

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МОДУЛЯ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ПРОТОКОЛУ IEEE 802.15.1 (BLUETOOTH) НА ДИНАМИКУ ВЫРАБОТКИ УСЛОВНОГО ПИЩЕВОГО РЕФЛЕКСА У КРЫС

Проведено исследование влияния электромагнитного излучения модуля беспроводной передачи данных по протоколу IEEE 802.15.1 («Bluetooth») на динамику выработки условного пищевого рефлекса у белых крыс в трехлучевом лабиринте. Показан угнетающий эффект двенадцатидневной экспозиции на процессы обучения и памяти. Таким образом, информационные сверхслабые уровни воздействия ЭМИ являются значимыми для когнитивной функции мозга и требуют всестороннего исследования.

Ключевые слова:

беспроводная передача данных, персональный компьютер, трехлучевой лабиринт, условный пищевой рефлекс, электромагнитное излучение.

Мировой научной общественностью признано, что электромагнитные поля искусственного происхождения являются значимым экологическим фактором с высокой биологической активностью [3]. Анализ планов отраслей связи по передаче и обработке информации показывает, что в ближайшем будущем будет нарастать использование технических средств, генерирующих электромагнитную энергию в окружающей среде.

Широкое применение персональных компьютеров, являющихся потенциальными источниками электромагнитного излучения со спектральным составом в диапазоне частот от 0,01 до 3 ГГц [9] и постоянных электромагнитных полей [14], обусловило необходимость изучения влияния этих технических средств на экологическую обстановку рабочего места пользователя.

В настоящее время компании, производящие персональные компьютеры и мобильные телефоны, пытаются избежать ужесточения контроля и соответствующего нормирования параметров выпускаемой продукции, указывают на то, что энергия электромагнитного излучения продукции слишком мала, чтобы оказать значимое негативное влияние путем нагревания биологических тканей. Тем не менее, возникновение множества неблагоприятных воздействий электромагнитного излучения наблюдается при его интенсивностях в несколько сотен тысяч раз меньших, по сравнению с предписанными в стандартах безопасности [21]. В таких случаях не может происходить нагревания тканей, а потому нетепловое воздействие электромагнитного излучения представляет

особый интерес для биологии, медицины и экологии, а его всестороннее изучение необходимо для становления принципиально новой научной платформы для нормирования.

Динамичное развитие информационных технологий и беспроводных средств связи постоянно расширяет спектр используемых населением технических средств – источников ЭМИ и ставит перед научным и медицинским сообществами проблему сложности прогнозирования долгосрочных эффектов соответствующего воздействия [19]. Подобное состояние проблемы придает особую важность любым результатам исследований в области электромагнитобиологии, важнейшим прикладным аспектом которой является экологическая обстановка на рабочем месте пользователя.

Таким образом, в настоящее время особо актуальными являются вопросы комплексного исследования биологического эффекта ЭМИ технических средств связи, хранения и обработки данных нового поколения. К подобным устройствам относятся широко распространенные в быту и рабочих местах персональные компьютеры, неблагоприятное воздействие ЭМИ которых (в стандартном режиме загрузки аппаратных средств) показано в ряде исследований [11; 12].

Особый вклад в спектр ЭМИ ПЭВМ вносят беспроводные устройства передачи данных по протоколу IEEE 802.15.1 «Bluetooth», однако значимость этой составляющей в качестве источника неблагоприятного биологического воздействия практически не исследована, а потому требует экспериментальной проверки.

Клинико-физиологические исследования людей, работающих в условиях воздействия на организм ЭМП различных диапазонов, показали, что у них отмечаются нарушения высшей нервной деятельности, аналогичные результаты получены при работе с лабораторными животными [5; 6]. Показано, что хроническое воздействие ЭМИ приводит к развитию таких негативных последствий, как болезнь Альцгеймера, болезнь двигательных нейронов и болезнь Паркинсона [26], которые сопровождаются гибелью специфических нейронов и могут быть классифицированы как нейродегенеративные заболевания. Многие исследователи считают, что формирование системной реакции организма на облучение ЭМП происходит прежде всего с участием ЦНС [2; 16; 17]. Причем существуют доказательства нетепловой природы эффектов, например, противоположное тепловому действию уменьшение скорости проведения возбуждения при воздействии ЭМИ [15].

Целью настоящего исследования является оценка биологического эффекта ЭМИ средств беспроводной передачи данных на когнитивную функцию мозга млекопитающих с возможностью экстраполяции результатов для организма человека, для чего решались следующие задачи:

1 Оценить возможность влияния электромагнитного излучения модуля беспроводной передачи данных по протоколу IEEE 802.15.1 на становление условнорефлекторной деятельности у белых беспородных крыс в трехлучевом лабиринте.

2 Определить сроки экспозиции, необходимые для физиологических эффектов ЭМИ.

Материалы и методы. Объектом исследования являлись самцы белых беспородных крыс в возрасте четырех месяцев. В соответствии с моделью Махинько и Никитина [7], результаты исследования с такими животными могут служить материалом для экстраполяции на организм мужчины в возрасте 22 лет. Животных разделили на две группы сравнения, по десять особей каждая.

Экспозиция животных в ЭМП ПЭВМ осуществлялась беспрерывно. Животные

каждой экспериментальной группы содержались в клетках, по 5 голов в каждой [13], на расстоянии 0,3 м от ПЭВМ. Питьевая вода предлагалась без ограничения. Кормление проводилось раз в сутки, в день эксперимента – после предъявления манежа.

В качестве источника ЭМИ использовали портативные персональные компьютеры (тактовая частота ЦПУ – 1,06 ГГц) с модулем «Bluetooth». Значения напряженностей электрического и магнитного полей, а также уровни плотности потока энергии (ППЭ) ПЭВМ приведены в таблице 1.

Условия экспозиции групп сравнения отличались исключительно режимами аппаратной загрузки компьютеров: если в первой группе (экспериментальный контроль) ПЭВМ работал в стандартном режиме аппаратной загрузки, то во второй группе компьютер работал в режиме активации модуля «Bluetooth». Таким образом, любые достоверные отличия между группами следует расценивать как результат влияния ЭМИ модуля беспроводной передачи данных. Срок экспериментальной экспозиции составил 12 суток.

Метод оценки влияния ЭМИ на физиологию высшей нервной деятельности настоящего исследования – тест «Трехлучевой лабиринт», в котором животное должно выбирать правильный рукав согласно условной стимуляции (свет). Данный тест позволяет выявлять нарушения памяти и обучаемости у исследуемых животных под действием исследуемого фактора [20].

Целью испытаний в трехлучевом лабиринте является оценка скорости формирования условного пищевого рефлекса у исследуемого объекта и выявление вероятных отличий по этому показателю между экспериментальной группой и контролем.

Определяемая характеристика – количество (доля) правильных выборов в трехлучевом лабиринте. За правильный выбор принимается заход в луч с условным стимулом (свет) и пищевым подкреплением.

Задачей является оценка воздействия экспериментального фактора на процессы долговременной памяти и условнорефлекторной деятельности крыс.

В устройстве «Трехлучевой лабиринт» (рис. 1) происходит попеременное для

Таблица 1
Напряженности магнитного и электрического полей ПЭВМ и величины ППЭ ПЭВМ

Параметр	Напряженность магнитного поля 1–30 МГц (А/м)	Напряженность электрического поля 1–300 МГц (В/м)	Интенсивность ППЭ >300МГц (Вт/м ²)	Интенсивность ППЭ модуля Bluetooth (Вт/м ²)
Значение	1,3·10 ⁻¹	1,1·10 ⁻¹	8,2·10 ⁻⁷	5,5·10 ⁻²

270 | трех лучей предъявление условного стимула, при заходе крысы в такой луч (случай правильного выбора), крыса получает пищевое подкрепление, при заходе в луч без условного стимула (случай неправильного выбора) крыса не получает пищевое подкрепление. Устройство лабиринта запрограммировано таким образом, что, выходя из любого луча, крыса находится в условиях выбора двух других лучей: подкрепленного и не подкрепленного, потому исходный уровень правильных выборов необученного животного, адаптированного к условиям лабиринта – 50%.

Метод позволяет получить точную кривую обучения по серии экспериментов [12; 20]. При этом за счет произведенной автоматизации экспериментальной установки, появляется возможность свести присутствие человека в экспериментальной комнате к минимуму.

Оцениваемые показатели – общее количество лучей, посещенных за время эксперимента и количество правильных выборов.

Экспериментальные исследования проводились в соответствии с общепринятой стереотипной моделью [20], однако автоматизация процесса позволила регистрировать искомые параметры без участия пользователя. Для повышения чувствительности метода, произвели предварительный отбор животных по общим параметрам горизонтальной двигательной активности в тесте «Открытое поле».

Результаты влияния двенадцатидневной экспозиции животных на становление условного пищевого рефлекса представлены на рис. 2.

Результаты исследования свидетельствуют о непосредственном влиянии ЭМИ

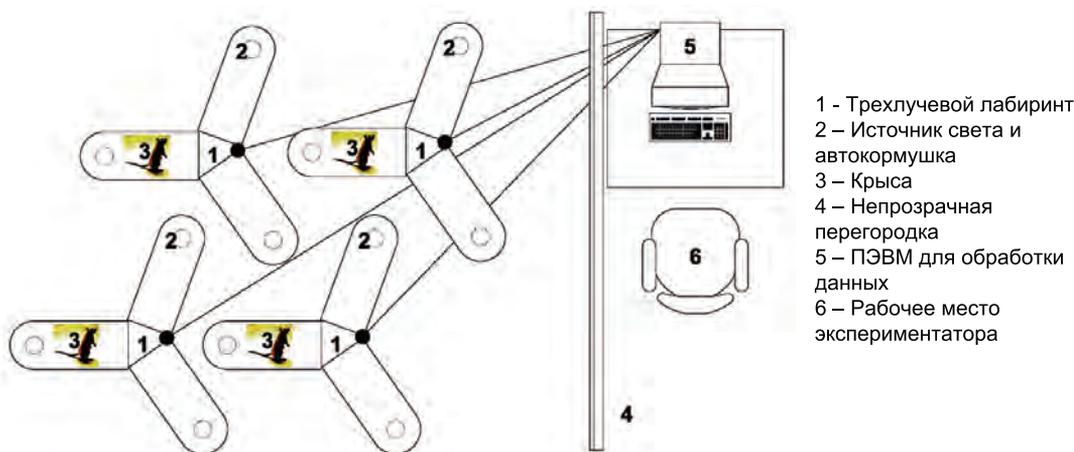


Рис. 1. Схема экспериментального комплекса «Трехлучевой лабиринт».

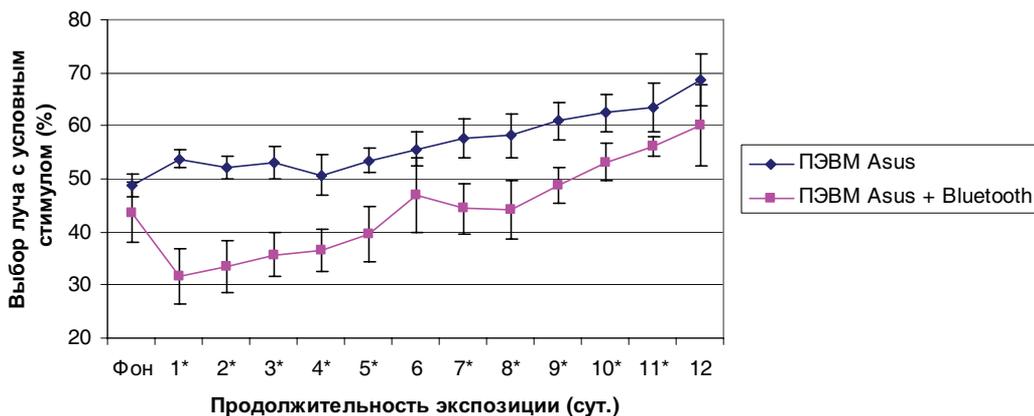


Рис. 2. Влияние ЭМИ модуля «Bluetooth» ПЭВМ на скорость выработки условного пищевого рефлекса у самцов белых беспородных крыс. Данные представлены в виде $m \pm SEM$. * - достоверное отличие между группами, $p < 0,05$.

модуля беспроводной передачи данных «Bluetooth» на скорость выработки условного пищевого рефлекса у крыс. Достоверные отличия наблюдаются в первые сутки экспозиции (53,68 и 31,67 % правильных выборов лучей). В экспериментальной группе животных происходит не только задержка в росте кривой обучения, а ее падение ниже отметки в 50% (до десятого предъявления лабиринте). Последнее, по нашему мнению, свидетельствует об активном избегании животными рукавов со световым стимулом, несмотря на предварительную адаптацию животных к обстановке лабиринта.

Таким образом, активация модуля «Bluetooth» привела к более значительным изменениям в когнитивной функции мозга животных (сильная задержка в скорости выработки условного пищевого рефлекса, признаки тревожности), чем таковые при воздействии ПЭВМ в стандартном режиме загрузки аппаратных средств.

К настоящему моменту аналогичных исследований (влияние длительного воздействия ЭМИ модуля «Bluetooth») не проводилось, так как предполагается что, ЭМИ модуля «Bluetooth» слишком слабы для оказания достоверного эффекта на процесс выработки условных рефлексов. Однако наши результаты подтверждают ся данными экспериментов с различными моделями [8; 10; 12; 23; 24; 25], где показан выраженный биологический эффект при сходных параметрах напряженности ЭМП, а минимальное значение ППЭ ЭМИ, оказывающее значимый эффект на параметры поведения млекопитающих (рефлекс избегания у крыс) составляет $1 \cdot 10^{-7}$ Вт/м² [22].

Исследования влияния ЭМИ на процессы памяти посредством анализа динамики выработки условных рефлексов в экспериментальных установках типа лабиринт проводились неоднократно, в большинстве случаев был показан угнетающий эффект воздействия, что являет-

ся подтверждением результатов нашего исследования. Так, в [18] показано, что ЭМИ ПЭВМ при одночасовой экспозиции усиливает возбудительные процессы в ЦНС и сдвигает вегетативный гомеостаз в сторону парасимпатического преобладания, физиологическим проявлением чего является нарушение механизмов памяти. К специфике влияния ЭМИ относится развитие дисфункции вегетативного отдела нервной системы [4].

Дополнительный эффект активации модуля «Bluetooth», показанный в настоящем исследовании, выражен значительно сильнее, чем непосредственный эффект ЭМИ портативного ПЭВМ [12].

Возможные объяснения полученных данных по воздействию модуля «Bluetooth» дает теория информационных воздействий ЭМП на биосистемы [1], основанная на нетепловых и биорезонансных воздействиях ЭМП на биологические системы и процессы. Так, реакция на воздействие сверхслабых ЭМП показана для целого ряда биологических систем. Например, описано ускорение роста высших растений [25], изменения динамики размножения дрожжей [8; 24], изменения в локомоции диатомовых водорослей [23].

В результате проведенных экспериментальных исследований и их интерпретации нами сделаны следующие выводы:

1 Электромагнитное излучение модуля беспроводной передачи данных по протоколу IEEE 802.15.1 «Bluetooth» оказывает достоверный угнетающий эффект на выработку условного пищевого рефлекса у белых крыс в трехлучевом лабиринте.

2. Первые физиологические нарушения выявлены через сутки экспериментальной экспозиции.

3 Модули беспроводной передачи данных являются потенциально опасными для процессов высшей нервной деятельности пользователей персональных компьютеров в случаях их длительного непрерывного использования.

Список литературы

- [1] Акоев И.Г., Алексеев С.И., Тяжелов В.В. Первичные механизмы действия радиочастотных излучений // Биологические эффекты электромагнитных полей. Вопросы их использования и нормирования. – Пущино: АН СССР. НЦБИ, 1986. – С. 4–14.
- [2] Григорьев Ю.Г., Лукьянова С.Н., Рышков В.В., Григорьев О.А., Макаров В.П., Полинцев Ю.В. Реакция человека на электромагнитное излучение сотового телефона // Материалы Межд. сов. «Электромагнитные поля. Биологическое действие и гигиеническое нормирование». – Geneva, Switzerland: World health organization, 1999. – P. 525–536.
- [3] Григорьев Ю.Г., Бичелдей Е.П., Меркулов А.В., Степанов В.С., Шенфельд Б.Е. Определение подходов к нормированию воздействия антропогенного электромагнитного поля на природные экосистемы // Радиационная биология. Радиоэкология. Т. 43. 2003, вып. 5. – С. 544–551.
- [4] Колебания и волны (гигиеническая оценка, нормирование, защита) / Уч. пос.; под. ред. Ю.В. Лизунова, О.П. Ломова. – СПб.: Диалект, 2006. – 272 с.

- [5] Лобанова Е.А., Гордон З.В. Исследование обонятельной чувствительности у лиц, подвергавшихся воздействию СВЧ // О биологическом воздействии сверхвысоких частот. – М.: Наука, 1960. – С. 52–56.
- [6] Лобанова Е.А., Гончарова А.В. Исследование условнорефлекторной деятельности животных (белых крыс) при действии ультракоротких и коротких волн // Гигиена труда и профзаболеваний. – 1971, № 1. – С. 29.
- [7] Махинько В.И., Никитин В.Н. Константы роста и функциональные периоды развития в постнатальной жизни белых крыс. – Киев: Наукова думка, 1975. – С. 308–326.
- [8] Мухачев Е.В., Михайлова К.А., Габай И.А., Носов В.Н. Метод биотестирования влияния электромагнитного излучения УВЧ диапазона с использованием модели ингибируемого роста колоний дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* // Общество. Среда. Развитие. – 2011, № 4. – С. 247–250.
- [9] Мырова Л.О. Защита от электромагнитных излучений // Безопасность и охрана труда. – 2008, № 1. – С. 5–11.
- [10] Носов В.Н., Мухачев Е.В., Габай И.А. Возможность экспресс-анализа воздействия абиотических факторов на биологические системы, основанная на использовании зародышей *Danio rerio* (Teleostei) // Материалы 3-й Всероссийской конференции с международным участием «Медико-физиологические проблемы экологии человека». – Ульяновск, 2009. – С. 226–227.
- [11] Носов В.Н., Габай И.А., Мухачев Е.В., Михайлова К.А. Воздействие электромагнитного излучения ПЭВМ различных производителей на пролиферацию *Paramecium caudatum* // Материалы 5-й Всероссийской конференции с международным участием «Медико-физиологические проблемы экологии человека». – 2011. – С. 194–195.
- [12] Носов В.Н., Мухачев Е.В., Габай И.А., Михайлова К.А. Воздействие электромагнитного излучения модуля беспроводной передачи данных Bluetooth на обучение крыс в трехлучевом лабиринте // Материалы 5-й Всероссийской конференции с международным участием «Медико-физиологические проблемы экологии человека». – 2011. – С. 193–194.
- [13] Степанович М.Ю., Здобнова И.М., Зарубенко И.И., Лазарева Н.А., Гуляева Н.В. Исследование эффектов центрального введения β-амилоидного пептида (25–35): патоморфологические изменения в гиппокампе и нарушение пространственной памяти // Журнал высшей нервной деятельности. Т. 54. – 2004, № 5. – С. 705–711.
- [14] Сынзыныс Б.И., Ильин А.В. Биологическая опасность и нормирование электромагнитных излучений персональных компьютеров. – М.: Русполиграф, 1997. – 64 с.
- [15] Тигранян Р.Э., Хафизов Р.З., Тяжелов В.В. Действие низкоинтенсивного СВЧ-ЭМП на нервно-мышечный препарат лягушки // Тез. докл. Всес. симп. Биологическое действие ЭМП. – Пушкино, 1982. – С. 14.
- [16] Холодов Ю.А. Реакция нервной системы на электромагнитные поля. – М.: Наука, 1975. – 207 с.
- [17] Чиженкова Р.А. Импульсные потоки популяций корковых нейронов при СВЧ-облучении: межспайковые интервалы // Радиационная биология. Радиоэкология. Т. 41. – 2001, № 6. – С. 700–705.
- [18] Шевель Д.М. Электромагнитная безопасность. – М.: Век, 2002. – 432 с.
- [19] Binhi V.N. Report from Russia – electromagnetic fields and human health // The third international conference «Electromagnetic fields and human health – fundamental and applied research». – 2003. – P. 17–25.
- [20] Choy KH, Dean O, Berk M, Bush AI, van den Buuse M. Effects of N-acetyl-cysteine treatment on glutathione depletion and a short-term spatial memory deficit in 2-cyclohexene-1-one-treated rats. // Eur. J. Pharmacol. – 2010, № 15. – P. 224–228.
- [21] Goldworthy A. The biological effects of Weak Electromagnetic Fields. – Интернет-ресурс. Режим доступа: www.goldworthy-bio-weak-em-0.7.doc. – 2007. – P. 1–15.
- [22] Havas M. Analysis of health and environmental effects of proposed San Francisco Earthlink Wi-fi network // San Francisco Earthlink Wi-fi network. – San Francisco, 2007. – 51 p.
- [23] McLeod M., Stein M., Beach D., The product of the *mei3* gene, expressed under control of the mating-type locus, induces meiosis and sporulation in fission yeast // EMBO J. – 1987, V. 6. – P. 729–736.
- [24] Mehedintu M., Berg H., Proliferation response of yeast *Saccharomyces cerevisiae* on electromagnetic field parameters // Bioelectrochem. Bioenerg. – 1997, V. 43. – P. 67–70.
- [25] Muraji M., Tatebe W., Fujii T. On the effect of alternating magnetic field on the grows of primery root of corn // Met. Fac. Ing. Osaka city univ. – 1992, V. 33. – P. 61–68.
- [26] WHO – World Health Organization 2007. Extremely low frequency fields. Environmental health criteria. – Geneva, Switzerland, 2007. – 238 p.