

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ КРАЙНЕ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ НА РАЗВИТИЕ КРЫС В ПОСТНАТАЛЬНОМ ПЕРИОДЕ

Алекперов С.И., Суетов А.А., Ефремов В.И., Кимстач А.Н., Колунов А.В., Карпин И.М.,
Сажнев А.Н.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины» Министерства обороны Российской Федерации, 195043, Санкт-Петербург, ул. Лесопарковая 4
e-mail:gniiivm_2@mil.ru*

Аннотация.

Цель – изучить эффекты длительного воздействия переменного магнитного поля (ПеМП) с частотой 8 Гц при различном уровне напряженности магнитного поля на развитие крыс в постнатальном периоде.

Материалы и методы. Воздействию ПеМП подвергали 30 беременных самок крыс (возраст 10 недель), включенных в 3 равные группы в соответствии с уровнем напряженности магнитного поля (4 кА/м, 6,5 кА/м и имитационный контроль) 2 часа в сутки с момента спаривания и продолжали воздействие на потомство до суммарного времени экспозиции 10 недель. В полученном потомстве оценивали физическое развитие, формирование сенсорно-двигательных рефлексов, эмоционально-двигательное поведение и способность к тонкой координации движений, локомоторную активность на 20-е и 45-е сутки жизни при тестировании в «открытом поле».

Результаты. При воздействии ПеМП 8 Гц 6,5 кА/м в пометах крыс было значимо меньше крысят в сравнении с контролем ($p=0,03$). Средний вес крысят в обеих опытных группах на первой неделе жизни был значимо выше ($p<0,05$), в дальнейшем отличий по весу у самок и самцов в сравнении с контролем не было. В физическом развитии и формировании сенсорно-двигательных рефлексов отмечено запаздывание по некоторым параметрам, но не выявлено дозозависимых эффектов облучения ПеМП. При тестировании в «открытом поле» на 20-е сутки выявлено наличие стресса и тревожности животных опытных групп, при дальнейшем тестировании на 45-е сутки поведение животных в опытных группах не отличалось от группы контроля.

Выводы. Воздействие ПеМП 8 Гц на крыс в период эмбрионального и постнатального развития не приводит к отклонениям в физическом и сенсорно-моторном развитии, а также не имеет выраженного влияния на поведение крыс, достигших взрослого возраста.

Ключевые слова: переменное магнитное поле, постнатальное развитие, электромагнитное излучение, хроническое воздействие, рефлексы

THE INFLUENCE OF ALTERNATING MAGNETIC FIELD OF EXTREMELY LOW FREQUENCY ON POSTNATAL DEVELOPMENT OF RATS

S.I. Alekperov, A.A. Suetov, V.I. Efremov, A.N. Kimstach, A.V. Kolunov, I.M. Karpin, A.N. Sazhnev.

Federal State Budgetary Establishment « State scientific research test Institute of the military medicine of the Russian Federation Defense Ministry», 4 Lesoparkovaya Str., 195043 Saint-Petersburg, Russia

Annotation.

Purpose. To investigate the effects of prolonged exposure to an alternating magnetic field (AMF) 8 Hz at different levels of magnetic field intensity on the postnatal development of rats.

Materials and methods. Thirty pregnant female rats (age 10 weeks) included in 3 equal groups according to the intensity of magnetic field (4 kA/m, 6,5 kA/m and sham control) were exposed to AMF 2 h/day from the moment of mating and continued exposure to the offspring until the total exposure time of 10 weeks. Physical development, formation of sensory-motor reflexes, emotional-motor behavior and ability to fine coordination of movements, locomotor activity on the 20th and 45th days of life during testing in the "open field" were evaluated in the obtained offspring.

Results. Under the AMF 8 Hz 6,5 kA/m exposure the number of pups in rat litters was significantly less than rats in comparison with control ($p=0.03$). The average weight of the pups in the litters in both experimental groups in the first week of life was significantly higher ($p<0,05$), further differences in weight of females and males in comparison with the control was not detected. In the physical development and formation of sensory-motor reflexes, delay in some parameters was noted ($p<0,05$), but no dose-dependent effects of AMF exposure were revealed. When tested in the "open field" on the 20th day revealed the presence of stress and anxiety of animals of experimental groups, with further testing on the 45th day, the behavior of animals in experimental groups did not differ from the control group.

Conclusion. The exposure of AMF 8 Hz on rats during embryonic and postnatal development does not lead to deviations in physical and sensory motor development, and has no pronounced influence on the behavior of rats who have reached adult age.

Key words: alternating magnetic field, postnatal development, electromagnetic radiation, chronic exposure, reflexes

Введение

Появление новых различных источников электромагнитного излучения (ЭМИ) в быту и на производстве сопряжено с увеличением спектра хронически воздействующих на человека магнитных полей, что потенциально может вести к негативным последствиям для здоровья.

Возможные неблагоприятные эффекты воздействия магнитных полей, в том числе переменных магнитных полей крайне низких частот (ПемП КНЧ), остаются предметом исследования и дискуссий [1]. В ряде работ было показано, что длительное воздействие ПемП КНЧ может быть связано с развитием некоторых заболеваний нервной системы, репродуктивной системы, опухолей легких, кишечника и головного мозга [2, 3]. В то же время, есть и противоположные данные, свидетельствующие об отсутствии неблагоприятных эффектов на исследуемые органы и системы [3, 4].

Повышенная уязвимость органов и тканей на этапе эмбрионального и постнатального развития к различным факторам внешней среды, в том числе физическим, хорошо известна, а в исследованиях воздействия ЭМИ изучение эффектов на плод и процессы роста после рождения является одной из приоритетных задач [5]. Тем не менее, среди ПемП КНЧ наибольшее внимание уделяется исследованию магнитных полей с частотами 50-60 Гц, в то время, как биологические эффекты ПемП более низких частот остаются практически неизученными, а данные по влиянию на постнатального развитие человека и животных крайне ограничены.

Одновременно, на фоне имеющихся данных о механизмах воздействия ПемП на нервную систему, остаются недостаточно исследованными вопросы взаимосвязи когнитивного развития, поведенческих особенностей и хронического воздействия магнитного поля, в том числе переменного [6, 7].

Цель исследования – изучить эффекты длительного воздействия переменного магнитного поля с частотой 8 Гц при различном уровне напряженности магнитного поля на развитие крыс в постнатальном периоде.

Материалы и методы

Исследование выполнено на самках белых беспородных крыс в соответствии с международными рекомендациями по работе с лабораторными животными, Стокгольмской декларацией о гуманном обращении с лабораторными животными и одобрено локальным этическим комитетом ГНИИИ ВМ МО РФ. Все процедуры с лабораторными животными проводили в стандартных лабораторных условиях

(температура 20-22⁰ С, влажность 50-70 % и 12-часовой световой период), животные имели свободный доступ к пище и воде.

Источник ПеМП КНЧ

Для генерации синусоидального ПеМП КНЧ использовали программируемый генератор КНЧ 435321.001 (Тира-эл, Санкт-Петербург, Россия) и источник переменного магнитного поля типа «кольца Гельмгольца», при этом облучаемые крысы в пластиковых боксах располагались на деревянной площадке в центре установки. Для получения однородного стабильного магнитного поля перед облучением животных система работала не менее 30 минут, параметры магнитного поля в зоне воздействия на крыс контролировали с помощью сенсорного датчика РММ ЕНР-50СДВ с измерителем магнитного поля 8053В (Narda, Albenga, Италия).

Схема эксперимента

Воздействию ПеМП подвергали 30 беременных самок-крыс (возраст 10 недель), включенных в группы в соответствии с уровнем напряженности магнитного поля (1 группа – 10 крыс, 4 кА/м, 2 группа – 10 крыс, 6,5 кА/м, 3 группа – 10 крыс, имитационный контроль) 2 часа в сутки с момента вязки и продолжали воздействие на потомство до суммарного времени экспозиции 10 недель. В полученном потомстве оценивали количество крысят в помете, динамику веса у самок и самцов в течение 8 недель (период постнатального воздействия, динамику развития нервной системы), физическое развитие (сроки отлипания ушных раковин, прорезывания резцов, появления первичного волосяного покрова, опускания семенников и открытия влагалища), формирование сенсорно-двигательных рефлексов (отрицательный геотаксис, переворачивание на плоскости, избегание обрыва, обонятельная реакция, реакция на акустический стимул, зрачковый рефлекс, мышечная сила, поднятие головы и передних лап, ползание, опора на задние конечности и подъем всего тела), эмоционально-двигательное поведение и способность к тонкой координации движений (переворачивание в свободном падении, удержание на вращающемся цилиндре), локомоторную активность на 20-е и 45-е сутки жизни при тестировании в «открытом поле».

Тестирование в «открытом поле»

Количественное измерение компонентов поведения крыс осуществляли, помещая в хорошо освещенную круглую арену диаметром 120 см и высотой 45 см с размеченными радиальными и круговыми линиями. Не менее чем за 1 ч перед тестированием исключались все активные манипуляции с крысами, в том числе кормление, взятие на руки, перегруппировка. Тестирование производили в полной тишине без посторонних

звуков. Крысу выпускали в центральный сектор поля и в течение 3 минут регистрировали исследуемые параметры.

Статистическая обработка результатов

Статистическую обработку результатов производили с использованием пакета программ Statistica 10.0 (StatSoft, Tulsa, USA). Результаты исследования анализировали с помощью U-критерия Манна-Уитни и t-критерия Стьюдента. Данные представлены в форме $\text{среднее} \pm \text{среднеквадратическое отклонение}$ ($M \pm SD$). Статистически значимыми считали результаты с уровнем значимости $p < 0,05$.

Результаты исследования

У самок, подвергавшихся в период беременности воздействию ПеМП, было получено потомство, при этом не было зафиксировано случаев смертности среди самок или в их пометах.

В группе контроля в помете в среднем было $9,3 \pm 0,7$ крысят (93 крысенок, 45 самцов и 48 самок) со средней массой $5,7 \pm 0,3$ г. В группе 1 (ПеМП с напряженностью 4 кА/м) в помете в среднем было $8,8 \pm 0,6$ крысят (88 крысят, 43 самца и 45 самок) со средней массой $6,0 \pm 0,3$ г. В группе 2 (ПеМП с напряженностью 6,5 кА/м) среднее количество крысят в помете было значимо ниже, чем в контроле - $8,3 \pm 0,7$ крысят (83 крысенок, 42 самца и 41 самка, $p = 0,03$) со средней массой $6,1 \pm 0,3$ г. В опытных группах при сравнении с контролем было отмечено значимо более высокий вес крысят (**Таблица 1**, $p < 0,05$). Не было выявлено значимых отличий в распределении по полу между группами.

Исследование динамики веса в опытных и контрольной группах (**Таблица 1**) выявило значимо более высокие значения веса крысят-самок в группе 1 на 7-е сутки ($p = 0,02$) и у крысят-самцов в группе 2 на 28-е сутки ($p = 0,04$). В целом, несмотря на различия в весе при рождении, при последующем наблюдении в течение 8 недель динамика веса значимо не отличалась между группами.

При оценке физического развития (**Таблица 2**) выявлено значимо более позднее отлипание ушных раковин в опытных группах в сравнении с контролем ($p = 0,03$). В группе 1 у самцов было отмечено значимо более позднее опускание семенников ($p = 0,02$), в группе 2 более позднее открытие влагалища у самок ($p = 0,04$).

Изучение сроков формирования сенсорно-двигательных рефлексов (**Таблица 2**) показало, что рефлекс переворачивания на плоскости у крыс группы 2 был сформирован значимо позднее, чем в группе контроля ($p = 0,03$). Также у крыс группы 1 была замедлена скорость формирования реакции на акустический стимул ($p = 0,04$) и значимо позже

наблюдалось поднимание головы и передних лап ($p=0,04$). В обеих опытных группах позднее развилась опора на задние конечности с подъемом всего тела ($p<0,05$).

Исследование эмоционально-двигательного поведения и способности к тонкой координации движений не выявило значимых отличий между опытными группами и группой контроля (Таблица 2).

Изучение локомоторной активности 20-дневных крыс в «открытом поле» (Таблица 3) показало значимо большее количество обнюхиваний в группе 1 в сравнении с контролем ($p=0,03$). В группе 2 при значимо меньшем количестве пересеченных квадратов с более длительным временем отсутствия активности в сравнении с контролем ($p<0,05$) выявили также увеличение среднего количества свободных стоек ($p=0,008$), снижение среднего количества прыжков ($p=0,04$) и увеличение количества дефекаций ($p=0,03$). При последующем тестировании на 45-е сутки жизни крысят не было выявлено каких-либо значимых различий между группами.

Обсуждение

Проведенная работа была нацелена на изучение возможных отклонений в постнатальном развитии и поведении крыс, подвергавшихся ежедневному воздействию в течение 2 часов ПеМП с частотой 8 Гц и напряженностью 4 кА/м и 6,5 кА/м в период эмбрионального и постнатального воздействия, необходимость чего обусловлена хроническим воздействием различных источников ЭМИ, в том числе ПеМП КНЧ диапазона, как на организм беременной женщины, так и на организм плода и ребенка, уязвимые к различным воздействиям в период активного роста и становления органов и систем.

Имеющиеся публикации охватывают, главным образом, исследования ПеМП промышленных частот 50-60 Гц, в то время, как возможные неблагоприятные эффекты ПеМП более низких частот остаются малоизученными.

Исследование показало, что при рождении среднее количество крысят в помете в опытных группах при большей напряженности ПеМП было значимо ниже, чем в группе контроля, что согласуется с полученными в работах с мышами и куриными эмбрионами результатами, где было выявлено, что при воздействии ПеМП 50 Гц возможна гибель эмбрионов на самых ранних этапах развития, но выжившие эмбрионы продолжают свое обычное развитие[8].

Принято считать, что вес и его динамика являются чувствительными индикаторами неблагоприятного влияния различных средовых факторов на развитие организма [3]. Ранее в сходных по схеме облучения опытах при воздействии ПеМП 50 Гц и 20 мТ был выявлен более низкий вес самцов крыс на 30 сутки жизни [9]. Кроме того, при

воздействии на мышей в течение 120 суток ПеМП 50 Гц с интенсивностью от 2,3 мТ до 83 мТ на фоне снижения веса облучаемых мышей было отмечено наличие дозозависимого эффекта воздействия ПеМП [10]. Но в нашем эксперименте вес крысят в опытных группах при рождении и на первой неделе жизни был выше, а динамика набора и средние значения веса самцов и самок в целом не отличались от таковых в группе контроля, что, с одной стороны, противоречит указанным работам, с другой стороны, согласуется с результатами экспериментов по воздействию на крыс и мышей ПеМП 60 Гц и 10 мТ [11]. Суммарно результаты эксперимента указывают на то, что воздействие ПеМП 8 Гц не ведет к значимым изменениям в наборе веса при постоянном воздействии в постнатальном периоде.

Полученные результаты показали, что воздействие в период эмбрионального и постнатального развития ПеМП 8 Гц с напряженностью 4 кА/м и 6,5 кА/м значимо не повлияло на раннее физическое и сенсорно-моторное развитие облучаемых крысят, несмотря на отставание по некоторым параметрам в подопытных группах, в дальнейшем развитии крыс не было выявлено различий и каких-либо признаков дозозависимого влияния воздействующего ПеМП. Ранее в экспериментах было отмечено отставание в психомоторном развитии на фоне облучения ПеМП 20-100 Гц, в частности более поздние сроки переворачивания на плоскости, задержка открытия глаз [8,12]. Хотя в опытах на крысах по воздействию в пренатальном периоде развития ПеМП 50 Гц с интенсивностью 20 мТ, напротив, было отмечено более раннее формирование рефлекса переворачивания (но при меньшем времени удержания на вращающемся цилиндре) [9]. Несмотря на некоторую противоречивость, в отмеченных работах также, как и в проведенном нами опыте, не было выявлено дозозависимых эффектов воздействия ПеМП.

Ранее было выдвинуто предположение, что длительное воздействие ПеМП может приводить к изменению поведения и когнитивных функций, в том числе памяти, способностей к обучению, навыков, за счет изменения структуры нейронов и их взаимодействия. Так, воздействие ПеМП 50 Гц при интенсивности 0,5 мТ приводит к снижению количества дендритов в звездчатых нейронах и пирамидальных нейронах [7]. Также сообщалось о значимом увеличении содержания гамма-аминомасляной кислоты и глутамата в гиппокампе и гипоталамусе, что позволило им предположить о вероятном воздействии ПеМП на NMDA-рецепторы нейронов [6]. Кроме того, предполагается, что эффекты ПеМП на нервную систему опосредованы регуляцией работы кальциевых каналов в клеточных мембранах нейронов [13]. Таким образом, в работе предполагалось, что ПеМП посредством различных механизмов на клеточном и субклеточном уровне способно оказывать влияние на поведенческие особенности животных.

Для оценки индивидуально-типологических особенностей поведения крыс в эксперименте использовали тест «открытое поле», при этом двигательная активность (горизонтальная, вертикальная) отражала состояние активно-поисковой компоненты поведения, а уровень дефекации и груминг – пассивно-оборонительной. Полученные результаты на 20 сутки свидетельствовали о наличии стресса и тревожности животных, несмотря на их предварительное ознакомление с тестом. Ранее в опытах по воздействию ПеМП 50 Гц при интенсивности 2 мТ 10 мТ в течение 4 часов ежедневно на протяжении 21 дня было отмечено повышение тревожности и локомоторной активности, обусловленной беспокойством животных [14,15]. Сходные результаты были получены при воздействии на мышей ПеМП 50 Гц с интенсивностью 1 мТ в течение 8 часов в сутки: воздействие вызывало тревожное поведение у мышей, в частности, в сравнении с имитационным контролем уменьшилось время, проведенное на открытых участках «открытого поля», увеличилось количество дефекаций и свободных стоек, было значительно уменьшено социальное взаимодействие в группе [6]. Но при проведении нами тестирования на 45-е сутки различий между опытными группами и группой контроля выявлено не было, что нивелирует различия в результатах тестирования групп на 20-е сутки жизни и согласуется с результатами, полученными в экспериментах на крысах с воздействием в пренатальный и постнатальный период ПеМП 60 Гц с интенсивностью от 0,5 мкТ до 0,5 мТ, в которых также не было выявлено значимых изменений в поведении и развитии крыс [16,17].

В работе были рассмотрены уровни напряженности ПеМП 4,0 и 6,5 кА/м (соответствующие интенсивности 5 и 8 мТ), что превышает предельно допустимый уровень (ПДУ) ПеМП 50 Гц для 8-часового рабочего дня (чему соответствовала экспозиция 2 часа в опыте на крысах) [18]. То есть, даже в условиях длительного хронического воздействия ПеМП 8 Гц со значительным превышением ПДУ на фоне некоторых отклонений в процессе постнатального развития, в целом не происходит каких-либо значимых нарушений в развитии и поведении.

Таким образом, хотя нет надежных доказательств относительно сходства или различия механизмов действия на ткани и органы ПеМП различных частот в диапазоне менее 60 Гц, тем не менее, полученные результаты изучения постнатального развития крыс в условиях облучения ПеМП 8 Гц во многом согласовываются с проведенными ранее исследованиями ПеМП промышленных частот 50-60 Гц.

Выводы

Проведенное исследование показало, что хроническое воздействие ПеМП 8 Гц на крыс в период эмбрионального и постнатального развития не приводит к отклонениям в

физическом и сенсорно-моторном развитии, а также не имеет выраженного влияния на поведение крыс, достигших взрослого возраста.

Литература/ References

1. Gajšek P, Ravazzani P, Grellier J, Samaras T, Bakos J, Thuróczy G. Review of Studies Concerning Electromagnetic Field (EMF) Exposure Assessment in Europe: Low Frequency Fields (50 Hz-100 kHz). *Int J Environ Res Public Health*. 2016;13(9):E875. <https://doi.org/10.3390/ijerph13090875>
2. Repacholi MH. Low-level exposure to radiofrequency electromagnetic fields: health effects and research needs. *Bioelectromagnetics*. 1998; 19(1):1-19. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1521-186x\(1998\)19:1%3C1::aid-bem1%3E3.3.co;2-8](https://doi.org/10.1002/(sici)1521-186x(1998)19:1%3C1::aid-bem1%3E3.3.co;2-8)
3. Gye MC, Park CJ. Effect of electromagnetic field exposure on the reproductive system. *ClinExpReprod Med*. 2012; 39:1–9. <https://doi.org/10.5653/cerm.2012.39.1.1>
4. Chernoff N, Rogers JM, Kavet R. A review of the literature on potential reproductive and developmental toxicity of electric and magnetic fields. *Toxicology*. 1992; 74:91–126. [https://doi.org/10.1016/0300-483x\(92\)90132-x](https://doi.org/10.1016/0300-483x(92)90132-x)
5. Pourlis AF. Reproductive and developmental effects of EMF in vertebrate animal models. *Pathophysiology*. 2009; 16:179–189. <https://doi.org/10.1016/j.pathophys.2009.01.010>
6. Salunke BP, Umathe SN, Chavan JG. Involvement of NMDA receptor in low-frequency magnetic field-induced anxiety in mice. *ElectromagnBiolMed*. 2014;33(4):312-326. <https://doi.org/10.3109/15368378.2013.839453>
7. Xiong J, He C, Li C, Tan G, Li J, Yu Z, Hu Z, Chen F. Changes of dendritic spine density and morphology in the superficial layers of the medial entorhinal cortex induced by extremely low-frequency magnetic field exposure. *PLoS One*. 2013; 8(12):e83561. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083561>
8. Zusman I, Yaffe P, Pinus H, Ornoy A. Effects of pulsing electromagnetic fields on the prenatal and postnatal development in mice and rats: In Vivo and In Vitro studies. *Teratology*. 1990; 42:157–170. <https://doi.org/10.1002/tera.1420420207>
9. Sienkiewicz ZJ, Robbins L, Haylock RG, Saunders RD. Effects of prenatal exposure to 50 Hz magnetic fields on development in mice: II. Postnatal development and behavior. *Bioelectromagnetics*. 1994; 15(4):363-375.
10. Rivas L, Rius C, Tello I, Oroza MA Effects of chronic exposure to weak electromagnetic fields in mice. *ICRS Med Sci*.1985; 13:661-662.

11. Boorman GA, Gauger JR, Johnson TR, Tomlinson MJ, Findlay JC, Travlos GS, McCormick DL. Eight-week toxicity study of 60 Hz magnetic fields in F344 rats and B6C3F1 mice. *Fundam Appl Toxicol.* 1997; 35(1):55-63.
12. Nishikawa U, Hirotani H, Tanaka O. Study on postnatal development in mice exposed to electromagnetic fields (PEMFs) during their prenatal period. *Teratology.* 1986; 34:442-443.
13. Pall ML. Electromagnetic fields act via activation of voltage-gated calcium channels to produce beneficial or adverse effects. *J Cell Mol Med.* 2013; 17(8):958-65. <https://doi.org/10.1111/jcmm.12088>
14. Korpinar MA, Kalkan MT, Tuncel H. The 50 Hz (10 mT) sinusoidal magnetic field: effects on stress-related behavior of rats. *Bratisl Lek Listy.* 2012; 113(9):521-524.
15. He LH, Shi HM, Liu TT, Xu YC, Ye KP, Wang S. Effects of extremely low frequency magnetic field on anxiety level and spatial memory of adult rats. *Chin Med J (Engl).* 2011; 124(20):3362-3366.
16. Chung MK, Kim JC, Myung SH. Lack of adverse effects in pregnant/lactating female rats and their offspring following pre- and postnatal exposure to ELF magnetic fields. *Bioelectromagnetics.* 2004; 25:236-244.
17. Prolić Z, Janać B, Pesić V, Jelenković A. The effect of extremely low-frequency magnetic field on motor activity of rats in the open field. *Ann N Y AcadSci.* 2005;1048:381-384.
18. СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах". Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Ссылка активна на 10.05.2018. [SanPiN 2.2.4.3359-16 "Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k fizicheskim faktoram na rabochikh mestakh". Sanitarno-epidemiologicheskie pravila and normativy. Accessed 10.05.2018. (In Russ.).] <http://docs.cntd.ru/document/420362948>

Таблица 1 Динамика прибавки массы тела (г) у крыс, подвергавшихся воздействию переменного магнитного поля с частотой 8 Гц ($M \pm SD$)

Срок после рождения, сутки	Контроль (n=93)	Группа 1 4 кА/м (n=88)	Группа 2 6,5 кА/м (n=83)
Самки			
0	5,6 $\pm$ 0,2	5,9 $\pm$ 0,3*	5,9 $\pm$ 0,2*
7	11,2 $\pm$ 0,6	14,3 $\pm$ 0,4*	11,1 $\pm$ 0,5
14	22,3 $\pm$ 1,1	20,8 $\pm$ 1,2	19,9 $\pm$ 1,1
21	54,1 $\pm$ 3,1	54 $\pm$ 2,9	53,3 $\pm$ 2,6
28	69,8 $\pm$ 2,8	66,5 $\pm$ 2,6	64,6 $\pm$ 3,1*
35	113,6 $\pm$ 3,5	110,6 $\pm$ 3,6	114,3 $\pm$ 3,2
42	158,3 $\pm$ 3,2	156,3 $\pm$ 3,1	161,7 $\pm$ 3,4
49	164,4 $\pm$ 3,7	161,5 $\pm$ 3,4	162,4 $\pm$ 3,9
56	178,1 $\pm$ 4,1	178,5 $\pm$ 3,8	177,8 $\pm$ 3,7
Самцы			
0	5,8 $\pm$ 0,3	6,1 $\pm$ 0,2*	6,2 $\pm$ 0,3*
7	11,8 $\pm$ 0,4	11,9 $\pm$ 0,5	10,6 $\pm$ 0,6
14	24,5 $\pm$ 0,8	23,8 $\pm$ 0,9	23,4 $\pm$ 0,7
21	57,1 $\pm$ 3,6	56,4 $\pm$ 2,9	56,9 $\pm$ 3,1
28	72,7 $\pm$ 2,4	72,5 $\pm$ 2,6	73,1 $\pm$ 2,8
35	128,5 $\pm$ 3,1	128,6 $\pm$ 3,4	126,4 $\pm$ 3,3
42	164,3 $\pm$ 2,7	164,5 $\pm$ 3,1	165,1 $\pm$ 2,8
49	179,6 $\pm$ 4,6	178,5 $\pm$ 4,1	181,2 $\pm$ 4,4
56	208,4 $\pm$ 3,6	211,1 $\pm$ 3,3	210,6 $\pm$ 3,7

* $p < 0,05$ при сравнении с группой контроля (t-критерий Стьюдента)

Таблица 2 Физическое развитие, сроки формирования сенсорно-двигательных рефлексов и эмоционально-двигательного поведения у крыс, подвергавшихся воздействию переменного магнитного поля с частотой 8 Гц ($M \pm SD$)

Показатель	Контроль	Группа 1 4 кА/м	Группа 2 6,5 кА/м
Физическое развитие, день			
Отлипание ушной раковины	3,1 $\pm$ 0,2	3,4 $\pm$ 0,2*	3,4 $\pm$ 0,2*
Прорезывание резцов	8,8 $\pm$ 0,1	8,7 $\pm$ 0,1	8,9 $\pm$ 0,1
Появление первичного волосяного покрова	5,1 $\pm$ 0,3	5,0 $\pm$ 0,3	5,2 $\pm$ 0,3
Опускание семенников	28,6 $\pm$ 0,4	29,2 $\pm$ 0,5*	28,6 $\pm$ 0,4
Открытие влагалища	46,3 $\pm$ 1,2	46,3 $\pm$ 1,6	48,4 $\pm$ 1,3*
Формирование сенсорно-двигательных рефлексов, день			
Отрицательный геотаксис	6,8 $\pm$ 0,3	6,7 $\pm$ 0,3	6,9 $\pm$ 0,2
Переворачивание на плоскости	7,5 $\pm$ 0,4	7,8 $\pm$ 0,4	8,1 $\pm$ 0,4*
Избегание обрыва	9,5 $\pm$ 0,3	9,7 $\pm$ 0,3	9,7 $\pm$ 0,2
Обонятельная реакция	10,1 $\pm$ 0,5	10,2 $\pm$ 0,3	10,4 $\pm$ 0,5
Реакция на акустический стимул	13,9 $\pm$ 0,4	14,2 $\pm$ 0,3*	13,7 $\pm$ 0,4
Зрачковый рефлекс	14,8 $\pm$ 0,8	14,9 $\pm$ 1,5	15,3 $\pm$ 0,5
Избегание обрыва (вызванное визуальным стимулом)	14,5 $\pm$ 0,7	14,8 $\pm$ 0,5	14,5 $\pm$ 0,6
Мышечная сила	15,9 $\pm$ 0,5	16,2 $\pm$ 0,4	16,0 $\pm$ 0,5
Поднимание головы и передних лап, день	8,7 $\pm$ 0,4	9,0 $\pm$ 0,5*	8,6 $\pm$ 0,5
Ползание, день	10,3 $\pm$ 0,6	10,5 $\pm$ 0,4	10,2 $\pm$ 0,6
Опора на задние конечности, подъем всего тела, день	14,8 $\pm$ 0,7	15,2 $\pm$ 0,6*	15,4 $\pm$ 0,5*
Эмоционально-двигательное поведение и способность к тонкой координации движений, день			
Переворачивание в свободном падении	19,8 $\pm$ 0,5	19,7 $\pm$ 0,8	19,5 $\pm$ 0,6
Удержание на вращающемся цилиндре	20,5 $\pm$ 1,1	20,9 $\pm$ 0,9	21,5 $\pm$ 1,3

* $p < 0,05$ при сравнении с группой контроля (t-критерий Стьюдента)

Таблица 3 Влияние экспозиции ПеМП на локомоторную активность 20-дневных и 45-дневных крыс при тестировании в «открытом поле» (значения в расчете на 1 крысу, $M \pm SD$)

Показатель	Контроль	Группа 1 4 кА/м	Группа 2 6,5 кА/м	Контроль	Группа 1 4 кА/м	Группа 2 6,5 кА/м
День тестирования	20-й день после рождения			45-й день после рождения		
Пересеченные квадраты, п	41,9 $\pm$ 2,6	43,7 $\pm$ 2,3	39,4 $\pm$ 2,2*	49,5 $\pm$ 2,3	49,4 $\pm$ 2,6	49,2 $\pm$ 2,4
Груминг, п	2,4 $\pm$ 0,6	2,4 $\pm$ 0,7	2,5 $\pm$ 0,4	1,4 $\pm$ 0,4	1,5 $\pm$ 0,3	1,4 $\pm$ 0,3
Обнюхивания, п	4,5 $\pm$ 0,4	5,2 $\pm$ 0,5*	5,5 $\pm$ 0,4*	4,9 $\pm$ 0,5	4,4 $\pm$ 0,6	4,7 $\pm$ 0,4
Пристеночные стойки, п	12,3 $\pm$ 0,6	12,4 $\pm$ 0,8	12,8 $\pm$ 0,6	16,8 $\pm$ 0,6	16,4 $\pm$ 0,5	16,4 $\pm$ 0,6
Свободные стойки, п	5,9 $\pm$ 0,4	6,1 $\pm$ 0,5	7,8 $\pm$ 0,4**	7,2 $\pm$ 0,3	7,4 $\pm$ 0,3	7,1 $\pm$ 0,4
Прыжки, п	1,5 $\pm$ 0,5	1,4 $\pm$ 0,6	1,2 $\pm$ 0,3*	1,6 $\pm$ 0,3	1,7 $\pm$ 0,4	1,5 $\pm$ 0,4
Дефекация, п	0,9 $\pm$ 0,4	1,1 $\pm$ 0,2	1,4 $\pm$ 0,2*	0,9 $\pm$ 0,2	1,1 $\pm$ 0,2	1,0 $\pm$ 0,2
Время отсутствия активности, с	14,1 $\pm$ 0,6	13,8 $\pm$ 0,6	14,8 $\pm$ 0,5*	14,5 $\pm$ 0,5	14,2 $\pm$ 0,7	14,4 $\pm$ 0,4

* $p < 0,05$ при сравнении с группой контроля (t-критерий Стьюдента)