

© Коллектив авторов, 2019

УДК 591.1

Шибкова Д.З.<sup>2</sup>, Шилкова Т.В.<sup>1</sup>, Овчинникова А.В.<sup>1</sup>

## Эффекты влияния электромагнитного поля радиочастотного диапазона на органы кроветворения у экспериментальных животных

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет», 454074, г. Челябинск, Россия, ул. Бажова, 46-а;

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», 454080, г. Челябинск, Россия, просп. Ленина, д. 76

Цель – оценка влияния электромагнитного излучения радиочастотного диапазона на органы кроветворения самок и самцов мышей линии СВА. Методика. Опытные группы животных подвергали воздействию электромагнитного излучения радиочастотного диапазона (диапазон сотовой связи) с интенсивностью 1,2 мВт/см<sup>2</sup>, периодом экспозиции 10 мин ежедневно в течение 5 сут. Через 30 сут с момента начала облучения часть животных выводили из эксперимента для исследования органов кроветворения, другую часть спаривали для получения потомства. Результаты. Установлено, что воздействие исследуемого фактора вызывает статистически значимые изменения в красном костном мозге, селезенке, тимусе, периферической крови у экспериментальных животных и их потомства. Через 30 сут у облученных самок мышей в крови возрастало количество эритроцитов, у половозрелых самцов количество эритроцитов уменьшалось. Содержание гемоглобина изменялось однонаправленно у облученных самок и самцов, что проявлялось тенденцией к снижению его уровня. У самцов и самок отмечалось снижение числа нейтрофилов. Число лимфоцитов у самцов было в пределах нормы, у самок отмечалась тенденция к увеличению доли лимфоцитов. Однонаправленные изменения у самок и самцов отмечены в эритроидном ростке – уменьшение числа полихроматофильных и оксифильных нормоцитов, вследствие ускоренного созревания клеток и их выхода в кровь. В тимусе облученных самок и самцов уменьшалось число ядросодержащих клеток, в селезенке, напротив, их число увеличивалось. У потомства облученных животных снижалось число лейкоцитов с увеличением доли юных и палочкоядерных нейтрофилов, доля лимфоцитов снижалась по сравнению с потомством необлученных животных. Заключение. Выявленные изменения расцениваются как компенсаторно-приспособительные реакции в органах кроветворения у экспериментальных животных.

**Ключевые слова:** электромагнитное излучение; экспериментальные животные; органы кроветворения; периферическая кровь.

**Для цитирования:** Шибкова Д.З., Шилкова Т.В., Овчинникова А.В. Эффекты влияния электромагнитного поля радиочастотного диапазона на органы кроветворения у экспериментальных животных. *Патологическая физиология и экспериментальная терапия.* 2019; 63(1): 69-76.

**DOI:** 10.25557/0031-2991.2019.01.69-76

**Для корреспонденции:** Шибкова Дарья Захаровна, доктор биол. наук, проф., гл. науч. сотр. лаб. Центра спортивной науки (ЮУрГГПУ), e-mail: shibkova2006@mail.ru

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование.** Работа выполнена при финансовой поддержке ФГБОУ ВО «Мордовский государственный педагогический институт им. М.Е. Евсевва» по договору на выполнение НИР от 14.04.2017 г. № 16-452.

**Поступила** 10.11.2017

Shibkova D.Z.<sup>2</sup>, Shilkova T.V.<sup>1</sup>, Ovchinnikova A.V.<sup>1</sup>

## THE EFFECTS OF AN ELECTROMAGNETIC FIELD RADIO FREQUENCY ON HEMATOPOIETIC ORGANS IN EXPERIMENTAL ANIMALS

<sup>1</sup>South Ural State Humanitarian Pedagogical University, 46a, Bazhova st., Chelyabinsk, 454074, Russia

<sup>2</sup>Federal State Autonomous Educational Institution of Higher South Ural State University (national research university), 76, Lenin prospekt, 454080, Chelyabinsk, Russia

**The purpose** – identify the effects of the influence of electromagnetic radiation (EMR) at the radio frequency band hemopoietic organs of males and females CBA mice in different models of irradiation. **Methods.** The experimental group of animals exposed to RF EMF with an intensity of 1.2 mW / cm<sup>2</sup> exposure period of 10 minutes daily for 5 days. After 30 days from the start of irradiation

of the animals were taken out of the experiment for the study of blood, the other part mated to produce offspring. **Results.** It was found that when exposed to the test factor there was a significant change in the bone marrow, spleen, thymus, peripheral blood of experimental animals and their offspring. The findings indicate the development of compensatory and adaptive reactions of the blood of experimental animals.

**Keywords:** electromagnetic radiation; experimental animals; forming organs, peripheral blood.

**For citation:** Shibkova D.Z., Shilkova T.V., Ovchinnikova A.V. The effects of an electromagnetic field radio frequency on hematopoietic organs in experimental animals. *Patologicheskaya Fiziologiya I Eksperimental'naya terapiya. (Pathological Physiology and Experimental Therapy, Russian Journal)*. 2019; 63(1): 69-76. (in Russian).

**DOI:** 10.25557/0031-2991.2019.01.69-76

**For correspondence:** Darya Z. Shibkova, Doctor of biological sciences, professor, Center for Sports Science, «South Ural State University, (National Research University)», e-mail: shibkova2006@mail.ru

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

**Acknowledgement.** The work was supported by «Mordovia State Pedagogical Institute named after M.E. Evseev» under the Agreement for research engineering from 14.04.2017g. № 16-452.

**Information about authors:**

Shibkova D.Z., <http://orcid.org/0000-0002-8583-6821>

Shilkova T.V., <http://orcid.org/0000-0001-7268-6417>

Ovchinnikova A.V., <http://orcid.org/0000-0002-6448-3270>

**Received** 10.11.2017

## Введение

Современные условия жизни человека характеризуются наличием большого количества факторов среды, оказывающих постоянное воздействие на его здоровье. Одним из факторов, способствующих загрязнению окружающей среды, является электромагнитное излучение радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ). По мнению ряда авторов [1, 2] электромагнитное загрязнение, прежде всего, связано с широким распространением таких источников ЭМИ РЧ как базовые станции и мобильные телефоны. Среди населения значительная доля пользователей мобильными телефонами приходится на людей репродуктивного возраста и детей. В связи с этим, актуальность приобретает проблема исследования биологических эффектов воздействия ЭМИ РЧ диапазона, изучению которых посвящены единичные работы [3, 4].

В живом организме в ответ на воздействие ЭМИ РЧ диапазона на разных уровнях его организации формируются адаптивные реакции [4, 5]. ЭМИ РЧ диапазона рассматривают как стресс-фактор, на который система крови и репродуктивная система отвечают адаптивными перестройками [6]. Актуальными остаются вопросы выявления характера изменений в органах кроветворения в зависимости от моделей облучения экспериментальных животных, их возраста и пола, а также эффекты, которые могут проявляться у потомства облученных родителей.

Цель исследования – выявить эффекты влияния электромагнитного излучения радиочастотного диапазона на органы кроветворения самок и самцов мышной линии СВА и их потомство.

## Методика

Все работы с лабораторными животными проводили в соответствии с «правилами лабораторной практики в Российской Федерации», утвержденными приказом Министра здравоохранения РФ № 708н от 23.08.2010 г. Исследование было одобрено локальным этическим комитетом университета.

Исследование проводилось на базе лаборатории «Адаптация биологических систем к естественным и экстремальным факторам среды» (ЮУрГГПУ). Мышей линии СВА, выращенных в виварии на базе лаборатории, в возрасте 1 мес подвергали воздействию ЭМИ РЧ диапазона<sup>1</sup>. В качестве источника электромагнитного излучения была использована лабораторная исследовательская СВЧ - установка, первый сигнал которой представляет собой непрерывную последовательность радиоимпульсов трапециевидной формы с частотой импульсов 217 Гц и несущей частотой ЭМИ РЧ 925 МГц. Средняя плотность потока мощности эквивалентной плоской волны (S) была равна 1,2 мВт/см<sup>2</sup> (12 Вт/м<sup>2</sup>) и соответствовала предельно допустимой энергетической экспозиции (200 мкВт·ч/см<sup>2</sup>), принятой Санитарными Правилами и нормами ЭМП РЧ (Россия). Длительность экспозиции – 10 мин ежедневно в течение 5 сут. Электромагнитная волна излучалась вертикально сверху вниз. Излучатель располагали сверху над животными на расстоянии равном длине волны электромагнитного излучения. Контейнер с животными располагался в спе-

<sup>1</sup> Полевик Н. Д., Пряхин Е. А. Способ снижения опасности воздействия на биологические объекты искусственных электромагнитных излучений / Патент РФ, 2005. № 2262955, БИ. № 30

циальной камере, поверхности которой были покрыты радиопоглощающим материалом (пенопластовые кубики, заполненные елочками из графитовых нитей, верхушкой ориентированных внутрь камеры), что исключало влияние отраженной ЭМВ на амплитуду воздействующего ЭМИ РЧ.

Эксперименты выполнены на 20 самках и 20 самцах мышей СВА в возрасте 1 мес и 30 крысятах их потомства. При достижении половой зрелости (самки и самцы с массой тела  $20,5 \pm 0,5$  и  $24,5 \pm 0,5$  г соответственно, возраст 1 мес), животные были разделены на экспериментальные группы:

- 1-я — самки (контроль «ложное облучение»);
- 2-я — самки, облученные ЭМИ РЧ диапазона;
- 3-я — самцы (контроль «ложное облучение»);
- 4-я — самцы, облученные ЭМИ РЧ диапазона;
- 5-я — потомство от самок и самцов (контроль «ложное облучение»);
- 6-я — потомство от облученных самок и самцов;
- 7-я — потомство от облученных самок и самцов группы «ложное облучение».

У животных из 1-й, 2-й, 3-й и 4-й групп исследовали параметры периферической крови, костного мозга, селезенки и тимуса. У животных 5-й, 6-й и 7-й групп анализировали показатели периферической крови.

Забор крови осуществляли из хвостовой вены. В периферической крови определяли общее количество эритроцитов, лейкоцитов, уровень гемоглобина и показатели лейкограммы; в костном мозге, селезенке и тимусе подсчитывали общее число ядросодержащих клеток (ЯСК) в камере Горяева стандартным методом [7]. Для определения числа ядерных клеток органы гомогенизировали в специальной среде в охлажденном гомогенизаторе, а полученную суспензию отфильтровывали на капроновом фильтре. Определение массы органов (селезенка, тимус) проводили на торсионных весах типа ВТ (точность измерения до 0,1 мг). Опре-

деление клеточности селезенки и тимуса проводили на мазках-отпечатках, окрашенных по Романовскому-Гимзе (просчитывали 500 клеток) [7].

Статистическая обработка данных проведена с помощью пакета прикладных программ Statistica 6.0.

## Результаты и обсуждение

На первом этапе эксперимента проводили исследование показателей периферической крови, клеточности органов кроветворения у животных, подвергнутых воздействию ЭМИ РЧ диапазона.

*Периферическая кровь.* У самок мышей СВА через 30 сут с момента начала облучения ЭМИ РЧ в периферической крови на 70,5% возросло количество эритроцитов по сравнению с контролем (табл. 1).

В отличие от самок у облученных половозрелых самцов (4-я группа) в периферической крови наблюдалось уменьшение общего количества эритроцитов на 14% ( $p \leq 0,05$ ) по отношению к 3-й группе «ложное облучение» (табл. 1). Содержание гемоглобина изменялось однонаправлено у облученных самок и самцов, что выражалось тенденцией к снижению его уровня на 9% и 7% соответственно по сравнению с показателями ложнооблученных животных. На наш взгляд поддержание уровня гемоглобина, обеспечивающего нормальное течение окислительно-восстановительных процессов в организме облученных самок, обусловлено ускоренным выходом оксифильных нормоцитов в кровяное русло, что приводит к статистически значимому увеличению общего числа эритроцитов. Аналогичные результаты представлены в работе [8].

Общее количество лейкоцитов у облученных самок 2-й группы не изменялось, а у облученных самцов отмечалось снижение числа лейкоцитов на 35% ( $p \leq 0,05$ ) по сравнению с контролем. Состав лейкоци-

Таблица 1

Показатели периферической крови самцов и самок мышей СВА ( $M \pm m$ )

Группа животных	Гемоглобин (г/л)	Общее число эритроцитов, $10^{12}$ в 1 л	Общее число лейкоцитов, $10^9$ в 1 л
Самки мышей СВА			
1-я группа («ложное облучение»), n=10	$129,8 \pm 5,1$	$7,8 \pm 1,3$	$2,8 \pm 0,7$
2-я группа («облучение ЭМП РЧ»), n=10	$118,2 \pm 5,9$	$13,3 \pm 1,5^*$	$2,7 \pm 1,1$
Самцы мышей СВА			
3-я группа («ложное облучение»), n=10	$132,2 \pm 4,5$	$13,5 \pm 0,6$	$3,7 \pm 0,6$
4-я группа («облучение ЭМП РЧ»), n=10	$123,2 \pm 6,6$	$11,6 \pm 0,8^*$	$2,4 \pm 0,4^*$

Примечание. \*  $p \leq 0,05$  по отношению к группе «ложное облучение».

тов в периферической крови облученных животных представлен в таблице 2.

У самцов облученной группы отмечалось статистически значимое снижение доли сегментоядерных нейтрофилов на 35%, у самок – на 31% сегментоядерных и 49% палочкоядерных нейтрофилов соответственно по отношению к группам «ложное облучение». Число лимфоцитов у облученных самцов было в пределах физиологической нормы, у самок отмечалась тенденция к повышению доли лимфоцитов (на 10,6% по сравнению с контролем).

Показатель соотношения лейкоцитов (индекса Бредекка) расценивается, как интегральный показатель функционального состояния организма [9].

Отношение доли лимфоцитов к палочкоядерным гранулоцитам (индекс Бредекка) периферической крови в группе самок превышал контроль более чем в 2 раза, в группе самцов - на 31,5%, что может указывать на повышение резистентности организма облученных животных как проявление адаптационно-компенсаторной реакции на воздействие ЭМИ РЧ диапазона. Аналогичное повышение индекса Бредекка (в 1,7 раза) было установлено у беременных мышей СВА, подвергнутых воздействию ЭМИ РЧ диапазона, по отношению к контролю [6]. Противоположная реакция – снижение показателя индекса Бредекка, была нами выяв-

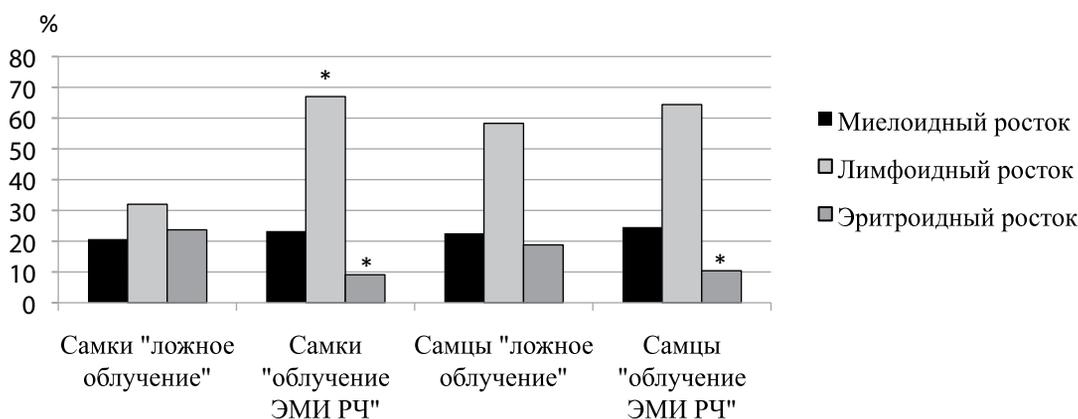


Рис. 1. Соотношение ростков кроветворения в костном мозге экспериментальных животных. \* p<0,05 по отношению к группе «ложное облучение».

Таблица 2

Влияние ЭМИ РЧ на показатели лейкограммы периферической крови самцов и самок мышей СВА, (M±m), %

Показатель Лейкограммы		Группы животных			
		1	2	3	4
		Самки мышей СВА		Самцы мышей СВА	
		ложное облучение, n=10	облучение ЭМИ РЧ, n=10	ложное облучение, n=10	Облучение ЭМИ РЧ, n=10
Нейтрофилы	Юные	3,6±0,8	2,8±0,2	4,2±0,9	2,4±0,9
	Палочкоядерные	6,5±2,1	3,3±1,3*	6,9±0,9	5,6±0,5
	Сегментоядерные	8,4±2,2	5,8±0,5*	13,5±1,2	8,8±1,1*
Эозинофилы		0	0	0	0
Базофилы		1,8±1,1	0,2±0,1*	0	0,3±0,3
Моноциты		0,4±0,1	0	0,9±0,5	0,1±0,1*
Лимфоциты		79,4±3,2	87,8±6,4	74,9±4,8	79,5±5,1
Индекс Бредекка, усл. ед.		12,2	26,6	10,8	14,2

Примечание. \* p<0,05 по отношению к группе «ложное облучение».

лена ранее в случае хронического  $\gamma$  - облучения мышей линии СВА [10], что расценивается как напряжение механизмов адаптации.

Изменения показателей периферической крови сопровождались сменой направлений дифференцировки клеток в костном мозге у облученных самок и самцов.

**Костный мозг.** В костном мозге у облученных самок отмечалось снижение числа ЯСК на 36% по сравнению с контролем. У облученных самцов отмечено повышение доли ядерных клеток на 47% относительно контроля. Однонаправленные изменения у облученных самок и самцов наблюдались в эритроидном ростке – сокращение общего числа клеток на 46,8% и 44,7% соответственно по сравнению с группами («ложное облучение») (рис. 1).

Сокращение доли клеток эритроидного ростка в костном мозге у облученных самок (табл. 3) происхо-

дило за счет полихроматофильных и оксифильных нормоцитов в 1,6 и 2,9 раза соответственно, что указывает на ускорение процесса созревания клеток и их выхода в периферическую кровь.

В группе облученных самцов сокращение доли эритроидного ростка происходило за счет оксифильных нормоцитов – в 4,3 раза по отношению к контрольной группе (табл. 3). Сокращение числа оксифильных нормоцитов указывает на угнетение процессов созревания полихроматофильных нормоцитов, что, в свою очередь, и могло привести к снижению числа эритроцитов в периферической крови облученных самцов (табл. 1).

В опытной группе самок увеличение доли клеток миелоидного ростка происходило за счет сегментоядерных нейтрофилов, процентное содержание которых увеличилось в 2,3 раза по сравнению с контролем. Также наблюдались изменения в составе лимфоидного

Таблица 3

Показатели клеточности костного мозга мышей СВА, (M $\pm$ m, %)

Показатели	Группы животных			
	1-я	2-я	3-я	4-я
	Самки мышей СВА		Самцы мышей СВА	
	ложное облучение n=10	облучение ЭМИ РЧ n=10	ложное облучение n=10	облучение ЭМИ РЧ n=10
Клетки миелоидного ростка, всего	20,7 $\pm$ 1,6	23,3 $\pm$ 1,7	22,6 $\pm$ 1,6	24,6 $\pm$ 0,6
Миелобласты	0	0	0,08 $\pm$ 0,04	0
Промиелоциты	1,2 $\pm$ 0,2	1,8 $\pm$ 0,9	3,3 $\pm$ 0,6	3,4 $\pm$ 0,1
Миелоциты	1,8 $\pm$ 0,5	1,3 $\pm$ 0,7	4,0 $\pm$ 1,1	7,3 $\pm$ 2,5*
Палочкоядерные нейтрофилы	13,3 $\pm$ 0,6	11,9 $\pm$ 4,5	10,7 $\pm$ 2,2	12,6 $\pm$ 3,9
Сегментоядерные нейтрофилы	2,3 $\pm$ 1,5	5,4 $\pm$ 1,1*	2,7 $\pm$ 1,6	2,4 $\pm$ 0,7
Юные нейтрофилы	1,6 $\pm$ 0,5	2,2 $\pm$ 1,1	1,4 $\pm$ 0,9	2,2 $\pm$ 0,8
Базофилы	0,2 $\pm$ 0,02	0	0,4 $\pm$ 0,01	0
Эозинофилы	0	0	0	0
Моноциты	0,6 $\pm$ 0,3	0,8 $\pm$ 0,06	0,4 $\pm$ 0,01	0,5 $\pm$ 0,2
Клетки лимфоидного роста, всего	55,8 $\pm$ 5,2	67,0 $\pm$ 6,3*	58,3 $\pm$ 7,8	64,4 $\pm$ 5,4
Лимфобласты	0,4 $\pm$ 0,2	0,3 $\pm$ 0,02	0,3 $\pm$ 0,1	0,4 $\pm$ 0,2
Пролимфоциты	0	0	0	0
Лимфоциты	55,4 $\pm$ 5,3	66,6 $\pm$ 6,5*	58,0 $\pm$ 5,8	64,0 $\pm$ 3,4
Клетки эритроидного роста, всего	17,1 $\pm$ 9,2	9,1 $\pm$ 1,9*	18,8 $\pm$ 2,6	10,4 $\pm$ 3,8*
Эритробласты	0,1 $\pm$ 0,01	0,1 $\pm$ 0,01	0	0,2 $\pm$ 0,1
Нормоциты базофильные	0	0	0,9 $\pm$ 0,1	0,2 $\pm$ 0,01*
Нормоциты полихроматофильные	10,7 $\pm$ 1,8	6,8 $\pm$ 1,2*	6,7 $\pm$ 0,8	7,4 $\pm$ 1,9
Нормоциты оксифильные	6,3 $\pm$ 1,4	2,2 $\pm$ 1,2*	12,0 $\pm$ 1,8	2,8 $\pm$ 0,6*
Мегакарициты	0,25 $\pm$ 0,01	0	0	0,2 $\pm$ 0,01
Ретикулярные клетки	0	0	0	0

Примечание. \*  $p < 0,05$  по отношению к группе «ложное облучение».

ростка: установлено увеличение доли лимфоидных клеток на 16,7% за счет зрелых лимфоцитов (табл. 3). У опытной группы самок, облученных ЭМИ РЧ диапазона, ускорение процессов созревания и повышение доли зрелых лимфоцитов было выявлено и в тимусе [6].

В костном мозге у облученных самцов отмечалась тенденция к повышению относительного числа клеток миелоидного и лимфоидного ростков (рис. 1). В составе миелоидного ростка костного мозга происходили качественные изменения: наблюдалось увеличение на 85% числа миелоцитов и обнаруживалась тенденция к повышению доли юных и палочкоядерных нейтрофилов, по сравнению с контролем. Повышение числа молодых форм гранулоцитов в костном мозге указывает на одновременную активизацию процес-

сов пролиферации клеток миелоидного ростка и торможение процесса их созревания (табл. 3).

*Тимус и селезенка.* Морфометрические данные клеточного состава тимуса и селезенки облученных животных было представлено нами ранее [11], установлено снижение массы органов: у самок на 30% и 13%, а у самцов на 15% и 32% соответственно по сравнению с соответствующим контролем. В тимусе у облученных самок и самцов имело место статистически значимое сокращение числа ЯСК на 35% и 31% относительно контроля (табл. 4).

В селезенке у облученных самок и самцов наблюдалось статистически значимое повышение количества ЯСК на 46% и 34% соответственно по сравнению с ложнооблученными животными (табл. 4).

Таблица 4

**Содержание ядерных клеток в тимусе и селезенке животных при воздействии ЭМИ РЧ, (M±m)**

Группа животных	Количество ЯСК в тимусе, 10 <sup>6</sup>	Количество ЯСК в селезенке, 10 <sup>6</sup>
Самки группы контроля «ложное облучение», n=10	40,9 ± 0,1	85,0 ± 0,1
Самки опытной группы (облучение ЭМП РЧ), n=10	28,1 ± 0,1*	123,9 ± 0,1*
Самцы группы контроля «ложное облучение», n=10	20,5 ± 6,5	34,9 ± 2,1
Самцы опытной группы (облучение ЭМП РЧ), n=10	13,3 ± 0,1*	46,8 ± 0,1*

Примечание. \* p<0,05 по отношению к группе «ложное облучение».

Таблица 5

**Клеточный состав тимуса и селезенки мышей СВА, (M±m)**

Показатель, %	Самки, «ложное облучение», n=10	Самки, облучение ЭМП РЧ, n=10	Самцы, «ложное облучение» n=10	Самцы, облучение ЭМП РЧ, n=10
Клеточность тимуса				
Тимоциты:	15,53 ± 0,02	14,82 ± 0,01*	15,00 ± 0,10	12,47 ± 0,02*
-бластные тимоциты средние	50,13 ± 0,01	22,8 ± 0,01*	50,33 ± 0,70	52,27 ± 0,20
-тимоциты малые	34,33 ± 0,01	54,22 ± 0,03*	34,33 ± 0,30	35,40 ± 0,1
Клеточность селезенки				
Лимфатический ряд	96,73 ± 0,01	94,48 ± 0,01*	94,27 ± 0,10	90,47 ± 0,02*
Миелоидный ряд	1,86 ± 0,02	2,53 ± 0,10*	5,10 ± 0,20	5,32 ± 0,20
Эритроидный ряд	0,73 ± 0,30	0,96 ± 0,10*	0,27 ± 0,10	2,83 ± 0,02*

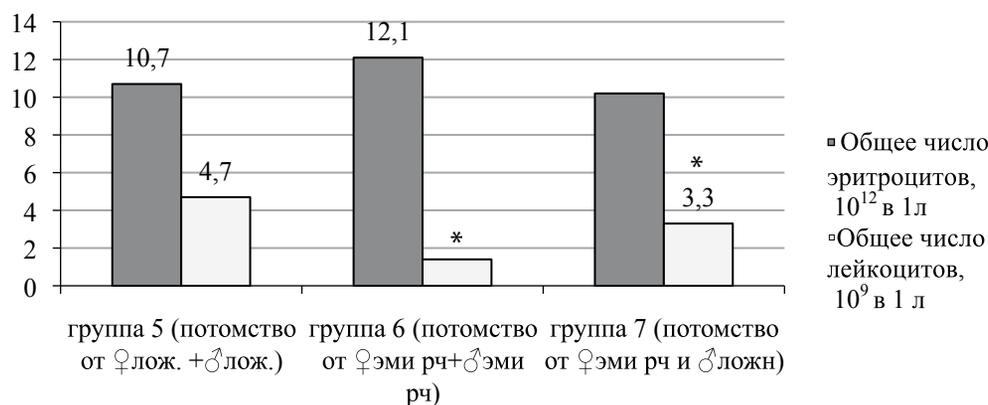
Примечание. \* p<0,05 по отношению к группе «ложное облучение».

Таблица 6

**Лейкограмма потомства мышей СВА, (M±m, %)**

Показатель лейкограммы	Группа № 5 (самки и самцы, «ложное облучение»), n=10	Группа № 6 (самки и самцы, облученные ЭМИ РЧ), n=10	Группа № 7 (самки, ЭМИ РЧ, и самцы, «ложное облучение»), n=10
Юные нейтрофилы	0	2,3 ± 0,2*	4,7 ± 0,9*
Палочкоядерные нейтрофилы	2,9 ± 0,1	17,3 ± 4,3*	10,5 ± 3,1*
Сегментноядерные нейтрофилы	19,3 ± 2,4	22,0 ± 3,5	25,5 ± 5,1
Эозинофилы	1,9 ± 0,4	0	0
Базофилы	0	0,5 ± 0,2*	0
Моноциты	1,0 ± 0,4	1,5 ± 0,7	0,5 ± 0,2
Лимфоциты	75,3 ± 2,7	57,5 ± 8,2*	59,8 ± 9,0*

Примечание. \* p<0,05 по отношению к группе потомства, полученных при спаривании самок и самцов, «ложное облучение».



**Рис. 2.** Показатели периферической крови потомства мышей СВА.

\*  $p < 0,05$  по отношению к группе потомства «ложное облучение».

При дифференцированном подсчете клеточности тимуса у облученных самок отмечалось снижение доли бластных клеток и средних лимфоцитов на 4,6% и 54,5%, соответственно, а также повышение на 58% количества зрелых лимфоцитов по отношению к группе контроля (табл. 5). У облученных самцов наблюдалось понижение доли бластных тимоцитов на 17% по сравнению с группой ложнооблученных.

Увеличение ЯСК в селезенке у облученных самок сопровождалось повышением доли клеток миелоидного ряда на 36,0% и эритроидного ряда на 31,5%. Изменение клеточного состава селезенки у облученных самцов выражалось 10-тикратным повышением числа клеток эритроидного ряда (табл. 5). Данные о характере изменений в селезенке и тимусе у облученных животных противоречивы [12, 13].

При изучении отдаленных эффектов воздействия ЭМИ РЧ диапазона по показателям периферической крови у потомства мышей СВА, полученных при разных моделях спаривания родительских особей, установлены различия. В частности, наиболее выраженные изменения отмечались у мышей 6-й группы, которые характеризовались статистически значимым снижением числа лейкоцитов (на 70,2%) и тенденцией к увеличению числа эритроцитов (на 13,1%) по сравнению с показателями потомства группы контроля. У потомства мышей 7-й группы выявлено статистически значимое снижение числа лейкоцитов (на 29,8%) по отношению к контролю (рис. 2).

При сравнительной оценке показателей лейкограммы у потомства выявлено статистически значимое повышение доли юных и палочкоядерных нейтрофилов: у животных 6-й группы в 2,3 и 5,9 раза, у 7-й —

в 4,7 и 3,6 раза соответственно по сравнению с контролем. У потомства в 6-й и 7-й групп установлено статистически значимое снижение доли лимфоцитов соответственно на 23,6% и 20,6% (табл. 6). Сокращение числа лимфоцитов в периферической крови может свидетельствовать об угнетении клеточного иммунитета у потомства облученных животных [13].

На основании результатов, полученных в экспериментальном исследовании, можно сделать заключение, что у самок и самцов мышей СВА, а также у их потомства в ответ на воздействие ЭМИ РЧ диапазона (интенсивность 1,2 мВт/см<sup>2</sup>, период экспозиции 10 мин ежедневно в течение 5 сут) формируются различные ответные реакции. Выявленные изменения расцениваются как компенсаторно-приспособительные реакции в органах кроветворения у экспериментальных животных.

## Литература

1. Григорьев Ю.Г. Принципиально новое электромагнитное загрязнение окружающей среды и отсутствие адекватной нормативной базы - к оценке риска (анализ современных отечественных и зарубежных данных). Гигиена и санитария. 2014; 93(3): 11-6.
2. Divan H., Kheifets L., Obel C., Olsen J. Cell phone use and behavioral problems in young children. *J. Epidemiol. Community Health.* 2012; 66 (6): 524-9.
3. Thomas S., Heinrich S., von Kries R., Radon K. Exposure to radio-frequency electromagnetic fields and behavioral problems in Bavarian children and adolescents. *Eur. J. Epidemiol.* 2010; 25 (2): 135-41.
4. Ерофеева Л.М. Состояние тимуса мышей в различные сроки. Морфология. 2000; 117(1): 42 – 6.
5. Шибкова Д.З., Шилкова Т.В., Овчинникова А.В. Ранние и отдаленные эффекты влияния электромагнитного поля радиочастотного диапазона на репродуктивную функцию и морфофункциональное состояние потомства экспериментальных животных. Радиационная биология. Радиоэкология. 2015; 55(5): 514-9.

6. Шилкова Т.В., Овчинникова А.В., Шибкова Д.З. Влияние электромагнитного поля радиочастотного диапазона на уровень гемоглобина крови экспериментальных животных. В мире научных открытий. 2014; 2(50): 387-93.
7. Меньшиков В.В., Демкаторская П.Н. Лабораторные методы исследования в клинике. Справочник под ред. В.В. Меньшикова. М.; Медицина, 1987.
8. Жевновская А.Н., Гашев С.Н., Соловьёва С.В. Влияние электромагнитного излучения промышленной частоты на гематологические показатели периферической крови грызунов. Принципы экологии. 2016; 2: 84-90.
9. Жуков А.П., Шарафутдинова Е.Б., Датский А.П. Информативность лейкоцитарных индексов в лабораторном скрининге легочной патологии у телят. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016; 3(59): 101-4.
10. Шибкова Д.З., Аклеев А.В. Адаптационно-компенсаторные реакции системы кроветворения при хроническом радиационном воздействии: монография. М.; Изд-во РАДЭКОН; Челябинск; Изд-во ЧГПУ; 2006.
11. Овчинникова А.В. Отдаленные эффекты воздействия электромагнитного излучения радиочастотного диапазона на органы иммунной системы экспериментальных животных. Вестник Челябинского государственного педагогического университета. 2015; 5: 166-72.
12. Пряхин Е.А., Аклеев А.В. Электромагнитные поля и биологические системы: стресс и адаптация. Челябинск, 2011.
13. Григорьев Ю.Г., Шафиркин А.В. Биоэффекты хронического воздействия электромагнитных полей радиочастотного диапазона малых интенсивностей. Радиационная биология. Радиэкология. 2003; 43(5): 501-11.
3. Thomas S., Heinrich S., von Kries R., Radon K. Exposure to radio-frequency electromagnetic fields and behavioral problems in Bavarian children and adolescents. *Eur. J. Epidemiol.* 2010; 25 (2): 135-41.
4. Erofeeva L.M. Status of the thymus of mice at different times of irradiation. *Morfologiya.* 2000; 117(1): 42 – 6. (in Russian)
5. Shibkova D.Z., Shilkova T.V., Ovchinnikova A.V. Early and late effects of electromagnetic field effect radiofrequency reproductive and morphofunctional condition progeny experimental animals. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya.* 2015; 55(5): 514 – 9. (in Russian)
6. Shilkova T.V., Ovchinnikova A.V., Shibkova D.Z. The Influence of electromagnetic field of the radio frequency range on the level of blood hemoglobin in experimental animals. *V mire nauchnykh otkrytiy.* 2014; 2(50): 387- 93. (in Russian)
7. Men'shikov, V.V., Ed. *Laboratory Methods in clinic [Laboratornye metody issledovaniya v klinike]*. Moscow; Meditsina; 1987. (in Russian)
8. Zhevnovskaya A.N., Gashev S.N., Solov'yova S.V. The Influence of electromagnetic radiation of industrial frequency on hematological parameters of peripheral blood of rodents. *Printsiipy ekologiy.* 2016; (2): 84-90. (in Russian)
9. Zhukov A.P., Sharafutdinova E.B., Datskiy A.P. The Informative value of leukocyte indices in the laboratory screening of pulmonary pathology in calves. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 2016; 3(59): 101-4.
10. Shilkova D.Z., Akleev A.V. *Adaptive-compensatory reactions of the hemopoietic system in chronic radiation exposure [Adaptatsionno-kompensatornye reaktsii sistemy krovetvoreniya pri khronicheskom radiatsionnom vozdeystvii]*: monografiya. Moscow; RADEKON; Chelyabinsk; Chelyabinsk state pedagogical University; 2006. (in Russian)
11. Ovchinnikova A.V. Long-term effects of exposure to electromagnetic radiation in the radio frequency range of organs of the immune system of experimental animals. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta.* 2015; (5): 166-72. (in Russian)
12. Pryakhin E.A., Akleev A.V. *Electromagnetic fields and biological systems: stress and adaptation [Elektromagnitnye polya i biologicheskie sistemy: stress i adaptatsiya]*. Chelyabinsk; 2011. (in Russian)
13. Grigor'ev Yu.G., Shafirkin A.V. Bioeffect chronic exposure to radiofrequency electromagnetic fields of small intensity. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya.* 2003; 43(5): 501-11. (in Russian)

### References

1. Grigor'ev Yu.G. Fundamentally new electromagnetic pollution and the lack of an adequate regulatory framework - the risk assessment (analysis of the current domestic and foreign data). *Gigiena i sanitariya.* 2014; 93(3): 11- 6. (in Russian)
2. Divan H., Kheifets L., Obel C., Olsen J. Cell phone use and behavioral problems in young children. *J. Epidemiol. Community Health.* 2012; 66 (6): 524-9.

### Сведения об авторах:

**Шибкова Дарья Захаровна**, доктор биол. наук, проф., гл. науч. сотр. Центра спортивной науки ЮУрГГПУ, e-mail: shibkova2006@mail.ru;

**Шилкова Татьяна Викторовна**, канд. биол. наук, доцент каф. общей биологии и физиологии ЮУрГГПУ, e-mail: shilkovatv@mail.ru;

**Овчинникова Анастасия Валерьевна**, аспирант каф. общей биологии и физиологии ЮУрГГПУ, e-mail: 19\_anastasia\_89@mail.ru