

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
(1800 МГц) РАЗЛИЧНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ
НА КРОВЬ И РЕПРОДУКТИВНУЮ СИСТЕМУ КРЫС-САМЦОВ**

**Г.Г. Верещако¹, А.Д. Наумов¹, В.И. Шалатонин², Г.А. Горох¹,
Д.В. Сухарева¹, Н.В. Чуешова¹**

¹Институт радиобиологии НАН Беларуси, ул. Федюнинского, 4, 246007, Гомель, Беларусь;
E-mail: vereschako2@tut.by

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, ул. П. Бровки, 6,
БГУИР, каф. СТК, 220013, Минск, Беларусь, тел. +375 17 2938095,
E-mail: shalatonin@bsuir.by

Abstract. Reaction of blood and reproductive systems of male rats after non-thermal exposure to radiation of a mobile phone (1800 MHz, 8 hours/day) for 7, 14 and 30 days was studied. It was established that the total number of leucocytes in the blood of irradiated animals did not change, but there were significant deviations of individual leukocyte elements greater for the number of monocytes. Depending on the duration of action observed increase or decrease of thyroxin in serum. Condition of the reproductive system of males characterized by marked changes in the relative weight of the testes and epididymis, disproportion of cellular composition of spermatogenic cells in the tissue of the testis, epididymal sperm numbers increase and a decrease of its viability.

За последние годы в окружающей среде появилось немало новых источников электромагнитного загрязнения. Среди них особое место занимает мобильная связь и Интернет, повсеместное распространение которых привело к хроническому облучению всех категорий населения. В связи с этим существенно повысилось внимание к возможным биологическим последствиям для организма при электромагнитном облучении низкой интенсивности [1]. Излучение мобильного телефона затрагивает не только головной мозг, так как аппарат пользователя прикладывается непосредственно к височной области, к наружному уху, но оно влияет и на другие, прежде всего, наиболее чувствительные системы организма, такие как кровь, репродуктивная и иммунная системы и др. [2-4].

Цель настоящей работы – оценка биологических эффектов электромагнитного воздействия в диапазоне мобильной связи (1800 МГц) различной продолжительности на кровь, репродуктивную и эндокринную системы крыс-самцов.

Материалы и методы. Исследования проводили на белых крысах-самцах стадного разведения, подвергнутых воздействию излучения сотового телефона. Источником ЭМИ являлась экспериментальная установка мобильной связи, изготовленная в БГУИР (Минск), позволяющая имитировать сигнал мобильного телефона (1800 МГц) в режиме разговора. В зоне облучения находились 4 клетки с животными. Во время облучения осуществлялся дистанционный контроль плотности потока электромагнитной энергии в клетке, измеренной прибором ПЗ-30 на частоте 1800 МГц, которая находилась в пределах 0,2 – 20,0 мкВт/см².

Облучение животных начинали утром в 8.30 и продолжали в течение 8 ч ежедневно, включая выходные дни, на протяжении 7, 14 и 30 дней. Животных брали в опыты на 1-е сутки после прекращения облучения. Контролем служили интактные животные аналогичного возраста и пола. Перед опытом животных взвешивали, после декапитации извлекали семенники с придатками, собирали кровь для получения сыворотки. В крови определяли общее количество лейкоцитов и лейкограмму, а также количество апоптотических и некротизированных лимфоцитов. В сыворотке крови анализировали содержание тиреоидных гормонов с помощью наборов ИФА. После взвешивания семенников и эпидидимисов определяли их относительную массу, в тестикулярной ткани с помощью проточной цитофлуориметрии определяли состав сперматогенных клеток, а в эпидидимальных сперматозоидах, количество которых подсчитывали в камере Горяева, определяли жизнеспособность и фрагментацию ДНК (индекс DFI), как описано ранее [5]. Полученные данные об-

рабатывали статистически с вычислением степени достоверности с использованием t -критерия Стьюдента при уровне значимости $P < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что количество лейкоцитов в крови крыс-самцов на 1-е сутки после электромагнитного воздействия (1800 МГц) различной продолжительности не изменяется (табл. 1). В то же время наблюдаются значительные отклонения числа некоторых лейкоцитарных элементов крови во все сроки наблюдения, особенно значимые для моноцитов. Их количество возрастает более чем на 33% после 7-и и 14-и дневной экспозиции, а после облучения в течение 1-го месяца оно достигает 175,0% по отношению к соответствующему контролю. Следует также отметить значительное падение числа гранулоцитов после облучения в течение 1 недели (-42,9%), а также некоторое снижение количества лимфоцитов при 2-х недельной экспозиции.

Количество апоптотических лимфоцитов последовательно возрастало в зависимости от продолжительности облучения, и после 30-и дней экспозиции увеличивалось почти в два раза (194,4%), количество некротизированных клеток резко возрастало (в три раза) только после кратковременной экспозиции (7 суток).

Существенных изменений в отношении показателей красной крови (число эритроцитов и содержание гемоглобина) при разной длительности электромагнитной экспозиции не обнаружено.

Оценивая реакцию репродуктивной системы самцов, можно отметить, что даже 7-и дневная экспозиция влияла на массовые показатели исследуемых органов. В этом случае выявляется достоверное повышение относительной массы семенников и эпидидимисов. Тенденция к увеличению отмечается и в отношении абсолютной массы этих органов, но она не носит достоверного характера. При более длительном облучении (14 дней) наблюдается достоверное падение относительной массы семенников и их придатков, в то время как при относительно длительной экспозиции (1 месяц) существенных отклонений относительной массы этих органов не наблюдается. В то же время абсолютная масса семенников после одномесячного облучения достоверно возрастает.

При анализе числа различных типов сперматогенных клеток в ткани семенника отмечается существенная диспропорция их состава при различной продолжительности экспозиции. Например, облучение в течение 7 дней вызывает падение количества сперматозоидов и круглых сперматид и значительное увеличение числа продолговатых сперматид (+87,7%), в то время как двухнедельная экспозиция приводит к повышению числа сперматозоидов I порядка и снижению удлиненных и продолговатых сперматид. Наиболее продолжительное воздействие (1 месяц) вызывает достоверные отклонения состава сперматогенных клеток в отношении сперматогоний, сперматозоидов в S-фазе, а также продолговатых сперматид.

Электромагнитная экспозиция в течение 7 дней сопровождается более чем трехкратным повышением количества сперматозоидов, выделенных из эпидидимисов. При более длительном воздействии число зрелых половых клеток, достоверно увеличивается также после одномесячного воздействия, достигая 130,5% по сравнению с контролем. Воздействие ЭМИ вызывало падение жизнеспособности сперматозоидов, достоверное при 7-и и 14-и дневном облучении, а индекс фрагментации ДНК в зрелых половых клетках облученных животных имел тенденцию к некоторому повышению.

Таким образом, воздействие ЭМИ низкой интенсивности в диапазоне мобильной связи (1800 МГц) различной продолжительности сопровождается определенными отклонениями в показателях крови и является наиболее выраженным в репродуктивной системе самцов, что необходимо учитывать при комплексной оценке возможных последствий действия этого излучения на организм.

Таблица 1. Изменение некоторых показателей крови, репродуктивной системы и уровней тиреоидных гормонов в сыворотке крови крыс-самцов на 1-е сутки после электромагнитного воздействия (1800 МГц, 8 час/день) различной продолжительности

Исследуемые показатели	7 дней		14 дней		30 дней	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
Кровь						
Лей., *10 ⁹ /л	5,1±0,2	4,9±0,3	7,5±0,7	7,4±0,7	7,8±0,6	8,1±1,4
Лимф., *10 ⁹ /л	2,6±0,2	2,7±0,8	3,7±0,3	2,9±0,3	4,5±0,4	4,3±0,8
Моноциты, *10 ⁹ /л	0,9±0,1	1,2±0,2	0,6±0,04	0,8±0,1	0,8±0,03	1,4±0,5
Гр., *10 ⁹ /л	2,1±0,3	1,2±0,2	2,7±0,1	2,3±0,2	2,5±0,3	2,4±0,5
Эр., *10 ⁹ /л	6,6±0,2	6,3±0,2	6,8±0,2	6,8±0,4	7,4±0,1	7,2±0,2
Гемоглобин, г/л	126,8±2,2	121,2±3,0	130,4±2,7	122,6±2,3	140,4±2,1	138,8±4,7
T ₄ , нмоль/л	42,9±2,2	36,3±2,3	31,5±1,1	40,1±2,5*	41,7±5,3	27,8±7,8
T ₃ , нмоль/л	0,92±0,18	0,97±0,09	0,77±0,10	0,81±0,08	1,56±0,03	1,54±0,02
Репродуктивная система						
АМ семенников, г	0,89±0,07	1,05±0,06	1,21±0,045	1,21±0,10	1,32±0,05	1,51±0,06*
ОМ семенников, %	0,63±0,02	0,68±0,04	0,62±0,03	0,68±0,04	0,56±0,01	0,62±0,03
АМ эпид., г	0,13±0,01	0,18±0,01*	0,27±0,01	0,21±0,01*	0,34±0,01	0,37±0,02
ОМ эпид., %	0,10±0,01	0,12±0,01*	0,14±0,01	0,12±0,01*	0,15±0,01	0,15±0,01
Количественный состав сперматогенных клеток тестикулярной ткани						
2С	15,30±0,58	11,38±1,70*	13,62±0,61	17,00±1,80	14,03±1,02	10,89±0,38*
4С	5,50±0,68	5,05±0,54	3,82±0,19	5,98±0,70*	3,72±0,31	3,09±0,25
S-phasa	7,42±0,59	6,74±0,57	5,67±0,48	6,03±0,90	5,54±0,19	4,66±0,29*
1С	48,03±2,70	38,92±1,39*	35,72±1,87	37,63±1,82	35,36±1,60	32,13±1,19
НС1	9,71±0,54	9,63±0,81	26,58±2,35	22,16±2,07	10,04±0,33	11,09±0,67
НС2	10,72±1,96	20,12±1,37*	13,30±1,09	8,69±1,47*	30,16±2,67	37,22±0,87*
Свойства сперматозоидов, выделенных из эпидидимиса						
Кол-во ×10 ⁸ /1 г	0,81±0,25	2,57±0,20*	3,35±0,44	3,26±0,52	4,13±0,43	5,39±0,47
Жизнеспособн., %	46,8±2,4	33,6±3,2*	43,3±2,2	37,8±1,1*	53,6±6,3	46,6±0,9
Индекс DFI, %	0,93±0,21	0,95±0,30	6,94±0,66	7,92±0,76	1,78±0,22	1,90±0,50

Условные обозначения: Лей. – лейкоциты; Лимф. – лимфоциты; Гр. – гранулоциты; Эр. – эритроциты; T₄ – тироксин; T₃ – трийодтиронин; эпид. – эпидидимис; АМ – абсолютная масса; ОМ – относительная масса; 2С – сперматогонии; 4С – сперматоциты I-го порядка; S-phasa – сперматоциты в S-фазе; 1С – НС1 – НС2 – соответственно: круглые удлиненные и продолговатые сперматиды; жизнеспособн. – жизнеспособность; индекс DFI – индекс фрагментации ДНК; * - достоверно при P < 0,05.

Литература

1. Григорьев, Ю.Г. Электромагнитные поля сотовых телефонов и здоровье детей и подростков (Ситуация, требующая принятия неотложных мер) / Ю.Г. Григорьев // Радиационная биология. Радиационная экология. – 2005. – Т. 45, № 4. – С. 442–450.
2. Григорьев, Ю.Г. Сотовая связь и здоровье: электромагнитная обстановка, радиобиологические и гигиенические проблемы, прогноз опасности / Ю.Г. Григорьев, О.А. Григорьев. М.: Экономика, 2013. – 567 с.
3. Якименко, И.Л. Метаболические изменения в клетках при действии электромагнитного облучения систем мобильной связи / И.Л. Якименко, Е.П. Сидорик, О.С. Цибулин // Укр. біохім. журн. – 2011. – Т. 83, № 2. – С. 20–28.
4. Верещако, Г.Г. Проблемы репродукции у мужчин, вызванные использованием мобильного телефона / Г.Г. Верещако // Проблемы репродукции, 2014. N 4. – С.73-78.
5. Верещако, Г.Г. Состояние репродуктивной системы крыс-самцов после длительного электромагнитного облучения мобильным телефоном (900 МГц) в период ее формирования / Г.Г. Верещако, Н.В. Чушова, Н.В. Гунькова // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук, 2012. – № 4. – С. 52–56.