

Каляда Т.В., Афанасьев А.С., Кузнецов А.В.

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ УСТРОЙСТВ, ГЕНЕРИРУЮЩИХ ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИМПУЛЬСЫ ИЗЛУЧЕНИЯ

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

Введение. В последние десятилетия созданы мощные импульсные источники электромагнитных излучений, способные генерировать и передавать эффективными антеннами высокие пиковые сигналы. Получили распространение широко- и сверхширокополосные (ШШП и СШП) генераторные комплексы в полосе частот от 0,5 до 100 ГГц, концентрирующие энергию в ультракоротких по длительности импульсах. Большинство исследований биологического действия этих излучений связано с их специальным назначением (направленное действие). Сегодня высоковольтное импульсное излучение широко применяется в таких областях, как радиолокация и навигация, радиосвязь, в технологиях полупроводниковых и композиционных материалов, химических соединений, медицине и др. Медико-биологические аспекты СШП-импульсов излучений изучены крайне недостаточно. Рассматриваются вопросы обеспечения безопасности и нормирования для профессионального воздействия. Нами проведены поисковые исследования воздействия широкополосных электромагнитных импульсов на беспородных белых мышах в процессе испытания генераторного комплекса в экспериментальных условиях.

Материал и методы. Исследовали поведенческие реакции в тесте «открытое поле», память в «Т-образном лабиринте», работоспособность в тесте «вынужденное плавание», температурная реакция, динамика электростатического потенциала тела животных, масса тела. Исследования выполнялись в полубезэховой камере. Антенное устройство генератора высоковольтных импульсов позволяло создать равномерное полеобложение в объёме, достаточном для группового воздействия. Управление работой имитатора импульсов осуществлялось дистанционно. Исследование проводили на трёх группах животных и группе контроля в продолжение пяти дней с ежедневной экспозицией в 15, 30 и 60 мин и в период последствие.

Результаты. Выявлены статистически значимые изменения при воздействии импульсов напряжения 100 кВ/м при ежедневном воздействии 30 и 60 мин, свидетельствующие о нарушении поведенческих реакций, двигательной активности, памяти, работоспособности. Отмечено снижение электростатического потенциала тела. Термогенный эффект не выявлен. Результаты поискового исследования подтверждают биологическую активность широкополосных электромагнитных импульсов в краткосрочных экспериментах.

Ключевые слова: широкополосные электромагнитные импульсы; поведенческие реакции; работоспособность; электростатический потенциал тела.

Для цитирования: Каляда Т.В., Афанасьев А.С., Кузнецов А.В. Медико-биологические проблемы при применении устройств, генерирующих широкополосные электромагнитные импульсы излучения. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(12): 1195-1197. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-12-1195-1197>

Для корреспонденции: Каляда Таисия Васильевна, вед. науч. сотр. отд. комплексной гигиенической оценки физических факторов ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья». E-mail: Kalyada51@mail.ru

Kalyada T.V., Afanasev A.S., Kuznetsov A.B.

MEDICAL AND BIOLOGICAL PROBLEMS IN THE USE OF EQUIPMENT GENERATING ELECTROMAGNETIC BROADBAND SURGE PULSES

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

Introduction. In recent decades, there have been created powerful pulsed sources of electromagnetic radiation capable of generating and transmitting high peak signals with effective antennas. Wide-band and ultra-wide-band (NB, UWB) generator complexes in the frequency range from 0.5 Hz to 100 Hz, concentrating the energy in ultrashort pulses in duration, have become widespread. Most studies of the biological effects of these radiations are associated with their special purpose (directional action). Today, high-voltage pulsed radiation is widely used in such areas as radiolocation and navigation, radio communication, in semiconductor and composite technology, chemical compounds, medicine, and others. Biomedical aspects of ultra-wideband radiation pulses have not been studied enough. The issues of the safety and regulation for occupational exposure are considered. The studies of broadband electromagnetic pulses effect on outbred white mice during generator equipment testing were carried out in experimental conditions.

Material and methods. Behavioral responses in the “open field” test, memory in a “T-shaped maze”, working capacity in “forced swimming” test were studied, as well the temperature response, electrostatic body potential and body mass were measured. The studies were implemented in an anechoic chamber. The antenna system of the high-voltage pulse generator enabled us to generate a uniform field having a volume sufficient for the group exposure. Pulse simulator was remote-controlled. The study covered three groups of animals exposed daily for 15, 30 and 60 minutes during five days and a control group. Animals were studied during and after expose periods.

Results. Statistically significant changes were revealed in 30 and 60 minutes daily exposure to 100 kV / m voltage pulses, which evidences disturbances in behavioral responses, motor activity, memory, and work capacity. A decline

in the electrostatic body potential was shown. Thermogenic effect was not seen. The pilot study findings prove the biological activity of broadband electromagnetic pulses in short-term experiment.

Key words: *broadband electromagnetic pulses; behavioral responses; electrostatic potential of the body.*

For citation: Kalyada T.V., Afanasev A.S., Kuznetsov A.B Medical and biological problems in the use of equipment generating electromagnetic broadband surge pulses. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation; Russian journal)* 2018; 97(12): 1195-1197. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-12-1195-1197>

For correspondence: *Taisiya V. Kalyada*, MD, Ph.D., leading researcher of the Department of comprehensive hygienic assessment of physical agents, North-West Public Health Center, Saint-Petersburg, 191036, Russian Federation. E-mail: Kalyada51@mail.ru

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

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Received: 05 September 2018

Accepted: 20 December 2018

Введение

Технические достижения последнего десятилетия способствовали созданию мощных импульсных источников электромагнитных излучений (ЭМИ), способных генерировать и передавать эффективными антеннами высокие пиковые сигналы. Наряду с монохроматическими излучениями получали распространение широко- и сверхширокополосные (ШП и СШП) генераторные комплексы в полосе частот от 0,5 и до 100 ГГц, концентрирующие энергию в ультракоротких по длительности импульсах. Кроме специального назначения (направленного действия) мощные импульсные ЭМИ применяются в таких областях, как радиолокация и навигация, радиосвязь, в технологиях новых полупроводниковых и композиционных материалов, химических соединений, в медицине, в утилизации биологически опасных веществ и др. [1, 2].

Медико-биологическое действие СШП импульсных излучений изучено крайне недостаточно. Экспериментальные исследования имеют фрагментарный характер при кратковременных воздействиях на различных видах животных, а также (*in vitro*) на клетках, тканях и других препаратах [3–6]. Результаты исследований не указывают на острую опасность воздействия СШП-импульсов при отсутствии нагрева.

Исследуются и механизмы взаимодействия высоковольтных импульсивных полей с биосистемами на клеточном и тканевом уровне.

Обращено внимание на связи между внешними и внутренними направленностями поля в тканях и клеточных структурах.

Предполагается, что действие каждого импульса сопровождается повышением температуры с соответствующей скоростью. Такие быстрые тепловые переходные процессы приводят к значительным изменениям потенциалов клеточных мембран, их возбуждению, связи с чем возможны пробои – электропорации. Порогу электропорации соответствует импульс в 50 кВ/м длительностью 0,15 мкс [7]. Рассматривается концепция, основанная на применении мощных электромагнитных импульсов для вызова нейронной синхронизации и нарушения мышечного контроля.

Сильные внутренние поля могут повлиять на нейроны мозга. Считается, что мощные импульсы, влияя на конкретные нейроны и их синхронизацию, изменяют внутренние коммуникационные связи и связи с различными системами мышц, не связанных с жизненно важными функциями. В зависимости от параметров, частоты синхронизации ритмов и количества, реагирующих на воздействие нейронов, могут проявляться различные биологические эффекты [8–10].

В публикациях рассматривается вопрос об обязательном ограничении воздействия на человека широкополосных модулированных импульсов напряжения с различной скоростью нарастания и длительностью.

Материал и методы

Для выполнения исследований на базе ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья» была создана экранированная полубезэховая камера, оснащённая специализированными установками, с помощью которых можно имитировать сверхширокополосные высоковольтные импульсные излучения с различными характеристиками и параметрами воспроизводимых сигналов (вид сигналов, способ их формирования, частотный диапазон, мощность, частота повторения и др.) [11].

В данном исследовании использовался генератор импульсов напряжения (ГИН-100-1) со следующими характеристиками формируемого электромагнитного поля: максимальная амплитуда выходного напряжения на нагрузке 50 Ом–100 кВ, фронт нарастания импульса составил 100 ± 20 пс, длительность импульса (на уровне 50% максимальной амплитуды) – 400 ± 100 пс, максимальная частота повторения – 1 кГц.

Управление работой излучаемого комплекса и видеонаблюдение с регистрацией поведения экспериментальных животных в процессе воздействия осуществлялось дистанционно. Моделирование условий облучения обеспечивало формирование полеобразования, приближённого к реальному, т. е. в свободном пространстве. В эксперименте были использованы беспородные белые мыши (самцы) из специализированного питомника в возрасте 18–20 недель массой $31 \pm 0,7$ г. Двукратным тестированием в «открытом поле» формировались группы. В каждой облучаемой и контрольной группе использовались по 10 особей. Ежедневная экспозиция составляла 15, 30 и 60 мин продолжительностью 5 дней. Регистрация исследуемых показателей выполнялась ежедневно до воздействия и после его окончания, а также в период восстановления.

Для обработки полученных данных применялись общепринятые статистические методы с использованием персонального компьютера с установленными программными продуктами корпорации Microsoft (Microsoft Excel 2007) и прикладной программой IBM SP55 Statistics v.22.

Биологические эффекты оценивались по показателям разных форм поведения в тесте «открытое поле» [12], рабочей памяти в тесте Т-образный лабиринт, мышечной выносливости в тесте «вынужденное плавание». Исследовалась температурная реакция путём регистрации инфракрасного излучения тела тепловизором «Flir P660» с чувствительностью 0,05°C. Определялась динамика электростатического потенциала поверхности тела прибором СТ-01. Регистрировалась масса тела.

Динамика показателей некоторых форм поведения в тесте «открытое поле» (средние значения)

Показатель	До воздействия		После воздействия				Восстановление			
			1-й день		5-й день		8-й день		10-й день	
	Группа									
	облучаемая	контроль	облучаемая	контроль	облучаемая	контроль	облучаемая	контроль	облучаемая	контроль
ГДА	43 ± 2,3	36 ± 1,8	15 ± 1,4	38 ± 2,0	13 ± 1,5	40 ± 1,9	25 ± 1,7	33 ± 1,6	21 ± 1,4	30 ± 1,4
ВДА	9 ± 0,9	5 ± 0,3	2 ± 0,3	7 ± 0,12	1 ± 0,2	5 ± 0,2	4 ± 0,6	4 ± 0,2	3 ± 0,2	5 ± 0,3
Количество обследуемых отверстий	3 ± 0,06	4 ± 0,02	1 ± 0,02	3 ± 0,02	1 ± 0,02	2 ± 0,01	2 ± 0,03	3 ± 0,03	3 ± 0,05	4 ± 0,04

Результаты

В эксперименте с воздействием импульсного Е-поля при ежедневной экспозиции в 60 мин в течение 5 дней и в восстановительный период были выявлены отклонения в показателях некоторых форм поведения. Отмечено снижение горизонтальной двигательной активности (ГДА) по периферийному сектору и 2/3 поля. Снижались вертикальная двигательная активность (ВДА) и число обследуемых отверстий (таблица).

Подобная тенденция отмечена и по другим формам поведения. Выявленные отклонения могут свидетельствовать о стрессовом состоянии животных, которое сохраняется и в период последствия (восстановления). Исследование рабочей памяти в тесте «Т-образный лабиринт» и «вынужденное плавание» не выявило достоверные отклонения по сравнению с контролем. Отмечено снижение электростатического потенциала поверхности тела животных после каждого часового воздействия Е-поля.

В контрольной группе в большинстве опытов выявлено повышение исследуемого показателя и незначительное снижение в отдельных экспериментах.

Температурная реакция в период облучения существенно не изменялась. Изменения массы тела облучаемых и контрольных животных колебались в незначительных пределах, без определённой закономерности. При визуальном осмотре животных после воздействий не выявлено каких-либо отклонений во внешнем виде и поведении.

Результаты исследования животных, подвергавшихся воздействию Е-поля (100кВ/м в течение 5 дней при ежедневной экспозиции 30 мин и в период восстановления) показали реакции той же направленности. Градиент отклонения во время облучения практически не отличался от показателей первой группы животных.

Экспериментальное воздействие Е-полем той же напряжённости на группу животных в течение пяти дней, при ежедневной экспозиции 15 мин не выявило статистически значимых изменений по всем исследованиям.

Выводы

1. Испытание экспериментального комплекса, генерирующего ШП-импульсы напряжения в лабораторном эксперименте на животных при заданных параметрах показало отклонения в некоторых формах поведения в динамике 5-дневных экспозиций с неполным восстановлением через 8 дней, свидетельствующем о длительном последствии.

2. Ежедневная экспозиция к импульсному Е- полю высокой напряжённости (100 кВ/м) (15, 30, 60 мин) не выявило теплового эффекта по интегральному показателю – температуре тела.

3. Установленное статистически значимое снижение электростатического потенциала поверхности тела животных при ежедневном воздействии импульсного излучения (30, 60 мин) может быть следствием предполагаемой деполяризации мембран клеток.

4. Ориентировочные исследования показали, что СШП импульсные ЭМИ могут вызывать негативные реакции поведения. Для обеспечения безопасности человека при разработке и эксплуатации комплексов должны быть разработаны допустимые уровни и экспозиции как для краткого, так для долгосрочного воздействия.

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

Литература (п.п. 3–6, 8–10 см. в References)

1. Шиллов В.В., Каляда Т.В., Фролова Н.М. Проблема электромагнитной безопасности в современных условиях научно-технического прогресса. *Медицина труда и промышленная экология*. 2013; 12: 25-8.
2. *Медико-экологические проблемы здоровья работающих Северо-Западного региона и пути их реализации: материалы научно-практической конференции с международным участием*. Санкт-Петербург, 4 – 5 декабря 2014 г., СПб.; 2014.
7. Жаворонков Л.П., Дубовник Б.В., Павлова Л.Н., Кочакова О.И., Посадская В.М. Влияние широкополосного импульсно-модулированного поля низкой интенсивности на общую возбудимость. *Радиация и риск*. 2011; 20; 2.
11. Городецкий Б.Н., Каляда Т.В., Петров С.В. Опыт разработки Специализированной медико-технической лаборатории для исследований влияния мощного электромагнитного излучения на биологические объекты. *Медицина труда и промышленная экология*. 2015; (2): 44-48.
12. Амикишиева А.В. *Поведенческое фенотипирование: Современные методы и оборудование*. 2009.

References

1. Shilov V.V., Kaljada T.V., Frolova N.M. Problema jelektromagnitnoj bezopasnosti v sovremennyh uslovijah nauchno-tehnicheskogo progressa. *Medicina truda i promyshlennaja jekologija*. 2013; 12: 25-8.
2. *Mediko-jekologicheskie problemy zdorov'ja rabotajushhh Severo-Zapadnogo regiona i puti ih realizacii: materialy nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhduarodnym uchastiem*. Sankt-Peterburg, 4 – 5 dekabrja 2014 g., SPb.; 2014.
3. James R. Jauchem, Ronalot U. Seaman, Heather M Lohnet, Satnam R. Mathur. Ultra – wideband electromagnetic pulses: Lack of effects on heart rate and blood pressure during two- minute exposure of rats. *Bioelectromagnetics*. 1998; 19; 5: 330-33.
4. RF Biophysics: Review Article Effects of exposure of animals to ultra – wide- band pulses. *Health Physics*: 2007; 93; 6: 629-34.
5. Brend L., Cobb, James R. Jauchem, Patrick A. Mason, Michael P.Deoley, Stephanic A. Miller, John M.Ziriach, Michael R. Murphy. Neural and behavioral teratological evaluation of rats exposed to ultra wideband electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 2000; 21; 7: 524-37.
6. Baum S.J. Tests of Biological integrity in dogs exposed to an electromagnetic pulse environmentju. *Health Physics Society*: 1979; 36; 2; February: 105-82.
7. Zhavoronkov L.P., Dubovnik B.V., Pavlova L.N., Kochakova O.I., Posadskaja V.M. Vlijanie širokopolosnogo impul'sno-modulirovannogo polja nizkoj intensivnosti na obshhuju vozбудimost'. *Radiacija i risk*. 2011; 20; 2.
8. B.L. Cobb. Neural and behavioral teratological evaluation of rats exposal to ultra-wide-band electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics*; 2000: 21: 524-37.
9. J.R. Jauchem. Ultra-wideband electromagnetic pulses: Lack of effects on heart rate and blood pressure during two- minute exposure of rats. *Bioelectromagnetics*. 1998; 19: 330-3
10. James R. Jauchem, Kathy L. Ryan, Milvin R. Frei, Steven J. Dusch, Heather M., Lehnert and Robert M. Kovatch. Repeated exposure of SZN/ HJ Mice to ultra - wideband electromagnetic pulses. Lack of effects I mammary to mors. *Radiation Research*. 2001; 155: 2.
11. Gorodeckij B.N., Kaljada T.V., Petrov S.V. Opyt razrabotki Specializirovannoj mediko-tehnicheskoi laboratorii dlja issledovanij vlijaniya moshhnogo jelektromagnitnogo izlucheniya na biologicheskie ob'ekty. *Medicina truda i promyshlennaja jekologija*. 2015; (2): 44-48.
12. Amikishieva A.V. *Povedencheskoe fenotipirovanie: Sovremennye metody i oborudovanie*. 2009.

Поступила 05.09.2018

Принята к печати 20.12.2018