

4,98) нмоль/г ткани у животных опытной группы, данные статистически значимы, $p = 0,02$. В других отделах головного мозга статистически значимых изменений выявлено не было.

В дофаминэргической системе мозга различают семь отдельных подсистем, основные из них нигростриатная, мезокортикальная и мезолимбическая [5]. Мезокортикальный путь отвечает за осуществление когнитивных процессов, а также связанные с мотивацией и эмоциями. Согласно литературным данным, дофаминэргическая система связана с познанием, мотивацией, формированием чувства повышенного настроения, эффекта вознаграждения, и, повышение установленное нами повышение уровня дофамина в коре больших полушарий может повлиять на познание, мотивацию, формирование чувства повышенного настроения, эффекта вознаграждения, а также может способствовать повышенной уязвимости к стрессу, агрессивному поведению и формированию зависимостей (злоупотреблению наркотиками), и с развитием ряда психических заболеваний, таких как шизофрения и биполярные расстройства [6].

Выводы

Хроническое воздействие ЭМП устройства Wi-Fi вызывает изменения уровня дофамина и его предшественников в больших полушариях головного мозга. Увеличение концентрации дофамина и диоксифенилаланина в больших полушариях сопровождается снижением исходного предшественника (тирозина) в гипоталамусе, стриатуме и больших полушариях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маслов, М. Ю. Современные проблемы электромагнитной экологии / М. Ю. Маслов, Ю. М. Сподобаев, М. Ю. Сподобаев // Электросвязь. 2014. № 10. С. 39–42.
2. Possible effects of radiofrequency electromagnetic field exposure on central nerve system / Ju Hwan Kim [et al.] // Biomol Ther. 2019. Vol. 27, № 3. P. 265–275.
3. Hossmann, K. A. Effects of electromagnetic radiation of mobile phones on the central nervous system / K. A. Hossmann, D. M. Hermann // Bioelectromagnetics. 2002. Vol. 24. P. 49–62.
4. Влияние электромагнитного излучения от сотовых телефонов на здоровье детей и подростков (Обзор литературы) / Н. В. Семенова [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 6–4. С. 701–705.
5. Дофаминэргическая система мозга / О. И. Колотилова [и др.] // Вестник Брянского государственного университета БГУ. 2014. № 4. С. 97–106.
6. Ashby, F. G. Differential effects of dopamine-directed treatments on cognition / F. G. Ashby, V. Valentin, S. von Meer // Neuropsychiatric Disease and Treatment. 2015. № 11. P. 1859–1875.

УДК 612.112+614.875+599.323.4

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ УСТРОЙСТВА WI-FI НА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ЛЕЙКОЦИТОВ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ

Щурова Е. А.¹, Лашкевич Е. В.², Лосева М. Н.²

**Научные руководители: к.б.н. Н. В. Чуешова¹;
старший преподаватель К. А. Кидун²**

¹Государственное научное учреждение

«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»,

²Учреждение образования

«Гомельский государственный медицинский университет»

г. Гомель, Республика Беларусь

Введение

За последние 30 лет научным сообществом проведено немало экспериментов по изучению эффектов электромагнитного излучения (ЭМИ) на биологические системы [1]. Зачастую результаты этих исследований противоречивы и требуют дополнительного изучения. В частности, интересным объектом для

изучения являются лейкоциты периферической крови как биомаркер эффективности воздействия ЭМИ в диапазоне радиочастот (РЧ). В работах на клетках периферической крови как *in vivo*, так и *in vitro*, исследователи показали генотоксичность ЭМП РЧ, которую объясняют изменениями нормальной метаболической активности клетки, что и приводит к повреждениям внутренних ее структур [2]. Тем не менее есть работы, в которых не было обнаружено каких-либо последствий ЭМ воздействия на морфологию и жизнеспособность лейкоцитов [3]. В одной из работ М. А. Esmeкаya et al. (2011) на культурах клеток показал нарушение целостности цитоплазматической мембраны, разрушение органелл и структур ядра при воздействии ЭМП (1,8 ГГц, SAR 0,21 Вт/кг) и выраженность изменений зависела от длительности воздействия [4].

Цель

Изучить морфофункциональное состояние лейкоцитов периферической крови крыс-самцов, подвергнутых хроническому воздействию электромагнитного поля устройства Wi-Fi (2450 МГц) в период их раннего постнатального развития.

Материал и методы исследования

Исследования выполнены на 16 белых крысах-самцах линии Вистар в возрасте 50–52 сут и массой $160,14 \pm 1,44$ г на начало эксперимента. Все животные были разделены на две группы ($n = 8$): 1. Контроль; 2. Wi-Fi — животные, подвергнутые воздействию ЭМП устройства Wi-Fi до 3-месячного возраста животных.

Все животные содержались в оптимальных условиях (с обеспечением температурного, светового режима, полноценного питания, защиты от инфекций, шума и других помех окружающей среды) вивария Института радиобиологии НАН Беларуси согласно санитарным правилам норм 2.1.2.12-18-2006 «Устройство, оборудование и содержание экспериментально-биологических клиник (вивариев)».

Источником ЭМП являлся маршрутизатор Netis WF2780. Облучение проводилось на частоте 2,45 ГГц, 24 ч/день. Расстояние от источника излучения (роутер) до клетки составляло 20 см. Роутер размещался в центральной части рабочей зоны (1,2×0,8 м), в которой находилось 4 пластиковые клетки с животными. Во время облучения осуществлялся дистанционный контроль наличия электромагнитного поля. Плотность потока электромагнитной энергии (ППЭ) в клетке измерялась прибором ПЗ-41 и находилась в пределах 0,01–1,56 мкВт/см².

Источником лейкоцитов являлась кровь, собранная на гепарин. Гепаринизированную кровь разводили и наслаивали на раствор с плотностью 1,077 г/мл (Histopaque-1077) и центрифугировали при комнатной температуре в течение 30 мин при 600 g, в результате чего получали кольцо мононуклеарных клеток — лейкоциты, которые собирали с помощью пастеровской пипетки и однократно отмывали в фосфатно-солевом буфере (PBS, Sarstedt, Германия) путем центрифугирования при 300 g при температуре 4 °С в течение 5 мин.

Проводили анализ клеточного цикла [5], апоптотической активности (н-р ANNEXIN-V-FITC, Invitrogen), микроядерный тест [6], а также анализ на наличие одно- и двунитевых разрывов ДНК адаптированным методом, используемым для анализа структуры хроматина в сперматозоидах по D. P. Evenson, (Sperm chromatin structure assay, 2016) [7].

Детекцию и анализ вышеперечисленных показателей морфофункциональной активности ММСК проводили на проточном цитофлуориметре Cytomics FC 500 (Beckman Coulter, США), укомплектованным аргоно-ионным лазером с длиной волны 488 нм.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием электронных таблиц «Microsoft Office Excel 2016» и пакета статистических программ «Graph Pad Prism 8.3». Значимость наблюдаемых отличий двух независимых групп по количественному признаку оценивали с помощью непараметрического критерия Манна — Уитни (Mann — Whitney, U-test). Данные

представлены как медиана (Me — 50-й процентиль), интерквартильный интервал 25–75 % (LQ; UQ) и размах min-max. Различия считали статистически значимыми при вероятности ошибки менее 5 % ($p < 0,05$).

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ медиан выживаемости популяции лейкоцитов, выделенных из периферической крови крыс-самцов, подвергнутых воздействию ЭМП Wi-Fi в период их раннего постнатального развития и до возраста 3-х месяцев, показал отклонения в выживаемости и показателей, характеризующих гибель клеток путем апоптоза. Установлена повышенная устойчивость лейкоцитов к воздействию, на что указывает незначительное, но статистически значимое снижение их жизнеспособности 94,60 (93,90; 95,93) против 98,55 (98,33; 98,80) контрольного значения ($p = 0,03$), при повышении доли клеток, находящихся на стадиях раннего апоптоза, что соответствовало 3,00 (0,48; 3,48) в контрольной группе против 4,30 (3,43; 5,38) в группе воздействия (при $p = 0,04$).

Тест на наличие микроядер в клетках является универсальным маркером нарушения клеточного деления или фрагментации ядра во время апоптоза. Сравнивая медианы значений частоты микроядер в лейкоцитах обнаружено их повышение более чем в 2,5 раза ($p = 0,01$), а именно в контроле данный показатель составил 0,10 (0,10; 0,10) против 0,25 (0,13; 0,38) у облученных животных.

Известно, что деление и созревание клеток, а также апоптоз сопровождаются многочисленными разрывами нитей ДНК под воздействием эндонуклеаз, поэтому изучение хроматина клеток является показателем, отражающим состояние наследственного аппарата. Следует отметить, что нами не обнаружено статистически значимого изменений в значениях доли фрагментированной ДНК, но необходимо отметить ее повышение в 2 раза, что соответствовало в группе контроля 2,15 (0,75; 5,00), а у облученных животных — 4,35 (2,13; 7,28).

Использование проточной цитометрии позволяет обнаруживать клетки, находящиеся в G1/G0 (пресинтетическая фаза / стадия покоя), S (синтетическая фаза), G2/M (постсинтетическая фаза / митоз) фазах клеточного цикла, а расчет индекса пролиферации (ПИ) позволяет судить о степени дифференциальной активности популяции: $ПИ = ((S+G2/M)/(S+G1/G0+G2/M)) \times 100 \%$ (таблица 1).

Таблица 1 — Проллиферативный индекс и распределение лейкоцитов периферической крови по стадиям клеточного цикла при хроническом влиянии ЭМИ Wi-Fi на организм крыс-самцов в возрасте 3 месяца

Группы животных	Стадии клеточной гибели			
	G1/G0, %	S, %	G2/M, %	ИП
Контроль	97,64 (97,40; 98,20)	0,64 (0,23; 1,08)	1,58 (1,38; 1,71)	2,35 (1,80; 2,60)
Wi-Fi	98,53 (98,03; 98,97)*	0,16 (0,03; 0,41)*	1,17 (0,66; 1,94)	1,48 (1,04; 1,97)*

При изучении фаз клеточного цикла популяций лейкоцитов установлено умеренное, но статистически значимое увеличение доли клеток, находящихся в G2/M-фазе, но более значительное падение клеток обнаружено в S-фазе — на 75 % ($p=0,05$) и в G2/M — на 25 % ($p = 0,39$). Расчет ИП лейкоцитов показал статистически значимое его падение на 37,1 % ($p = 0,04$) при сравнении контрольным значением.

Выводы

Таким образом, полученные данные указывают на то, что хроническое воздействие ЭМП устройств Wi-Fi (2,45 ГГц, ППЭ = 0,01–1,56 мкВт/см², 24 ч/день) на организм в период его раннего постнатального развития способно вызывать изменения морфофункционального состояния лейкоцитов периферической крови. Установлено, что при довольно высокой выживаемости клеточных популяций, получены данные указывающие на снижение качества клеток, что под-

тверждается увеличением доли клеток, находящихся в состоянии раннего апоптоза, частоты микроядер и наличием фрагментированной ДНК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев, Ю. Г. Сотовая связь и здоровье: электромагнитная обстановка, радиобиологические и гигиенические проблемы, прогноз опасности / Ю. Г. Григорьев, О. А. Григорьев. М. : Экономика, 2016. 574 с.
2. In vitro effects of low intensity 1.8 GHz electromagnetic radiation on peripheral blood leukocytes from healthy donors: a morphometric and morphological study / E. Jirillo [et al.] // Adv. Res. 2014. Vol. 2, № 9. P. 478–493.
3. Aly, A. A. The effects on cells mobility due to exposure to EMF radiation / A. A. Aly, S. B. Deris, N. Zaki // Advanced Computing: An International Journal. 2011. Vol. 2, № 4. P. 1–7.
4. Mutagenic and morphologic impacts of 1.8 GHz radiofrequency radiation on human peripheral blood lymphocytes (hPBLs) and possible protective role of pre-treatment with Ginkgo biloba (EGb 761) / M. A. Esmekaya [et al.] // Science of the total environment. 2011. Vol. 410. P. 59–64.
5. Проточная цитометрия в медицине и биологии. 2-е издание дополненное и расширенное / А. В. Зурочка [и др.]. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. 576 с.
6. In vitro micronucleus assay scored by flow cytometry provides a comprehensive evaluation of cytogenetic damage and cytotoxicity / S. M. Bryce [et al.] // Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis. 2007. Vol. 630, № 1–2. P. 78–91.
7. Evenson, D. P. The Sperm Chromatin Structure Assay (SCSA) and other sperm DNA fragmentation tests for evaluation of sperm nuclear DNA integrity as related to fertility / D. P. Evenson // Animal reproduction science. 2016. Vol. 169. P. 56–75.

УДК 616-001.4-08

THE ROLE OF RISK FACTORS THAT CAN AFFECTING THE WOUND HEALING PROCESS

Mohamed Mowith Fathima Sanjitha, Atamuradova Nurana Atamuradovna

Scientific adviser: Senior Lecturer K. A. Kidun

**Educational institution
«Gomel State Medical University»
Gomel, Republic of Belarus**

Introduction

Wound healing is a biological process in the human body. Due to the tissue injury anatomical structure and function of the body changed [2]. Due to the wound healing, anatomic structure and function of body part changed using a several types of factors. There are 3 types of wound healing, depending on treatment and wound type. These are called primary, secondary and tertiary wound healing. Also biologically, 3 phases of wound healing were recognized and defined: hemostasis, inflammatory and proliferative phase [3].

Hemostasis is the process of the wound being closed by clotting. Hemostasis starts when blood leaks out of the body. The first step of hemostasis is when blood vessels constrict to restrict the blood flow. Then platelets stick together in order to seal the break in the wall of the blood vessel. As a result, coagulation occurs and reinforces the platelet plug with threads of fibrin which are like a molecular binding agent. The platelets adhere to the sub-endothelium surface within seconds of the rupture of a blood vessel's epithelial wall. After that, the first fibrin strands begin to adhere in about sixty seconds. As the fibrin mesh begins, the blood is transformed from liquid to gel through pro-coagulants and the release of prothrombin. The formation of a thrombus or clot keeps the platelets and blood cells trapped in the wound area [1]. The thrombus is generally important in the stages of wound healing but becomes a problem if it detaches from the vessel wall and goes through the circulatory system, possibly causing a stroke, pulmonary embolism or heart attack. Inflammatory phase is the second stage of wound healing and begins right after the injury when the injured blood vessels leak transudate (made of water, salt, and protein) causing localized swelling [6]. Inflammatory phase controls bleeding and prevents from infection. The fluid engorgement allows healing and repair cells to move