

УДК 577.35.537

**ИНФРАДИАННАЯ РИТМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОВЕДЕНИЯ В ТЕСТЕ
«ОТКРЫТОГО ПОЛЯ» У КРЫС С НИЗКИМ УРОВНЕМ ДВИГАТЕЛЬНОЙ
АКТИВНОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПЕМП СЧ**

Темурьянц Н.А., Минко В.А.

Повышенный интерес специалистов различного профиля вызывает изучение закономерностей развития неспецифических реакций организмов с различными индивидуальными особенностями на внешние воздействия самой разной природы. Анализ этих закономерностей дает возможность вскрыть механизмы гомеостатической регуляции физиологических функций и учитывать их при исследовании ответов центральной нервной системы (ЦНС) на различные раздражения.

В настоящее время получены убедительные данные о высокой биологической активности слабых переменных магнитных полей (ПеМП) сверхнизкочастотного (СНЧ) диапазона [1], которые рассматриваются как важнейший геофизический фактор среды [2]. ПеМП СНЧ имеют важное экологическое значение, так как являются датчиками времени в широком диапазоне периодов, предвестниками изменений погоды и землетрясений, а также ответственны за реализацию солнечно-земных связей [3,4,5]. Из литературных данных известно, что ПеМП искусственного и естественного происхождения изменяют ритмику физиологических показателей [6,7]. Однако этот вывод сделан на основе изучения циркадианной ритмики. Существуют сведения о влиянии ПеМП и на инфрадианную ритмику ряда физиологических показателей у животных, преобладающих в популяции – со средней двигательной активностью (СДА) в тесте «открытого поля» (ОП) [8]. Вместе с тем, обнаружена неодинаковая чувствительность к действию ПеМП у животных с различными индивидуальными особенностями. Е.Ю. Грабовской (1992) [9] были выделены физиологические критерии гиперчувствительности крыс к действию ПеМП СНЧ. Сенситивны, характеризующиеся низким уровнем двигательной активности (НДА) в тесте ОП. Однако изменения инфрадианной ритмики при воздействии ПеМП СНЧ у данных животных остается не изученной.

Доказано, что первой на электромагнитное воздействие реагирует ЦНС, которой принадлежит ведущая роль в формировании и контроле реакций организма на действие различных факторов [10]. Известно также, что поведение является интегральным показателем ответа на любое воздействие, а также играет важную роль в адаптации организма к действию различных факторов [11]. Поэтому изучение особенностей действия низкоинтенсивных физических факторов на

**ИНФРАДИАННАЯ РИТМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОВЕДЕНИЯ В ТЕСТЕ
«ОТКРЫТОГО ПОЛЯ» У КРЫС С НИЗКИМ УРОВНЕМ ДВИГАТЕЛЬНОЙ
АКТИВНОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПЕМП СЧ**

ритмику показателей поведения животных с различными индивидуальными особенностями является перспективным для выявления индивидуальных различий их реагирования на действие этих факторов.

В связи с вышеизложенным, целью данного исследования явилось изучение инфрадианной ритмики показателей поведения у крыс с низким уровнями двигательной активности под влиянием ПемП СЧ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования выполнены на 40 беспородных белых крысах самцах массой 160-180 г. Для формирования групп животных с различными индивидуальными особенностями была применена методика ОП, позволяющая относительно быстро и с большей степенью достоверности выявить индивидуальные различия между животными [12]. Данный метод позволяет быстро и адекватно выявлять динамику функциональных изменений ЦНС, оценивать реакцию животных на новую обстановку и получить другую важную информацию о поведении животных [13]. Для исследования инфрадианной ритмики (через 7 дней после определения индивидуальных особенностей) животных вновь тестировали в ОП в течение 32 суток. Тестирование проводилось всегда в одно и то же время суток.

В этом тесте нами оценивалась горизонтальная (ГДА) и вертикальная двигательная активность (ВерДА) и частота дефекаций. На основе теста ОП нами были выделены 2 группы (по 20 особей в каждой группе) крыс с низким и средним уровнями двигательной активности и низкой эмоциональностью. Животных со СДА использовали для сравнения эффектов воздействия ПемП с крысами, характеризующимися низкой подвижностью в тесте ОП. К первой подгруппе относились животные, содержащиеся в обычных условиях вивария (биологический контроль). Вторую группу составляли животные, по 3 часа ежедневно подвергавшиеся действию ПемП частотой 8 Гц индукцией 5 мкТл в течение 32 суток. Значения показателей вертикальной, горизонтальной двигательной активности у крыс всех выделенных групп достоверно различались ($p < 0,01$).

В настоящем исследовании выбор параметров воздействующего ПемП осуществляли на основе оценки его физиологической и геофизической значимости. Так, выбранная частота 8 Гц является фундаментальной частотой ионосферного волновода [14], а, кроме того, близка к частоте некоторых биоритмов [15]. Величина индукции выбиралась с таким расчетом, чтобы она была на несколько порядков выше интенсивности естественного ПемП на этой частоте. Это позволило устранить эффекты неконтролируемых воздействий, а вследствие широкого «амплитудного окна» на этой частоте [16] распространяются сделанные выводы на достаточно широкий диапазон интенсивности ПемП.

При изучении биоритмов важно знать не только периоды колебаний соответствующих показателей, но и фазовые соотношения между ними. Поэтому в качестве основного метода анализа периодичности был выбран спектральный анализ, обеспечивающий сопоставимость с другими методиками и дающие полное представление о структуре физиологических ритмов [17]. Для расчета корреляций использовали коэффициент Спирмена. Оценку достоверности наблюдаемых изменений проводили с помощью t-критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В более ранней работе [18] нами были выявлен ритмический характер показателей поведения у животных с различными индивидуальными особенностями, который был описан набором инфранианых колебаний. Оказалось, что и при воздействии ПеМП ритмическая составляющая в динамике исследуемых показателей у крыс с НДА и СДА оставалось хорошо выраженной.

В результате воздействия ПеМП частотой 8 Гц индукцией 5 мкТл зарегистрированы изменения инфранианной ритмики изученных показателей. Выяснено, что структура спектров мощности различных показателей под влиянием ПеМП СНЧ может изменяться как за счет появления новых, так и исчезновения периодов (рис. 1). Так, у крыс со СДА спектр при действии ПеМП расширился в показателе ВерДА, а в показателе ГДА сужался на двое суток. У животных с НДА область выявления периодов в спектре мощности ВерДА в результате воздействия ПеМП расширилась на 11 суток, ГДА – на шесть суток, т.е. большая реакция на действие ПеМП по данному параметру ритмики выявлена у крыс с НДА. Изменение области выявления периодов происходило и за счет количества периодов, входящих в состав спектров. Так, у животных со СДА при систематическом воздействии ПеМП в показателях поведения происходили разнонаправленные изменения данного параметра: уменьшение в спектре ГДА (на 1 период) и увеличение в таковом ВерДА (на 1 период). ПеМП вызывало разнонаправленные изменения в количестве периодов и у крыс с НДА. Так, в спектре ВерДА происходило также как, и у крыс со СДА увеличение периодов, а в спектре ГДА изменений в наборе ритмов отмечено не было. Однако в результате описанных выше изменений произошло сближение структуры спектров у крыс со СДА и НДА, т.е. спектры становились похожими.

Обращает на себя внимание и исчезновение доминирующего периода (период с максимальной амплитудой в спектре [19] в спектрах изученных показателей у крыс с различными индивидуальными особенностями. Исключение составил спектр ВерДА у животных со СДА, в котором при воздействии ПеМП появился доминирующий период, составляющий $\approx 19,5$ суток.

При воздействии ПеМП СНЧ изменялись и амплитудно-фазовые соотношения. Наблюдалась тенденция к снижению амплитуд интегральных ритмов ГДА при воздействии ПеМП по отношению к контролю практически во всех периодах у животных выделенных групп. Исключение составил $\approx 4^d,8$ период у животных со СДА, когда амплитуда достоверно ($p < 0,05$) повысилась на 34% относительно контроля. Данное снижение амплитуд $\approx 4^d,8$ ритма под влиянием ПеМП СНЧ привело к сближению их значений во всех изученных показателях у крыс с различным уровнем двигательной активности.

Анализ вышеприведенных данных свидетельствует о сближении параметров инфранианной ритмики (область выявления периодов, амплитуда) у крыс со СДА и НДА под влиянием ПеМП СНЧ. Вероятно, такое явление становится возможным потому, что животные с различными индивидуальными особенностями подвергались одинаковому ритмическому воздействию ПеМП СНЧ (по 3 часа в течение 32-х суток). Именно эти ритмические сигналы, по-видимому, привели к

**ИНФРАДИАННАЯ РИТМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОВЕДЕНИЯ В ТЕСТЕ
«ОТКРЫТОГО ПОЛЯ» У КРЫС С НИЗКИМ УРОВНЕМ ДВИГАТЕЛЬНОЙ
АКТИВНОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПЕМП СЧ**

стиранию различий в ритмических процессах показателей поведения. Полученные нами данные подтверждают предположение о том, что в отсутствие крупномасштабных возмущений ПемП СЧ могут являться датчиками времени, в том числе и для инфрадианного диапазона [3].

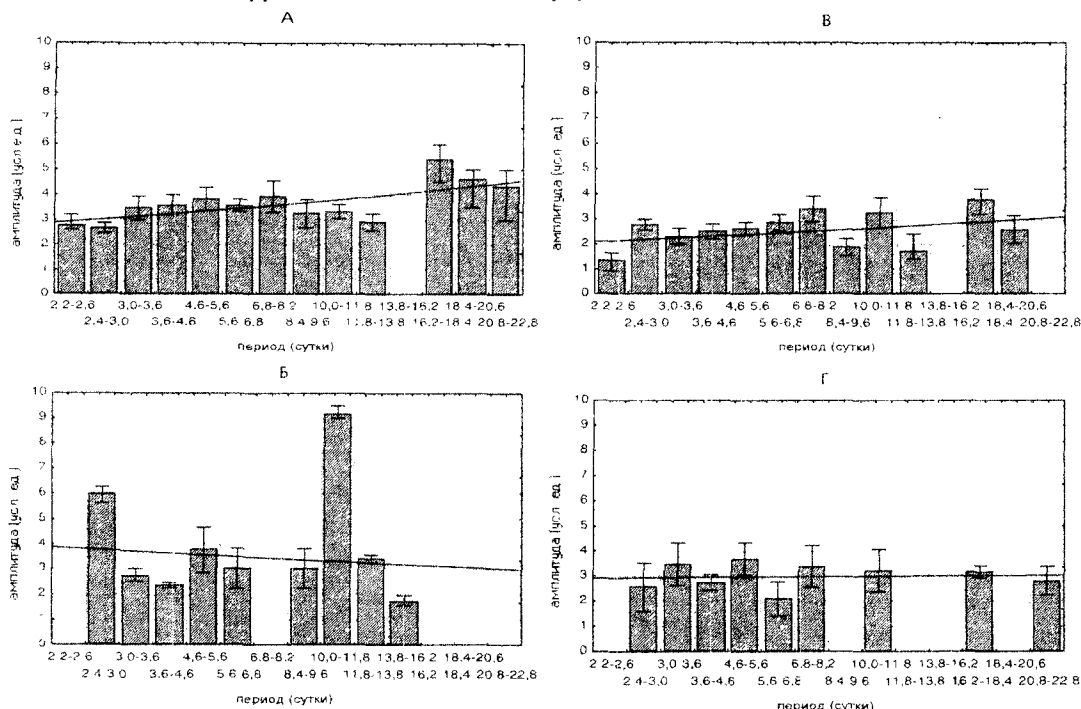


Рис. 1. Экспоненциальная модель амплитуд периодов спектра мощности ГДА у интактных крыс со средней (А) и низкой (Б) двигательными активностями в тесте ОП и крыс, подвергавшихся воздействию ПемП СЧ (крысы со СДА – В и с НДА- Г).

У животных всех выделенных групп под влиянием ПемП достоверного сдвига фаз исследованных показателей относительно данных контрольной группы животных не выявлено.

Между ГДА и ВДА, как отмечалось, существуют определенные фазовые соотношения. Как показал анализ фаз, у животных со СДА при воздействии ПемП отмечалась тенденция к уменьшению фазовой разности между ВерДА и ГДА, более выраженная в $\approx 5^d,1$ и $\approx 19^d,6$ периодах, в которых разность фаз составила $43,54^\circ$ и $48,29^\circ$ соответственно, а у животных с НДА, наоборот, отмечалась тенденция к увеличению разности фаз, более выраженная в периоде $\approx 5^d,1$ ($37,81^\circ$ по отношению к контрольным значениям).

Наряду с недостоверными сдвигами фаз при воздействии ПемП обнаружено возрастание коэффициента корреляции у крыс с НДА при воздействии ПемП. Если в контроле коэффициент корреляции составил $r=+0,58$ ($p<0,05$), то воздействие полем усилило взаимосвязь между ГДА и ВерДА, и коэффициент корреляции стал равен $r=+0,79$ ($p<0,05$). Как известно, одним из важнейших факторов

самоорганизации сложных систем является синхронизация, способствующая сохранению устойчивости системы [20]. Степень синхронизации не одинакова при различных состояниях и может быть использована для оценки устойчивости физиологических систем [4]. Из литературных данных известно, что повышение любой адаптационной нагрузки на систему приводит к возрастанию уровня корреляции (синхронизации), т.е. избыточная синхронизация является свидетельством патологических процессов, происходящих в организме [21]. У животных со СДА достоверных изменений коэффициента корреляции между показателями двигательной активности не выявлено, тогда как у крыс с НДА выявлена гипersинхронизация.

Таким образом, влияние ПеМП СНЧ на инфрадианную ритмику изученных показателей у животных всех выделенных групп проявляется в виде поиска нового режима осцилляций, соответствующего изменившимся условиям среды. Однако, результаты проведенных исследований свидетельствуют о неоднозначных изменениях инфрадианной ритмики под влиянием ПеМП у крыс с различными индивидуальными особенностями.

Полученные нами данные могут быть связаны с изменением функциональной активности эпифиза под влиянием ПеМП [22], активность которого определяется свойствами его основного гормона – мелатонина (М). Известно, что действие М реализуется через рецепторы, которые обнаружены на мембранах клеток практически всех органов и тканей [23]. Литературные данные свидетельствуют о том, что в основе действия ПеМП на эпифиз лежит способность поля не снижать уровень М в эпифизе, а сдвигать акрофазу циркадианного ритма его секреции [24, 25]. Изменением концентрации М под влиянием ПеМП объясняются многие физиологические эффекты этого раздражителя, обнаруженные в различных лабораториях. Так, при воздействии МП наблюдается увеличение концентрации серотонина в эпифизе [26]. Кроме того, в условиях торможения активности эпифиза происходит активация нейронов, осуществляющих секрецию тормозных медиаторов, одним из которых является серотонин. И как следствие, возбудимость таких структур мозга, как кора и гипоталамус снижается, что влечет за собой усиление процессов торможения в ЦНС и как следствие изменение поведенческих реакций. Как показывают немногочисленные данные, под влиянием ПеМП низкой интенсивности может интенсифицироваться синтез опиатов, что приводит также к усилению процессов торможения в ЦНС [27]. Существуют многочисленные литературные данные, свидетельствующие об изменении поведенческих реакций у животных при воздействии МП. Действительно, при воздействии ПеМП СНЧ снижается скорость выработки условных пищевых и оборонительных рефлексов [28], происходит нарушение условно-рефлекторной деятельности крыс [29].

Выявленные нами различия инфрадианной ритмики показателей поведения у животных с различной двигательной активностью в ОП могут объясняться данными о зависимости секреции М от индивидуальных особенностей испытуемых. R.J. Reiter (1997) [30] показано, что дневной уровень М в крови одинаково низкий у всех испытуемых, а амплитуда ночного пика синтеза данного гормона изменяется от испытуемого к испытуемому. Обнаружено также, что тормозные эффекты М на

**ИНФРАДИАННАЯ РИТМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОВЕДЕНИЯ В ТЕСТЕ
«ОТКРЫТОГО ПОЛЯ» У КРЫС С НИЗКИМ УРОВНЕМ ДВИГАТЕЛЬНОЙ
АКТИВНОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПЕМП СЧ**

импульсную активность нейронов гипоталамуса зависят от индивидуальных особенностей животных: они более выражены у крыс с активной (линия Wag) поведенческой стратегией поведения в ОП, чем у животных с пассивной (линия Fisher-344) [31].

Таким образом, обнаруженная нами синхронизирующая роль ПемП СЧ на инфрадианную ритмику животных с различными индивидуальными особенностями, вероятно, объясняется способностью данного фактора изменять функциональную активность эпифиза, являющегося одним из основных пейсмекеров в изучаемом диапазоне периодов.

ВЫВОДЫ

1. ПемП СЧ вызывает изменения инфрадианной ритмики показателей поведения у животных со СДА и НДА. Данные изменения заключаются в изменении спектров мощности, его структуры, амплитудно-фазовых взаимоотношений.

2. У животных с НДА воздействие ПемП СЧ вызывает гиперсинхронизацию временной организации.

3. Результатом действия ПемП СЧ на крыс с различными индивидуальными особенностями является сближение параметров инфрадианной ритмики показателей поведения.

Список литературы

1. Темурьянц Н.А., Макеев В.Б., Малыгина В.И. Влияние слабых переменных магнитных полей крайне низких частот на инфрадианную ритмику симвагоадреналовой системы крыс // Биофизика. – 1992. – Т. – 37, № 4. – С. 653-655.
2. Владимирский Б.М. Солнечно-земные связи в биологии и явление «захвата» частоты // Пробл. космич. биологии. – 1982. – Т. 43. – С. 166-173.
3. Владимирский Б.М., Сидякин В.Г., Темурьянц Н.А. и др. Космос и биологические ритмы. – Симферополь. – 1995. – 206 с.
4. Владимирский Б.М., Темурьянц Н.А. Влияние солнечной активности на биосферу – ноосферу (Гелиобиология от А.Л.Чижевского до наших дней). – М.: Изд-во МНЭПУ, 2000. – 374 с.
5. Степанюк И.А. Электромагнитные поля крайне низких частот как важнейший экологический фактор // Международный крымский семинар «Космос и биосфера. Физические поля в биологии, медицине и экологии», Партениг, Крым, 1-6 октября, 2001. – С. 7-9.
6. Бреус Т.К., Чибисов С.М., Баевский Р.М., Шебзухов К.В. Хроноструктура биоритмов сердца и факторы внешней среды. – М.: Полиграф сервис, 2002. – 230 с.
7. Гурфинкель Ю.И., Кулешова В.П., Ораевский В.Н. Оценки влияния геомагнитных бурь на частоту появления острой сердечно-сосудистой патологии // Биофизика – 1998. – Т. 43., № 4. – С. 654-658.
8. Шехоткин А.В. Влияние переменного магнитного поля сверхнизкой частоты на инфрадианную ритмику количественных и функциональных характеристик лейкоцитов крови у интактных и эпифизэктомированных крыс: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук: СГУ – Симферополь, 1995. – 25 с.
9. Грабовская Е.Ю. Реакции крыс с различными индивидуальными особенностями двигательной активности на действие слабого переменного магнитного поля сверхнизкой частоты. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Симферополь., 1992. – 20 с.
10. Холодов Ю.А. Реакция нервной системы на электромагнитные поля. – М.: Наука, 1975. – 207 с.
11. Вальдман А.В., Козловская М.М. Изменение зоосоциальных взаимоотношений в группе животных как объективный показатель вызванных электростимуляцией нарушений в

- эмоционально-психической сфере. – В. кн.: нейрофизиологический подход к анализу внутривидового поведения. М.: Наука, 1976, - С. 74.
12. Holl C.S. Emotional behavior in the rat. Defecation and urination as measures of individual differences in emotionally // *J. Comp. Physiol.* – 1934. – Vol. 18. – P. 3858.
 13. Буслович С.Ю., Котеленец А.И., Фридлянд Р.М. Интегральный метод оценки поведения белых крыс в «открытом поле»//*Журн. Высш. нервн. деят.* – 1989. – Т. 39, №1. – С. 168.
 14. Schumann W.O. Uber die Dämpfung der electromagnetischen Eigenwingungen des Systems Erde-Luft-Ionosphäre // *Naturwissenschaft.* – 1982. – 7 а. – P. 250-254.
 15. Ашофф Ю. Биологические ритмы. М.: Мир, 1984. – Т. 1. – 176 с.
 16. Макеев В.Б. Экспериментальное исследование физиологического действия ЭМП инфранизкой частоты. – Автореф. дис...канд. биол. наук. – Симферополь: Симферопольский ун-т, 1979. – 25 с.
 17. Емельянов И.П. Формы колебания в биоритмологии. – Новосибирск: Наука.- 1976. – 127 с.
 18. Минко В.А., Нагаева Е.И. Особенности инфранизкой ритмики поведения крыс в открытом поле с различной двигательной активностью // *Ученые записки ТНУ, серия «Биология, химия».* – 2003. – Т. 17 (56), № 1. – С. 55-62.
 19. Стригун Л.М. Биоритмы дегидрогеназ и гелиобиологические связи // Леонардо Да Винчи XX века. К 100-летию А.Л. Чижевского. – М.: 1997. – С. 45-46.
 20. Путилов А.А. Системообразующая функция синхронизации в живой природе. – Новосибирск: наука, 1987. – 144 с.
 21. Бреус Т.К., Чибисов С.М., Баяевский Р.М., Шебзухов К.В. Хроноструктура биоритмов сердца и факторы внешней среды. Монография. – М.: изд-во Российского университета дружбы народов; изд-во Полиграф сервис, 2002. – 232 с.
 22. Темурьянц Н.А., Шехоткин О.В., Роль епіфіза в організації інфрадіаної ритміки фізіологічних систем // *Нейрофізіологія.* – 1999. – Т. 31, № 2 – С. 157-161.
 23. Baller R., Coon S., Klein D. Orphan nuclear receptor R α – beta – cyclic – AMP regulates expression in the pineal – gland // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* – 1996. – Vol. 220. – P. 975 – 978.
 24. Темурьянц Н.А., Шехоткин А.В., Насыльнич В.А., Магниточувствительность эпифиза // *Биофизика.* – 1998. – Т. 43, № 5. – С. 761-765.
 25. Arendt J., Deverson S., Folhard S. Use of melatonin in circadian rhythm disturbance associated with jet-lag and shift work // *J. Interdiscip. Cycle Res.* – 1992. – Vol. 23. – P. 136-138.
 26. Lerchl A., Nonaka K.O., Stokkan K.A., Reiter R.J. Marked rapid alterations in nocturnal pineal metabolism in mice and rats exposed to week intermittent magnetic fields // *Biochemical and biophysical research communications.* – 1990. – Vol. 169, No. 1. – P. 102-108.
 27. Kavaliers M., Ossenkopp K.P. Stress-induced opioid analgesia and activity in mice: inhibitory influences of exposure to magnetic fields // *Psychopharmacology.* – 1986. – Vol. 89, No. 4. – P. 440-443.
 28. Сидякин В.Г. Влияние глобальных экологических факторов на нервную систему. – Киев: Наукова думка. 1986. – 160 с.
 29. Сучкова Ж.В. Аппараты нового поколения для локальной магнитотерапии и локального теплolecения. Сборник методических пособий для студентов медицинских вузов, врачей в системе дополнительного образования. – Москва, 2001. – 38 с.
 30. Reiter R.J. Melatonin aspects of exposure to low frequency electric and magnetic fields // *Advances in electromagnetic fields in living systems.* – 1997. – Vol. 2. – P. 1 – 27.
 31. Перцов С.С., Мещеряков А.Ф., Глушков Р.Г., Судаков К.В. импульсная активность нейронов латерального гипоталамуса у крыс при микроионофоретическом поведении мелатонина и норадrenalина // *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова.* – 2002. – Т. 88, № 12. – С. 1521–1529.

Поступила в редакцию 15.11.2004 г.