

architecture design of artificial neural network and its functioning algorithm are considered. These features of the expert system software implementation are specified.

*Keywords:* expert system, artificial neural network, clinical diagnosis of appendicitis, peritonitis, hepatitis.

### Список литературы

1. *Круглов В.В., Борисов В.В.* Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М., 2002.
2. *Хайкин С.* Нейронные сети. М., 2006.
3. *Короткий С.* Нейронные сети: алгоритм обратного распространения М., 1996.

УДК 537.531+ 591.463.1+612.11.112

## ЭФФЕКТЫ ДЛИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МОБИЛЬНОГО ТЕЛЕФОНА (1745 МГц) НА КРОВЬ И РЕПРОДУКТИВНУЮ СИСТЕМУ КРЫС-САМЦОВ

Г.Г. ВЕРЕЩАКО, Н.В. ЧУЕШОВА, В.И. ШАЛАТОНИН\*, Д.В. СУХАРЕВА

*Государственное научное учреждение «Институт радиобиологии НАН Беларуси»,  
Федюнинского, 4, 246007, Гомель, Беларусь*

*\*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 16 ноября 2016*

Приведены данные исследований о влиянии длительной экспозиции электромагнитного поля мобильного телефона (1745 МГц) в ближайшем (1-е сутки) и отдаленном (30-е сутки) периодах на число лейкоцитов и лейкоцитарных элементов крови и показатели репродуктивной системы крыс-самцов. Установлено, что на 1-е сутки после воздействия ЭМП от мобильного телефона (1745 МГц) отмечаются некоторые отклонения гематологических показателей от контроля, особенно значимые для числа гранулоцитов после 3-месячного облучения; наблюдаются нарушения процесса сперматогенеза, а также снижение количества эпидидимальных сперматозоидов и падение их жизнеспособности. К 30-м суткам выявленные изменения исследуемых показателей в основном нормализуются, за исключением достоверного падения жизнеспособности зрелых половых клеток при 60-дневной и числа гранулоцитов при 90-дневной экспозиции.

*Ключевые слова:* электромагнитное поле, крысы-самцы, кровь, лейкоциты, сперматогенез, эпидидимальные сперматозоиды.

### Введение

В последние годы в связи с глобальным распространением мобильной связи проводятся многочисленные исследования электромагнитного воздействия мобильных телефонов и базовых станций на организм. Несмотря на противоречивые результаты по этой проблеме, большинство авторов указывают на негативные последствия электромагнитной экспозиции в диапазоне мобильной связи на нервную систему и наиболее чувствительные системы организма [1–3]. При этом особое внимание уделяется изучению влияния этого излучения на развивающийся организм, так как его чувствительность к различным антропогенным факторам среды в этот период значительно повышена. Принято считать необходимым ограничение использования мобильных телефонов в детском и подростковом возрасте, излучение которых может повлиять на их здоровье [4].

Исходя из вышеизложенного, целью настоящей работы являлось изучение отдаленных последствий длительного воздействия ЭМП (1745 МГц) на некоторые показатели крови и репродуктивной системы крыс-самцов, облучение которых начиналось с неполовозрелого возраста (50–52 дня) и продолжалось на протяжении двух и трех месяцев.

### Материалы и методы

Исследования проводили на неполовозрелых крысах-самцах стадного разведения (исходный возраст 50–52 дня), подвергнутых электромагнитному воздействию от мобильного телефона на частоте 1745 МГц ежедневно, 8 час/день, фракциями по 30 мин с интервалом 5 мин, на протяжении 60 и 90 дней. Опыты выполняли на 1-е и 30-е сутки после прекращения экспозиции. Контролем служили интактные животные аналогичного возраста и пола. Источником электромагнитного излучения (ЭМИ) являлся мобильный телефон (МТ) Nokia, подключенный к компьютеру с сервисной программой Win Tesla, позволяющей управлять работой МТ. Условия облучения животных: несущая частота 1745 МГц (в режиме имитации разговора), т.е. близкие по своим характеристикам к МТ воздействующему на пользователя. Телефон размещался в центральной части рабочей зоны (1x0,7 м), в которой находились 4 пластиковые клетки с животными. Во время облучения осуществлялся дистанционный контроль наличия электромагнитного поля. Плотность потока электромагнитной энергии в клетке измерялась прибором ПЗ-41 и находилась в пределах 0,2–20,0 мкВт/см<sup>2</sup> (в зависимости от удаленности до антенны МТ). Предварительно взвешенных животных подвергали декапитации, собирали кровь, в которой определяли количество лейкоцитов и лейкоцитарных элементов крови (лимфоциты, моноциты, гранулоциты) на гемоанализаторе Celltac MEK-63-18 J/K (Япония), выделяли семенники, эпидидимисы и семенные пузырьки, абсолютную массу которых оценивали с точностью до 1 мг, с последующим расчетом относительной массы. Ткань семенников использовали для получения клеточной суспензии, в которой проводили количественный анализ различных типов сперматогенных клеток методом ДНК-проточной цитометрии (цитофлуориметр Cytomics FC 500, Beckman Coulter, США) [5]. Основываясь на соответствующей интенсивности флуоресценции содержания ДНК, клеточные популяции сперматогенных клеток были классифицированы как сперматогонии (2С), прелептотенные сперматоциты (сперматоциты в S-фазе), сперматоциты I порядка (4С), круглые сперматиды (1С), удлинённые сперматиды (НС1) и продолговатые сперматиды (НС2). Из эпидидимисов выделяли сперматозоиды, количество которых определяли по [6]. В полученных зрелых половых клетках определяли жизнеспособность [7] и индекс DFI (фрагментация ДНК) [8].

Полученные данные обрабатывали общепринятыми методами биологической статистики, используя пакеты программ Excel и GraphPad Prism 5. При сравнении двух независимых групп по количественному признаку использовали непараметрический критерий Манна-Уитни. Различия считали достоверными при  $p \leq 0,05$ .

### Результаты и их обсуждение

Реакция лейкоцитарной системы крови животных на 1-е сут после воздействия в течение 60 дней ЭМП МТ (1745 МГц) выражается в умеренном повышении числа лейкоцитов, лимфоцитов и моноцитов (116,5, 124,1 и 122,2 % соответственно) и некотором снижении количества гранулоцитов (91,8 %). На 1-е сут после 90-дневной экспозиции сохраняется тенденция к повышению числа лейкоцитов и лимфоцитов соответственно на 18,5 и 11,8 % при резком повышении числа гранулоцитов (более чем в 3 раза), которое носит статистически значимый характер (рис. 1).

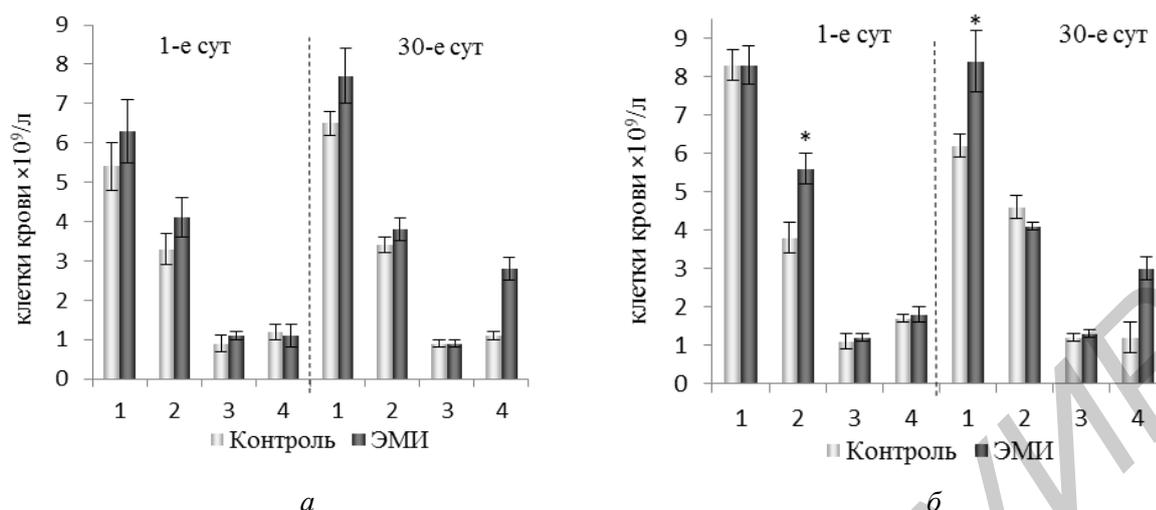


Рис. 1. Изменение количества лейкоцитов и лейкоцитарных элементов крови крыс-самцов на 1-е и 30-е сут после двух- (а) и трехмесячного (б) воздействия ЭМП МТ (1745 МГц, 8 час/день): 1 – лейкоциты, 2 – лимфоциты, 3 – моноциты, 4 – гранулоциты

Определенные нарушения гематологических показателей у облученных животных сохраняются также на 30-е сут после длительного воздействия ЭМП МТ. Они обусловлены повышенным количеством лимфоцитов (60-дневная экспозиция), лейкоцитов и гранулоцитов после 90 дней облучения. Анализируя данные о массе органов репродуктивной системы крыс-самцов после длительного воздействия ЭМП МТ (1745 МГц) на 1-е и 30-е сут пришли к заключению об отсутствии изменений исследуемых показателей, за исключением повышения абсолютной массы семенников на 1 сут после 60-дневной экспозиции и на 30-е сут при 90-дневном облучении. На 1-е сут после 60-дневной экспозиции наблюдаются значительные диспропорции количественного состава сперматогенных клеток. Отмечается статистически значимое повышение числа прелептотенных сперматоцитов, сперматоцитов 1-го порядка и продолговатых сперматид и значительное падение количества удлинённых сперматид. На 30-е сут после указанной экспозиции отмечается выраженный дисбаланс при трансформации различных форм сперматид (см. таблицу).

**Изменение количественного распределения популяций сперматогенных клеток в тестикулярной ткани крыс-самцов на 1-е и 30-е сутки после воздействия ЭМП МТ (1745 МГц, 8 час/день) в течение 60 и 90 дней**

Сперматогенные клетки, %	1-е сутки		30-е сутки	
	Контроль	ЭМП МТ	Контроль	ЭМП МТ
2 мес воздействия				
2С	7,92±0,53	8,35±0,85	7,65±0,77	6,71±0,38
S-phasa	2,87±0,20	3,85±0,21*	3,76±0,36	3,87±0,27
4С	3,16±0,12	3,87±0,19*	2,19±0,25	1,78±0,08
1С	22,71±0,90	22,23±0,91	34,16±1,80	28,44±1,46*
НС1	24,95±1,60	16,51±0,76*	15,81±0,38	18,07±0,69*
НС2	36,04±1,81	42,64±2,15	32,56±0,66	35,97±1,05*
3 мес воздействия				
2С	7,02±0,42	7,98±0,18*	8,07±0,41	6,92±0,27*
S-phasa	2,78±0,19	2,71±0,21	3,15±0,28	2,38±1,12*
4С	2,35±0,14	2,43±0,21	4,02±0,28	4,73±0,39
1С	28,12±0,49	29,38±0,89	32,19±1,74	34,95±1,18
НС1	18,29±1,21	14,67±0,59*	25,94±1,08	23,96±1,59
НС2	39,89±1,52	40,66±0,60	24,93±1,21	25,64±1,28

Примечание: 2С – сперматогонии, S-phasa – сперматоциты в прелептотене, 4С – сперматоциты I порядка, 1С, НС1 и НС2 – круглые, удлинённые и продолговатые сперматиды; \* – достоверно при  $p < 0,05$ .

Более длительное электромагнитное воздействие (90 дней) вызывало менее значимые эффекты на процесс сперматогенеза по сравнению с 60-дневной экспозиции при обоих сроках

исследования (1-е и 30-е сут), что позволяет предполагать определенную адаптацию исследуемого процесса к действующему фактору. Продукция спермиогенеза, оцениваемая по количеству эпидидимальных сперматозоидов, показывает, что на 1-е сут при экспонировании животных в течение 60 дней выявляется тенденция к некоторому их повышению, а на 1-е сут после 90 дней и в отдаленном периоде (30-е сут) – падению (рис. 2). Однако жизнеспособность зрелых половых клеток существенно снижена и имеет более значимый характер при 60-дневном воздействии ЭМП МТ. В этом случае она составляет только 66,0 % к контрольному значению. Индекс DFI, отражающий целостность структуры ДНК в сперматозоидах, не выявил статистически значимых отклонений его при длительном воздействии ЭМП МТ (60 и 90 дней) в указанные сроки эксперимента. В то же время, на 30-е сут после 90-дневной экспозиции проявляется тенденция к повышению этого показателя (144,8 %).

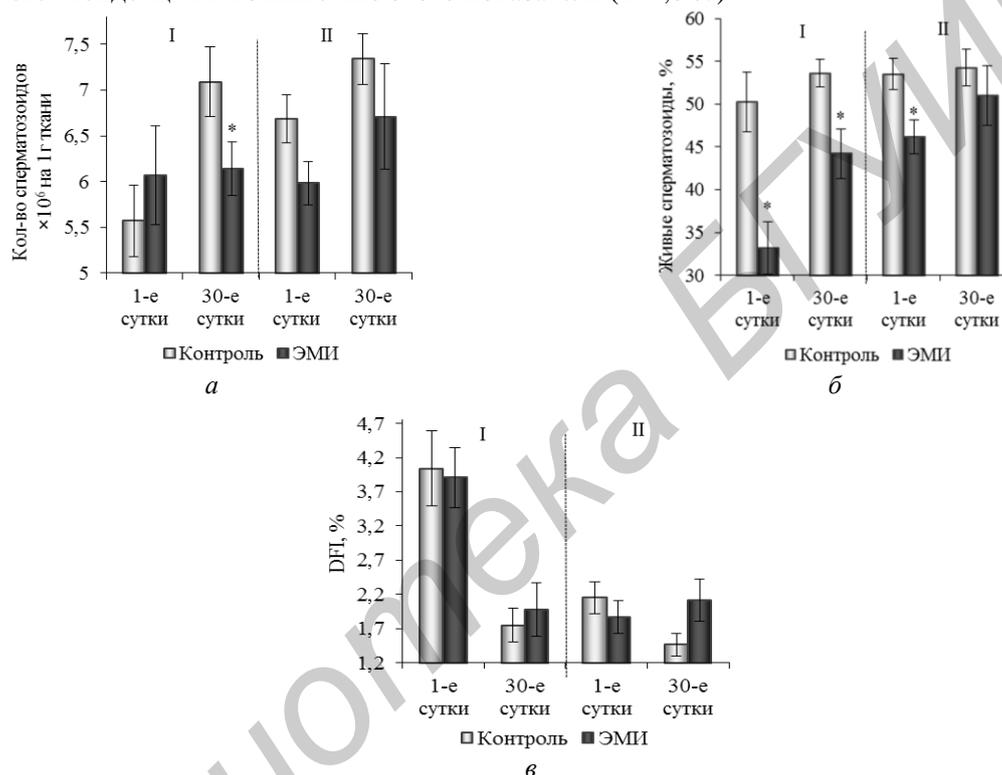


Рис. 2. Изменение количества (а), жизнеспособности (б) и индекса фрагментации ДНК (DFI) сперматозоидов (в), выделенных из эпидидимисов крыс-самцов, на 1-е и 30-е сутки после электромагнитной экспозиции от мобильного телефона в течение 60 (I) и 90 (II) дней (1745 МГц, 8 час/день)

### Заключение

Таким образом, при изучении состояния крови и репродуктивной системы крыс-самцов (исходный возраст 50–52 дня), подвергнутых длительному электромагнитному воздействию от мобильного телефона (1745 МГц, ППЭ 0,2–20 мкВт/см<sup>2</sup>, 8 час/день, 60 и 90 дней), установлено умеренное повышение некоторых лейкоцитарных элементов крови, более выраженное для количества гранулоцитов при 90-дневной экспозиции, отсутствие значимых изменений массовых показателей органов репродуктивной системы и нарушение процесса сперматогенеза, которые проявляется в большей степени на 1-е и 30-е сут после облучения при 60-дневной экспозиции. Наиболее значительный эффект влияния ЭМП в диапазоне мобильной связи (1745 МГц) на 1-е сут после экспозиции (60 и 90 дней) проявляется в выраженном падении жизнеспособности эпидидимальных сперматозоидов, что может негативно отразиться на фертильности животных, в то же время индекс DFI, свидетельствующий о целостности ДНК в половой клетке, не претерпевает достоверных изменений. В отдаленном периоде (30-е сут) после электромагнитного облучения (1745 МГц, 8 час/день, ППЭ 0,2–20 мкВт/см<sup>2</sup>) выявленные

нарушения исследуемых показателей в основном нормализуются, за исключением достоверного падения жизнеспособности зрелых половых клеток при 60-дневной и числа гранулоцитов при 90-дневной экспозиции.

## EFFECTS OF LONG-TERM ELECTROMAGNETIC RADIATION OF MOBILE PHONES (1745 MHZ) ON BLOOD AND REPRODUCTIVE SYSTEM OF MALE RATS

G.G. VERESCHAKO, N.V. CHUESHOVA, V.I. SHALATONIN, D.V. SUCHAREVA

### Abstract

The article presents data of research on the long-term exposure (two or three months) effect of mobile phone EMF (1745 MHz) in the immediate (1st day) and remote (30th day) period on the number of leukocytes and leukocyte blood elements and indices of the reproductive system of male rats. It was established that on the 1st day after EMF exposure from mobile phones (1745 MHz) notes some deviations hematological parameters of control, particularly important for the number of granulocytes after 3 months of exposure, observed disturbance spermatogenesis, as well as reducing the number of epididymal spermatozoa and drop their viability. By the 30th day revealed changes in the parameters studied mostly normalized, with the exception of significant fall viability of mature germ cells at 60-day and the number of granulocytes in the 90-day exposure.

*Keywords:* electromagnetic field, male rats, blood, leukocytes, spermatogenesis, epididymal sperm.

### Список литературы

1. Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А. Сотовая связь и здоровье: электромагнитная обстановка, радиобиологические и гигиенические, проблемы, прогноз опасности. М., 2013.
2. Якименко И.Л., Сидорик Е.П., Цибулин О.С. // Укр. біохім. журн. 2011. Т. 83, № 2. С. 20–28.
3. Верещако Г.Г. Электромагнитное излучение диапазона мобильной связи и его влияние на мужскую репродуктивную систему и потомство. Минск, 2015.
4. Григорьев Ю.Г. // Радиационная биология. Радиозэкология. 2005. Т. 45, № 4. С. 442–450.
5. Suresh R., Aravindan G.R., Moudgal N.R. // J. Biosci. 1992. Vol. 17, № 4. P. 413–419.
6. Евдокимов В.В. // Бюл. эксп. биол. и мед. 1997. Т. 123, № 5. С. 524–527.
7. World Health Organization. WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen. Geneva, 2010.
8. Evenson D.P., Larson K.L., Jost L.K. // Andrology. 2002. Vol. 23, № 1. P. 25–43.

УДК 004.942

## ОЦЕНКА ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРОВОТОКА СОННОЙ АРТЕРИИ ПРИ ПАТОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ СОСУДИСТОГО РУСЛА

Е.Д. ВИТКОВСКИЙ, И.Ю. БАЗИК, Д.А. БАЛЮК, Н.С. ДАВЫДОВА

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в 22 ноября 2016*

Проведено моделирование кровотока внутренней сонной артерии с различными типами аневризм. На основе данных, полученных при помощи компьютерной томографии и магнитно-резонансной томографии, были построены трехмерные модели участка сонной артерии с различными типами аневризм. Опираясь на 3D модели, при помощи