



Рисунок 2 — График длины базальных ядер эмбрионов человека на сериях сагиттальных срезов (а), график ширины базальных ядер эмбрионов человека на сериях поперечных срезов (б)

Выводы

Основные структуры базальных ядер формируются из медиального и латерального ганглионарных возвышений, которые идентифицируются на поперечных срезах. В период эмбрионального развития (с 5–9 неделю) наблюдается умеренное увеличение площади, длины, ширины и высоты структур. С началом плодного периода отмечается значительный рост ганглионарных возвышений, сопровождающийся увеличением площади, длины, высоты и ширины структур. Существует достоверная корреляционная связь между увеличением основных морфометрических показателей базальных ядер ($p < 0,001$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гайтон, А. К. Медицинская физиология / А. К. Гайтон, Дж. Э. Холл; пер. с англ.; под ред. В.И. Кобрина. М.: Логосфера, 2008. 1296 с.
2. Обухов, Д. К. Эволюционная морфология нервной системы позвоночных / Д. К. Обухов, Н. Г. Андреева. М.: Юрайт, 2017. 384 с.
3. Brain Dysmorphology in Individuals with Severe Prenatal Alcohol Exposure / L. Archibald, Sarah [et al.] // Developmental Medicine and Child Neurology. 2001. № 43. P. 54–148.
4. Ten Donkelaar, H. J. Clinical neuroembriology / H. J. Ten Donkelaar, M. Lammens, A. Hori. Springer — Berlin — New-York, 2006. 518 p.

УДК 611.018+614.875+599.323.4

СОСТОЯНИЕ МУЛЬТИПОТЕНТНЫХ МЕЗЕНХЕМАЛЬНЫХ СТРОМАЛЬНЫХ КЛЕТОК ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ УСТРОЙСТВА Wi-Fi (2,45 ГГц)

Шурова Е. А.¹, Чушова Е. С.²

**Научные руководители: к.м.н., доцент Э. А. Надыров;
старший преподаватель Т. В. Потылкина**

**¹Государственное научное учреждение
«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»,
²Учреждение образования
«Гомельский государственный медицинский университет»
г. Гомель, Республика Беларусь**

Введение

С развитием передовых телекоммуникационных технологий, и, соответственно с ростом числа пользователей беспроводной сотовой связи, увеличива-

ется электромагнитная нагрузка на окружающую среду, в связи с чем, растет обеспокоенность о влиянии данного вида излучения на здоровье человека. С точки зрения экологии и эволюции этот колоссальный рост можно рассматривать как резкий скачок со сложно предсказуемыми медицинскими, биологическими и экологическими последствиями [2].

Несмотря на низкую интенсивность этого вида электромагнитного излучения (ЭМИ), воздействие которого носит нетепловой характер [4], оно обладает высокой биологической активностью, и важно исследовать, понимать и отслеживать любые неблагоприятные последствия для человека, что является крайне необходимыми радиобиологическими критериями для определения предельно допустимых уровней и оценки опасности мобильной связи для населения [1].

Основываясь на знании о высокой чувствительности стволовых клеток к влиянию различных стресс-факторов, например, воздействию ионизирующего излучения, представляется актуальным изучение влияния электромагнитного поля (ЭМП) устройств Wi-Fi на морфофункциональное состояние прогениторных клеток костного мозга — мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток (ММСК) — клеток, обладающих высоким пролиферативным потенциалом и способностью дифференцироваться *in vitro* в различные типы клеточных линий.

Цель

Оценка морфофункционального состояния мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток костного мозга в условиях различной длительности воздействия электромагнитного поля устройства Wi-Fi (2,45 ГГц).

Материал и методы исследования

Исследования выполнены на 28 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: 1. Контроль; 2. Wi-Fi — животные, подвергнутые воздействию ЭМП устройства Wi-Fi до 3- и 6-месячного возраста. 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.

Тканевым источником ММСК являлся красный костный мозг, полученный путем вымывания содержимого бедренной кости (после удаления эпифизов) физиологическим раствором, содержащим 10 % сыворотку крупного рогатого скота (BioloT, РФ). Полученную клеточную взвесь центрифугировали на градиенте плотности Histopaque-1077 (плотность 1,077 г/мл) при комнатной температуре в течение 30 мин при 600 g, в результате чего получали кольцо мононуклеарных клеток — ММСК.

Проводили анализ клеточного цикла [3], апоптотической активности (н-р ANNEXIN-V-FITC, Invitrogen), микроядерный тест [5], 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). Детекцию и анализ вышеперечисленных показателей морфофункциональной активности ММСК проводили на проточном цитофлуориметре Cytomics FC 500 (Beckman Coulter, США), укомплектованным аргонно-ионным лазером с длиной волны 488 нм.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием электронных таблиц «Microsoft 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). При нормальном распределении числовых признаков данные были представлены в виде среднего значения (M) и стандартного отклонения (SD), при значениях, отличающихся от нормальных — в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха (LQ¹; UQ³). Различия считали статистически значимыми при вероятности ошибки менее 5 % ($p < 0,05$).

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ жизнеспособности клеточных популяций ММСК проводился с помощью Annexin-V-Fitc и PI, что позволяло проводить оценку не только выживаемости клеток, но и фиксировать стадии гибели клеток путем апоптоза, основываясь на выявлении изменений архитектоники мембраны клеток, в результате чего получаем четыре популяции клеток: живые клетки — An-V-PI⁻; клетки на ранней стадии апоптоза — An-V⁺PI⁻; поздняя стадия апоптоза и частично некротирующие клетки — An-V⁺PI⁺, и некротические клетки — An-V-PI⁺.

Анализ медиан выживаемости показал высокую жизнеспособность ММСК у облученных животных в возрасте 3 месяца, а у 6-месячных этот показатель не отличался от контрольного значения.

У молодых животных, подвергнутых облучению до 3-месячного возраста установлено увеличение доли An⁺PI⁻ клеток (в 5 раз, $p = 0,002$) и клеток, имеющих двойное окрашивание — в 2,5 раза ($p = 0,006$) при незначительном повышении числа некротических клеток 0,59 (0,57; 0,7) в группе облучения против 0,5 (0,43; 0,97) контрольного уровня. Тогда как, у взрослых животных экспериментальной группы сохранялась лишь тенденция в повышении доли клеток, находящихся на стадии раннего апоптоза.

Тест на наличие микроядер в клетках является универсальным маркером нарушения клеточного деления или фрагментации ядра во время апоптоза. Нами обнаружено статистически значимое ($p = 0,001$) увеличение частоты микроядер в ММСК у облученных животных в возрасте 3 мес, что соответствовало 0,3 (0,3; 0,48), тогда как в контрольной группе показатель составил 0,2 (0,1; 0,2). Сравнительная медианы значений частоты микроядер у более взрослой группы животных обнаружено сохранение их к повышенному образованию, что соответствовало в группе контроля 0,25 (0,87; 1,73) против 0,6 (0,2; 0,98) в группе облучения, но данное изменение не носило статистически значимого характера.

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 было обнаружено статистически значимых изменений в структуре ДНК в ММСК у облученных животных двух возрастных групп.

Анализ ДНК-диаграмм распределения ММСК по фазам клеточного цикла у 3-месячных животных показал увеличение количества клеток, находящихся в G1/G0 (на 3,3 %, $p = 0,002$), тогда как их ПИ и число клеток в синтетической (S) и постсинтетической (G2/M) фазах статистически значимо снижается, соответственно на 15,3 % ($p = 0,001$), 13,1 % ($p = 0,02$) и на 10,6 % ($p = 0,006$), что может свидетельствовать о снижении митотической активности клеток.

При изучении клеточного цикла костномозговых ММСК у 6-месячных животных установлено статистически значимое ($p = 0,04$) увеличение количества клеток, находящихся в S-фазе, что соответствовало 11,96 (10,46; 12,73) в группе облучения против 14,6 (12,6; 16,33) контрольного значения. Сравнение ИП ГСК статистически значимых различий между контрольным значением и таковым при облучении не выявило, но отмечена тенденция в его увеличении.

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) способно вызывать изменения морфофункциональной активности прогениторных клеток, степень выраженности изменений зависит от возраста животных. У экспериментальной группы животных на стадии раннего постнатального развития (3 мес.) установлено повышение числа апоптотических форм, частот микроядер и снижение пролиферативной активности ММСК. Можно предположить, что в последующем это может сказаться на изменении дифференциального потенциала клетки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васин, А. Л. Количественные критерии перехода от нормы к патологии при хроническом действии физических факторов / А. Л. Васин, А. В. Шафиркин // Радиационная биология. Радиоэкология. 2006. Т. 46, № 4. С. 498–507.
2. Григорьев, О. А. Электромагнитная безопасность городского населения: характеристика современных источников ЭМП и оценка их опасности / О. А. Григорьев // Электромагнитные поля и население: сборник статей; под общ. ред. проф. Ю. Г. Григорьева. М.: Изд-во РУДН, 2003. С. 76–93.
3. Проточная цитометрия в медицине и биологии. 2-е издание дополненное и расширенное / А. В. Зурочка [и др.]. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. 576 с.
4. Adair, E. R. Thermoregulatory responses to RF energy absorption / E. R. Adair, D. R. Black // Bioelectromagnetics. 2003. Т. 24, № S6. С. 17–38.
5. 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.

UDC 572.5:611.137.86

INFLUENCE OF DIFFERENT HUMAN SOMATOTYPE ON SAPHENOPOPLITEAL PATTERNS

Mohamed Mowith F. S., Atamuradova N. A.

Scientific supervisor: senior lecturer S. A. Semenaha

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

Introduction

The small saphenous vein (SSV) is the superficial vein of the posterior leg. It drains the lateral side of the leg and extends up the posterior surface of the leg to drain into the popliteal vein. Termed the «lesser saphenous vein» or «short saphenous vein» the uses of these terms rejected and is no longer recommended for standardization of terms [3]. According to many findings, the small saphenous vein (SSV) has major anatomical types because of its embryological origin [5]. The SSV enters the popliteal fossa which drains into the popliteal vein superiorly at which the two heads of the gastrocnemius diverge, by either joining the popliteal directly or after joining a gastrocnemius vein first. The small saphenous vein possesses from nine to twelve valves, one of which is always finding near it's in the popliteal vein [4]. About one-third to one-half of the way down from the popliteal fossa to the ankle, near the inferior termination of the gastrocnemius muscles, the sural nerve enters the saphenous space and is adjacent to the SSV. The two structures become more closely related under the lower leg. The sural nerve provides sensory innervation to the posterolateral calf and lateral aspect of the foot [1]. There are such well-known venous surgery procedures (such as different types of venectomy) that specialize in varicose veins of the lower extremities, especially the large (LSV) and small saphenous vein (SSV). Since the incompetence of these veins are so common, anatomical knowledge of the common types and their variants is valuable. In particu-