



Научный обзор

СИСТЕМНЫЕ ЭФФЕКТЫ РАДИОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ (ОБЗОР). СЕЛЕЗЕНКА, ВЫДЕЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА, КОЖА, КОСТНАЯ СИСТЕМА

Н.И. Хорсева¹, П.Е. Григорьев^{2,3}¹Институт биохимической физики имени Н.М. Эмануэля, Российская Федерация, 119334, г. Москва, ул. Косыгина, 4²Севастопольский государственный университет, Российская Федерация, 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33³Академический научно-исследовательский институт физических методов лечения, медицинской климатологии и реабилитации имени И.М. Сеченова, Российская Федерация, 298603, г. Ялта, ул. Мухина, 10/3

В настоящее время появляются единичные публикации с результатами экспериментальных и мониторинговых исследований, которые с высокой степенью доказательности свидетельствуют о чувствительности селезенки, выделительной системы, кожи и костной системы к воздействию электромагнитных полей радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ) в широком диапазоне частот (от 900 МГц до 2,45 ГГц). Поскольку здоровье и нормальное функционирование этих органов и систем являются важнейшим условием жизнедеятельности организма, систематизация имеющихся данных обуславливает актуальность данного обзора.

Анализ имеющихся результатов экспериментальных исследований показал, что при хроническом воздействии ЭМП РЧ различных частотных диапазонов зарегистрированы многочисленные гистопатологические изменения со стороны селезенки (например, в белой пульпе), выделительной системы (в почках – дегенерация клубочков и сосудов, вакуолизация канальцев, явления фиброза и др.; в мочевом пузыре – апоптоз клеток и др.), костной системы (снижение плотности костной ткани).

Особое место занимают исследования последствий воздействия ЭМП РЧ в диапазоне 5G на кожу, которая в настоящее время является новым критическим органом его воздействия. Было зарегистрировано ускорение старения кожи, нарушение пигментации, митохондриальный стресс в фибробластах и кератиноцитах.

Методом электрофотонной визуализации при кратковременном воздействии ЭМП РЧ на подростков зарегистрированы негативные изменения в селезенке.

Эпидемиологические исследования указывают, что длительность разговоров по сотовому телефону увеличивает риск развития болезней почек, снижения плотности костной ткани, зарегистрированный у активных пользователей мобильной связи, особенно при ношении гаджета в карманах брюк.

Полученные результаты актуальны, имеют практическую значимость для детей и подростков, которые в настоящее время являются активными пользователями сотовой связи.

Суммируя имеющиеся данные негативного воздействия ЭМП РЧ не только на нервную систему, но и на другие системы организма, можно констатировать его системные эффекты.

В связи с этим, как отмечается в ряде зарубежных исследований, назрела необходимость пересмотра ранее принятых пределов FCC и ICNIRP воздействия ЭМП РЧ на организм человека. Научному сообществу следует акцентировать дальнейшие усилия по выработке обновленных предельных характеристик ЭМП РЧ и в перспективе – по возможному пересмотру СанПиН в соответствии с вновь выявляемыми рисками здоровью, в первую очередь для детей и подростков как самой уязвимой группы населения к воздействию любого фактора внешней среды.

Мы полагаем, что должны быть разработаны рекомендательные нормативы, которые позволят внедрить культуру пользования современными гаджетами для детей и подростков: преимущественное использование проводных гарнитур (а не Bluetooth), громкой связи, а также мессенджеров в режиме последовательного обмена текстовыми и мультимедийными сообщениями, исключить ношение гаджета «на себе» (в карманах рубашки, брюк). Это позволит существенно снизить негативное влияние ЭМП РЧ, в частности мобильных телефонов / смартфонов, на организм подрастающего поколения.

Ключевые слова: электромагнитные поля радиочастотного диапазона, 5G, сотовая связь, селезенка, выделительная система, кожа, костная система, молодые животные, дети, подростки.

© Хорсева Н.И., Григорьев П.Е., 2025

Хорсева Наталия Игоревна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физико-химических проблем радиобиологии и экологии (e-mail: sheridan1957@mail.ru; тел.: 8 (905) 782-87-17; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3444-0050>).

Григорьев Павел Евгеньевич – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры психологии; ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отдела физиотерапии, медицинской климатологии и курортных факторов (e-mail: mhnty@ya.ru; тел.: 8 (978) 767-22-10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7390-9109>).

В последние годы появляются экспериментальные и мониторинговые исследования, которые с высокой степенью доказательности свидетельствуют о чувствительности селезенки, выделительной системы, кожи и костной системы к воздействию электромагнитных полей радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ).

Для изучения длительного воздействия ЭМП РЧ *на селезенку* были использованы двухмесячные мыши-самки линии C57BL/6 [1], взрослые мыши-альбиносы [2], молодые крысы линии Вистар [3], а также методом электрофотонной визуализации проведена регистрация тонких энергетических уровней 61 здорового подростка (22 юноши и 39 девушек) в возрасте $17,40 \pm 0,24$ г. из образовательных учреждений в Бангалоре [4].

Экспериментально установлено, что воздействие 900 МГц излучения (2 ч/сут в течение одной, двух или четырех недель при SAR 1 или 2 Вт/кг) на лимфоциты селезенки самок мышей линии C57BL/6 не приводило к существенному изменению числа Т- и В-лимфоцитов. Авторы полагают, что указанная длительность влияния ЭМП РЧ клинически значимых воздействий не вызовет [1]. Увеличение белой пульпы с увеличением синусоидальных пространств на срезах селезеночной ткани было зарегистрировано при воздействии Nokia 1112 (850/1900 МГц) (1 ч/сут в течение 10 дней), а при воздействии 12 ч/сут в течение 10 дней – слияние белых пульп, которые указывают на гиперплазию лимфоидной ткани [2].

Расширенные синусоиды, исчезновение центральных вакуолей в белой пульпе были выявлены P. Chauhan et al. при воздействии 2,45 ГГц (2 ч/сут в течение 35 дней; плотность мощности – 0,2 мВт/см²; SAR – 0,14 Вт/кг) на молодых крыс-альбиносов линии Вистар [3].

Статистически значимое снижение тонких энергетических уровней селезенки было зарегистрировано методом электрофотонной визуализации после кратковременного 15-минутного воздействия ЭМП РЧ на подростков [4].

Кроме установленных негативных эффектов ЭМП РЧ разных частотных диапазонов на орган иммунной системы – селезенку, как показано выше, гистопатологические изменения были выявлены и для выделительной системы – *почек*.

Изучение воздействия ЭМП РЧ (1800 МГц) от мачт телекоммуникационной сети (1,40 Вт/см² на расстоянии 24 м в течение пяти недель) выявило гистопатологические изменения в печени, сердце, яичках, а также в почках молодых крыс: обнаружены гиперхромные ядра, постепенная потеря и дегенерация уплощенных плоских эпителиальных клеток плоского эпителия, выстилающих широкое пространство Боумена, и дегенерация клубочков с сопутствующими областями [5].

Как показал анализ литературы, изучение воздействия ЭМП РЧ *на почки* экспериментальных животных и человека осуществлялось в широком частотном диапазоне – от 900 МГц до 2,45 ГГц.

Установлено, что при действии 900 МГц выявлены следующие изменения в почках **экспериментальных животных**: интерстициальное воспаление, кровоизлияние и застой в клубочках и сосудах (1, 2 и 4 ч/сут в течение 30 дней, крысы Sprague Dawley в возрасте 12 недель) [6]; дилатация и вакуолизация в дистальных и проксимальных канальцах, дегенерация клубочков и увеличение количества клеток, склонных к апоптозу (1 ч/сут в постнатальные дни 22–59-й включительно) [7]; увеличение среднего объема коры, мозгового вещества, проксимальных и дистальных канальцев и уменьшение общего количества клубочков (60 мин/сут в течение 21 дня – возраст 11–12 недель) [8]; кровоизлияние в клубочках, вакуолизация и нерегулярность в проксимальном и дистальном эпителии канальцев, диффузная дегенерация и отек клубочков, редкая дегенерация капсул Боумена, кровоизлияние в медуллярную область, нарушение расположения и морфологии ядер и отек канальцев в коре (1 ч/сут с 35–59-й день после рождения) [9].

Однако в работе A.L. Monfared et al. никаких морфометрических, ультраструктурных или световых микроскопических изменений в почках при действии 915 МГц (4 ч/сут в течение 60 дней, мыши, 8–9 недель) выявлено не было [10].

B. Al-Glaib et al., используя Nokia 1112 (850–1900 МГц) в течение 10 дней, провели сравнения гистопатологических изменений в почках мышей-альбиносов (возраст 10–12 недель) при двух режимах ежедневного воздействия: 1 и 12 ч/сут соответственно. При воздействии 1 ч/сут выявлена моноклеарная лейкоцитарная инфильтрация между почечными канальцами в дополнение к расширению некоторых канальцев, некоторые клубочки были атрофированы, а некоторые почечные канальцы были вакуолизированы. При более длительной экспозиции (12 ч/сут) в срезах почечной ткани зафиксированы участки с некоторыми застойными клубочками, некоторыми вакуолизированными почечными канальцами и некоторыми воспаленными областями между почечными канальцами [2].

Сравнение гистопатологических изменений, проведенное в работе R. Bedir et al. (2100 МГц, 6 и 12 ч/сут в течение 30 дней, 4–5-месячные крысы линии Sprague Dawley), показало, что в группе 6-часового ежедневного воздействия выявлено большее расширение капсул Боумена и почечных канальцев, потеря щеточной каемки в проксимальных канальцах, вакуолизация в эпителии канальцев и структурах клубочков, а также наблюдался фиброз в межкальцевых областях. Аналогичные результаты были получены и для 12-часовой экспозиции, однако они были более выраженными, чем в группе 6-часового воздействия [11].

Усохшие клубочки (большинство атрофированы) и аномальные почечные канальцы (в эпителиальных клетках выявлена цитоплазматическая вакуолизация с пикнотическими ядрами) были зарегистрированы.

стрированы P. Chauhan et al. при действии 2,45 ГГц (2 ч/сут в течение 35 дней; плотность мощности – 0,2 мВт/см²; SAR – 0,14 Вт/кг) [3].

Воздействие ЭМП РЧ было изучено не только на тканях почек, но и на мочевом пузыре. В связи с этим следует отметить два исследования группы N. Gurbuz et al., проведенных в 2010 и 2014 гг., с применением оценки накопления микроядер в клетках мочевого пузыря. Однако в обоих исследованиях ни при действии 1800 МГц (20 мин/сут, пять дней в неделю в течение месяца) [12], ни при воздействии 1800 МГц (30 мин/сут, шесть дней в неделю в течение месяца), ни при аналогичной экспозиции при действии 2100 МГц в течение одного и двух месяцев изменений обнаружено не было.

Тем не менее позднее S. Türedi et al. была выявлена дегенерация переходного эпителия и неровности стромы, а также увеличение количества клеток, склонных к апоптозу, в ткани мочевого пузыря при воздействии 900 МГц (1 ч/сут в постнатальные дни 22–59-й включительно) [7].

Таким образом, экспериментально установлены различные поражения ткани почек и мочевого пузыря при действии ЭМП РЧ разных частотных диапазонов.

Кроме экспериментальных исследований, с помощью метода электрофотонной визуализации было изучено кратковременное воздействие (15 мин) ЭМП РЧ мобильного телефона (МТ) *на подростков* (17,40 ± 0,24 г.) обоего пола, которое показало снижение тонких энергетических уровней правой почки [4].

На наш взгляд, интересны эпидемиологические исследования Y. Zhang et al., в которых авторы провели анализ развития хронической болезни почек (ХБП) в зависимости от активности пользования мобильными телефонами (возраст испытуемых 37–73 г.). Авторы установили, что использование МТ более 30 мин/сут увеличивает риск развития новой ХБП [13].

Не исключено, что как результаты экспериментальных исследований, так и данные H. Bhargav et al. и Y. Zhang et al. в том числе указывают, что ношение мобильных телефонов / смартфонов в задних карманах брюк может негативно влиять на функционирование выделительной системы.

Известно, что *кожа* является самым большим органом тела, который выполняет многочисленные функции: защищает органы и ткани от механических повреждений, а также воздействия ультрафиолетовых лучей, проникновения болезнетворных бактерий и вредных веществ; участвует в терморегуляции; является органом тактильной, болевой и температурной чувствительности; обеспечивает выделение мочевины и минеральных солей вместе с потом и многое другое. Кожа, как полагают многие исследователи, считается основной мишенью для воздействия ЭМП. Это особенно актуально в настоящее время, поскольку с внедрением новых теле-

коммуникационных технологий (5G) кожа становится основным органом-мишенью [14, 15].

В связи с этим заслуживают внимания исследования K. Kim et al., J.H. Kim et al., L. Patrignoni et al. и F. Navas et al. [16–19], проведенные *in vitro*.

Используя клетки меланомы мышей и человека (B16F10 и MNT-1), K. Kim et al. изучали воздействие ЭМП РЧ LTE (1,762 ГГц) и 5G (28 ГГц) на пигментацию кожи. Время и длительность экспозиции составляли 4 ч/сут, что, по мнению авторов, считается верхней границей среднего времени использования смартфона. Было установлено, что ни воздействие LTE, ни воздействие 5G не оказывали существенного влияния на жизнеспособность клеток или пигментацию, и сделан вывод, что воздействие LTE и 5G ЭМП не влияет на синтез меланина или пигментацию кожи при обычных условиях использования смартфона [16].

В своей работе J.H. Kim et al., используя кератиноциты человека HaCaT33, провели исследование воздействия ЭМП 1760 МГц (SAR – 4,0 Вт/кг; 2 ч/сут в течение четырех дней). Установлено увеличение продукции активных форм кислорода, что может приводить в конечном счете к старению клеток кожи. Однако нарушение роста и жизнеспособности клеток выявлено не было [17].

Опираясь на предположение, что 5G может изменить способность УФ-В повреждать клетки кожи, L. Patrignoni et al. провели оценку влияния 3,5 ГГц (SAR – 0,25, 1 и 4 Вт/кг в течение 24 ч) на митохондриальный стресс в фибробластах и кератиноцитах человека. Установлено статистически значимое снижение концентрации митохондриальных активных форм кислорода в фибробластах, подвергнутых воздействию сигнала 5G при 1 Вт/кг, что статистически значимо усилило эффекты УФ-В-излучения, особенно в кератиноцитах при 0,25 и 1 Вт/кг. Тем не менее изменение жизнеспособности клеток, апоптоз и потенциал митохондриальной мембраны в клетках кожи человека, как отдельно, так и после облучения УФ-В, зарегистрированы не были [18].

При краткосрочном (1 ч) воздействии 6 ГГц на первичные нормальные человеческие эпидермальные кератиноциты F. Navas et al. зарегистрировали сильное снижение ингибитора коллагеназы TIMP1; сильное увеличение фактора заживления ран и эпидермальной дифференцировки ANGPT4; заметное увеличение S100A9, участвующего в иммунном рекрутировании во время травмы; и увеличение ключевого воспалительного цитокина IL1-α. Кроме того, установлено, что эффекты по всем четырем маркерам стали менее выраженными при более длительном времени воздействия, что может быть объяснено адаптивными процессами. Тем не менее авторы полагают, что полученные результаты позволяют утверждать, что 5G-облучение может оказать влияние на внешний вид человеческой кожи: преждевременное старение и / или раннее появление или

ухудшение признаков старения (морщины или нарушение пигментации) [19].

Кроме представленных результатов воздействия 5G на клетки кожи, следует отметить, что и многочисленные потовые железы также могут быть вовлечены в сферу действия ЭМП РЧ. В частности, S.R. Tripathi et al. и N. Betzalel с помощью оптической когерентной томографии было показано, что кончики потовых протоков имеют спиральную структуру и рассматриваются как спиральная антенна, которая может усиливать удельную скорость поглощения кожей в диапазоне крайне высоких частот [20, 21].

Представленные результаты, на наш взгляд, доказывают, что кожа – новый критический орган при воздействии 5G, и это обстоятельство должно учитываться при масштабном развертывании телекоммуникационных технологий не только 5, но и 6G.

В настоящее время показано, что стимуляция импульсным электромагнитным полем является перспективной неинвазивной и безопасной стратегией физиотерапии для ускорения восстановления **костей** [22], но в этом случае используется не радиочастотный диапазон.

Однако ряд исследователей проводили экспериментальные исследования влияния ЭМП РЧ на костную ткань в широком диапазоне частот – от 900 МГц до 2,45 ГГц, в том числе и для восстановления костной ткани при переломах. Однако полученные данные весьма неоднозначные. Так, в 2011 г. в работе A. Aslan et al. было показано, что при воздействии 900 МГц (30 мин/сут пять дней в неделю в течение четырех и восьми недель; средняя интенсивность мощности – $1,04 \text{ мВт/см}^2$ и $\text{SAR} = 0,008 \text{ Вт/кг}$) снижалась плотность костной ткани крыс как поясничного отдела позвоночника, так и диафиза бедренной кости. Однако авторы сделали вывод, что данный вид воздействия не оказывает существенного влияния на костную ткань крыс, поскольку разница с контрольной группой «не достигла статистической значимости» [23].

Позднее этот же коллектив предпринял попытку изучения использования радиочастотного диапазона для заживления переломов костей у молодых крыс при воздействии 900 МГц (30 мин/сут пять дней в неделю в течение восьми недель) [24], и 1800 МГц (30 мин/сут в течение пяти дней) [25]. В первом случае по рентгенологическим, гистологическим и мануальным биомеханическим показателям зарегистрирован отрицательный результат, при этом установлено и снижение уровня минерализации, а во втором случае никаких изменений не выявлено по сравнению с контрольной группой.

Тем не менее M. Durgun et al. при воздействии 2100 МГц (3 ч/сут в течение 28 дней) на половозрелых кроликов с переломом нижней челюсти при гистопатологическом исследовании установили, что показатель заживления перелома был выше в экспериментальной группе, по сравнению с контрольной,

с одновременным увеличением показателя прочности костной ткани [26].

Вместе с тем следует отметить, что большинство исследований указывают на негативное влияние ЭМП РЧ на костную ткань. Так, воздействие ЭМП РЧ 900 и 1800 МГц (30 мин/сут в течение 28 дней) снижало плотность костной ткани крыс [27]. Аналогичные результаты при той же экспозиции и длительности воздействия были получены E. Cicek et al. [28].

Статистически значимые различия морфологических и биомеханических изменений в кортикальном слое бедренной кости молодых крыс были выявлены A. Akar et al. при воздействии 2,45 ГГц (2 ч/сут в течение 21 дня) [29].

Снижение значения модуля Юнга (физическая величина, характеризующая способность материала сопротивляться растяжению, сжатию при упругой деформации) и других характеристик костной ткани при воздействии ЭМП РЧ (900, 1800 и 2100 МГц; 2 ч/сут пять дней в неделю в течение одного месяца) было зарегистрировано в исследовании H. Bektas et al. [30].

Тем не менее в работе T. Atay et al. при воздействии 1800 МГц (30 мин/сут пять дней в неделю в течение четырех недель мощностью $1 \pm 0,04 \text{ мВт/см}^2$) с помощью двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии установили небольшое увеличение минеральной плотности костной ткани поясничного отдела и ее уменьшение в бедренной кости. Однако эти изменения не имели статистической значимости по сравнению с контрольными данными [31].

Неоднозначные результаты были получены и K. Sieroń-Stoltny et al. Было установлено, что ЭМП РЧ, создаваемая Nokia 5110 (900 МГц; 22 ч/сут в течение 28 дней; $\text{SAR} = 0,69 \text{ Вт/кг}$), не оказывает прямого влияния на макрометрические параметры костей; однако оно изменяет процессы минерализации костей и интенсивность процессов костного обмена, что и влияет на механическую прочность костей [32].

Негативные изменения в костной ткани были зарегистрированы не только в экспериментальных исследованиях.

При использовании двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии ряд исследователей установили негативные изменения костной ткани у пользователей мобильной связью.

В частности, в работе M. Cidem et al. проведено исследование минеральной плотности костной ткани предплечья у мужчин и женщин в возрасте 20–35 лет – пользователей мобильной связью. В группу пользователей вошли 86 мужчин и 97 женщин. Контрольная группа включала 14 мужчин и 66 женщин. Выявлено, что показатель минеральной плотности костной ткани статистически значимо ниже у пользователей мобильным телефоном. При этом установлено, что риск остеопении оказался выше у пользователей МТ, чем у непользовате-

лей, при этом у женщин он был выше, чем у мужчин [33].

Ранее Т. Atay et al. и F.D. Saravi et al. изучали уровень минерализации в крыльях подвздошной кости у мужчин – пользователей мобильной связью при ношении мобильного телефона близко к этой области. В первом случае (150 мужчин, возраст – 21–57 лет) выявлено снижение минеральной плотности крыльев подвздошной кости, но статистической значимости при сравнении с контрольной группой не установлено [34]. Во втором случае авторы сравнивали уровень минерализации костной ткани правого и левого бедра у 48 мужчин – пользователей мобильной связью, которые носили мобильный телефон рядом с правым бедром. Установлено, что уровень минеральной плотности и содержания минералов в правом трохантере бедренной кости статистически значимо был снижен. Авторы полагают, что полученные результаты могут быть актуальными и для детей (особенно если они носят мобильный телефон «на себе» в карманах брюк – *примечание авторов*), поскольку они более чувствительны к воздействию факторов внешней среды, включая ЭМП РЧ [35].

Суммируя имеющиеся данные негативного воздействия ЭМП РЧ не только на нервную систему, но и на другие системы организма, можно констатировать его системный эффект.

Выводы. В настоящее время уже назрела необходимость пересмотра ранее принятых пределов FCC и ICNIRP воздействия ЭМП РЧ на организм человека [36], в том числе детей и подростков [37], что представлено на рисунке.

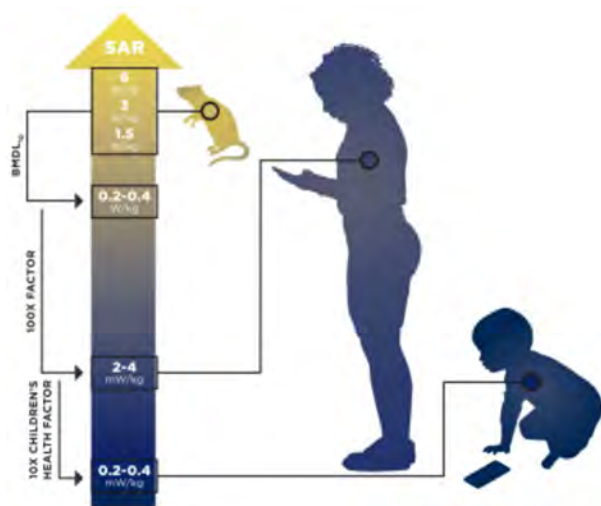


Рис. Сводка пределов воздействия, основанных на здоровье, рассчитанных в исследовании [37]

Значение SAR для всего тела 0,2–0,4 Вт/кг было выбрано в качестве отправной точки для расчета рекомендаций по воздействию, основанных на здоровье. Применяя два десятикратных коэффициента безопасности для межвидовой и внутривидовой изменчивости (в общей сложности 100X), предел SAR для всего тела 2–4 мВт/кг выводится для взрослых. Применение дополнительного десятикратного (10X) фактора здоровья детей предполагает предел 0,2–0,4 мВт/кг SAR для всего тела для маленьких детей (цит. по [37]).

На основании вышеизложенного и в соответствии с представительными международными исследованиями (в том числе Международной комиссии по биологическому действию электромагнитных полей), следует акцентировать дальнейшие усилия по выработке обновленных предельных характеристик ЭМП РЧ и в перспективе по возможному пересмотру СанПиН в соответствии с вновь выявляемыми рисками здоровью, в первую очередь для детей и подростков как самой уязвимой группы населения к воздействию любого фактора внешней среды.

В настоящее время из-за бесконтрольного использования детьми и подростками современных гаджетов должны быть разработаны рекомендательные нормативы, которые позволят внедрить культуру пользования современными гаджетами для детей и подростков: преимущественное использование *проводных гарнитур* (а не Bluetooth), громкой связи, а также мессенджеров в режиме последовательного обмена текстовыми и мультимедийными сообщениями, исключить ношение гаджета «на себе» (в карманах рубашки, брюк).

Мы полагаем, что соблюдение этих рекомендаций позволит существенно снизить негативное влияние ЭМП РЧ, в частности мобильных телефонов / смартфонов, на организм нашего подрастающего поколения.

Благодарности. Данная публикация посвящена памяти выдающегося советского, российского ученого, крупнейшего специалиста в области радиобиологии, доктора медицинских наук, профессора, Президента Российского национального комитета по защите от неионизирующей радиации (РНКЗНИ), постоянного члена консультативного Комитета ВОЗ по Международной программе «Электромагнитные поля и здоровье населения» Юрия Григорьевича Григорьева.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Института биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН (44.1 гос. № темы 0084-2019-004).

Конфликт интересов. Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Effects of in vivo exposure to GSM-modulated 900 MHz radiation on mouse peripheral lymphocytes / L. Gatta, R. Pinto, V. Ubaldi, L. Pace, P. Galloni, G.A. Lovisolo, C. Marino, C. Pioli // Radiat. Res. – 2003. – Vol. 160, № 5. – P. 600–605. DOI: 10.1667/rr3078
2. A technical report on the effect of electromagnetic radiation from a mobile phone on mice organs / B. Al-Glaib, M. Al-Dardfi, A. Al-Tuhami, A. Elgenaidi, M. Dkhil // Libyan J. Med. – 2008. – Vol. 3, № 1. – P. 8–9. DOI: 10.4176/080107

3. Microwave radiation (2.45 GHz) -induced oxidative stress: Whole-body exposure effect on histopathology of Wistar rats / P. Chauhan, H.N. Verma, R. Sisodia, K.K. Kesari // *Electromagn. Biol. Med.* – 2017. – Vol. 36, № 1. – P. 20–30. DOI: 10.3109/15368378.2016.1144063
4. Acute effects of mobile phone radiations on subtle energy levels of teenagers using electrophotonic imaging technique: A randomized controlled study / H. Bhargav, T.M. Srinivasan, S. Bista, A. Mooventhana, V. Suresh, A. Hankey, H.R. Nagendra // *Int. J. Yoga.* – 2017. – Vol. 10, № 1. – P. 16–23. DOI: 10.4103/0973-6131.186163
5. Bio-physical effects of radiofrequency electromagnetic radiation (RF-EMR) on blood parameters, spermatozoa, liver, kidney and heart of albino rats / E.A. Adebayo, A.O. Adeyoye, M.A. Ogundiran, O. Olabisi // *J. King Saud Univ. – Sci.* – 2019. – Vol. 31, № 4. – P. 813–821. DOI: 10.1016/j.jksus.2018.11.007
6. Pathological changes associated with experimental 900-MHz electromagnetic wave exposure in rats / M. Sepehrimanesh, N. Azarpira, M. Saeb, S. Nazifi, N. Kazemipour, O. Koohi // *Comp. Clin. Pathol.* – 2014. – Vol. 23. – P. 1629–1631. DOI: 10.1007/s00580-013-1835-0
7. Biochemical and pathological changes in the male rat kidney and bladder following exposure to continuous 900-MHz electromagnetic field on postnatal days 22–59 / S. Türedi, G. Kerimoğlu, T. Mercantepe, E. Odacı // *Int. J. Radiat. Biol.* – 2017. – Vol. 93, № 9. – P. 990–999. DOI: 10.1080/09553002.2017.1350768
8. Effects of folic acid on rat kidney exposed to 900 MHz electromagnetic radiation / Ö.G. Deniz, E.G. Kıvrak, A.A. Kaplan, B.Z. Altunkaynak // *J. Microsc. Ultrastruct.* – 2017. – Vol. 5, № 4. – P. 198–205. DOI: 10.1016/j.jmau.2017.06.001
9. Effects of 900-MHz electromagnetic fields exposure throughout middle/late adolescence on the kidney morphology and biochemistry of the female rat / D.Ö. Okatan, A.E. Okatan, H. Hancı, S. Demir, S.Ö. Yaman, S. Çolakoğlu, E. Odacı // *Toxicol. Ind. Health.* – 2018. – Vol. 34, № 10. – P. 693–702. DOI: 10.1177/0748233718781292
10. Monfared A.L., Nooraii A., Shamsi M. Histological and biochemical studies of mice kidney after exposure to mobile phone radiation // *J. Bas. Res. Med. Sci.* – 2016. – Vol. 3, № 3. – P. 45–51. DOI: 10.18869/acadpub.jbrms.3.3.45
11. Pathological Findings Observed in the Kidneys of Postnatal Male Rats Exposed to the 2100 MHz Electromagnetic Field / R. Bedir, L. Tunkaya, T. Mercantepe, A. Yılmaz // *Arch. Med. Res.* – 2018. – Vol. 49, № 7. – P. 432–440. DOI: 10.1016/j.arcmed.2018.12.010
12. Is there any possible genotoxic effect in exfoliated bladder cells of rat under the exposure of 1800 MHz GSM-like modulated radio frequency radiation (RFR)? / N. Gurbuz, B. Sirav, H.U. Yuvaci, N. Turhan, Z.K. Coskun, N. Seyhan // *Electromagn. Biol. Med.* – 2010. – Vol. 29, № 3. – P. 98–104. DOI: 10.3109/15368378.2010.482498
13. Mobile Phone Use, Genetic Susceptibility and New-Onset Chronic Kidney Diseases / Y. Zhang, Y. Zhang, Z. Ye, S. Yang, M. Liu, Q. Wu, C. Zhou, P. He, X. Qin // *Int. J. Public Health.* – 2023. – Vol. 68. – P. 1605358. DOI: 10.3389/ijph.2023.1605358
14. Григорьев Ю.Г. Стандарт 5G – технологический скачок вперед в сотовой связи: будет ли проблема со здоровьем у населения? (Погружение в проблему) // *Радиационная биология. Радиоэкология.* – 2020. – Т. 60, № 6. – С. 627–634. DOI: 10.31857/S0869803120060181
15. Григорьев Ю.Г., Самойлов А.С. 5G-стандарт сотовой связи. Суммарная радиобиологическая оценка опасности воздействия планетарного электромагнитного излучения на население. – М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2021. – 200 с.
16. Effects of Electromagnetic Waves with LTE and 5G Bandwidth on the Skin Pigmentation In Vitro / K. Kim, Y.S. Lee, N. Kim, H.-D. Choi, D.-J. Kang, H.R. Kim, K.-M. Lim // *Int. J. Mol. Sci.* – 2020. – Vol. 22, № 1. – P. 170. DOI: 10.3390/ijms22010170
17. Activation of matrix metalloproteinases and FoxO3a in HaCaT keratinocytes by radiofrequency electromagnetic field exposure / J.H. Kim, D.-J. Kang, J.-S. Bae, J.H. Lee, S. Jeon, H.-D. Choi, N. Kim, H.-G. Kim, H.R. Kim // *Sci. Rep.* – 2021. – Vol. 11, № 1. – P. 7680. DOI: 10.1038/s41598-021-87263-2
18. Evaluation of mitochondrial stress following ultraviolet radiation and 5G radiofrequency field exposure in human skin cells / L. Patrignoni, A. Hurtier, R. Orlacchio, A. Joushomme, F. Poulliet de Gannes, P. Lévêque, D. Arnaud-Cormos, H.R. Revzani [et al.] // *Bioelectromagnetics.* – 2024. – Vol. 45, № 3. – P. 110–129. DOI: 10.1002/bem.22495
19. Protective Properties of Botanical Extracts against 5G Radiation-induced Damage to Human Skin, as Demonstrated in Preliminary Data from a Keratinocyte Cell Culture Model / F. Havas, M. Cohen, S. Krispin, J. Attia-Vigneau // *Front. Biosci. (Landmark Ed.).* – 2024. – Vol. 29, № 1. – P. 31. DOI: 10.31083/j.fbl2901031
20. Morphology of human sweat ducts observed by optical coherence tomography and their frequency of resonance in the terahertz frequency region / S.R. Tripathi, E. Miyata, P.B. Ishai, K. Kawase // *Sci. Rep.* – 2015. – Vol. 5. – P. 9071. DOI: 10.1038/srep09071
21. Betzalel N., Ben Ishai P., Feldman Y. The human skin as a sub-THz receiver – Does 5G pose a danger to it or not? // *Environ. Res.* – 2018. – Vol. 163. – P. 208–216. DOI: 10.1016/j.envres.2018.01.032
22. Signalling pathways underlying pulsed electromagnetic fields in bone repair / A. Wang, X. Ma, J. Bian, Z. Jiao, Q. Zhu, P. Wang, Y. Zhao // *Front. Bioeng. Biotechnol.* – 2024. – Vol. 12. – P. 1333566. DOI: 10.3389/fbioe.2024.1333566
23. The effects of electromagnetic field exposure at short and long term of 900 mhz frequency emitted from mobile phones on rat bone tissue / A. Aslan, N.H. Aydoğan, T. Atay, S. Çömlekçi // *Dicle Tıp Dergisi [Dicle Medical Journal].* – 2011. – Vol. 38, № 4. – P. 452–457. DOI: 10.5798/diclemedj.0921.2011.04.0065
24. Effect of 900 MHz electromagnetic fields emitted from cellular phones on fracture healing: an experimental study on rats / A. Aslan, T. Atay, K. Güllü, V. Kirdemir, A. Özden, S. Çömlekçi, N.H. Aydoğan // *Acta Orthop. Traumatol. Turc.* – 2013. – Vol. 47, № 4. – P. 273–280. DOI: 10.3944/aott.2013.2854
25. Influence of 1800 MHz GSM-like electromagnetic radiation exposure on fracture healing / A. Aslan, V. Kirdemir, A. Kocak, T. Atay, M.L. Baydar, R.A. Özerdemoglu, N.H. Aydogan // *Arch. Med. Res.* – 2014. – Vol. 45, № 2. – P. 125–131. DOI: 10.1016/j.arcmed.2014.01.006
26. Effect of 2100 MHz mobile phone radiation on healing of mandibular fractures: an experimental study in rabbits / M. Durgun, S. Dasdag, S. Erbaturc, K. Yegind, S.O. Durgunc, C. Uzunf, G. Ogucug, U. Alabalikh, M.Z. Akdag // *Biotechnology and Biotechnological Equipment.* – 2016. – Vol. 30, № 1. – P. 112–120. DOI: 10.1080/13102818.2015.1102612
27. Influence of electromagnetic fields and protective effect of CAPE on bone mineral density in rats / M. Yildiz, E. Cicek, S.S. Cerci, C. Cerci, B. Oral, A. Koyu // *Arch. Med. Res.* – 2006. – Vol. 37, № 7. – P. 818–821. DOI: 10.1016/j.arcmed.2006.03.006

28. Influence of electromagnetic fields on bone fracture in rats: role of CAPE / E. Cicek, O. Gokalp, R. Varol, G. Cesur // Biomed. Environ. Sci. – 2009. – Vol. 22, № 2. – P. 157–160. DOI: 10.1016/S0895-3988(09)60039-8
29. 2.45 GHz electro-magnetic radiation hazard on the rat cortical femur: Morphometric and biomechanical evaluations / A. Akar, M.E. Gultiken, D. Bolat, N. Ormanci, B.K. Engiz, E. Sunan, U. Comelekoglu // Med. Sci. – 2022. – Vol. 11, № 2. – P. 869–876. DOI: 10.5455/medscience.2021.12.419
30. Adverse effects of 900, 1800 and 2100 MHz radiofrequency radiation emitted from mobile phones on bone and skeletal muscle / H. Bektas, A. Nalbant, M.B. Akdag, C. Demir, S. Kavak, S. Dasdag // Electromagn. Biol. Med. – 2023. – Vol. 42, № 1. – P. 12–20. DOI: 10.1080/15368378.2023.2179065
31. Effects of 1800 MHz Electromagnetic Field Emitted from Cellular Phones on Bone Tissue / T. Atay, A. Aslan, N. Heybeli, N.H. Aydoğan, M.L. Baydar, C. Ermol, M. Yildiz // Balkan Med. J. – 2009. – Vol. 26, № 4. – P. 292–296.
32. The influence of electromagnetic radiation generated by a mobile phone on the skeletal system of rats / K. Sieroń-Stożny, Ł. Teister, G. Cieślak, D. Sieroń, Z. Śliwinski, M. Kucharzewski, A. Sieroń // Biomed. Res. Int. – 2015. – Vol. 2015. – P. 896019. DOI: 10.1155/2015/896019
33. Forearm bone mineral density in healthy young adult mobile phone users / M. Cidem, C. Bahadir, Y. Karakoc, I. Karacan // Med. Sci. – 2012. – Vol. 1, № 1. – P. 35–40.
34. Effect of electromagnetic field induced by radio frequency waves at 900 to 1800 MHz on bone mineral density of iliac bone wings / T. Atay, B.A. Aksoy, N.H. Aydoğan, M.L. Baydar, M. Yildiz, R. Ozdemir // J. Craniofac. Surg. – 2009. – Vol. 20, № 5. – P. 1556–1560. DOI: 10.1097/SCS.0b013e3181b78559
35. Saravi F.D. Asymmetries in hip mineralization in mobile cellular phone users // J. Craniofac. Surg. – 2011. – Vol. 22, № 2. – P. 706–710. DOI: 10.1097/SCS.0b013e318207b79a
36. International Commission on the Biological Effects of Electromagnetic Fields (ICBE-EMF). Scientific evidence invalidates health assumptions underlying the FCC and ICNIRP exposure limit determinations for radiofrequency radiation: implications for 5G // Environ. Health. – 2022. – Vol. 21, № 1. – P. 92. DOI: 10.1186/s12940-022-00900-9
37. Uche U.I., Naidenko O.V. Development of health-based exposure limits for radiofrequency radiation from wireless devices using a benchmark dose approach // Environ. Health. – 2021. – Vol. 20, № 1. – P. 84. DOI: 10.1186/s12940-021-00768-1

Хорсева Н.И., Григорьев П.Е. Системные эффекты радиочастотных электромагнитных полей (обзор). Селезенка, выделительная система, кожа, костная система // Анализ риска здоровью. – 2025. – № 3. – С. 183–191. DOI: 10.21668/health.risk/2025.3.18

UDC 57.042+57.049+ 612.1+614

DOI: 10.21668/health.risk/2025.3.18.eng



Review

SYSTEMIC EFFECTS OF RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS (REVIEW). SPLEEN, EXCRETORY SYSTEM, SKIN, BONE SYSTEM

N.I. Khorseva¹, P.E. Grigoriev^{2,3}

¹Institute of Biochemical Physics of the Russian Academy of Sciences, 4 Kosygina Str., Moscow, 119334, Russian Federation

²Sevastopol State University, 33 Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation

³Academic Research Institute of Physical Methods of Treatment, Medical Climatology and Rehabilitation named after I.M. Sechenov, 10/3 Mukhina Str., Yalta, Republic of Crimea, 298603, Russian Federation

Currently, isolated publications appear to report the results of experimental and monitoring studies that provide solid evidence of the spleen, excretory system, skin and skeletal system being sensitive to effects produced by radio frequency electromagnetic fields (RF EMF) in a wide frequency range (from 900 MHz to 2.45 GHz). Since health and normal functioning of these organs and systems are the most important conditions for vital activity of the body, systematization of the available data determines the relevance of this review.

© Khorseva N.I., Grigoriev P.E., 2025

Natalia I. Khorseva – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Physical and Chemical Problems of Radiobiology and Ecology (e-mail: sheridan1957@mail.ru; tel.: +7 (905) 782-87-17; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3444-0050>).

Pavel E. Grigoriev – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Psychology; Leading Researcher of the Research Department of Physiotherapy, Medical Climatology and Resort Factors (e-mail: mhnty@ya.ru; tel.: +7 (978) 767-22-10; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7390-9109>).

Analysis of the available results obtained by experimental studies has showed that numerous histopathological changes are registered in the spleen (for example, in the white pulp), excretory system (in the kidneys as degeneration of glomeruli and vessels, vacuolization of tubules, fibrosis, etc.; in the bladder as cell apoptosis, etc.), and skeletal system (decreased bone density) upon repeated exposure to RF EMF of various frequency ranges.

A special place belongs to studies with their focus on RF EMF effects in the 5G range on the skin, which is currently a new critical organ of its impact. The studies have reported acceleration of skin aging, pigmentation disorders, mitochondrial stress in fibroblasts and keratinocytes.

Negative changes in the spleen were recorded in studies that applied electrophotonic visualization during short-term exposure to RF EMF on adolescents.

Epidemiological studies indicate that the duration of conversations using a cell phone increases the risk of kidney disease and decreased bone density, detected in active mobile communication users, especially when they carry a gadget in trouser pockets.

The obtained results are relevant and have practical significance for children and adolescents who are currently active users of cellular communications.

Summarizing the available data on the negative impact of RF EMF not only on the nervous system, but also on other systems of the body, we can state its systemic effects.

In this regard, as noted in a number of foreign studies, there is a need to revise the previously adopted FCC and ICNIRP limits for the impact of RF EMF on the human body. The expert society should concentrate its future efforts on developing updated safe RF EMF limits and probable future revision of sanitary rules and norms in accordance with new identified health risks primarily for children and adolescents as a population group, which is the most susceptible to any environmental exposure.

We believe that guidelines should be developed for implementing relevant culture for safe use of up-to-date gadgets for children and adolescents including predominant use of wire-based hands-free kits (not Bluetooth), speakerphones, as well as messengers used for subsequent exchange of text and multimedia messages, and not carrying a gadget 'on oneself' (in shirt or trousers pockets). This will allow a significant reduction in negative effects produced by RF EMF, in particular, by mobile phones / smartphones, on the growing generations' health.

Keywords: radio frequency electromagnetic fields, 5G, cellular communications, spleen, excretory system, skin, skeletal system, young animals, children, adolescents.

References

1. Gatta L., Pinto R., Ubaldi V., Pace L., Galloni P., Lovisolo G.A., Marino C., Pioli C. Effects of in vivo exposure to GSM-modulated 900 MHz radiation on mouse peripheral lymphocytes. *Radiat. Res.*, 2003, vol. 160, no. 5, pp. 600–605. DOI: 10.1667/rr3078
2. Al-Glaib B., Al-Dardfi M., Al-Tuhami A., Elgenaidi A., Dkhil M. A technical report on the effect of electromagnetic radiation from a mobile phone on mice organs. *Libyan J. Med.*, 2008, vol. 3, no. 1, pp. 8–9. DOI: 10.4176/080107
3. Chauhan P., Verma H.N., Sisodia R., Kesari K.K. Microwave radiation (2.45 GHz)-induced oxidative stress: Whole-body exposure effect on histopathology of Wistar rats. *Electromagn. Biol. Med.*, 2017, vol. 36, no. 1, pp. 20–30. DOI: 10.3109/15368378.2016.1144063
4. Bhargav H., Srinivasan T.M., Bista S., Mooventhan A., Suresh V., Hankey A., Nagendra H.R. Acute effects of mobile phone radiations on subtle energy levels of teenagers using electrophotonic imaging technique: A randomized controlled study. *Int. J. Yoga*, 2017, vol. 10, no. 1, pp. 16–23. DOI: 10.4103/0973-6131.186163
5. Adebayo E.A., Adeeyo A.O., Ogundiran M.A., Olabisi O. Bio-physical effects of radiofrequency electromagnetic radiation (RF-EMR) on blood parameters, spermatozoa, liver, kidney and heart of albino rats. *J. King Saud Univ. – Sci.*, 2019, vol. 31, no. 4, pp. 813–821. DOI: 10.1016/j.jksus.2018.11.007
6. Sepehrimanesh M., Azarpira N., Saeb M., Nazifi S., Kazemipour N., Koohi O. Pathological changes associated with experimental 900-MHz electromagnetic wave exposure in rats. *Comp. Clin. Pathol.*, 2014, vol. 23, pp. 1629–1631. DOI: 10.1007/s00580-013-1835-0
7. Türedi S., Kerimoğlu G., Mercantepe T., Odacı E. Biochemical and pathological changes in the male rat kidney and bladder following exposure to continuous 900-MHz electromagnetic field on postnatal days 22–59. *Int. J. Radiat. Biol.*, 2017, vol. 93, no. 9, pp. 990–999. DOI: 10.1080/09553002.2017.1350768
8. Deniz Ö.G., Kıvrak E.G., Kaplan A.A., Altunkaynak B.Z. Effects of folic acid on rat kidney exposed to 900 MHz electromagnetic radiation. *J. Microsc. Ultrastruct.*, 2017, vol. 5, no. 4, pp. 198–205. DOI: 10.1016/j.jmau.2017.06.001
9. Okatan D.Ö., Okatan A.E., Hancı H., Demir S., Yaman S.Ö., Çolakoğlu S., Odacı E. Effects of 900-MHz electromagnetic fields exposure throughout middle/late adolescence on the kidney morphology and biochemistry of the female rat. *Toxicol. Ind. Health*, 2018, vol. 34, no. 10, pp. 693–702. DOI: 10.1177/0748233718781292
10. Monfared A.L., Nooraii A., Shamsi M. Histological and biochemical studies of mice kidney after exposure to mobile phone radiation. *J. Bas. Res. Med. Sci.*, 2016, vol. 3, no. 3, pp. 45–51. DOI: 10.18869/acadpub.jbrms.3.3.45
11. Bedir R., Tumkaya L., Mercantepe T., Yilmaz A. Pathological Findings Observed in the Kidneys of Postnatal Male Rats Exposed to the 2100 MHz Electromagnetic Field. *Arch. Med. Res.*, 2018, vol. 49, no. 7, pp. 432–440. DOI: 10.1016/j.arcmed.2018.12.010
12. Gurbuz N., Sirav B., Yuvaci H.U., Turhan N., Coskun Z.K., Seyhan N. Is there any possible genotoxic effect in exfoliated bladder cells of rat under the exposure of 1800 MHz GSM-like modulated radio frequency radiation (RFR)? *Electromagn. Biol. Med.*, 2010, vol. 29, no. 3, pp. 98–104. DOI: 10.3109/15368378.2010.482498
13. Zhang Y., Zhang Y., Ye Z., Yang S., Liu M., Wu Q., Zhou C., He P., Qin X. Mobile Phone Use, Genetic Susceptibility and New-Onset Chronic Kidney Diseases. *Int. J. Public Health*, 2023, vol. 68, pp. 1605358. DOI: 10.3389/ijph.2023.1605358
14. Grigoriev Yu.G. 5G Standard – Technological Leap Ahead for Cellular Communication. Will There be a Problem with the Health of the Population? (Diving in problem). *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*, 2020, vol. 60, no. 6, pp. 627–634. DOI: 10.31857/S0869803120060181 (in Russian).

15. Grigoriev Yu.G., Samoylov A.S. 5G-cellular standards. Total radiobiological assessment of the danger of planetary electromagnetic radiation exposure to the population. Moscow, SRC – FMBC, 2020, 200 p. (in Russian).
16. Kim K., Lee Y.S., Kim N., Choi H.-D., Kang D.-J., Kim H.R., Lim K.-M. Effects of Electromagnetic Waves with LTE and 5G Bandwidth on the Skin Pigmentation In Vitro. *Int. J. Mol. Sci.*, 2020, vol. 22, no. 1, pp. 170. DOI: 10.3390/ijms22010170
17. Kim J.H., Kang D.-J., Bae J.-S., Lee J.H., Jeon S., Choi H.D., Kim N., Kim H.-G., Kim H.R. Activation of matrix metalloproteinases and FoxO3a in HaCaT keratinocytes by radiofrequency electromagnetic field exposure. *Sci. Rep.*, 2021, vol. 11, no. 1, pp. 7680. DOI: 10.1038/s41598-021-87263-2
18. Patrignoni L., Hurtier A., Orlacchio R., Joushomme A., Poullietier de Gannes F., Lévêque P., Arnaud-Cormos D., Revzani H.R. [et al.]. Evaluation of mitochondrial stress following ultraviolet radiation and 5G radiofrequency field exposure in human skin cells. *Bioelectromagnetics*, 2024, vol. 45, no. 3, pp. 110–129. DOI: 10.1002/bem.22495
19. Havas F., Cohen M., Krispin S., Attia-Vigneau J. Protective Properties of Botanical Extracts against 5G Radiation-induced Damage to Human Skin, as Demonstrated in Preliminary Data from a Keratinocyte Cell Culture Model. *Front. Biosci. (Landmark Ed.)*, 2024, vol. 29, no. 1, pp. 31. DOI: 10.31083/j.fbl2901031
20. Tripathi S.R., Miyata E., Ishai P.B., Kawase K. Morphology of human sweat ducts observed by optical coherence tomography and their frequency of resonance in the terahertz frequency region. *Sci. Rep.*, 2015, vol. 5, pp. 9071. DOI: 10.1038/srep09071
21. Betzalel N., Ben Ishai P., Feldman Y. The human skin as a sub-THz receiver – Does 5G pose a danger to it or not? *Environ. Res.*, 2018, vol. 163, pp. 208–216. DOI: 10.1016/j.envres.2018.01.032
22. Wang A., Ma X., Bian J., Jiao Z., Zhu Q., Wang P., Zhao Y. Signalling pathways underlying pulsed electromagnetic fields in bone repair. *Front. Bioeng. Biotechnol.*, 2024, vol. 12, pp. 1333566. DOI: 10.3389/fbioe.2024.1333566
23. Aslan A., Aydoğan N.H., Atay T., Çömlekçi S. The effects of electromagnetic field exposure at short and long term of 900 mhz frequency emitted from mobile phones on rat bone tissue. *Dicle Tıp Dergisi [Dicle Medical Journal]*, 2011, vol. 38, no. 4, pp. 452–457. DOI: 10.5798/diclemedj.0921.2011.04.0065
24. Aslan A., Atay T., Güle K., Kirdemir V., Özden A., Çömlekçi S., Aydoğan N.H. Effect of 900 MHz electromagnetic fields emitted from cellular phones on fracture healing: an experimental study on rats. *Acta Orthop. Traumatol. Turc.*, 2013, vol. 47, no. 4, pp. 273–280. DOI: 10.3944/aott.2013.2854
25. Aslan A., Kirdemir V., Kocak A., Atay T., Baydar M.L., Özerdemoglu R.A., Aydogan N.H. Influence of 1800 MHz GSM-like electromagnetic radiation exposure on fracture healing. *Arch. Med. Res.*, 2014, vol. 45, no. 2, pp. 125–131. DOI: 10.1016/j.arcmed.2014.01.006
26. Durgun M., Dasdag S., Erbatur S., Yegind K., Durgune S.O., Uzunf C., Ogucug G., Alabalikh U., Akdag M.Z. Effect of 2100 MHz mobile phone radiation on healing of mandibular fractures: an experimental study in rabbits. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 2016, vol. 30, no. 1, pp. 112–120. DOI: 10.1080/13102818.2015.1102612
27. Yildiz M., Cicek E., Cerci S.S., Cerci C., Oral B., Koyu A. Influence of electromagnetic fields and protective effect of CAPE on bone mineral density in rats. *Arch. Med. Res.*, 2006, vol. 37, no. 7, pp. 818–821. DOI: 10.1016/j.arcmed.2006.03.006
28. Cicek E., Gokalp O., Varol R., Cesur G. Influence of electromagnetic fields on bone fracture in rats: role of CAPE. *Biomed. Environ. Sci.*, 2009, vol. 22, no. 2, pp. 157–160. DOI: 10.1016/S0895-3988(09)60039-8
29. Akar A., Gultiken M.E., Bolat D., Ormanci N., Engiz B.K., Sunan E., Comelekoglu U. 2.45 GHz electro-magnetic radiation hazard on the rat cortical femur: Morphometric and biomechanical evaluations. *Med. Sci.*, 2022, vol. 11, no. 2, pp. 869–876. DOI: 10.5455/medscience.2021.12.419
30. Bektas H., Nalbant A., Akdag M.B., Demir C., Kavak S., Dasdag S. Adverse effects of 900, 1800 and 2100 MHz radiofrequency radiation emitted from mobile phones on bone and skeletal muscle. *Electromagn. Biol. Med.*, 2023, vol. 42, no. 1, pp. 12–20. DOI: 10.1080/15368378.2023.2179065
31. Atay T., Aslan A., Heybeli N., Aydoğan N.H., Baydar M.L., Ermol C., Yildiz M. Effects of 1800 MHz Electromagnetic Field Emitted from Cellular Phones on Bone Tissue. *Balkan Med. J.*, 2009, vol. 26, no. 4, pp. 292–296.
32. Sieroń-Stołyń K., Teister Ł., Cieślak G., Sieroń D., Śliwinski Z., Kucharzewski M., Sieroń A. The influence of electromagnetic radiation generated by a mobile phone on the skeletal system of rats. *Biomed. Res. Int.*, 2015, vol. 2015, pp. 896019. DOI: 10.1155/2015/896019
33. Cidem M., Bahadır C., Karakoc Y., Karacan I. Forearm bone mineral density in healthy young adult mobile phone users. *Med. Sci.*, 2012, vol. 1, no. 1, pp. 35–40.
34. Atay T., Aksoy B.A., Aydogan N.H., Baydar M.L., Yildiz M., Ozdemir R. Effect of electromagnetic field induced by radio frequency waves at 900 to 1800 MHz on bone mineral density of iliac bone wings. *J. Craniofac. Surg.*, 2009, vol. 20, no. 5, pp. 1556–1560. DOI: 10.1097/SCS.0b013e3181b78559
35. Saravi F.D. Asymmetries in hip mineralization in mobile cellular phone users. *J. Craniofac. Surg.*, 2011, vol. 22, no. 2, pp. 706–710. DOI: 10.1097/SCS.0b013e318207b79a
36. International Commission on the Biological Effects of Electromagnetic Fields (ICBE-EMF). Scientific evidence invalidates health assumptions underlying the FCC and ICNIRP exposure limit determinations for radiofrequency radiation: implications for 5G. *Environ. Health*, 2022, vol. 21, no. 1, pp. 92. DOI: 10.1186/s12940-022-00900-9
37. Uche U.I., Naidenko O.V. Development of health-based exposure limits for radiofrequency radiation from wireless devices using a benchmark dose approach. *Environ. Health*, 2021, vol. 20, no. 1, pp. 84. DOI: 10.1186/s12940-021-00768-1

Khorseva N.I., Grigoriev P.E. Systemic effects of radiofrequency electromagnetic fields (review). *Spleen, excretory system, skin, bone system. Health Risk Analysis*, 2025, no. 3, pp. 183–191. DOI: 10.21668/health.risk/2025.3.18.eng

Получена: 10.03.2025

Одобрена: 23.07.2025

Принята к публикации: 24.09.2025