

Оценка результатов теста «Лабиринт» проводилась с помощью критерия Мак-Немара, выявлены статистически значимые различия внутри второй группы на 3-й день экспозиции ($p = 0,046$). Межгрупповое сравнение проводилось с помощью точного критерия Фишера, статистически значимых различий не выявлено ($p > 0,05$).

Выводы

1. При воздействии ЭМИ Wi-Fi оборудования у опытных животных отмечается снижение показателей горизонтальной и вертикальной двигательной активности по сравнению с контрольной группой, что свидетельствует о возникновении стресса у животных (различия достоверны).

2. Депрессивное состояние у животных, подвергшихся воздействию ЭМИ Wi-Fi оборудования, развивается на 25-е сутки эксперимента (различия с исходными показателями достоверны, различия между группами недостоверны).

3. У животных, подверженных воздействию ЭМИ Wi-Fi оборудования, отмечаются незначительное замедление прироста массы тела и снижение функции рабочей памяти (различия недостоверны).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература (п. 3–11 см. References)

1. Вихрова С.П., Самойлова В.О. *Биофизика для инженеров*. М.; 2008.
2. Буракова Е.Б. Особенности действия сверхмалых доз биологически активных веществ и физических факторов низкой интенсивности. *Российский химический журнал*. 1999; 43(5): 3–11.

References

1. Vikhrova S.P., Samoylova V.O. *Biophysics for Engineers [Biofizika dlya inzhenerov]*. Moscow; 2008. (in Russian)

2. Burlakova E.B. Features of the action of ultra-low doses of biologically active and physical factors. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*. 1999; 43(5): 3–11. (in Russian)
3. Atasoy H.I., Gunal M.Y., Atasoy P., Elgun S., Bugdayci G. Immunohistopathologic demonstration of deleterious effects on growing rat testes of radiofrequency waves emitted from conventional Wi-Fi devices. *J. Pediatr. Urol.* 2013; 9(2): 223–9.
4. Avendaño C., Mata A., Sanchez Sarmiento C.A., Doncel G.F. Use of laptop computers connected to internet through Wi-Fi decreases human sperm motility and increases sperm DNA fragmentation. *Fertil. Steril.* 2012; 97(1): 39–45.
5. Avendaño C., Mata A., Juarez Villanueva A.M., Martinez V.S., Sanchez Sarmiento C.A. Laptop exposures affect motility and induce DNA fragmentation in human spermatozoa in vitro by a non-thermal effect: a preliminary report. In: *American Society for Reproductive Medicine 66th Annual Meeting: O-249*. Denver; 2010.
6. Aynali G., Naziroglu M., Celik O., Dogan M., Yariktaş M., Yasan H. Modulation of wireless (2.45 GHz)-induced oxidative toxicity in laryngotracheal mucosa of rat by melatonin. *Eur. Arch. Otorhinolaryngol.* 2013; 270(5): 1695–700.
7. Gumral N., Naziroglu M., Koyu A., Ongel K., Celik O., Saygin M., et al. Effects of selenium and L-carnitine on oxidative stress in blood of rat induced by 2.45-GHz radiation from wireless devices. *Biol. Trace Elem. Res.* 2009; 132(1-3): 153–63.
8. Havas M., Marrongelle J., Pollner B., Kelley E., Rees C., Tully L., et al. Provocation study using heart rate variability shows microwave radiation from 2.4GHz cordless phone affects autonomic nervous system. *Eur. J. Oncol. Library.* 2010; 5: 273–300.
9. Havas M., Marrongelle J. Replication of heart rate variability provocation study with 2.45GHz cordless phone confirms original findings. *Electromagn. Biol. Med.* 2013; 32(2): 253–266.
10. Maganioti A.E., Papageorgiou C.C., Hountala C.D., Kyprianou M.A., Rabavilas A.D., Papadimitriou G.N., et al. Wi-Fi electromagnetic fields exert gender related alterations on EEG. In: *6th International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic fields*. Bodrum; 2010.
11. Papageorgiou C.C., Hountala C.D., Maganioti A.E., Kyprianou M.A., Rabavilas A.D., Papadimitriou G.N., et al. Effects of Wi-Fi signals on the p300 component of event-related potentials during an auditory hayling task. *J. Integr. Neurosci.* 2011; 10(2): 189–202.

Поступила 15.03.17
Принята к печати 05.07.17

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2017

Афанасьев А.С., Зибарев Е.В., Каляда Т.В.

ВЛИЯНИЕ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА КОГНИТИВНЫЕ РЕАКЦИИ БЕЛЫХ МЫШЕЙ

ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 191036, Санкт-Петербург

Проведены исследования по оценке влияния широкополосных импульсных электромагнитных излучений (ЭМИ) на ЦНС белых мышей при помощи тестов «Открытое поле», «Т-образный лабиринт», «Вынужденное плавание». Экспериментальные исследования выполнялись в экранированной полубезэховой камере с дистанционным управлением работой имитатора широкополосных импульсных ЭМИ. Доказано влияние данных излучений на когнитивную функцию. Выявлено, что при воздействии широкополосных импульсных ЭМИ на три группы животных (экспозиции 15, 30, 60 минут) только в группе с экспозицией 15 минут отсутствуют изменения в поведенческих реакциях. В остальных двух группах обнаружены статистически значимые изменения в показателях горизонтальной и вертикальной двигательной активности. Результаты работы подтверждают возможность возникновения разобщения между процессами торможения и возбуждения в коре головного мозга при воздействии ЭМИ низких интенсивностей (нетермальных) на биологические объекты.

Ключевые слова: широкополосные импульсные электромагнитные излучения; когнитивные реакции.

Для цитирования: Афанасьев А.С., Зибарев Е.В., Каляда Т.В. Влияние широкополосных электромагнитных импульсов на когнитивные реакции белых мышей. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(7): 664–666. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-7-664-666>

Для корреспонденции: Афанасьев Андрей Сергеевич, лаб.-иссл. отдела научного обеспечения санитарно-эпидемиологического надзора и экспертиз ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 191036, Санкт-Петербург. E-mail: Afanasyev_as@inbox.ru

Afanasev A.S., Zibarev E.V., Kalyada T.V.

THE IMPACT OF BROADBAND ELECTROMAGNETIC PULSES ON THE COGNITIVE REACTIONS OF WHITE MICE

North-West Public Health Research Center, Saint-Petersburg, 191036, Russian Federation

There were executed studies to assess the impact of broadband pulsed electromagnetic radiation on the central nervous system of white mice in test “open field”, “T-maze”, “Forced swimming”. The results of the study proved the influence of pulsed electromagnetic radiation on cognitive function. Experimental studies were performed in a

shielded equipped semi-anechoic chambers with the remote control of the work of the simulator of broadband pulse EMT. At the end of the performed studies it was revealed that when exposed to broadband pulsed electromagnetic radiation into three groups of animals (exposure of 15, 30, 60 minutes) only in the group with exposure for 15 minutes there were no detected changes in behavioral responses. In the other two groups there were shown statistically significant changes in indices of the horizontal and vertical locomotor activity. The results confirm the possibility of separation between the processes of inhibition and excitation under the influence of EMF of low intensity (non-thermal) on biological objects.

Key words: *broadband pulse of electromagnetic radiation; cognitive reaction.*

For citation: Afanasev A.S., Zibarev E.V., Kalyada T.V. The impact of broadband electromagnetic pulses on the cognitive reactions of white mice. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2017; 96(7): 664-666. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.1882/0016-9900-2017-96-7-664-666>

For correspondence: *Andrey S. Afanasev, MD, laboratory researcher of the department of scientific securing of sanitary and epidemiological supervision and examinations of state of science North-West Public Health Research Center, Saint-Petersburg, 191036, Russian Federation. E-mail: Afanasyev_as@inbox.ru*

Information about authors:

Afanasev A.S. <http://orcid.org/0000-0002-2259-8918>; Zibarev E.V. <http://orcid.org/0000-0002-5983-3547>;

Kalyada T.V. <http://orcid.org/0000-0001-9983-9276>.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: 15.03.17

Accepted: 05.07.17

Введение

За последние несколько десятилетий значительно расширились области применения электромагнитных излучений (ЭМИ) и, как следствие, возросло влияние устройств, являющихся источниками таких излучений, на организм человека. Значимое место среди подобных радиоэлектронных средств занимают устройства, генерирующие широкополосные импульсные ЭМИ. Эти излучения применяются как в гражданской, так и в военной сфере (некоторые системы связи, радиолокационные станции, навигационные системы, радиолокационные системы электронной борьбы и др.) [1–4].

На сегодняшний день темпы внедрения устройств, генерирующих импульсные ЭМИ, опережают темпы проведения исследований, направленных на определение их возможного неблагоприятного влияния на здоровье человека. Установлено, что при воздействии ЭМИ малых интенсивностей на организм человека определяется функциональная кумуляция, которая предполагает накопление функциональных нарушений в организме и ведет к срыву механизмов адаптации [5].

Воздействие ЭМИ, в том числе электромагнитных импульсов, на биологические объекты базируется не только на тепловых, но и на нетермических (нелетальных) эффектах [6]. Отмечено, что в возбужденных клетках, таких как нервные [7, 8] и мышечные, сравнительно небольшие изменения поляризации клеточной мембраны влекут за собой сильные нелинейные изменения ее проводимости. Предполагаемые механизмы действия приводят к поведенческим последствиям при направленном воздействии электромагнитных импульсов [9–11].

Материал и методы

В качестве источника электромагнитных полей в исследовании применяли специально созданный экспериментальный комплекс высоковольтных импульсов напряжения. Оценивали биологические эффекты: при заданных физических параметрах генерации импульсных ЭМИ, при разных ежедневных экспозициях и продолжительностях воздействия.

Экспериментальный комплекс высоковольтных импульсов напряжения обладал следующими характеристиками: максимальная амплитуда выходного напряжения на нагрузке 50 Ом – 100 кВ; фронт нарастания импульса – 100 ± 20 пс; длительность импульса (на уровне 50% максимальной амплитуды) – 400 ± 100 пс; максимальная частота повторения импульсов – 1 кГц; амплитуда импульсного электрического поля на расстоянии 10 м при входном напряжении 100 кВ – 20 кВ/м; частотный диапазон генерируемых импульсов – до 10 ГГц.

Экспериментальные исследования выполняли в условиях экранированной полубезэховой камеры с дистанционным управлением работой имитатора импульсных ЭМИ, видеонаблюдением и регистрацией поведения животных в процессе воз-

действия. Моделирование условий облучения предусматривало воспроизведение процесса распространения электромагнитных импульсов, приближенных к реальным условиям, т. е. в свободном пространстве.

Исследования проводили на самцах белых беспородных мышей. Из животных в возрасте 18–20 недель и массой 31 ± 0,7 г были сформированы три группы облучения и одна контрольная группа путем двукратного тестирования в «открытом поле». Первая группа животных подвергалась ежедневному воздействию с экспозицией 60 мин, вторая – 30 мин, третья – 15 мин. Протяженность эксперимента для всех групп составляла 5 дней. Клетки с животными устанавливали на расстоянии 1 метра от геометрического центра антенны.

Для оценки психофизиологических, поведенческих и двигательных реакций биологические объекты выполняли тесты «Открытое поле», «Т-образный лабиринт», «Вынужденное плавание» [3, 4]. Контролировались также температура поверхности тела и масса животных.

В период облучения показатели тестов «Открытое поле», «Т-образный лабиринт», «Вынужденное плавание» оценивали ежедневно, до и после воздействия. Для оценки достоверности результатов эксперимента контроль вышеуказанных параметров проводили как до экспозиции (за 5 дней до начала эксперимента), так и после нее (от 1 до 2 раз до момента возврата показателей к исходным значениям).

Статистическую обработку данных проводили с использованием общепринятых статистических методов на персональном компьютере с установленными программными продуктами корпорации Microsoft (Microsoft Excel 2007) и прикладной программой IBM SPSS Statistics version 22.

Вычисляли описательные статистические данные (среднее арифметическое, медиану, моду, 25, 50 и 75-й проценти, минимум и максимум, стандартное отклонение, стандартную ошибку среднего значения), рассчитывали критерий Манна–Уитни и критерий для проведения корреляционного анализа (коэффициент ранговой корреляции Спирмена). С помощью IBM SPSS Statistics version 22 оценивали нормальность распределения по критерию Колмогорова–Смирнова и выполняли оценку значимости различий между тремя и более показателями в связанных выборках (критерий Фридмана). Критический уровень значимости нулевой статистической гипотезы принимали равным 0,05.

Результаты

До начала эксперимента и после прекращения воздействия импульсных ЭМИ в облучаемых группах животных в сравнении с контрольной группой статистически значимых изменений температуры поверхности тела и массы животных не выявлено.

По данным, полученным в ходе изучения когнитивных реакций животных первой группы при помощи теста «Открытое

поле», к 5-му дню воздействия можно отметить уменьшение количества посещенных секторов в периферийной области поля, вертикальных стоек с упором о борт поля и числа обследуемых отверстий. По другим показателям, определяемым в рамках данного теста, статистически значимых отличий от контрольной группы не наблюдалось.

Результаты, полученные в ходе изучения животных второй группы с помощью теста «Открытое поле», к 5-му дню воздействия практически идентичны результатам, полученным в ходе воздействия на первую группу: выявлено уменьшение количества посещенных секторов в периферийной области поля и вертикальных стоек с упором о борт поля. По остальным показателям статистически значимых отличий от контрольной группы не обнаружено.

Результаты, полученные в опытах с третьей группой животных во всех тестах, проведенных до, в процессе и после воздействия, статистической значимости не имели.

Показатели горизонтальной и вертикальной двигательной активности в первой и второй группах, измененные в ходе воздействия, восстанавливались к 3–5-му дню после его окончания.

Исследования рабочей памяти в тесте «Т-образный лабиринт» и уровня депрессивности в тесте «Вынужденное плавание» отклонений в группах, подвергшихся воздействию импульсного ЭМИ, от контрольной группы не выявили.

Необходимо отметить, что нарушений в моторной сфере (шаткости походки, разобщения работы конечностей и т.д.) у животных в процессе воздействия не наблюдалось. Вскрытие животных после окончания эксперимента не проводилось.

Выводы

1. Воздействие импульсных ЭМИ с заданными параметрами с ежедневной экспозицией 60 и 30 минут показало односторонние изменения поведенческих реакций у животных (снижение горизонтальной и вертикальной двигательной активности).

2. Изменение когнитивных реакций при рассматриваемых экспозициях и продолжительности воздействия носило обратимый характер. После прекращения воздействия в течение 3–5 дней показатели возвращались на исходные уровни.

3. В ходе эксперимента при воздействии импульсных ЭМИ с заданными параметрами изменения температуры поверхности тела животных не наблюдалось.

4. Для обеспечения безопасности при разработке и эксплуатации устройств, являющихся источниками широкополосных импульсных ЭМИ с различной скоростью нарастания и длительностью импульсов, необходимо проведение дальнейших исследований.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. *Методологические вопросы гигиенического нормирования электромагнитных излучений радиочастотного диапазона: сборник научных трудов.* М.; 1979.
2. Трибрат Н.С., Чуян Е.Н., Раваева М.Ю. Влияние электромагнитных излучений различного диапазона на процессы микроциркуляции. *Региональное кровообращение и микроциркуляция.* 2010; 9(3): 15–27.
3. Павлова Л.Н., Жаворонков Л.П., Дубовик Б.В., Глушакова В.С., Посадская В.М. Экспериментальная оценка реакций ЦНС на воздействие импульсных ЭМИ низкой интенсивности. *Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра).* 2010; 19(3): 104–19.
4. *Тезисы докладов симпозиума «Механизмы биодействия электромагнитных излучений».* Пушино; 1987.

5. Сподобаев Ю.М., Кубанов В.П. *Основы электромагнитной экологии.* М.: Радио и связь; 2005.
6. Еськов Е.К., Тобоев В.А. Воздействие искусственно генерируемых электромагнитных полей на биологические объекты. *Вестник Чувашского университета.* 2008; (2): 28–36.
7. Жаворонков Л.П., Дубовик Б.В., Павлова Л.Н., Колганова О.И., Посадская В.М. Влияние широкополосного импульсно-модулированного ЭМП низкой интенсивности на общую возбудимость ЦНС. *Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра).* 2011; 20(2): 64–74.
8. Амикишиева А.В. Поведенческое фенотипирование: современные методы и оборудование. *Вавиловский журнал генетики и селекции.* 2009; 13(3): 529–42.
9. Жюсбери Д.А. *Поведение животных. Сравнительные аспекты.* Пер. с англ. М.: Мир; 1981.
10. Григорьев Ю.Г. Роль модуляции в биологическом действии ЭМП. *Радиационная биология. Радиоэкология.* 1996; 36(5): 659–70.
11. Кудряшов Ю.Б., Перов Ю.Ф. Сравнительные биологические эффекты непрерывного и импульсного радиочастотного излучения. В кн.: *Сборник работ III съезда по радиационным исследованиям.* Пушино; 1997: 64.

References

1. *Methodological Issues of Hygienic Regulation of Electromagnetic Radiations of the Radio Frequency Range: a Collection of Scientific Papers [Metodologicheskie voprosy gigienicheskogo normirovaniya elektromagnitnykh izlucheniyy radiochastot].* Moscow; 1979. (in Russian)
2. Tribrat N.S., Chuyan E.N., Ravaeva M.Yu. Effect of electromagnetic radiation of various ranges on microcirculation processes. *Regionalnoe krovoobrashchenie i mikrotsirkulyatsiya.* 2010; 9(3): 15–27. (in Russian)
3. Pavlova L.N., Zhavoronkov L.P., Dubovik B.V., Glushakova V.S., Posadskaya V.M. Experimental assessment of central nervous system response to pulse low intensity electromagnetic radiation exposure. *Radiatsiya i risk (Byulleten' Natsional'nogo radiatsionno-epidemiologicheskogo registra).* 2010; 19(3): 104–19. (in Russian)
4. *Theses of the Reports of the Symposium «Electromagnetic Radiation Bioeffect Mechanisms» [Tezisy докладov simpoziuma «Mekhanizmy biodeystviya elektromagnitnykh izlucheniyy»].* Pushchino; 1987. (in Russian)
5. Spodobaev Yu.M., Kubanov V.P. *Fundamentals of Electromagnetic Ecology [Osnovy elektromagnitnoy ekologii].* Moscow: Radio i svyaz'; 2005. (in Russian)
6. Es'kov E.K., Toboev V.A. Effect of artificially generated electromagnetic fields on biological objects. *Vestnik Chuvashskogo universiteta.* 2008; (2): 28–36. (in Russian)
7. Zhavoronkov L.P., Dubovik B.V., Pavlova L.N., Kolganova O.I., Posadskaya V.M. Effect of broadband pulse-modulated low intensity electromagnetic field on general central nervous system excitation. *Radiatsiya i risk (Byulleten' Natsional'nogo radiatsionno-epidemiologicheskogo registra).* 2011; 20(2): 64–74. (in Russian)
8. Amikishieva A.V. Behavioral phenotyping: Up-to-date techniques and equipment. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii.* 2009; 13(3): 529–42. (in Russian)
9. Dewsbury D.A. *Comparative Animal Behavior.* New York: McGraw-Hill; 1978.
10. Grigor'ev Yu.G. Modulation role in biological effect of electromagnetic fields. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya.* 1996; 36(5): 659–70. (in Russian)
11. Kudryashov Yu.B., Perov Yu.F. Comparative biological effects of continuous and pulse radiofrequency radiation. In: *Collection of Works of the Third Congress on Radiation Research [Sbornik rabot III s'ezda po radiatsionnym issledovaniyam].* Pushchino. 1997. (in Russian)