневно на свету до нормализации параметров ноцицепции (21 сутки у моллюсков и 10 суток у мышей). Кроме того, была предпринята попытка определения выраженной зависимости параметров ноцицепции моллюсков от сезона года.

Для оценки влияния ФМЭ на половое поведение крыс использовались клетки с тремя отсеками, разделенными решетчатыми перегородками, позволяющими животным, помещенным в них, осуществлять только визуальный контакт. В течение пяти минут регистрировали число подходов самца (самки), помещенных в

средний отсек, к отсеку, в котором сидела самка (самец), а также время (с) их пребывания около перегородки, а также около перегородки с пустым отсеком.

Отобранных крыс делили на 2 разноценные группы по 10 животных в каждой: контрольные животные и крысы, подвергавшиеся ФМЭ. Крысы обеих выделенных групп были помещены в ящики размером 790×450×390 мм из непрозрачного пластика с вентиляционными отверстиями в крышке и стенках. Обеспечивался свободный доступ животных к стандартному для грызунов корму и воде. Контейнер с животными экспериментальной группы помещался в экранирующую камеру ежедневно с 15⁰⁰ до 10⁰⁰ ч следующего дня, т. е. они находились в условиях ФМЭ 19 часов в сутки в течение 10 дней. Ящики с животными контрольной группы находились за пределами камеры в той же комнате. Ежедневно в 10⁰⁰–15⁰⁰ ч всех животных извлекали из ящиков для тестирования и уборки клеток.

Действие ФМЭ на параметры термонотицепции оценивалось по коэффициенту эффективности (КЭ), учитывающему изменения изучаемых показателей по отношению к данным контрольной группы [11].

Статистическую обработку данных проводили с помощью пакета специализированных программ «MedStat». Вычисляли среднее значение и ошибку среднего ($\bar{x} \pm S \bar{x}$). Сравнение средних величин различных показателей проводили по t-критерию Стьюдента, целесообразность применения которого была показана проверкой полученных данных на закон нормального распределения. Для оценки достоверности различий исследуемых показателей применялся однофакторный дисперсионный анализ. Различия между группами считали значимыми при $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования показали, что выраженность изменений параметров ноцицепции у моллюсков при ФМЭ зависит от исходного состояния животных, определяемого сезоном года.

Так, наименее выраженные изменения ноцицепции в условиях слабого ФМЭ отмечены летом и зимой. В эти сезоны $KЭ_{фмэ}$ снижался менее всего: лишь до $-9,17 \pm 4,1$ % ($p < 0,01$) на четвертые сутки летом и до $-7,95 \pm 2,26$ % ($p < 0,001$) на седьмой день зимой против $-14,90 \pm 2,03$ % ($p < 0,001$) и $-15,98 \pm 2,76$ % ($p < 0,001$) весной и осенью соответственно, т. е. на двое суток позже, чем в весенний и осенний сезоны. Вместе с тем и II фаза – антиноцицептивная – была выражена гораздо меньше; $KЭ_{фмэ}$ возрастал летом только до $5,67 \pm 3,10$ % ($p < 0,01$), а зимой до $5,85 \pm 2,37$ % ($p < 0,001$), что было почти в 2 раза меньше, чем весной и осенью (рис. 1).

Параметры ноцицепции моллюсков, находившихся в условиях ФМЭ осенью и весной, отличались продолжительностью антиноцицептивной фазы: осенью ее длительность была на трое суток меньше, а $KЭ_{фмэ}$ был ниже на 11,35 % ($p < 0,05$), чем в весенний сезон.

ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ УМЕРЕННОГО ...

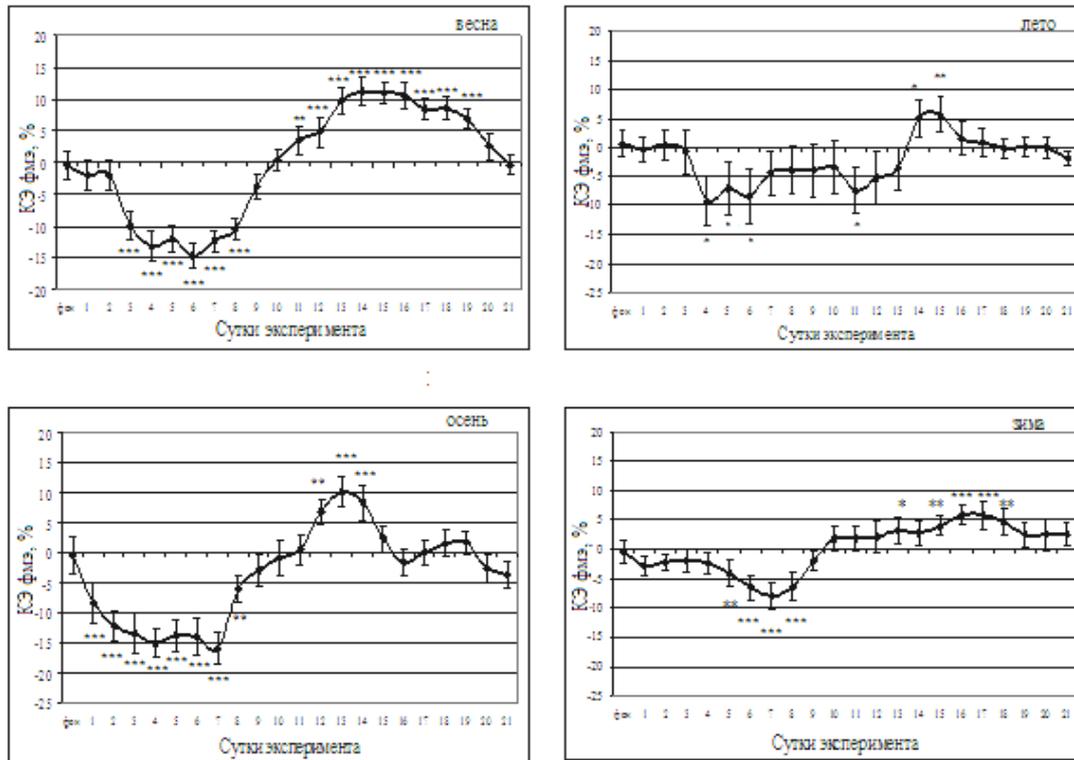


Рис. 1. Динамика ($\bar{x} \pm S\bar{x}$) коэффициентов эффективности (%) ферромагнитного экранирования в различные сезоны года.

Примечание: * – достоверность различий между данными у интактных моллюсков и животных, подвергнутых экранированию: * – ($p < 0,05$), ** – ($p < 0,01$), *** – ($p < 0,001$).

Таким образом, изменения ноцицепции моллюсков при действии ослабленного МП носят фазный характер: первая фаза гипералгезии (первые-девятые сутки) сменяется стадией снижения ноцицепции, т. е. развитием антиноцицептивного эффекта, который достигает максимума на 13–17 сутки, а затем снижается до исходного уровня. Зимой эти изменения выражены меньше, чем в другие сезоны года. Так, стадия гипералгезии была выражена на 15,4 % меньше, чем летом, на 87,5 %, чем весной, и на 90,3 % меньше, чем осенью. Антиноцицептивный эффект, развивающийся при экранировании в весенний и осенний сезоны, превышал таковой зимнего на 94,5 и 72,4 % соответственно, однако, летом зарегистрирована менее выраженная гипоалгезия, на 3 %, чем зимой.

Полученные нами данные об изменении ноцицепции в условиях ФМЭ обнаружены и в исследованиях других авторов. Впервые DeI Seppia et al. (2000) [12] обнаружили, что кратковременное ЭМЭ (один-три часа), достигаемое помещением мышей в μ -бокс (коэффициент экранирования по статическому полю – около сотни), снижает стрессиндуцированную аналгезию. Эти эксперименты были воспроизведены E. Choleris et al. (2002) [13] при использовании экранирования не

только μ -металлом, но и другими материалами. Ими показано, что изменения ноцицепции при ЭМЭ, достигаемое μ -металлом, является хорошо воспроизводимым феноменом.

Подобные трехфазные изменения ноцицепции были нами обнаружены и у мышей при их пребывании в условиях ФМЭ, однако все стадии развивались в более короткие сроки, чем у моллюсков: увеличение чувствительности к термостимуляции, максимально выраженное на вторые сутки эксперимента ($KЭ = -19,37\%$), сменялось развитием антиноцицептивного эффекта ФМЭ, достигая пика на седьмые сутки ($KЭ = 25,08\%$), и далее стабилизацией изучаемых параметров на уровне исходных данных уже на 10 день наблюдения.

Следует отметить, что изменения ноцицепции при экранировании моллюсков не только развиваются более медленно, чем у мышей, но и гораздо менее выражены.

Результаты проведенного нами исследования, свидетельствующие о развитии трехфазных изменений ноцицептивной чувствительности моллюсков в условиях многодневного умеренного экранирования, согласуются с данными, полученными другими исследователями при более значительном ослаблении как постоянного, так и ПемП электромагнитным экраном. Однако при слабом экранировании продолжительность выделенных фаз изменения ноцицепции гораздо больше.

Таким образом, чувствительность животных к ФМЭ различна: у моллюсков она гораздо выше, чем у мышей, и у моллюсков изменения ноцицепции в условиях ФМЭ зависит от сезона года: наиболее ярко оно проявляется в весенний и осенний периоды.

Исследование полового поведения крыс в условиях ФМЭ выявило его зависимость от пола животных.

Уже после первых суток пребывания крыс в условиях ослабленного геомагнитного поля Земли отмечается значительное снижение времени пребывания самца у перегородки с отсеком, в котором сидела самка, а также числа подходов к ней. Наиболее выражено падение этих показателей на первые-вторые сутки эксперимента, когда время пребывания самца у перегородки с самкой снизилось до 42 и 33 % относительно данных интактных животных. На третьи – восьмые сутки эксперимента отмечается менее выраженное уменьшение этих показателей – на 30–40 % относительно данных контрольной группы крыс. В последующие сроки наблюдений отмечено усиление эффекта экранирования (рис. 2).

У самок контрольной группы уровень исследованных показателей в различные фазы эстрального цикла различается. Наименьшие значения количества их подходов к перегородке, а также длительность пребывания около нее регистрировались в фазу диэструса, максимальные – во время проэструса. Различия этих показателей в обозначенные фазы цикла достигали 30 % ($p < 0,01$).

У самок, находившихся в условиях ФМЭ, также регистрировалось снижение длительности их пребывания у перегородки с отсеком, в котором сидел самец, а также уменьшение числа подходов к ней. Степень снижения этих показателей зависела от фазы эстрального цикла и продолжительности ферромагнитной депривации. Наиболее значительно исследованные показатели снижались у крыс,

находившихся в фазе диэструса – на 28,5 % и 12,1 % соответственно относительно данных контрольной группы ($p \leq 0,01$) на четвертые сутки эксперимента. В дальнейшие сроки наблюдения оба исследованных показателя несколько возрастали, но не достигали исходного уровня. На 10 сутки, так же, как и у самцов, имело место усиление эффекта экранирования.

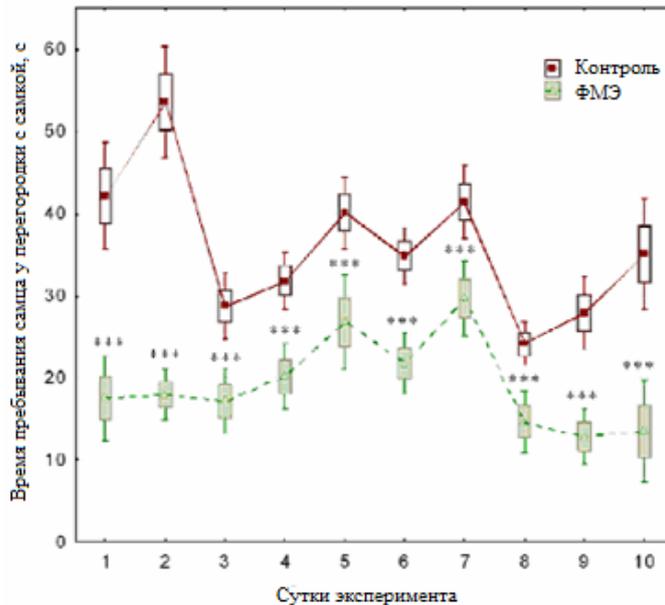


Рис. 2. Динамика полового поведения интактных крыс-самцов, а также животных, подвергшихся ферромагнитному экранированию.

Примечание: * – достоверные отличия данных при *** – $p < 0,001$ относительно контроля.

Наименее выражены изменения полового поведения при ФМЭ у самок, находящихся в фазе проэструса. У этих животных зарегистрировано снижение длительности пребывания у перегородки на 15,1 % и количества подходов к ней только на 6,5 % ($p \leq 0,01$). У животных этой подгруппы не обнаружено четкой закономерности в динамике исследованных показателей.

Таким образом, ФМЭ приводило к угнетению полового поведения крыс, более выраженному у самцов, чем у самок. Степень его снижения у самок зависит от фазы эстрального цикла животного: оно наиболее выражено у крыс, находящихся в фазе диэструса, наименее – в фазе проэструса. Наиболее выражен эффект экранирования на половое поведение на четвертые сутки.

Проведенными нами исследования существенно дополняют имеющиеся литературные сведения о зависимости биологической эффективности низкоинтенсивных электромагнитных факторов от свойств и состояния биологического объекта.

Так, было экспериментально доказано, что воздействие ПеМП в дневное время [14], а также в начале темновой фазы [15] не оказывает влияния на синтез мелатонина в эпифизе, но воздействие поля сверхнизкой частоты в середине и в конце темновой фазы приводит к угнетению синтеза гормона, наиболее ярко выраженное при экспозиции в конце темновой фазы.

Кроме того, имеются данные об изменении эффективности ПеМП в различные сезоны года: она возрастает весной и снижается в зимние месяцы [16]. Эти данные убедительно свидетельствуют об изменении магниточувствительности в течение суток, сезона, что обусловлено циркадианной и сезонной ритмикой функционального состояния организма. Подобная сезонная зависимость эффектов ослабленного геомагнитного поля на параметры термоноцицептивной чувствительности обнаружена и в наших исследованиях.

Таким образом, многочисленные исследования свидетельствуют о том, что биологическая эффективность ФМЭ существенно зависит от индивидуальных особенностей организма и от его исходного функционального состояния.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлена зависимость эффективности ослабленного ЭМП Земли, создаваемого ферромагнитным экраном, от свойств биологических объектов. Показана способность ФМЭ вызывать однотипные изменения ноцицепции у моллюсков и мышей, однако различные по степени выраженности и продолжительности этих изменений, а также приводить к угнетению половой поведения крыс в засисмости от пола животного в условиях ферромагнитной депривации.

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».

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-04-06054.

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

Список литературы

1. Binhi V. N. Biological effects of the hypomagnetic field: An analytical review of experiments and theories / V. N. Binhi, F. S. Prato // PLoS One. – 2017. – Vol. 12, Is. 6. – P. 1–51.
2. Эффекты слабых электромагнитных воздействий у беспозвоночных животных (регенерация планарий, ноцицепция моллюсков) / Н. А. Темурьянц, Е. Н. Чуян, А. С. Костюк [и др.] – Симферополь: ДИАЙПИ, 2012. – 303 с.
3. Европейская Конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях – Страсбург, 18 марта 1986 г., глава III, статья 6.
4. Prato F. S. Behavioural evidence that magnetic field effects in the land snail, *Cepaea nemoralis*, might not depend on magnetite or induced electric currents / F. S. Prato, M. Kavaliers, J. J. L. Carson // Bioelectromagnetic. – 1996. – Vol. 17. – P. 123–130.

5. Prato F. S. Light-dependent and -independent behavioural effects of extremely low frequency (ELF) magnetic fields in a land snail are consistent with a parametric resonance mechanism (PRM) / F. S. Prato, M. Kavaliers, A. P. Cullen [et al.] // *Bioelectromagnetics*. – 1997. – Vol. 18. – P. 284–291.
6. Lohmann K. J. Lunar-modulated geomagnetic orientation by a marine mollusk / K. J. Lohmann, A. O. D. Willows // *Science*. – 1987. – Vol. 235. – P. 331–334.
7. Маркель А. Л. К оценке основных характеристик поведения крыс в тесте «открытое поле» / А. Л. Маркель // *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова*. – 1981. – Т. 31, № 2. – С. 301–307.
8. Котельников А. В. Характеристика эстрального цикла белых крыс на разных этапах онтогенеза при введении витамина Е / А. В. Котельников, С. В. Котельникова // *Вестник Астраханского государственного технического университета*. – 2005. – № 3 (26). – С. 215–218.
9. Темур'янци Н. А., Вишневський В. Г., Костюк О. С., Макеев В. Б. Патент Україна №48094, Бюл. №5. 2010.
10. Василенко А. М. Корреляция болевой чувствительности и гуморального иммунного ответа у мышей при термораздражении / А. М. Василенко, О. Г. Яновский, О. В. Коптелов // *Бюлл. экспер. мед.* – 1995. – Т. 4. – С. 405–408.
11. Prato F. S. Extremely low frequency magnetic fields can either increase or decrease analgesia in the land snail depending on field and light conditions / F. S. Prato, M. Kavaliers, A. W. Thomas // *Bioelectromagnetics*. – 2000. – Vol. 21. – P. 287–301.
12. Del Seppia C. Exposure to a hypogeomagnetic field or to oscillating magnetic fields similarly reduce stress-induced analgesia in C57 male mice / C. Del Seppia, P. Luschi, S. Ghione [et al.] // *Life Sci*. – 2000. – Vol. 66, Is.14. – P. 1299–1306.
13. Choleris E. Shielding, but not zeroing of the ambient magnetic field reduces stress-induced analgesia in mice / E. Choleris, Seppia Del, A. W. Thomas [et al.] // *Proceedings. Biological sciences. The Royal Society*. – 2002. – Vol. 269. – P. 193–201.
14. Welker H. A. Effects of an artificial magnetic field on the serotonin N-acetyltransferase activity and melatonin content of the rat pineal gland / H. A. Welker, P. Semm, R. P. Willing [et al.] // *Exp. Brain Res*. – 1983. – Vol. 50. – P. 426–432.
15. Yaga K. Pineal sensitivity to pulsed static magnetic fields changes during the photoperiod / K. Yaga, R. J. Reiter, L. C. Manchester [et al.] // *Brain Res. Bull.* – 1993. – Vol. 30. – P. 153–156.
16. Макеев В. Б. Экспериментальное исследование физиологического действия ЭМП инфранизкой частоты: автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. биол. наук / В. Б. Макеев. – Симферополь, 1979. – 25 с.

DEPENDENCE OF THE EFFECTIVENESS OF THE MODERATE FERROMAGNETIC SCREENING ON THE BIOLOGICAL OBJECTS CHARACTERISTICS

Temuryants N. A., Tumanyants K. N., Chuyan E. N., Yarmolyuk N. S.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation
E-mail: timur328@gmail.com*

For the studying of the mechanisms of the implementation of the connections between the Sun and the Earth, studies of the biological efficiency of hypo magnetic field (HMF) have a great potential; it can be achieved both by the screening be different materials and compensation through the Helmholtz rings. But if during the ferromagnetic screening (FMS) and electromagnetic screening, the static magnetic field and the alternating magnetic field of various frequency ranges decrease, the Helmholtz rings reduce only the static magnetic field of the Earth. Unfortunately, in many studies, the

results of these two distinct kinds of influence are discussed together. For example, in the last comprehensive review devoted to the biological effects of HMF, the results of these two different influences of different lengths have been combined into one table [1]. It is not a coincidence that many authors notice the low reproducibility of the HMF effects [1]. The reason for the irreproducibility of the results of these kinds of studies might be their dependence on not only the measures of influencing factor, but also the characteristics of the biological objects used in the experiment. The analysis of the results of the multiyear study of the effects of the moderate FMS that we conducted allowed us to distinguish the characteristics of biological objects that influence the results of the experiments [2].

It was discovered that different animals have different sensitivity to FMS. The level of sensitivity of Mollusca revealed was higher than that of mice and rats. Thus, all animals develop 3-phase changes in nociception, but all the stages of these changes among mice are developed faster and they are of less obvious.

The animals are the most sensitive to FMS during the stage of fetal development.

The sensitivity to FMS depends on a season. Mollusca have the most distinct changes nociception under the influence of FMS in spring and autumn. Anti-nociceptive effect of FMS during these seasons is higher by 94.5 % and 72.4 % respectively than the one during the period of winter. However, in summer, the analgesia registered is 3 % less distinct than it is in winter.

The efficiency of FMS depends on the animals' sex. FMS lead to the oppression of rats' sexual behaviour that was studied in the test "barrier", that is more distinct among males. The level of its reduction among females depends on the phase of the estrous cycle of an animal. Its most significant reduction was fixed among females that were at the diestrus stage; the least reduction was observed at the stage of proestrus.

The dependencies of the biological influence of the moderate FMS that we discovered coincide with the data revealed by the other authors who study these patterns under the influence of electromagnetic factors of other measures.

Keywords: ferromagnetic shielding, nociception, sexual behavior, biological objects, mollusks, mice, rats.

References

1. Binhi V. N., Prato F.S. Biological effects of the hypomagnetic field: An analytical review of experiments and theories, *PLoS One.*, 12, 6, 1 (2017).
2. Temuryants N.A., Chuyan E.N., Kostyuk A.S. [et al.] *The Effects of the Weak Electromagnetic Influences among Invertebrate Animals (The Regeneration of Planarian, The Nociception of Mollusca)*, 303 (Simferopol: DIAIPI., 2012).
3. *European Convention for the Protection of Vertebrates Used for Experiments or for Other Scientific Purposes*, Strasbourg, 18 March 1986, Chapter III, Article 6.
4. Prato F. S., Kavaliers M., Carson J. J. L. Behavioural evidence that magnetic field effects in the land snail, *Cepaea nemoralis*, might not depends on magnetite or induced electric currents, *Bioelectromagnetic*, 17, 123 (1996).
5. Prato F. S., Kavaliers M., Cullen A. P. [et al.] Light-dependent and -independent behavioural effects of extremely low frequency (ELF) magnetic fields in a land snail are consistent with a parametric resonance mechanism (PRM), *Bioelectromagnetics*, 18, 284 (1997).
6. Lohmann K. J., Willows A. O. D. Lunar-modulated geomagnetic orientation by a marine mollusk, *Science*, 235, 331 (1987).

7. Markel A. L. To the assessment of the main characteristics of the behavior of rats in the "open field" test, *Journal of Higher Nervous Activity I. P. Pavlova*, 31, **2**, 301 (1981).
8. Kotelnikov A. V., Kotelnikova S. V. Characterization of the estrous cycle of white rats at different stages of ontogenesis with the introduction of vitamin E, *Vestnik of Astrakhan State Technical University*, **3 (26)**, 215 (2005).
9. Temur'yants N. A., Vishnevsky V. G., Kostyuk O. S., Mak'yev V. B. Patent Ukraine №48094, Bul. №5. 2010.
10. Vasilenko A. M., Yanovsky O. G., Koptelev O. V. Correlation of pain sensitivity and humoral immune response in mice with thermo-irritation, *Bull. expert. Honey*, **4**, 405 (1995).
11. Prato F. S., Kavaliers M., Thomas A. W. Extremely low frequency magnetic fields can either increase or decrease analgesia in the land snail depending on field and light conditions, *Bioelectromagnetics*, **21**, 287 (2000).
12. Del Seppia C., Luschi P., Ghione S. [et al.] Exposure to a hypogeomagnetic field or to oscillating magnetic fields similarly reduce stress-induced analgesia in C57 male mice, *Life Sci.*, 66, **14**, 1299 (2000).
13. Choleris E., Del Seppia, Thomas A. W. [et al.] Shielding, but not zeroing of the ambient magnetic field reduces stress-induced analgesia in mice, *Proceedings. Biological sciences. The Royal Society*, **269**, 193 (2002).
14. Welker H. A., Semm P., Willing R. P. [et al.] Effects of an artificial magnetic field on the serotonin N-acetyltransferase activity and melatonin content of the rat pineal gland, *Exp. Brain Res.*, **50**, 426 (1983).
15. Yaga K., Reiter R. J., Manchester L. C. [et al.] Pineal sensitivity to pulsed static magnetic fields changes during the photoperiod, *Brain Res. Bull.*, **30**, 153 (1993).
16. Makeev V. B. *Experimental study of the physiological effect of EMF of infralow frequency: author's abstract. diss. for the academic degree of Cand. Biol. Sciences*, 25 (Simferopol, 1979).