

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КОРОТКОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА  
НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ НАДПОЧЕЧНИКОВ КРЫС

Ю.Б. КУДРЯШОВ\*, В.В. АЛАБОВСКИЙ\*\*, С.Ю. ПЕРОВ\*

\*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
Ленинские горы, д. 1, Москва, Россия, 119991

\*\*Воронежская государственная медицинская академия им. Н.Н. Бурденко,  
ул. Студенческая, д. 10, г. Воронеж, Россия, 394036

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследований влияния электромагнитного излучения метрового диапазона (171 МГц) на функциональную активность надпочечников крыс при уровнях характерных для носимых радиостанций (раций). Эксперименты проводились на лабораторных крысах-самцах, опытную группу которых облучали в камере поперечной электромагнитной волны – ТЕМ-камере. Ложнооблученная группа животных находилась в аналогичных условиях, но без воздействия электромагнитного излучения. Облучение опытных животных ЭМИ осуществлялось в трех сериях (по 12 крыс в каждой) при трех величинах электрической составляющей равной 15; 25 и 35 В/м. Состояние глюко- и минералкортикоидной функции надпочечников оценивалось путем определения уровней суточной экскреции с мочой кортикостерона и ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$ . Определение величины удельной поглощенной мощности животными осуществлялась расчетным методом с использованием программы SEMCAD X v.14 и экспериментально в ТЕМ-камере. Получены зависимости экскреции кортикостерона и электролитов от величины удельной поглощенной мощности и времени облучения, которые свидетельствуют, что при малых величинах поглощенной энергии электромагнитного излучения происходит стимуляция функциональной активности надпочечников, сменяющаяся угнетением при увеличении удельной поглощенной мощности.

**Ключевые слова:** электромагнитное излучение, метровый диапазон, удельная поглощенная мощность, радиации, глюко- и минералокортикоидная функции надпочечников

SHORT-WAVE ELECTROMAGNETIC FIELD EFFECTS ON ADRENAL GLANDS  
FUNCTIONAL STATUS IN THE RATS

Yu. B. KUDRYASHOV\*, V.V. ALABOVSKIY\*\*, S.Yu. PEROV\*

\* Moscow State M.V. Lomonosov University, Lenin Hills, d. 1, Moscow, Russia, 119991

\*\* Voronezh State N.N. Burdenko Medical Academy, st. Student, d. 10, Voronezh, Russia, 394036

**Abstract.** The article presents the investigation results of the electromagnetic field biological effects on adrenal glands functional activity in the rats. The electromagnetic field exposure levels were typical electromagnetic fields of portable radios (walkie-talkies). Experiments were carried out on laboratory male rats. Experimental groups were exposed in a transverse electromagnetic wave cell - TEM cell. Sham animal groups were in similar conditions, but without electromagnetic field exposure. The exposure of experimental animals was carried out in three series (12 rats for each group) for three levels of the electric field strength such as 15; 25 and 35 V/m. Gluco-corticoid and mineral-corticoids adrenal functions were assessed by determining the corticosterone and of  $\text{Na}^+$  and  $\text{K}^+$  levels in daily urinary excretion. The animal specific absorption rate evaluations were calculated by using the program SEMCAD X v.14 and experimentally in the TEM cell. The dependences of the excretion of corticosterone and electrolytes on the specific absorption rate and exposure time, which indicate that for small values of electromagnetic energy absorption is stimulation of the adrenal glands functional activity, alternating with depression by specific absorption rate increasing.

**Key words:** electromagnetic field, specific absorption rate, corticosterone.

В последнее время одним из наиболее динамично развивающихся направлений использования электромагнитных излучений (ЭМИ) является передача информации посредством радиосвязи. Персонализированные носимые средства связи (сотовые телефоны и радиации) обуславливают максимальное приближение пользователя к радиопередающему средству, в результате чего уровни ЭМИ могут быть потенциально опасными для человека.

Одной из первоочередных задач установления безопасного уровня ЭМИ является получение объективных экспериментальных данных о зависимости биологических эффектов от физических параметров

**Библиографическая ссылка:**

Кудряшов Ю.Б., Алабовский В.В., Перов С.Ю. Влияние электромагнитного излучения коротковолнового диапазона на функциональное состояние надпочечников крыс // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №1. Публикация №1-1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-1/5016.pdf> (дата обращения: 28.01.2015).

излучений, условий воздействия и времени экспозиции. Однако, не смотря на большое количество экспериментальных исследований, биологическое действие ЭМИ в диапазоне 149-171 МГц, где работают персональные средства связи типа носимых радиостанций, исследовано недостаточно. В особенности это касается изучения оценки реакции эндокринной системы на воздействие ЭМИ, которое в настоящее время рассматривается как стрессорный фактор [0, 0]. Оценка степени развития стресса может быть осуществлена путем изучения функционального состояния надпочечников экспериментальных животных в процессе подострого облучения ЭМИ исследуемых параметров.

**Цель исследования** – изучение влияния ЭМИ частотой 171 МГц при интенсивностях, сопоставимых с уровнями экспозиции, создаваемыми носимыми радиостанциями на состояние глюко- и минералкортикоидной функции надпочечников крыс.

**Материалы и методы исследования.** Эксперименты проводились на нелинейных лабораторных крысах-самцах массой 200-220 г., которые содержались на стандартном рационе вивария со свободным доступом к воде и пище. Световой режим у животных как опытной, так и контрольной групп сохранялся стандартным: 9 часов освещения и 15 часов затемнения. В процессе работы с животными соблюдали принципы гуманности в соответствии с приложением к приказу Минздрава СССР № 755 от 12.08.1977 г. «Правила проведения работ с использованием экспериментальных животных», а также Хельсинкской декларации (2000 г.).

Все участвующие в эксперименте 72 крысы были случайным образом разделены на две равные группы – опытную и контрольную. Экспозиция животных в ЭМИ частотой 171 МГц проводилась в камере поперечной электромагнитной волны – ТЕМ-камере, входящей в состав специально разработанного стенда. Облучение опытных животных ЭМИ осуществлялось в трех экспериментальных сериях (по 12 крыс в каждой) при трех величинах электрической составляющей  $E$  равной 15; 25 и 35 В/м. Время экспозиции составляло 6 часов в сутки на протяжении 10 дней. В процессе облучения в ТЕМ-камере поддерживалась постоянная температура в пределах 20 - 24° С. Животные в течение всего времени экспериментов содержались без иммобилизации в метаболических клетках. Контрольная группа животных содержалась в идентичных условиях без воздействия ЭМИ – ложное облучение. Состояние глюко- и минералкортикоидной функции надпочечников оценивалось путем определения уровней суточной экскреции с мочой кортикостерона, ионов  $Na^+$  и  $K^+$ . Отбор и подготовка проб (фракции мочи) для анализов в процессе эксперимента проводилась каждые сутки и в одно и то же время (12 часов) для устранения погрешностей связанных с биоритмами гормонов [0]. В полученных пробах проводили определение концентрации кортикостерона, ионов  $Na^+$  и  $K^+$ . Кортикостерон в суточной моче крыс определяли иммуноферментным методом с помощью тестов для количественного определения кортикостерона Corticosterone EIA (Labor Diagnostika Nord GmbH & Co. KG, Германия). Определение в суточной моче позволяет избежать ошибки, связанной с циркадными ритмами секреции ионов. Концентрацию ионов  $Na^+$  и  $K^+$  определяли методом пламенной спектроскопии на атомно-абсорбционном спектрометре AAnalyst (PerkinElmer Inc., США) модели 403, с дейтериевым корректором фона. Подготовка образцов и определение проводились по стандартной методике. Из полученных результатов рассчитывали отношение  $Na^+/K^+$ . Статистическая обработка проводилась с использованием параметрического  $t$ -критерия Стьюдента с помощью Mathlab R2010a (The MathWorks, Inc., США).

**Результаты и их обсуждение.** Определение величины удельной поглощенной мощности (УПМ), экспериментальными животными осуществлялась путем численных и экспериментальных методов. Теоретические расчеты величины УПМ проводилась с помощью метода конечных разностей во временной области с использованием программы SEMCAD X v.14 (SPEAG AG, Швейцария), предназначенной для численной дозиметрии [0]. Экспериментальное определение величины УПМ поглощенной крысами энергии ЭМИ в процессе облучения при величинах электрической составляющей 15; 25 и 35 В/м осуществлялось в ТЕМ-камере, с помощью генератора Agilent 8648C (Agilent Technology Inc., США), усилителя R&S BBA100 (Rohde&Schwarz GmbH & Co. KG, Германия), двунаправленных ответвителей Agilent 778D-011 (Agilent Technology Inc., США) и двухканального измерителя мощности Agilent E4419B (Agilent Technology Inc., США). При оценке величины УПМ животные помещались в ТЕМ-камеру, после чего измерялась падающая, прошедшая и отраженная мощность по стандартной методике [0]. На основании полученных результатов рассчитывалась поглощенная животными энергия ЭМИ и определялась УПМ. Величина средней УПМ измеренной для всей крысы при ЕНК ориентации на частоте 171 МГц составляла 0,006; 0,023 и 0,038 Вт/кг при 15; 25 и 35 В/м соответственно. Сравнение с величинами УПМ полученными в результате вычислений – 0,00697 Вт/кг (15 В/м), 0,01938 Вт/кг (25 В/м) и 0,03798 Вт/кг (35 В/м) показали удовлетворительное соответствие с экспериментальными.

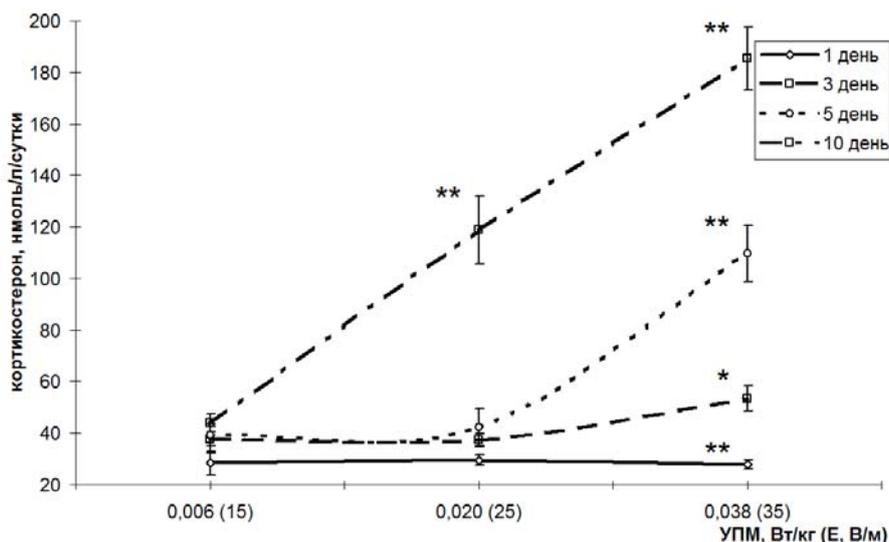
Зависимость уровня суточной экскреции кортикостерона у крыс в процессе облучения ЭМИ частотой 171 МГц по 6 часов в сутки на протяжении 10 дней от величины УПМ и электрической составляющей  $E$  приведены на рис.

---

**Библиографическая ссылка:**

Кудряшов Ю.Б., Алабовский В.В., Перов С.Ю. Влияние электромагнитного излучения коротковолнового диапазона на функциональное состояние надпочечников крыс // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №1-1. Публикация №1-1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-1/5016.pdf> (дата обращения: 28.01.2015).

Наиболее выраженное повышение функциональной активности надпочечников крыс оцениваемое по изменениям в содержании кортикостерона в суточной моче животных происходило на 3-й ( $p < 0,01$ ) 5-й, и 10-й ( $p < 0,001$ ) дни экспозиции при максимальной в наших экспериментах величине УПМ – 0,038 Вт/кг. В тоже время в 1-й день облучения уровень экскреции кортикостерона в меньшей степени зависел от величины поглощенной животными энергии ЭМИ. Таким образом, облучение ЭМИ частотой 171 МГц по 6 часов в сутки вызывало повышение активности надпочечников крыс при величине УПМ 0,038 Вт/кг в течение всего времени экспозиции, тогда как при УПМ равной 0,02 Вт/кг только на 10-й день ( $p < 0,001$ ). Во всех экспериментальных сериях с 1-го по 10-й дни облучения отмечено отсутствие достоверных изменений в экскреции кортикостерона, когда величина УПМ была минимальной и составляла 0,006 Вт/кг.



*Рис.* Зависимость уровня суточной экскреции кортикостерона (нм/л/сутки) у крыс при облучении ЭМИ частотой 171 МГц по 6 часов в сутки на протяжении 10 дней от величины УПМ (Вт/кг) и электрической составляющей E (В/м). \* –  $p < 0,01$ ; \*\* –  $p < 0,001$

Зависимость суточной экскреции электролитов (отношение  $Na^+/K^+$ ) у крыс, облученных ЭМИ частотой 171 МГц по 6 часов в день на протяжении 10 суток при ЕНК ориентации от величины УПМ, представлены в табл. Статистически достоверные изменения в величине отношения  $Na^+/K^+$  по сравнению с контрольными группами животных отмечены на 5 и 10 дни экспозиции, причем как при величине УПМ 0,023 Вт/кг ( $p < 0,05$ ), так и при 0,038 Вт/кг ( $p < 0,01$ ) соответственно. При других величинах УПМ (0,006 и 0,023 Вт/кг) и в 1-й и 3-й дни экспозиции отличия от контроля были статистически недостоверны.

*Таблица*

**Динамика суточной экскреции электролитов (отношение  $Na^+/K^+$ ) у крыс в процессе ежедневного облучения ЭМИ частотой 171 МГц при ЕНК ориентации по 6 часов в день на протяжении 10 суток в зависимости от величины УПМ (Вт/кг) и E (В/м)**

Величины УПМ, (E)	Экспериментальные группы	Дни экспозиции			
		1	3	5	10
0,006 Вт/кг, (15 В/м)	контроль	1,27±0,07	1,26±0,04	1,23±0,09	1,20±0,08
	опыт	1,30±0,01	1,31±0,05	1,27±0,08	1,18±0,09
0,023 Вт/кг, (25 В/м)	контроль	1,19±0,09	1,18±0,04	1,16±0,06	1,15±0,06
	опыт	1,20±0,03	1,19±0,06	0,98±0,05*	0,91±0,08*
0,038 Вт/кг, (35 В/м)	контроль	1,14±0,06	1,15±0,08	1,13±0,07	1,12±0,05
	опыт	1,13±0,04	1,10±0,03	0,83±0,06**	0,79±0,04**

Примечание: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$

**Библиографическая ссылка:**

Кудряшов Ю.Б., Алабовский В.В., Перов С.Ю. Влияние электромагнитного излучения коротковолнового диапазона на функциональное состояние надпочечников крыс // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №1. Публикация №1-1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-1/5016.pdf> (дата обращения: 28.01.2015).

Влияния облучения ЭМИ на функциональную активность надпочечников животных изучалось в некоторых экспериментальных исследованиях. И.Р. Петрова и В.А. Сынгаевской было установлено, что ЭМИ больших (тепловых) интенсивностей вызывают угнетение гормонообразовательной функции коры надпочечников у животных, а более низкие – стимуляцию [0]. Однократное облучение крыс ЭМИ частотой 915 МГц при величине УПМ 1,67 Вт/кг не вызывало изменений в содержании кортикостерона в плазме крови непосредственно после экспозиции, но спустя сутки отмечалось достоверное (практически вдвое) снижение уровня кортикостерона [0]. Однако при этом достоверных отличий в концентрации кортикостерона в надпочечниках у контрольных и опытных животных не отличалось. В других экспериментальных исследованиях воздействие на протяжении 120 минут ЭМИ частотой 2 ГГц приводило к увеличению содержания кортикостерона в плазме крови крыс при УПМ 2,0 Вт/кг, а при 10 Вт/кг – к снижению [0]. Можно полагать, что в выполненных нами исследованиях облучение ЭМИ при малых величинах УПМ от 0,02 до 0,038 Вт/кг оказывает влияние на функции надпочечников, способствуя выработке кортикостерона, что, в свою очередь, приводит к изменению ионорегулирующей функции почек через альдостерон. По-видимому, собственно воздействие ЭМИ не оказывает значимого непосредственного влияния на функции почек у подопытных животных, а наблюдающееся изменение натрий- и калийуретической функции, проявляющееся в задержке выведения ионов  $\text{Na}^+$  и ускорения ионов  $\text{K}^+$ , связано с реабсорбцией ионов  $\text{Na}^+$  из почечного фильтра. Вероятно, что наблюдавшееся при увеличении как продолжительности, так и величины УПМ пропорциональное повышение экскреции кортикостерона свидетельствует о стрессорном воздействии ЭМИ на организм. Таким образом, можно полагать, что при малых величинах поглощенной энергии ЭМИ происходит стимуляция функциональной активности надпочечников, сопровождающаяся повышением экскреции кортикостерона, что сменяется угнетением как по мере увеличения времени экспозиции, так и ростом величины УПМ.

#### Выводы:

1. Определены величины УПМ экспериментальными животными с помощью численных и экспериментальных методов дозиметрии в присутствии ЭМИ частотой 171 МГц при трех величинах интенсивности.
2. Показано удовлетворительное соответствие между величинами УПМ полученными в результате численного моделирования и измеренными значениями.
3. Получены зависимости экскреции кортикостерона и соотношения  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  от величины УПМ и времени облучения.

#### Литература

1. Влияние электромагнитного излучения GSM диапазона на двигательную активность, метаболизм ГАМК и гипофизо-адреналовую систему / Байжуманов А.А., Беляев И.Я., Бойченко Е.А. [и др.]. // Сб. научных трудов «Научная сессия МИФИ-2009», 2009. Т.IV. С.156–158.
2. Дедов И.И., Дедов В.И. Биоритмы гормонов. М.: Медицина, 1992. 256 с.
3. Петров И.Р., Сынгаевская В.А. Изменение функции различных систем организма при воздействии СВЧ-поля больших интенсивностей. Эндокринные железы // Влияние СВЧ-излучений на организм человека и животных / Под ред. И.Р. Петрова. Л.: Медицина, 1970. С. 33–44.
4. Пряхин Е.А., Аклеев А.В. Электромагнитные поля и биологические системы: стресс и адаптация. Челябинск: Полиграф-Мастер, 2011. 239 с.
5. DASYS System Handbook // Schmid & Partner Engineering AG. Zurich: Switzerland, 2008. URL: <http://www.speag.com>
6. Лу Ш., Лотц У.Г., Майкельсон С.М. Успехи в исследовании нейроэндокринных эффектов СВЧ: концепция стресса // ТИИЭР. 1980. Т.68. № 1. С.90–95.
7. Marshall S.V., Brown R.F. Experimental determination of whole body average specific absorption rate (SAR) of mice exposed to 200-400 MHz CW // Bioelectromagnetics. 1983. Vol.4. №3. P.267–279.
8. Electromagnetic field effect or simply stress? Effects of UMTS exposure on hippocampal longterm plasticity in the context of procedure related hormone release / Prochnow N., Gebing T., Ladage K. [et al.]. // PLoS One. 2011. Vol.6, N.5:e19437.

#### References

1. Bayzhumanov AA, Belyaev IYa, Boychenko EA, et al. Vliyanie elektromagnitnogo izlucheniya GSM diapazona na dvigatel'nyuy aktivnost', metabolizm GAMK i gipofizo-adrenalovuyu sistemu. Sb. nauchnykh trudov «Nauchnaya sessiya MIFI-2009»; 2009. Russian.
2. Dedov II, Dedov VI. Bioritmy gormonov. Moscow: Meditsina; 1992. Russian.

---

#### Библиографическая ссылка:

Кудряшов Ю.Б., Алабовский В.В., Перов С.Ю. Влияние электромагнитного излучения коротковолнового диапазона на функциональное состояние надпочечников крыс // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №1. Публикация №1-1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-1/5016.pdf> (дата обращения: 28.01.2015).

3. Petrov IR, Syngaevskaya VA. *Izmenenie funktsii razlichnykh sistem organizma pri vozdeystvii SVCh-polya bol'shikh intensivnostey. Endokrinnye zhelezy. Vliyanie SVCh-izlucheniya na organizm cheloveka i zhivotnykh.* L.: Meditsina; 1970. Russian.
4. Pryakhin EA, Akleev AV. *Elektromagnitnye polya i biologicheskie sistemy: stress i adaptatsiya.* Chelyabinsk: Poligraf-Master; 2011. Russian.
5. *DASY5 System Handbook* // Schmid & Partner Engineering AG. Zurich: Switzerland, 2008. URL: <http://www.speag.com>
6. Lu Sh, Lotts UG, Maykel'son SM. *Uspekhi v issledovanii neyroendokrinnykh effektov SVCh: kontseptsiya stressa.* TIIEP. 1980;68(1):90-5. Russian.
7. Marshall SV, Brown RF. *Experimental determination of whole body average specific absorption rate (SAR) of mice exposed to 200-400 MHz CW.* Bioelectromagnetics. 1983;4(3):267-9. Russian.
8. Prochnow N, Gebing T, Ladage K, et al. *Electromagnetic field effect or simply stress? Effects of UMTS exposure on hippocampal longterm plasticity in the context of procedure related hormone release.* PLoS One. 2011;6(5):e19437.

---

**Библиографическая ссылка:**

Кудряшов Ю.Б., Алабовский В.В., Перов С.Ю. Влияние электромагнитного излучения коротковолнового диапазона на функциональное состояние надпочечников крыс // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №1. Публикация №1-1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-1/5016.pdf> (дата обращения: 28.01.2015).