



Научный обзор

СИСТЕМНЫЕ ЭФФЕКТЫ РАДИОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ (ОБЗОР). ЧАСТЬ 1. ЖЕЛЕЗЫ СЕКРЕЦИИ

Н.И. Хорсева¹, П.Е. Григорьев^{2,3}

¹Институт биохимической физики имени Н.М. Эмануэля, Российская Федерация, 119334, г. Москва, ул. Косыгина, 4

²Севастопольский государственный университет, Российская Федерация, 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

³Академический научно-исследовательский институт физических методов лечения, медицинской климатологии и реабилитации имени И.М. Сеченова, Российская Федерация, 298603, Республика Крым, г. Ялта, ул. Мухина, 10/3

Среди публикаций о системных эффектах электромагнитных полей радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ), прежде всего присущих устройствам сотовой связи (чаще всего – от 900 МГц до 2,5 ГГц), а также Wi-Fi, отдельного рассмотрения заслуживает их влияние на структурные изменения в железах секреции, которые зачастую являются непосредственными мишенями для воздействия соответствующих ЭМП РЧ (например, щитовидная железа).

Установлены разнообразные патогистологические эффекты влияния хронического воздействия ЭМП РЧ в разных режимах на железы внешней секреции как в экспериментальных исследованиях на животных, так и в эпидемиологических. Среди них – околоушная железа, слюнные железы, потовые железы.

Железы внутренней секреции также могут быть подвержены влиянию ЭМП РЧ, что подтверждается результатами многочисленных работ в отношении эпифиза, гипофиза, щитовидной железы, надпочечников, в которых зарегистрированы изменения их структуры и функций как у экспериментальных животных, так и у людей. При этом существует достаточно выраженная зависимость эффектов от экспозиции и характеристик ЭМП РЧ.

В настоящее время надежно установлены биологические эффекты действия ЭМП РЧ различных частотных диапазонов (устройства сотовой связи и телекоммуникационные мачты). Зарегистрированы разнообразные гистопатологические изменения в железах смешанной секреции – печени, поджелудочной железе, яичках и яичниках. Особо актуальными представляются выявленные на экспериментальных животных серьезные нарушения в яичках и яичниках, которые, несомненно, приводят к нарушениям репродуктивной функции.

Как отмечается, особую тревогу вызывает, что пользователи сотовой связи разных возрастов, в первую очередь дети и подростки, носят мобильные устройства в карманах брюк, т.е. в непосредственной близости к половым железам.

Настоящий период также характеризуется накоплением сравнительных эпидемиологических данных, а также неинвазивных измерений структурно-функциональных изменений в железах секреции у людей. На их основании следует сделать однозначный вывод о необходимости ограничения и мер предосторожности использования сотовых устройств, о чем также указывают некоторые рассматриваемые в данном обзоре работы.

Ключевые слова: электромагнитные поля радиочастотного диапазона, устройства сотовой связи, Wi-Fi, железы внутренней секреции, железы внешней секреции, железы смешанной секреции, гистологические изменения, молодые животные.

© 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>).

Железы внешней секреции. Можно считать доказанным негативное влияние электромагнитных полей радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ) на структуры головного мозга [1]. Следовательно, в связи с этим можно предположить, что излучение ЭМП РЧ сотовых телефонов может «затронуть» и железы секреции, в частности, *околоушную железу*.

Несмотря на единичные исследования, в работе S. Sadetzki et al. было показано увеличение риска развития рака околоушной железы у пользователей мобильной связью [2], а в экспериментах Z. Ozergin Coskun et al. были установлены и гистопатологические изменения в околоушной железе у крыс при воздействии 1800 МГц (6 и 12 ч/сут в течение 30 дней): увеличение апоптотического индекса, более выраженное при более длительном воздействии [3]. Зависимость уровня гистопатологических изменений от длительности воздействия ЭМП РЧ 2100 МГц (6 ч/сут 5 дней в неделю в течение 10 или 40 дней) была установлена в работе F. Aydogan et al. Более выраженные изменения в гистологии слюнных желез (в ацинарных эпителиальных клетках, интерстициальном пространстве, протоковой системе, сосудистой системе, ядре, количестве цитоплазмы и изменения в размере клеток) были зарегистрированы при длительном воздействии (40 дней) [4].

Кроме того, нарушение саливации (снижение слюноотделения) было зарегистрировано у лиц как в возрастной группе 18–30 лет, так и в группе 30–60 лет, которые жили не менее 8 лет на расстоянии около 1 км от базовых станций [5].

Активное внедрение пятого поколения сотовой связи 5G, где потенциально используются два диапазона частот: 600–60 000 МГц и 24–100 ГГц (в России – 4,8–4,99 и 24,25–24,65 ГГц), по мнению Ю.Г. Григорьева, «...может привести к значительному повышению уровня опасности в связи с постоянным облучением новых критических органов, таких как кожа и глаза» [6]. Недооценка потенциальных рисков может быть фатальной.

Так, в обзоре K. Karipidis et al. [7] авторы утверждают, что имеющиеся результаты, в частности, эпидемиологических исследований, имеют мало доказательств связи между низкоуровневым миллиметровым диапазоном и какими-либо неблагоприятными эффектами для здоровья, поскольку они ниже пределов воздействия на человека, установленных Международной комиссией по защите от неионизирующего излучения (ICNIRP). Однако такая точка зрения подверглась критике со стороны S. Weller et al., так как он дает неверные послы относительно оценки безопасности и общественного здравоохранения [8].

Поскольку новыми критическими органами миллиметрового диапазона являются склера глаз и кожа, то многочисленные *потовые железы* будут также вовлечены в сферу действия ЭМР РЧ.

В связи с этим интересны работы S.R. Tripathi et al. [9] и N. Betzalel et al. [10]. Используя оптиче-

скую когерентную томографию, они установили, что кончики потовых протоков имеют спиральную структуру и рассматриваются как спиральная антенна. Резонансная частота такой антенны в аксиальном (осевом) режиме работы лежит в ТГц-диапазоне волн с центральной частотой $0,44 \pm 0,07$ ТГц [9], что может приводить к высокой удельной скорости поглощения (SAR) кожей в диапазоне крайне высоких частот [10].

Кроме того, экспериментально установлено, что отражательная способность кожи человека в субтеррагерцовом (субТГц) диапазоне, который активно продвигают сотовые операторы на рынок сотовой связи (в частности, 5G), зависит от интенсивности потоотделения и коррелирует не только с уровнем стресса человека, но и показателями ЭКГ. В связи с этим необходимо учитывать возможные последствия неограниченного использования субтеррагерцовых технологий – 5G [10] и новых диапазонов – 6G для общественного здравоохранения.

Мы полагаем, что приведенные доказательства должны быть учтены при широкомасштабном внедрении новых технологий сотовой связи, поскольку критическим органом в данном случае является кожа человека, а с учетом ее площади восприятия ($1,5\text{--}2\text{ м}^2$ у взрослого человека) может быть уже не потенциальной, а явной угрозой для здоровья человека, в первую очередь детей и подростков как самой чувствительной когорты населения к любым факторам внешней среды.

Железы внутренней секреции. Как уже отмечалось ранее, можно считать доказанным негативное влияние ЭМП РЧ на структуры головного мозга [1], поэтому такие железы внутренней секреции, как *эпифиз* (область четверохолмия среднего мозга) и *гипофиз* (промежуточный мозг), также могут быть подвержены этому влиянию. Подтверждением этому могут служить результаты исследований, приведенных ниже.

Влияние на *эпифиз* представлено в исследовании С.Г. Ященко и С.Ю. Рыбалко, проведенном на молодых крысах. Было изучено влияние ЭМП РЧ современных коммуникационных устройств – персональных компьютеров (ПК) (4 ч/сут в течение 26 недель) и мобильных телефонов (МТ) (925 МГц, каждые 5 мин в течение 12 ч в течение 26 недель, плотности потока мощности (ППМ) в центре клетки достигали значений $97,8\text{ мкВт/см}^2$ со средним интегральным значением 22 мкВт/см^2). Было установлено, что в обеих группах в эпифизе изменяется ультраструктура ткани с развитием комплекса общих и специфических морфологических изменений для каждого вида воздействия – ПК и МТ. Полученные результаты указывают на негативное влияние ЭМП РЧ на эпифиз [11].

Использование электрофотоизображения или газоразрядной визуализации после 15-минутного воздействия МТ на студентов ($17,40 \pm 0,24$ года) позволило зарегистрировать снижение уровня тон-

кой энергии в ряде органов (поджелудочная железа, щитовидная железа, кора головного мозга, сосуды головного мозга, левое ухо и левый глаз, печень, правая почка, селезенка и иммунная система), в том числе и в *гипофизе* [12].

В настоящее время при использовании нового поколения мобильных телефонов – смартфонов, у которых расположение антенн находится внизу гаджета, возникла новая ситуация – увеличение электромагнитного воздействия на область шеи, которое подтверждается оценкой распределения поглощенных доз в данной области, и новым критическим органом в этом случае становится *щитовидная железа* [13, 14].

Различные изменения в структуре и функции щитовидной железы, а также изменение гормонального статуса при воздействии ЭМП РЧ суммированы в ряде обзоров [15, 16], в том числе на детей и подростков [14].

Также *экспериментально* установлены гистологические и биохимические изменения в клетках щитовидной железы крыс и мышей при воздействии ЭМП РЧ в диапазоне от 900 МГц до 2,45 ГГц. В экспериментах на молодых крысах зарегистрировано уменьшение количества кубических клеток, фолликулярной коллоидной жидкости и диаметра фолликулов при действии ЭМП РЧ МТ (900 МГц, 10 мин 12 раз в сутки в течение месяца) [17], а образование апоптотических телец и повышенная активность каспазы-3 и каспазы-9 в клетках щитовидной железы зарегистрировано при импульсно-модулированном сигнале МТ (900 МГц, модуляция 217 МГц, 20 мин/сут в течение 2 месяцев) [18].

Воздействие ЭМП РЧ МТ с двойным трансливером 900/1800 МГц (50 звонков по 30 с, разделенных 15-секундными интервалами, в течение 8 недель) вызывало уменьшение содержания коллоида в микрофолликулах, увеличение в ширину соединительнотканых перегородок и расширение кровеносных сосудов [19].

Для изучения воздействия 2,45 ГГц на щитовидную железу крыс M.J. Misa-Agustiño et al. использовали модель диатермии при максимальном воздействии в левую переднюю ногу животных. Проводили однократное (30 мин/сут, 3 и 12 Вт) и многократное (30 мин/сут, 3 Вт, в течение 2 недель), воздействие ЭМП РЧ. Морфометрические измерения ткани щитовидной железы проводились спустя 90 мин и 24 ч после последнего воздействия во всех экспериментальных группах. Признаки апоптоза клеток щитовидной железы не выявлены, равно как и изменения толщины перегородок в центральной части соединительной ткани, однако установлены особенности изменения диаметра центральных и периферических фолликулов, которые указывают на гипертрофию железы в отношении мощности воздействия и / или количества воздействий [20].

Исследования с участием детей и подростков, а также лиц до 25 лет выявили широкий

спектр изменений при действии ЭМП РЧ на щитовидную железу.

В настоящее время установлено, что ЭМП РЧ базовых станций может оказывать негативное влияние на гормональный фон лиц, проживающих рядом с базовыми станциями. В частности, в работе E.F. Eskander представлены результаты динамики изменения гормонального фона для юношей / мужчин и девушек / женщин (14–22 года и 25–60 лет соответственно) с увеличением периода воздействия (через год, 3 года и 6 лет), проживающих в 500-метровой зоне от базовых станций. Было показано, что наибольшие изменения выявлены при 6-летнем воздействии: для всех групп значимое снижение уровня как щитовидной железы – сывороточного тироксина (Т₄) и трийодтиронина (Т₃), так и аденокортикотропного гормона (АКТГ), а также половых гормонов (снижение уровня тестостерона у юношей / мужчин, уровня пролактина в сыворотке у девушек, но его увеличение у взрослых женщин) [21].

С целью изучения воздействия ЭМП РЧ МТ на щитовидную железу человека проводится анализ уровней гормонов [22], клинические обследования [23], УЗИ-исследования с одновременным применением методов анкетирования.

Так, при анкетировании 77 студентов с различным режимом пользования МТ: 5–20 мин/сут, более 120 мин/сут, и одновременным анализом уровней гормонов было установлено, что у пользователей мобильной связью высокий (выше, чем обычно) уровень тиреотропного гормона, низкие средние значения Т₄ и нормальные концентрации Т₃, при этом степень выраженности этих изменений была наивысшей у активных пользователей [22].

Похожие исследования были проведены N.M. Baby et al. с участием 83 студентов (18–25 лет). 53 % опрошенных в среднем ежедневно разговаривали по телефону по 0,5 ч; 28,9 % – по 1,5 ч в день и 10,8 % – по 3,5 ч. Клиническое обследование щитовидной железы показало, что 13,6 % имели отек, 3,6 % – симптомы дисфункции, 3,6 % – дисфункции с признаками отека, а также наличие значимой корреляции между общим воздействием радиации и повышением значений ТТГ среди всех респондентов [23].

Проспективное исследование с целью изучения ЭМП РЧ МТ на щитовидную железу было проведено N.M. Elsayed et al. (110 женщин и 70 мужчин в возрасте от 15 до 65 лет). Результаты УЗИ в исследовании показали, что 46,7 % респондентов имели аномальные результаты щитовидной железы, чаще у пользователей смартфонов и больше у женщин. Наиболее распространенной аномалией был многоузловой зоб (54 %) [24].

На основании материалов статистических отчетов по заболеваемости населения в Российской Федерации болезнями эндокринной системы, расстройствами питания и нарушением обмена веществ установлено, что с 2000 г. зарегистрировано значительное увеличение числа детей и подростков с бо-

лезнями эндокринной системы, расстройствами питания, нарушением обмена веществ: для возрастной группы 0–14 лет – в 2,8 раза, а для 15–17-летнего возраста – в 5,5 раза [14].

Известно, что формирование основных структур *тимуса*, в частности у крыс, продолжается и в постнатальном развитии [25]. Следовательно, исследование воздействия ЭМП РЧ может оказать существенное влияние в этот период времени. Подтверждением этому могут служить единичные исследования, проведенные на молодых крысах.

Так, при воздействии 900 МГц (1 ч/сут в течение 22–59 дней после рождения) выявили гистопатологические изменения в ткани тимуса: зарегистрированы внесосудистые эритроциты в медуллярных / кортикомедуллярных областях [26]. Исследование острого (одна неделя) и хронического (10 недель) воздействия ЭМП РЧ на молодых крыс в двух частотных диапазонах (900 и 2100 МГц, 2 ч/сут) позволило установить увеличение экспрессии каспазы 3 и 12, шлюкосо-регулируемого белка 78 кДа (Grp78), С/ЕВР гомологичного белка, что указывает на увеличение уровня белкового стресса и может вызвать апоптоз клеток тимуса [27].

M.J. Misa-Agustíño et al., как и для изучения воздействия ЭМП РЧ на щитовидную железу, использовали модель диатермии для исследования влияния 2,45 ГГц (мощностью 1,5, 3,0 или 12,0 Вт, 30 мин/сут в течение одной и 10 недель) на тимус молодых крыс. Увеличение количества кровеносных сосудов (было более заметно в мозговом веществе), геморрагических ретикулоэпителиальных клеток и эритроцитов у животных, облученных 12,0 Вт (SAR, рассчитанный на 1 г ткани тимуса, составляет $0,482 \pm 12,10^{-3}$ Вт/кг). При этом эффект зависел только от мощности воздействия, а не от длительности. Кроме того, было установлено, что существует связь между воздействием ЭМП РЧ и повышенной эндотелиальной проницаемостью и васкуляризацией тимуса [28].

Не исключено, что выявленные гистопатологические изменения в тимусе экспериментальных животных при действии ЭМП РЧ могут также наблюдаться и у лиц – пользователей мобильной связью, которые носят МТ в кармане рубашки. Но данное предположение требует дальнейшего исследования.

Известно, что поддержание гомеостаза организма, обеспечение адаптации к различным физиологическим и эмоциональным ситуациям осуществляют гормоны *надпочечников*. Однако исследования в области изучения воздействия ЭМП РЧ на надпочечники единичны.

В доступной нам литературе мы нашли только две публикации: A. Kosaman et al. и S. Shahabi et al. Оба исследования проведены на молодых крысах линии Wistar, подвергавшихся воздействию ЭМП частотой 900 МГц.

В работе A. Kosaman et al. при воздействии ЭМП РЧ 60 мин/сут в течение 15 дней зарегистрировано значительное увеличение среднего объема

надпочечников [29]. А в исследовании S. Shahabi et al., где воздействие ЭМП РЧ было более интенсивное (6 ч/сут в течение 4 и 8 недель соответственно), было установлено утолщение пучкового слоя надпочечников, при этом количество клеток в этой зоне оставалось постоянным, однако их размер и периметр клеток увеличивались. Описанные изменения были более выражены для 8-недельного воздействия [30].

Поскольку негативные изменения были зарегистрированы как в гипофизе [12], так и в надпочечниках, как показано выше [29, 30], можно предположить, что ЭМП РЧ может оказывать влияние на гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковую ось – нейроэндокринную систему, поддерживающую гомеостаз организма, адаптацию к факторам внешней среды и выживание во время стресса, что может вызывать различные системные ответы на воздействие ЭМП РЧ.

Железы смешанной секреции. К этой группе желез относится печень, поджелудочная железа, а также половые железы: мужские – яички, женские – яичники.

Однако число публикаций по изучению воздействия ЭМП РЧ на печень и яички невелико, а для поджелудочной железы и яичников – единичные.

В частности, при действии 900 МГц (1, 2 и 4 ч/сут в течение 30 дней) M. Sepehrimanesh et al. установлено, что *в печени* не выявлено никаких существенных гистопатологических поражений [31]. Однако в работах H.R. Ma et al. [32] и D.Ö. Okatan et al. [33], даже при менее длительном воздействии ЭМП РЧ, были обнаружены гистопатологические изменения.

В первом случае (4 ч/сут в течение 18 дней) выявлено диффузное набухание и вакуолизация гепатоцитов, мелкие кусочки и очаговый некроз [32], а во втором (1 ч/сут в течение 24 дней) случайные нарушения в радиальном расположении гепатоцитов, цитоплазматическая вакуолизация, кровоизлияние, расширение синусоид и отек [33].

ЭМП РЧ двухдиапазонного телефона Nokia 1112 (900/1800 или 950/1900 МГц) при действии в течение 10 дней на взрослых мышей при ежедневной нагрузке 1 ч/сут вызывало воспалительную клеточную инфильтрацию, а гепатоциты выглядели вакуолизированными и содержали более плотные ядра, а при нагрузке 12 ч/сут на срезах печени выявлена более интенсивная воспалительная реакция вокруг центральной вены, гепатоциты были также набухшими, а их цитоплазма казалась сильно вакуолизированной [34].

Воздействие 2,45 ГГц отличается от действия 900 МГц. Как показали гистопатологические исследования K. Holovská et al. (3 ч/сут в течение 3 недель), структура гепатоцитов не изменилась, однако их электронная микроскопия выявила везикулы разного размера и формы, липидные капли и разрастание гладкой эндоплазматической сети, а также на-

блюдались некротические гепатоциты. Кроме того, установлено наличие умеренной гиперемии, дилатации синусоидов печени и небольших воспалительных очагов в центре долек печени [35]. Полностью искаженная печеночная архитектура и удлинённые ядра с цитоплазмой некоторых гепатоцитов выявлены в работе P. Chauhan et al. (2 ч/сут в течение 35 дней) [36].

Позднее E.A. Adebayo et al. установили выраженные расширенные синусоиды, искажённую архитектуру, гиперхромные ядра, переполненную центральную вену с изменением структуры гепатоцитов у крыс, помещённых на расстоянии 24 м от основания двух различных мачт телекоммуникационной сети (1800 МГц) в течение 5 недель (1,40 Вт/см²) [37].

Таким образом, воздействие как ЭМП РЧ мобильных телефонов, так и базовых станций могут вызывать гистопатологические изменения в тканях печени экспериментальных животных.

Негативные гистопатологические изменения были зарегистрированы в тканях **яичек**.

Так, сильно деформированные семенные канальцы с потерей клеточной структуры и зоной воспалительных изменений, сильно деформированный придаток яичка с потерей клеточной структуры и полным отсутствием сперматозоидов, что может привести к низкой фертильности, выявлены у крыс, которые находились на расстоянии 24 м от мачт телекоммуникационной сети (1800 МГц) в течение 5 недель [37].

При воздействии ЭМП РЧ 900 МГц (1 ч/сут в течение 30 дней) на самцов крыс были зарегистрированы вакуоли в базальной мембране семенных канальцев и отек в межканальцевом пространстве, диаметры самих семенных канальцев и толщина зародышевого эпителия уменьшены, а индекс апоптоза был выше [38].

M. Saygin et al. зарегистрировали снижение количество клеток Лейдига, дегенерацию клеток яичек и апоптоз в ткани яичек крыс при воздействии 2,45 ГГц (60 мин/сут в течение 28 дней) [39]. P. Chauhan et al., применяя длительное воздействие ЭМП РЧ (2,45 ГГц, 2 ч/сут в течение 35 дней), выявили дегенерацию эпителия эпидидимиса и некроз семенных трубочек, окклюзию просвета, уменьшение размера семенных каналов [36].

Особого внимания, на наш взгляд, заслуживают исследования воздействия Wi-Fi (2,4 ГГц, 1 ч/сут и 7 ч/сут в течение 2 месяцев). Зарегистрировано увеличение количества апоптоз-положительных клеток, более выраженное при ежедневном воздействии в течение 7 ч/сут. Кроме того, при длительности воздействия 1 ч/сут сохранилась нормальная архитектура семенных канальцев и интерстициальная ткань, герминативный эпителий

яичек был неповрежденным. Напротив, 7-часовая группа вызвала значительное снижение как количества слоев зародышевых клеток, так и среднего балла яичек [40].

Гистопатологические изменения в яичниках самок крыс выявлены при воздействии 1800 МГц (2 ч/сут в течение 30 и 60 дней соответственно). Через 30 дней выявлен застой и уменьшение количества фолликулов в яичниках, через 60 дней еще и дегенерация клеток преовуляторного фолликула и инфильтрация макрофагов, а также активируется вакуолизация интерстициальных клеток и слоев клеток гранулезы [41].

На основании вышеизложенного можно констатировать, что воздействие ЭМП РЧ различных частотных диапазонов вызывает существенные гистопатологические изменения в тканях яичек и яичников. На наш взгляд, это заслуживает особого внимания, поскольку в настоящее время многие носят (очень часто дети и подростки) мобильные телефоны / смартфоны в карманах брюк.

Единственное исследование, указывающее на негативное влияние ЭМП РЧ на целый ряд органов и тканей, в том числе и на **поджелудочную железу**, – это работа H. Bhargav et al., в которой **для 61 подростка** (средний возраст $17,40 \pm 0,24$ года) с помощью метода электрофотонной визуализации после 15-минутного воздействия мобильного телефона на правое ухо было зарегистрировано статистически значимое снижение тонких энергетических уровней [12].

Выводы. Подводя итоги, можно сказать, что в большинстве исследований наблюдались не только функциональные, но и разнообразные гистопатологические изменения в органах, тканях и их клетках желез секреции. Мы полагаем, что приведенные результаты исследований влияния ЭМП РЧ различных частотных диапазонов на железы внешней, внутренней и смешанной секреции убедительно доказывают их негативное влияние, в том числе на детей и подростков.

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

Конфликт интересов. Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

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.

Список литературы

1. Хорсева Н.И., Григорьев П.Е. Эффекты воздействий радиочастотных электромагнитных полей на нервную систему. Эксперименты in vivo (обзор) // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 3. – С 383–398. DOI: 10.37482/2687-1491-Z195
2. Cellular phone use and risk of benign and malignant parotid gland tumors – a nationwide case-control study / S. Sadetzki, A. Chetrit, A. Jarus-Hakak, E. Cardis, Y. Deutch, S. Duvdevani, A. Zultan, I. Novikov [et al.] // Am. J. Epidemiol. – 2008. – Vol. 167, № 4. – P. 457–467. DOI: 10.1093/aje/kwm325
3. Does Radiofrequency Radiation From Mobile Phones Affect the Formation of Parotid Gland Malignancy? An Experimental Study / Z. Ozerkin Coskun, L. Tumkaya, A. Yilmaz, E. Dursun, T. Mercantepe, Y. Kalkan, S. Ersoz // Ear Nose Throat J. – 2024. – Vol. 103, Suppl. 3. – P. 75S–82S. DOI: 10.1177/01455613241287295
4. The effect of 2100 MHz radiofrequency radiation of a 3G mobile phone on the parotid gland of rats / F. Aydogan, I. Unlu, E. Aydin, N. Yumusak, E. Devrim, E.E. Samim, E. Ozgur, V. Unsal [et al.] // Am. J. Otolaryngol. – 2015. – Vol. 36, № 1. – P. 39–46. DOI: 10.1016/j.amjoto.2014.10.001
5. Effect of electromagnetic radiations from mobile phone base stations on general health and salivary function / K. Singh, A. Nagaraj, A. Yousuf, S. Ganta, S. Pareek, P. Vishnani // J. Int. Soc. Prev. Community Dent. – 2016. – Vol. 6, № 1. – P. 54–59. DOI: 10.4103/2231-0762.175413
6. 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.
7. 5G mobile networks and health-a state-of-the-science review of the research into low-level RF fields above 6 GHz / K. Karipidis, R. Mate, D. Urban, R. Tinker, A. Wood // J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol. – 2021. – Vol. 31, № 4. – P. 585–605. DOI: 10.1038/s41370-021-00297-6
8. Comment on "5G mobile networks and health-a state-of-the-science review of the research into low-level RF fields above 6 GHz" by Karipidis et al / S. Weller, M. May, J. McCredde, V. Leach, D. Phung, I. Belyaev // J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol. – 2023. – Vol. 33, № 1. – P. 17–20. DOI: 10.1038/s41370-022-00497-8
9. 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
10. 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
11. Ященко С.Г., Рыбалко С.Ю. Морфологическая структура эпифиза крыс при воздействии электромагнитных излучений коммуникационных устройств // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 10. – С. 977–979. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-10-977-979
12. 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
13. Григорьев Ю.Г., Воронцова З.А., Ушаков И.Б. Оценка опасности воздействия электромагнитных полей на морфофункциональное состояние щитовидной железы // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2020. – Т. 60, № 6. – С. 622–626. DOI: 10.31857/S0869803120050112
14. Григорьев Ю.Г., Хорсева Н.И., Григорьев П.Е. Щитовидная железа – новый критический орган воздействия электромагнитных полей мобильной связи: оценка возможных последствий для детей и подростков // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2021. – Т. 66, № 2. – С. 67–75.
15. The possible global hazard of cell phone radiation on thyroid cells and hormones: a systematic review of evidences / J.F. Asl, B. Larijani, M. Zakerkish, F. Rahim, K. Shirbandi, R. Akbari // Environ. Sci. Pollut. Res. Int. – 2019. – Vol. 26, № 18. – P. 18017–18031. DOI: 10.1007/s11356-019-05096-z
16. An Exploration of the Effects of Radiofrequency Radiation Emitted by Mobile Phones and Extremely Low Frequency Radiation on Thyroid Hormones and Thyroid Gland Histopathology / T. Alkayyali, O. Ochuba, K. Srivastava, J.K. Sandhu, C. Joseph, S.W. Ruo, A. Jain, A. Waqar, S. Poudel // Cureus. – 2021. – Vol. 13, № 8. – P. e17329. DOI: 10.7759/cureus.17329
17. Hajioun B., Jowhari H., Mokhtari M. Effects of cell phone radiation on the levels of T3, T4 and TSH, and histological changes in thyroid gland in rats treated with Allium sativum extract // Afr. J. Biotechnol. – 2014. – Vol. 13, № 1. – P. 163–169. DOI: 10.5897/AJB2013.12471
18. Eşmekaya M.A., Seyhan N., Ömeroğlu S. Pulse modulated 900 MHz radiation induces hypothyroidism and apoptosis in thyroid cells: a light, electron microscopy and immunohistochemical study // Int. J. Radiat. Biol. – 2010. – Vol. 86, № 12. – P. 1106–1116. DOI: 10.3109/09553002.2010.502960
19. Shaikat F., Qamar K., Ahmed Butt S. Effects of mobile phone induced electromagnetic field on height of follicular cells in thyroid gland of mice // J. Rawalpindi Med. Coll. – 2011. – Vol. 15, № 1. – P. 27–29.
20. Exposure to non-ionizing radiation provokes changes in rat thyroid morphology and expression of HSP-90 / M.J. Misa-Agustiño, T. Jorge-Mora, F.J. Jorge-Barreiro, J. Suarez-Quintanilla, E. Moreno-Piquero, F.J. Ares-Pena, E. López-Martín // Exp. Biol. Med. (Maywood). – 2015. – Vol. 240, № 9. – P. 1123–1135. DOI: 10.1177/1535370214567611
21. Eskander E.F., Estefan S.F., Abd-Rabou A.A. How does long term exposure to base stations and mobile phones affect human hormone profiles? // Clin. Biochem. – 2012. – Vol. 45, № 1–2. – P. 157–161. DOI: 10.1016/j.clinbiochem.2011.11.006
22. Alterations in TSH and Thyroid Hormones following Mobile Phone Use / S. Mortavazi, A. Habib, A. Ganj-Karami, R. Samimi-Doost, A. Pour-Abedi, A. Babaie // Oman Med. J. – 2009. – Vol. 24, № 4. – P. 274–278. DOI: 10.5001/omj.2009.56

23. Baby N.M., Koshy G., Mathew A. The effect of electromagnetic radiation due to mobile phone use on thyroid function in medical students studying in a medical college in South India // *Indian J. Endocrinol. Metab.* – 2017. – Vol. 21, № 6. – P. 797–802. DOI: 10.4103/ijem.IJEM_12_17
24. Elsayed N.M., Jastaniah S.D. Mobile phone use and risk of thyroid gland lesions detected by ultrasonography // *Open Journal of Radiology.* – 2016. – Vol. 6, № 2. – P. 140–146. DOI: 10.4236/ojrad.2016.62021
25. Современные представления о морфологии тимуса / Д.В. Бреусенко, И.Д. Димов, Е.С. Клименко, Н.Р. Карелина // *Педиатр.* – 2017. – Т. 8, № 5. – С. 91–95. DOI: 10.17816/PED8591-95
26. Alterations of thymic morphology and antioxidant biomarkers in 60-day-old male rats following exposure to a continuous 900 MHz electromagnetic field during adolescence / A. Kulaber, G. Kerimoğlu, Ş. Ersöz, S. Çolakoğlu, E. Odacı // *Biotech. Histochem.* – 2017. – Vol. 92, № 5. – P. 331–337. DOI: 10.1080/10520295.2017.1312525
27. Can 900 MHz and 2100 MHz radiofrequency radiation exposure induce endoplasmic reticulum stress and apoptosis in rat thymus? / E. Kaya, E. Kırımhoğlu, H. Er, A. Okan Oflamaz, Ş. Özen, N. Demir // *Eur. Res. J.* – 2023. – Vol. 9, № 1. – P. 29–38. DOI: 10.18621/eurj.1049381
28. EMF radiation at 2450 MHz triggers changes in the morphology and expression of heat shock proteins and glucocorticoid receptors in rat thymus / M.J. Misa-Agustino, J.M. Leiro-Vidal, J.L. Gomez-Amoza, M.T. Jorge-Mora, F.J. Jorge-Barreiro, A.A. Salas-Sánchez, F.J. Ares-Pena, E. López-Martín // *Life Sci.* – 2015. – Vol. 127. – P. 1–11. DOI: 10.1016/j.lfs.2015.01.027
29. Does omega-3 have a protective effect on the rat adrenal gland exposed to 900 MHz electromagnetic fields? / A. Kocaman, M. Gül, K.K. Yurt, G. Altun, E. Zayman, E.G. Kivrak // *J. Microsc. Ultrastruct.* – 2017. – Vol. 5, № 4. – P. 185–190. DOI: 10.1016/j.jmau.2017.08.003
30. Exposure to cell phone radiofrequency changes corticotrophin hormone levels and histology of the brain and adrenal glands in male Wistar rat / S. Shahabi, I. Hassanzadeh Tajji, M. Hoseinnazhaddarzi, F. Mousavi, S. Shirchi, A. Nazari, H. Zarei, F. Pourabdolhossein // *Iran. J. Basic Med. Sci.* – 2018. – Vol. 21, № 12. – P. 1269–1274. DOI: 10.22038/ijbms.2018.29567.7133
31. Pathological changes associated with experimental 900-MHz electromagnetic wave exposure in rats / M. Sepehri-manesh, N. Azarpira, M. Saeb, S. Nazifi, N. Kazemipour, O. Koohi // *Comp. Clin. Path.* – 2014. – Vol. 23. – P. 1629–1631. DOI: 10.1007/s00580-013-1835-0
32. Impacts of exposure to 900 MHz mobile phone radiation on liver function in rats / H.R. Ma, Z.H. Ma, G.Y. Wang, C.M. Song, X.L. Ma, X.H. Cao, G.H. Zhang // *Zhongguo Ying Yong Sheng Li Xue Za Zhi.* – 2015. – Vol. 31, № 6. – P. 567–571.
33. Okatan D.Ö., Kulaber A., Kerimoglu G., Odacı E. Altered morphology and biochemistry of the female rat liver following 900 megahertz electromagnetic field exposure during mid to late adolescence // *Biotech. Histochem.* – 2019. – Vol. 94, № 6. – P. 420–428. DOI: 10.1080/10520295.2019.1580767
34. 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
35. Structural and ultrastructural study of rat liver influenced by electromagnetic radiation / K. Holovská, V. Almásiová, V. Cigánková, K. Beňová, E. Račková, M. Martončíková // *J. Toxicol. Environ. Health A.* – 2015. – Vol. 78, № 6. – P. 353–356. DOI: 10.1080/15287394.2014.979272
36. 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.* – 2016. – Vol. 36, № 1. – P. 20–30. DOI: 10.3109/15368378.2016.1144063
37. 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. Adeeyo, 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
38. Odacı E., Özyılmaz C. Exposure to a 900 MHz electromagnetic field for 1 hour a day over 30 days does change the histopathology and biochemistry of the rat testis // *Int. J. Radiat. Biol.* – 2015. – Vol. 91, № 7. – P. 547–554. DOI: 10.3109/09553002.2015.1031850
39. Testicular apoptosis and histopathological changes induced by a 2.45 GHz electromagnetic field / M. Saygin, S. Caliskan, N. Karahan, A. Koyu, N. Gumral, A. Uguz // *Toxicol. Ind. Health.* – 2011. – Vol. 27, № 5. – P. 455–463. DOI: 10.1177/0748233710389851
40. Effects of Wi-Fi (2.45 GHz) Exposure on Apoptosis, Sperm Parameters and Testicular Histomorphometry in Rats: A Time Course Study / S. Shokri, A. Soltani, M. Kazemi, D. Sardari, F.B. Mofrad // *Cell J.* – 2015. – Vol. 17, № 2. – P. 322–331. DOI: 10.22074/cellj.2016.3740
41. Histopathological changes associated with oxidative stress induced by electromagnetic waves in rats' ovarian and uterine tissues / A.S.H. Alchalabi, H. Rahim, E. Aklilu, I.I. Al-Sultan, A.R. Aziz, M.F. Malek, S.H. Ronald, M.A. Khan // *Asian Pac. J. Reprod.* – 2016. – Vol. 5, № 4. – P. 301–310. DOI: 10.1016/j.apjr.2016.06.008

Хорсева Н.И., Григорьев П.Е. Системные эффекты радиочастотных электромагнитных полей (обзор). Часть 1. Желёзы секреции // Анализ риска здоровью. – 2025. – № 2. – С. 175–184. DOI: 10.21668/health.risk/2025.2.15

Review

**SYSTEMIC EFFECTS OF RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS
(REVIEW). PART 1. SECRETION GLANDS****N.I. Khorseva¹, P.E. Grigoriev^{2,3}**¹Institute of Biochemical Physics of the Russian Academy of Sciences, 4 Kosygina St., Moscow, 119334, Russian Federation²Sevastopol State University, 33 Universitetskaya St., Sevastopol, 299053, Russian Federation³Academic Research Institute of Physical Methods of Treatment, Medical Climatology and Rehabilitation named after I.M. Sechenov, 10/3 Mukhina St., Yalta, Republic of Crimea, 298603, Russian Federation

Among publications on systemic effects of radio frequency electromagnetic fields (RF EMF), primarily those inherent in cellular communication devices (most often from 900 MHz to 2.5 GHz), as well as Wi-Fi, special attention should be paid to their influence on structural changes in the secretory glands, which are often direct targets for the impact of the corresponding RF EMF (for example, the thyroid gland).

Various pathohistological effects of chronic exposure to RF EMF in different modes on the glands of external secretion have been established both in experimental studies on animals and in epidemiological ones. The parotid gland, salivary glands, sweat glands are among those mentioned in them.

The endocrine glands can also be affected by RF EMF, which is confirmed by the results of numerous studies on the pineal gland, pituitary gland, thyroid gland, and adrenal glands, in which changes in their structure and functions have been recorded in both experimental animals and humans. At the same time, there is fairly pronounced dependence between resulting effects and exposure and other characteristics of RF EMF.

At present, biological effects of RF EMF produced by various frequency ranges (cellular devices and telecommunication masts) have been reliably established. Various histopathological changes have been registered in the glands of mixed secretion such as the liver, pancreas, testicles and ovaries. Serious disorders in the testicles and ovaries revealed in experimental animals are particularly relevant since they undoubtedly lead to reproductive dysfunction.

Particular concern is raised by the fact that cellular users of different ages, primarily children and adolescents, carry mobile devices in their trouser pockets, i.e. in close proximity to the sex glands.

The present period is also characterized by accumulation of comparative epidemiological data as well as non-invasive measurements of structural and functional changes in the secretory glands in humans. Based on them, an unambiguous conclusion should be made about the need to limit and take precautions when using cellular devices, which is also indicated by some of the works considered in this review.

Keywords: electromagnetic fields of the radio frequency range, cellular devices, Wi-Fi, endocrine glands, exocrine glands, mixed secretion glands, histological changes, young animals.

References

1. Khorseva N.I., Grigoriev P.E. Effects of Radio Frequency Electromagnetic Fields on the Nervous System. In vivo Experiments (Review). *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy*, 2024, vol. 12, no. 3, pp. 383–398. DOI: 10.37482/2687-1491-Z195 (in Russian).
2. Sadetzki S., Chetrit A., Jarus-Hakak A., Cardis E., Deutch Y., Duvdevani S., Zultan A., Novikov I. [et al.]. Cellular phone use and risk of benign and malignant parotid gland tumors – a nationwide case-control study. *Am. J. Epidemiol.*, 2008, vol. 167, no. 4, pp. 457–467. DOI: 10.1093/aje/kwm325
3. Ozergin Coskun Z., Tumkaya L., Yilmaz A., Dursun E., Mercantepe T., Kalkan Y., Ersoz S. Does Radiofrequency Radiation From Mobile Phones Affect the Formation of Parotid Gland Malignancy? An Experimental Study. *Ear Nose Throat J.*, 2024, vol. 103, suppl. 3, pp. 75S–82S. DOI: 10.1177/01455613241287295

© 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>).

4. Aydogan F., Unlu I., Aydin E., Yumusak N., Devrim E., Samim E.E., Ozgur E., Unsal V. [et al.]. The effect of 2100 MHz radiofrequency radiation of a 3G mobile phone on the parotid gland of rats. *Am. J. Otolaryngol.*, 2015, vol. 36, no. 1, pp. 39–46. DOI: 10.1016/j.amjoto.2014.10.001
5. Singh K., Nagaraj A., Yousuf A., Ganta S., Pareek S., Vishnani P. Effect of electromagnetic radiations from mobile phone base stations on general health and salivary function. *J. Int. Soc. Prev. Community Dent.*, 2016, vol. 6, no. 1, pp. 54–59. DOI: 10.4103/2231-0762.175413
6. 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 Publ., 2020 (in Russian).
7. Karipidis K., Mate R., Urban D., Tinker R., Wood A. 5G mobile networks and health-a state-of-the-science review of the research into low-level RF fields above 6 GHz. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.*, 2021, vol. 31, no. 4, pp. 585–605. DOI: 10.1038/s41370-021-00297-6
8. Weller S., May M., McCredde J., Leach V., Phung D., Belyaev I. Comment on "5G mobile networks and health-a state-of-the-science review of the research into low-level RF fields above 6 GHz" by Karipidis et al. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.*, 2023, vol. 33, no. 1, pp. 17–20. DOI: 10.1038/s41370-022-00497-8
9. 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
10. 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
11. Yashchenko S.G., Rybalko S.Yu. Morphological structure of rat epiphysis exposed to electromagnetic radiation from communication devices. *Gigiena i sanitariya*, 2016, vol. 95, no. 10, pp. 977–979. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-10-977-979 (in Russian).
12. 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
13. Grigoryev Yu.G., Vorontsova Z.A., Ushakov I.B. Evaluation of the Hazards of Electromagnetic Fields on the Morphofunctional Condition of the Thyroid Gland. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*, 2020, vol. 60, no. 6, pp. 622–626. DOI: 10.31857/S0869803120050112 (in Russian).
14. Grigor'ev Yu.G., Horseva N.I., Grigor'ev P.E. The Thyroid – a New Critical Body for Impacting Electromagnetic Fields Mobile Communications: Assessment of Possible Effects for Children and Adolescents. *Medical Radiology and Radiation Safety*, 2021, vol. 66, no. 2, pp. 67–75 (in Russian).
15. Asl J.F., Larijani B., Zakerkish M., Rahim F., Shirbandi K., Akbari R. The possible global hazard of cell phone radiation on thyroid cells and hormones: a systematic review of evidences. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 2019, vol. 26, no. 18, pp. 18017–18031. DOI: 10.1007/s11356-019-05096-z
16. Alkayyali T., Ochuba O., Srivastava K., Sandhu J.K., Joseph C., Ruo S.W., Jain A., Waqar A., Poudel S. An Exploration of the Effects of Radiofrequency Radiation Emitted by Mobile Phones and Extremely Low Frequency Radiation on Thyroid Hormones and Thyroid Gland. *Histopathology. Cureus*, 2021, vol. 13, no. 8, pp. e17329.
17. Hajjoun B., Jowhari H., Mokhtari M. Effects of cell phone radiation on the levels of T3, T4 and TSH, and histological changes in thyroid gland in rats treated with Allium sativum extract. *Afr. J. Biotechnol.*, 2014, vol. 13, no. 1, pp. 163–169. DOI: 10.5897/AJB2013.12471
18. Eşmekaya M.A., Seyhan N., Ömeroğlu S. Pulse modulated 900 MHz radiation induces hypothyroidism and apoptosis in thyroid cells: a light, electron microscopy and immunohistochemical study. *Int. J. Radiat. Biol.*, 2010, vol. 86, no. 12, pp. 1106–1116. DOI: 10.3109/09553002.2010.502960
19. Shaukat F., Qamar K., Ahmed Butt S. Effects of mobile phone induced electromagnetic field on height of follicular cells in thyroid gland of mice. *J. Rawalpindi Med. Coll.*, 2011, vol. 15, no. 1, pp. 27–29.
20. Misa-Agustino M.J., Jorge-Mora T., Jorge-Barreiro F.J., Suarez-Quintanilla J., Moreno-Piquero E., Ares-Pena F.J., López-Martín E. Exposure to non-ionizing radiation provokes changes in rat thyroid morphology and expression of HSP-90. *Exp. Biol. Med. (Maywood)*, 2015, vol. 240, no. 9, pp. 1123–1135. DOI: 10.1177/1535370214567611
21. Eskander E.F., Estefan S.F., Abd-Rabou A.A. How does long term exposure to base stations and mobile phones affect human hormone profiles? *Clin. Biochem.*, 2012, vol. 45, no. 1–2, pp. 157–161. DOI: 10.1016/j.clinbiochem.2011.11.006
22. Mortavazi S., Habib A., Ganj-Karami A., Samimi-Doost R., Pour-Abedi A., Babaie A. Alterations in TSH and Thyroid Hormones following Mobile Phone Use. *Oman Med. J.*, 2009, vol. 24, no. 4, pp. 274–278. DOI: 10.5001/omj.2009.56
23. Baby N.M., Koshy G., Mathew A. The effect of electromagnetic radiation due to mobile phone use on thyroid function in medical students studying in a medical college in South India. *Indian J. Endocrinol. Metab.*, 2017, vol. 21, no. 6, pp. 797–802. DOI: 10.4103/ijem.IJEM_12_17
24. Elsayed N.M., Jastaniah S.D. Mobile phone use and risk of thyroid gland lesions detected by ultrasonography. *Open Journal of Radiology*, 2016, vol. 6, no. 2, pp. 140–146. DOI: 10.4236/ojrad.2016.62021
25. Breusenko D.V., Dimov I.D., Klimentko E.S., Karelina N.R. Modern concepts of thymus morphology. *Pediatr.*, 2017, vol. 8, no. 5, pp. 91–95. DOI: 10.17816/PED8591-95 (in Russian).
26. Kulaber A., Kerimoğlu G., Ersöz Ş., Çolakoğlu S., Odacı E. Alterations of thymic morphology and antioxidant biomarkers in 60-day-old male rats following exposure to a continuous 900 MHz electromagnetic field during adolescence. *Biotech. Histochem.*, 2017, vol. 92, no. 5, pp. 331–337. DOI: 10.1080/10520295.2017.1312525
27. Kaya E., Kırımlıoğlu E., Er H., Okan Oflamaz A., Özen Ş., Demir N. Can 900 MHz and 2100 MHz radiofrequency radiation exposure induce endoplasmic reticulum stress and apoptosis in rat thymus? *Eur. Res. J.*, 2023, vol. 9, no. 1, pp. 29–38. DOI: 10.18621/eurj.1049381

28. Misa-Agustiño M.J., Leiro-Vidal J.M., Gomez-Amoza J.L., Jorge-Mora M.T., Jorge-Barreiro F.J., Salas-Sánchez A.A., Ares-Pena F.J., López-Martín E. EMF radiation at 2450 MHz triggers changes in the morphology and expression of heat shock proteins and glucocorticoid receptors in rat thymus. *Life Sci.*, 2015, vol. 127, pp. 1–11. DOI: 10.1016/j.lfs.2015.01.027
29. Kocaman A., Gül M., Yurt K.K., Altun G., Zayman E., Kıvrak E.G. Does omega-3 have a protective effect on the rat adrenal gland exposed to 900 MHz electromagnetic fields? *J. Microsc. Ultrastruct.*, 2017, vol. 5, no. 4, pp. 185–190. DOI: 10.1016/j.jmau.2017.08.003
30. Shahabi S., Hassanzadeh Taji I., Hoseinnezhaddarzi M., Mousavi F., Shirchi S., Nazari A., Zarei H., Pourabdolhossein F. Exposure to cell phone radiofrequency changes corticotrophin hormone levels and histology of the brain and adrenal glands in male Wistar rat. *Iran. J. Basic Med. Sci.*, 2018, vol. 21, no. 12, pp. 1269–1274. DOI: 10.22038/ijbms.2018.29567.7133
31. 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. Path.*, 2014, vol. 23, pp. 1629–1631. DOI: 10.1007/s00580-013-1835-0
32. Ma H.R., Ma Z.H., Wang G.Y., Song C.M., Ma X.L., Cao X.H., Zhang G.H. Impacts of exposure to 900 MHz mobile phone radiation on liver function in rats. *Zhongguo Ying Yong Sheng Li Xue Za Zhi*, 2015, vol. 31, no. 6, pp. 567–571.
33. Okatan D.Ö., Kulaber A., Kerimoglu G., Odacı E. Altered morphology and biochemistry of the female rat liver following 900 megahertz electromagnetic field exposure during mid to late adolescence. *Biotech. Histochem.*, 2019, vol. 94, no. 6, pp. 420–428. DOI: 10.1080/10520295.2019.1580767
34. 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
35. Holovská K., Almášiová V., Cigánková V., Beňová K., Račková E., Martončíková M. Structural and ultrastructural study of rat liver influenced by electromagnetic radiation. *J. Toxicol. Environ. Health A*, 2015, vol. 78, no. 6, pp. 353–356. DOI: 10.1080/15287394.2014.979272
36. 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.*, 2016, vol. 36, no. 1, pp. 20–30. DOI: 10.3109/15368378.2016.1144063
37. 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
38. Odacı E., Özyilmaz C. Exposure to a 900 MHz electromagnetic field for 1 hour a day over 30 days does change the histopathology and biochemistry of the rat testis. *Int. J. Radiat. Biol.*, 2015, vol. 91, no. 7, pp. 547–554. DOI: 10.3109/09553002.2015.1031850
39. Saygin M., Caliskan S., Karahan N., Koyu A., Gumral N., Uguz A. Testicular apoptosis and histopathological changes induced by a 2.45 GHz electromagnetic field. *Toxicol. Ind. Health*, 2011, vol. 27, no. 5, pp. 455–463. DOI: 10.1177/0748233710389851
40. Shokri S., Soltani A., Kazemi M., Sardari D., Mofrad F.B. Effects of Wi-Fi (2.45 GHz) Exposure on Apoptosis, Sperm Parameters and Testicular Histomorphometry in Rats: A Time Course Study. *Cell J.*, 2015, vol. 17, no. 2, pp. 322–331. DOI: 10.22074/cellj.2016.3740
41. Alchalabi A.S.H., Rahim H., Aklilu E., Al-Sultan I.I., Aziz A.R., Malek M.F., Ronald S.H., Khan M.A. Histopathological changes associated with oxidative stress induced by electromagnetic waves in rats' ovarian and uterine tissues. *Asian Pac. J. Reprod.*, 2016, vol. 5, no. 4, pp. 301–310. DOI: 10.1016/j.apjr.2016.06.008

Khorseva N.I., Grigoriev P.E. Systemic effects of radiofrequency electromagnetic fields (review). Part 1. Secretion glands. Health Risk Analysis, 2025, no. 2, pp. 175–184. DOI: 10.21668/health.risk/2025.2.15.eng

Получена: 06.03.2025

Одобрена: 25.04.2025

Принята к публикации: 14.06.2025