

Медико-биологические проблемы жизнедеятельности

Научно-практический рецензируемый журнал

№ 1(33)
2025 г.

Учредитель

Государственное учреждение
«Республиканский научно-
практический центр
радиационной медицины
и экологии человека»

Журнал включен в

Перечень научных изданий
Республики Беларусь
для опубликования
диссертационных исследований
по медицинской
и биологической
отраслям науки
(31.12.2009, протокол 25/1)

Журнал зарегистрирован

Министерством информации
Республики Беларусь,
Свид. № 762 от 6.11.2009

Подписано в печать 26.03.25
Формат 60×90/8. Бумага мелованная.
Гарнитура «Times New Roman».
Печать цифровая. Тираж 120 экз.
Усл. печ. л. 13,25. Уч.-изд. л. 8,33.
Зак. 50.

Издатель ГУ «Республиканский
научно-практический центр
радиационной медицины
и экологии человека»
Свидетельство N 1/410 от 14.08.2014

Отпечатано в
КУП «Редакция газеты
«Гомельская праўда»
г. Гомель, ул. Полесская, 17а

ISSN 2074-2088

Главный редактор,

председатель редакционной коллегии

А.В. Рожко (д.м.н., профессор)

Редакционная коллегия

В.С. Аверин (д.б.н., профессор, зам. гл. редактора),
В.В. Аничкин (д.м.н., профессор), В.Н. Беляковский (д.м.н.,
профессор), К.Н. Буздакин (к.т.н., доцент), Н.Г. Власова (д.б.н.,
профессор, научный редактор), А.В. Величко (к.м.н., доцент),
И.В. Веялкин (к.б.н., доцент), Н.Н. Веялкина (к.б.н., отв.
секретарь), А.В. Воропаева (к.б.н., доцент), Д.И. Гавриленко
(к.м.н.), М.О. Досина (к.б.н., доцент), А.В. Жарикова (к.м.н.),
С.В. Зыблева (д.м.н., доцент), С.А. Игумнов (д.м.н., профессор),
А.В. Коротаев (к.м.н., доцент), А.Н. Лызилов (д.м.н., профессор),
А.В. Макарович (к.м.н., доцент), С.Б. Мельнов (д.б.н., профессор),
В.М. Мицура (д.м.н., доцент), Я.Л. Навменова (к.м.н.,
доцент), Э.А. Надыров (к.м.н., доцент), И.А. Новикова (д.м.н.,
профессор), Э.Н. Платошкин (к.м.н., доцент), Э.А. Повелица
(к.м.н.), А.С. Подгорная (к.м.н.), Ю.И. Рожко (к.м.н., доцент),
И.П. Ромашевская (к.м.н.), А.П. Саливончик (к.б.н.), А.Е. Силин
(к.б.н., доцент), А.Н. Стожаров (д.б.н., профессор), И.О. Стома
(д.м.н., профессор), Н.И. Шевченко (к.б.н., доцент), Ю.И. Ярец
(к.м.н., доцент)

Редакционный совет

А.В. Аклеев (д.м.н., профессор, Челябинск), О.В. Алешикова
(д.м.н., чл.-кор. НАН РБ, Минск), С.С. Алексанин (д.м.н.,
профессор, Санкт-Петербург), Е.Л. Богдан (Минск),
Л.А. Бокерия (д.м.н., академик РАН и РАМН, Москва),
А.Ю. Бушманов (д.м.н., профессор, Москва), И.И. Дедов (д.м.н.,
академик РАМН, Москва), В.И. Жарко (Минск), К.В. Котенко
(д.м.н., профессор, Москва), В.Ю. Кравцов (д.б.н., профессор,
Санкт-Петербург), Н.Г. Кручинский (д.м.н., профессор, Пинск),
Т.В. Мохорт (д.м.н., профессор, Минск), Д.А. Пиневич (Минск),
В.Ю. Рыбников (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), А.А. Усс
(д.м.н., профессор, Минск), В.А. Филонюк (д.м.н., профессор,
Минск), Р.А. Часнойть (к.э.н., Минск), В.Д. Шило (Минск)

Технический редактор

С.Н. Никонович

Корректор

Н.Н. Юрченко

Адрес редакции 246040 г. Гомель, ул. Ильича, д. 290,

ГУ «РНПЦ РМ и ЭЧ», редакция журнала

тел (0232) 38-95-00, факс (0232) 37-80-97

<http://www.mbp.rcrm.by> e-mail: mbp@rcrm.by

© Государственное учреждение

«Республиканский научно-практический центр
радиационной медицины и экологии человека», 2025

№ 1(33)

2025

Medical and Biological Problems of Life Activity

Scientific and Practical Journal

Founder

Republican Research Centre
for Radiation Medicine
and Human Ecology

Journal registration
by the Ministry of information
of Republic of Belarus

Certificate № 762 of 6.11.2009

© Republican Research Centre
for Radiation Medicine
and Human Ecology

ISSN 2074-2088

Обзоры и проблемные статьи**Е.Л. Боровиков, А.М. Дзядзько**

Особенности анестезиологического обеспечения и периоперационного ведения пациентов при адреналэктомиях по поводу феохромоцитомы (обзор литературы)

5

О.Г. Жариков, А.А. Литвин, А.В. Жарикова

Реалии и перспективы развития искусственного интеллекта в медицине

15

О.В. Мурашко, А.С. Подгорная, А.Ю. Захарко

Лечение и профилактика дисфункции тазового дна (обзор литературы)

22

М.В. Линков, Ж.М. Козич, Н.Н. Усова

Парапротеинемические полиневропатии у пациентов с плазмоклеточными новообразованиями

29

О.П. Логинова, Н.И. Шевченко, Е.Л. Гасич

Факторы и причины развития рака шейки матки (обзор литературы)

38

Медико-биологические проблемы**К.Н. Буздалькин, Е.К. Нилова**

Оценка объёмной активности приземного слоя атмосферы *in situ*

47

И.В. Веялкин, В.А. Рожко, С.Н. Никонovich, О.И. Зубец, В.Б. Масыкин, В.Н. Бортовский

Анализ динамик заболеваемости злокачественными новообразованиями в Республике Беларусь до и после катастрофы на ЧАЭС

55

М.А. Корнеева, И.А. Семёник, А.О. Чеботарь, С.Н. Рябцева, С.А. Гузов

Характер воспалительной реакции в лёгочной паренхиме пациентов с разным клиническим течением COVID-19

66

Reviews and problem articles**E.L. Borovikov, A.M. Dzyadzko**

The features of anesthetic management and perioperative care of patients undergoing adrenalectomy for pheochromocytoma (literature review)

O.G. Zharikov, A.A. Litvin, A.V. Zharikova

Realities and prospects of development an artificial intelligence in medicine

O.V. Murashko, A.S. Podgornaya, A.Yu. Zakharko

Prevention and treatment of pelvic floor dysfunction (literature review)

M.V. Linkou, Zh.M. Kozich, N.N. Usova

Paraproteinemic polyneuropathies in patients with plasma cell neoplasms

O.P. Lohinava, N.I. Shevchenko, E.L. Gasich

Factors and causes of cervical cancer (literature review)

Medical-biological problems**K.N. Buzdalkin, E.K. Nilova**

In situ estimation of the air volumetric activity

I.V. Veyalkin, V.A. Rozhko, S.N. Nikonovich, O.I. Zubets, V.B. Masyakin, V.N. Bortnovsky

Analysis of the dynamics of the incidence of malignant neoplasms in the Republic of Belarus before and after the Chernobyl disaster

M.A. Korneeva, I.A. Siamionik, A.O. Chabatar, S.N. Rjabtseva, S.A. Guзов

Character of inflammatory response in pulmonary parenchyma of patients with different clinical courses of COVID-19

С.П. Новицкая, Е.А. Щурова, Н.В. Чуешова, В.М. Щемелев

Содержание провоспалительных цитокинов в ткани тимуса мышей в условиях хронического воздействия электромагнитного поля низкой интенсивности 73

В.И. Сильвистрович, А.А. Лызиков, Ю.И. Ярец

Доклинический этап испытания новых раневых покрытий в эксперименте на животных: динамика раневого заживления и уровни факторов роста 79

S.P. Navitskaya, E.A. Shchurova, N.V. Chueshova, V.M. Schemelev

Content of pro-inflammatory cytokines in mice thymus tissue under conditions of chronic exposure to low-intensity electromagnetic field

V.I. Silvistrovich, A.A. Lyzikov, Yu.I. Yarets

Preclinical stage of testing new wound dressings in an animal experiment: dynamics of wound healing and the levels of growth factors

Клиническая медицина

К.В. Левченко, В.М. Мицура

Прогнозирование летального исхода у пациентов с пневмонией, вызванной карбапенемрезистентной *Klebsiella pneumoniae* 89

Н.В. Матиевская, П.И. Абянова, Ю.П. Красько

Гастроинтестинальные проявления и детекция РНК SARS-CoV-2 в ректальном мазке у детей с инфекцией COVID-19 95

K.V. Levchenko, V.M. Mitsura

Prediction of fatal outcome in patients with pneumonia caused by carbapenem-resistant *Klebsiella pneumoniae*

N.V. Mاتيyeuskaya, P.I. Abianova, Y.P. Krasko

Gastrointestinal manifestations and detection of SARS-CoV-2 rna in rectal swab in children with COVID-19

Обмен опытом

А.В. Доманцевич, В.А. Доманцевич, С.В. Шиманец

Случай двустороннего нетравматического заднего переломовывиха головок плечевых костей 101

A.V. Domantsevich, V.A. Domantsevich, S.V. Shimanets

Case of bilateral non-traumatic posterior fracture-dislocation of humeral heads

СОДЕРЖАНИЕ ПРОВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЦИТОКИНОВ В ТКАНИ ТИМУСА МЫШЕЙ В УСЛОВИЯХ ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», г. Гомель, Беларусь

Тимус, являясь центральным, или первичным лимфоидным органом иммунной системы, играет важнейшую роль в создании и поддержании подходящей микросреды для осуществления дифференцировки предшественников Т-лимфоцитов в иммунокомпетентные клетки, а также отборе и дифференцировке Т-клеток, интеграции различных популяций тимоцитов и макрофагов для реализации иммунного ответа. Всё это определяет чувствительность тимуса к воздействиям различного рода стресс-факторов, например, таких как ионизирующее излучение, стресс, вредные привычки, и т.д. Высокие темпы развития и внедрения в повседневную жизнь устройств беспроводной передачи данных — сотовой связи, Wi-Fi, — которые являются источником радиочастотных электромагнитных полей, ставят перед учёными крайне важную задачу оценки возможности неблагоприятного воздействия данного вида излучения на здоровье человека и, в частности, на его иммунную систему.

Целью настоящей работы являлся анализ содержания провоспалительных цитокинов ИЛ-1 β , ФНО- α и ИФ- γ в ткани тимуса мышей, подвергнутых хроническому воздействию электромагнитного поля (ЭМП) Wi-Fi-устройства (2,45 ГГц, ППЭ-0,46 $\pm$ 0,37 мкВт/см², 24 ч/сутки, ежедневно) начиная с 30 дневного возраста и до достижения ими 7 месяцев.

Выявленные изменения в содержании провоспалительных цитокинов в ткани тимуса мышей, подвергнутых хроническому воздействию низкоинтенсивного ЭМП, указывают на возможность данного фактора оказывать влияние на морфофункциональную активность тимуса, включая молекулярные механизмы, лежащие в основе дифференцировки и миграции Т-клеток, что может привести к изменению регуляторных функций Т-клеток и их роли в иммунной системе.

Ключевые слова: электромагнитное поле, Wi-Fi, тимус, цитокины, мыши

Введение

Тимус, выступая одним из центральных органов иммунной системы, является чувствительным звеном к стресс-факторам техногенной природы. Одним из таких факторов выступает электромагнитное излучение (ЭМИ), уровень которого продолжает расти в связи с многоцелевым применением источников ЭМИ. Внедрение новых технических средств, создающих радиочастотные электромагнитные поля (РЧ ЭМП), способствует увеличению масштаба и интенсивности их воздействия на человека в частности, и биосферу в целом [1]. Расту-

щее беспокойство о возможных негативных последствиях воздействия ЭМП устройств беспроводной связи подтверждается увеличивающимся количеством исследований в этом направлении. Большое количество работ направлено на изучение влияния РЧ ЭМП на морфометрические показатели тимуса. В них показана стимуляция иммунного ответа на основании данных о повышении пролиферативной активности Т-клеток, но практически отсутствуют экспериментальные данные, объясняющие механизм биологического действия данного вида излучения [1–2].

Тимус, являясь центральным, или первичным лимфоидным органом иммунной системы, играет важнейшую роль в создании и поддержании подходящей микросреды для осуществления антигеннезависимой дифференцировки костномозговых предшественников Т-лимфоцитов в иммунокомпетентные клетки, а также отборе и дифференцировке Т-клеток, интеграции различных популяций тимоцитов и макрофагов для реализации иммунных ответов [3–5].

Чувствительность тимуса определяется его микросредой, которая представляет собой сложную сеть взаимодействий, включающую нелимфоидные клетки, представленные эпителиальными клетками тимуса, цитокинами (ЦК), хемокинами, элементами внеклеточного матрикса, матриксными металлопротеиназами и другими растворимыми белками. Эпителиальная сеть тимуса является основным компонентом его микроокружения, как морфологически, так и фенотипически ограничивающим гетерогенные области в долях тимуса и выполняющим важную роль на определённых стадиях созревания Т-клеток [6]. Кроме того, по функциональным параметрам различают поддерживающие клетки и секреторные клетки, являющиеся источником тимических гормонов и гуморальных факторов, таких как хемокины и ЦК [7].

ЦК служат молекулярными посредниками между иммунными клетками и, как известно, играют важную роль в функционировании тимуса [4, 8]. Их роль заключается в обеспечении конститутивных процессов, таких как миграция и развитие тимоцитов, регуляция количества клеток в клеточных популяциях. Кроме того, большое количество ЦК, вырабатываемых тимусом, поддерживают тонкий баланс между пролиферацией, созреванием, активацией, дифференцировкой и подавлением апоптоза тимоцитов. Почти все типы тимических клеток могут вырабатывать ЦК, но основными продуцентами являются эпителиальные клетки и тимоциты. Показано, что ЦК действуют как аутокринным, так и паракринным путём, а их воздействие

ограничено внутренним пространством органа. Эффективность реализации эффектов ЦК определяется экспрессией рецепторов на поверхности клеток тимуса [9].

В связи с вышеизложенным, *целью* настоящей работы явилось изучение содержания некоторых провоспалительных ЦК в ткани тимуса мышей, подвергнутых хроническому воздействию электромагнитного поля оборудования Wi-Fi (2,45 ГГц).

Материал и методы исследования

Исследования выполнены на 56 мышах линии Af обоего пола в возрасте одного месяца на начало эксперимента. Все животные были разделены на четыре группы: 1. Контроль самцы (n=14) — не подвергавшиеся воздействию ЭМП; 2. Контроль самки (n=14) — не подвергавшиеся воздействию ЭМП; 3. Wi-Fi самцы (n=14) — животные, подвергавшиеся воздействию ЭМП устройства Wi-Fi; 4. Wi-Fi самки (n=14) — животные, подвергавшиеся воздействию ЭМП устройства Wi-Fi. Облучение животных проводили на протяжении 6 месяцев, начиная с возраста 30 дней. Таким образом, на момент окончания эксперимента возраст животных составлял в среднем 7 месяцев.

Исследования проводились в виварии на базе Государственного научного учреждения «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси» после одобрения Этическим комитетом данной организации (протокол заседания №3 от 24.02.2021 г.). Животные как контрольной, так и экспериментальной групп содержались в соответствии с принципами Надлежащей лабораторной практики (OECD Guide 1:1998, IDT, ГОСТ 33044-2014). Манипуляции на животных проводились с соблюдением положений «Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей» (Directive 2010/63/EU).

Источником ЭМП являлся маршрутизатор Netis WF2780. Роутер размещался в центральной части рабочей зоны (1,2×0,8 м), в которой находилось 4 пластиковые клетки с животными. Облучение проводилось на

частоте 2,45 ГГц 24 часа в день 7 дней в неделю. Расстояние от источника излучения (роутер) до клетки составляло 20 см. Во время облучения осуществлялся дистанционный контроль наличия электромагнитного поля. Плотность потока электромагнитной энергии (ППЭ) измерялась прибором ПЗ-41 (СКБ Питон, РФ) в восьми точках на расстоянии 20 см от источника облучения и не превышала 5,83 мкВт/см², составляя в среднем $0,46 \pm 0,37$ мкВт/см².

По окончании воздействия животных контрольной (n=28) и экспериментальной (n=28) групп соответствующего пола наркотизировали (эфирный наркоз), подвергали декапитации, выделяли тимус с немедленной глубокой заморозкой в жидком азоте.

В гомогенатах ткани проводили иммуноферментный анализ содержания интерлейкина-1 бета (ИЛ-1 β), фактора некроза опухолей-альфа (ФНО- α), интерферона-гамма (ИФ- γ) с помощью наборов Elabscience (Китай). Измерение содержания выполняли на микропланшетном ридере Tecan Infinite M200 (Tecan Ltd., Швейцария). Расчёт содержания ЦК проводили на грамм ткани.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием пакета статистических программ Graph Pad Prism 8.3. Значимость наблюдаемых отличий двух независимых групп по количественному признаку оценивали с помощью непараметрического критерия Манна — Уитни. Данные представлены как медиана (Me — 50-й процентиль), интерквартильный интервал (Q₁; Q₃) и размах min — max. Различия считали статистически значимыми при вероятности ошибки менее 5% ($p < 0,05$).

Результаты исследования

По данным некоторых исследователей, основными продуцентами ЦК в тимусе являются эпителиальные клетки тимуса и тимоциты [8, 10]. Основная роль ЦК в тимусе — медиаторная, обеспечивающая межклеточную кооперацию, позитивную и негативную иммунорегуляцию, а также регуляцию конститутивных процессов, протекающих в тимусе.

Известно, что ИЛ-1 опосредует широкий спектр воспалительных и кроветворных процессов. Известный в первую очередь как воспалительный агент, он, однако, оказывает разнообразное воздействие на многочисленные типы клеток. Помимо хорошо известной функции, связанной с воспалением, ИЛ-1 также играет важную роль в развитии Т-клеток. Известно, что взаимодействие между стромальными клетками и тимоцитами может быть опосредовано ИЛ-1. Следует отметить, что помимо воздействия на тимоциты, ИЛ-1 также индуцирует синтез ДНК и морфологические изменения в «клетках-няньках» тимуса и стимулирует эпителиальные клетки тимуса к выработке других ЦК, таких как ИЛ-6, ИЛ-8, гранулоцитарно-макрофагальный колониестимулирующий фактор и ингибирующий лейкемию фактор. Данные исследования показывают, что ИЛ-1, вырабатываемый стромальными клетками тимуса, служит аутокринным/паракринным фактором, регулирующим выработку ЦК в тимусе [10].

Анализ полученных данных о содержании провоспалительного ЦК ИЛ-1 β в ткани тимуса мышей, подвергнутых воздействию ЭМП показал, что по истечении 6 месяцев облучения у самцов и самок мышей линии Af происходит статистически значимое снижение содержания данного маркера на 28,4% ($p=0,048$) и на 16,2% ($p=0,005$) соответственно (таблица 1).

Учитывая широкий диапазон биологической активности ИЛ-1, включающий такие иммуномодулирующие эффекты, как костимуляция тимоцитов, индукция продукции ЦК, экспрессия рецептора ИЛ-2 и хемотаксис Т-лимфоцитов, можно предположить, что изменение его содержания в ткани тимуса приведёт к изменениям в процессах формирования Т-клеточного звена иммунитета. Также известно, что ИЛ-1 индуцирует экспрессию генов большинства других ЦК и факторов роста. Эффект ИЛ-1 на кроветворные стволовые клетки включает костимуляцию активности колониестимулирующего фактора [11].

Таблица 1 — Содержание ИЛ-1 β (нг/г) в ткани тимуса самцов и самок мышей, подвергнутых хроническому воздействию ЭМП устройства Wi-Fi

Группы животных	Контроль	Wi-Fi	p
самцы	4807,4 (3586,1; 5300,7)	3440,3 (2199,0; 4789,4)	0,048
самки	6191,3 (5256,5; 7078,2)	5190,4 (2846,9; 5727,3)	0,005

Примечания: p — уровень значимых различий к группе контроль при $p \leq 0,05$ (критерий Манна — Уитни).

При оценке содержания ФНО- α установлено статистически значимое снижение его содержания на 45,0% ($p=0,04$) в ткани тимуса облученных самцов, тогда как у самок данные изменения были незначительными. При этом необходимо отметить тенденцию к уменьшению содержания изучаемого показателя (таблица 2).

Согласно мировым исследованиям, ФНО- α вырабатывается иммунокомпетентными клетками и является многофункциональным провоспалительным ЦК с противоположным эффектом: с одной стороны участвует в иммунном ответе, стимулируя воспалительный ответ, секрецию ЦК и продуцирование белков, предотвращающих апоптоз, а с другой — включает сигнальную трансдукцию, приводящую к гибели клеток [12, 13]. В ткани тимуса ФНО- α играет важную роль в контроле выработки и миграции тимоцитов *in vivo*. ФНО- α регулирует

Таблица 3 — Содержание ИФ- γ (нг/г) в ткани тимуса самцов и самок мышей, подвергнутых хроническому воздействию устройства Wi-Fi

Группы животных	Контроль	Wi-Fi	p
самцы	9509,7 (8908,7; 10271,0)	9876,6 (7528,9; 11248,0)	0,958
самки	13313,0 (8564,0; 13574)	12329,0 (8448,1; 15889,0)	0,876

Примечания: p — уровень значимых различий к группе контроль при $p \leq 0,05$ (критерий Манна — Уитни).

Таблица 2 — Содержание ФНО- α (нг/г) в ткани тимуса самцов и самок мышей, подвергнутых хроническому воздействию устройства Wi-Fi

Группы животных	Контроль	Wi-Fi	p
самцы	3267,8 (2304,4; 4403,2)	1796,9 (1518,9; 2858,3)	0,044
самки	5561,2 (3694,3; 7354,1)	4737,2 (3803,0; 5702,7)	0,454

Примечания: p — уровень значимых различий к группе контроль при $p \leq 0,05$ (критерий Манна — Уитни).

дифференцировку тимоцитов, воздействуя, в первую очередь, на некоторые из ранних предшественников Т-лимфоцитов, вызывая апоптоз и пролиферацию незрелых Т-клеток в присутствии ИЛ-7. Кроме того, ФНО- α и ИЛ-1 участвуют в качестве кофакторов в индукции дифференцировки и созревания CD4 — CD8-тимоцитов. ФНО- α также стимулирует выработку ИЛ-6 и усиливает апоптоз CD4+CD8+ клеток, вызванный глюкокортикоидами.

В работе Juana Gonzalez Baseta и Osias Stutman (2000) экспериментально подтверждена регуляторная роль ФНО- α и установлено, что отсутствие передачи сигналов ФНО- α *in vivo* у мышей с нокаутированным рецептором ФНО- α сопровождается значительной гипертрофией тимуса, выражающейся в общем увеличении количества тимоцитов в тимусе [12].

В нашем исследовании при анализе данных о содержании ИФ- γ в ткани тимуса самцов и самок, подвергнутых хроническому воздействию низкоинтенсивного ЭМП не было выявлено значительных отклонений от контрольных значений (таблица 3).

Известно, что интерферон (ИФ- γ) обладает противовирусной, противоопухолевой и иммуномодулирующей функциями и играет важную роль в координации врожденного и адаптивного иммунного ответа, тогда как в ткани тимуса ИФ- γ является паракринным ЦК, индуцируя активацию эпителиальных клеток тимуса. К тому же, показано, что ИФ- γ активирует Т-клетки и

стимулирует секрецию ими ИЛ-6, что приводит к повышению поверхностной экспрессии мембранных белков [4].

Таким образом, в нашем исследовании впервые продемонстрировано влияние хронического воздействия ЭМП устройства Wi-Fi на содержание провоспалительных ЦК ИЛ-1 β и ФНО- α в тимусе. Учитывая их роль в антигеннезависимой регуляции дифференцировки, созревании и миграции тимоцитов, можно предположить, что данное воздействие может являться фактором, приводящим к нарушению нормального функционирования тимуса и, как итог, к снижению иммунной реактивности организма. Дальнейшие исследования в данном направлении необходимы для уточнения механизмов повреждающего действия низкоинтенсивного электромагнитного излучения систем беспроводной связи на иммунную систему, что является необходимым критерием для актуализации современных подходов в гигиеническом нормировании с позиции биологической обоснованности.

Заключение

Выявленные изменения в содержании провоспалительных ЦК в ткани тимуса мышей, подвергнутых хроническому воздействию низкоинтенсивного ЭМП, указывают на способность данного фактора оказывать влияние на морфофункциональную активность тимуса, включая молекулярные механизмы, лежащие в основе дифференцировки и миграции Т-клеток, что может привести к изменению регуляторных функций Т-клеток и их роли в иммунной системе. Дальнейшие исследования в данном направлении позволят уточнить механизм повреждающего действия низкоинтенсивного электромагнитного поля устройств подвижной связи на иммунную систему.

Библиографический список

1. Григорьев, Ю.Г. Мобильная связь и электромагнитная опасность для населения – современная оценка риска и прогноз на ближайшую перспек-

тиву / Ю.Г. Григорьев // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2018. – Т. 58, № 5. – С. 548–549.

2. Шибкова, Д.З. Эффекты влияния электромагнитного поля радиочастотного диапазона на органы кроветворения у экспериментальных животных / Д.З. Шибкова, Т.В. Шилкова, А.В. Овчинникова // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. – 2019. – Т. 63, №1. – С. 69–76.

3. The biological effects of compound microwave exposure with 2.8 GHz and 9.3 GHz on immune system: transcriptomic and proteomic analysis / C. Yao [et al.] // Cells. – 2022. – Vol. 11, №23. – P. 3849.

4. Современные представления о морфологии тимуса / Д. В. Бреусенко [и др.] // Педиатр. – 2017. – Т. 8, №5. – С. 91–95.

5. Thymic function in the regulation of T cells, and molecular mechanisms underlying the modulation of cytokines and stress signaling (Review) / F. Yan [et al.] // Molecular medicine reports. – 2017. – Vol. 16, №5. – P. 7175–7184.

6. Волков, В.П. Функциональная иммуноморфология тимуса в аспекте онтогенеза / В.П. Волков // Инновации в науке. – 2015. – № 8(45). – С. 91–99.

7. Gameiro, J. The thymus microenvironment in regulating thymocyte differentiation / J. Gameiro, P. Nagib, L. Verinaud // Cell adhesion & migration. – 2010. – Vol. 4, №3. – P. 382–390.

8. Морфология тимуса и особенности его клеточного состава при экспериментальном остром и хроническом язвенном колите / Е. А. Постовалова [и др.] // Архив патологии. – 2019. – Т. 81, №5. – С. 53–63.

9. Yarilin, A.A. Cytokines in the thymus: production and biological effects. / A.A. Yarilin, I.M. Belyakov // Current Medicinal Chemistry. – 2004. – Vol. 11, №4. – P. 447–464.

10. Довгуша, В.В. Влияние естественных и техногенных электромагнитных полей на безопасность жизнедеятельности / В.В. Довгуша, М.Н. Тихонов, Л.В. Довгуша // Экология человека. – 2009. – №. 12. – С. 3–9.

11. Tseng, Y.H. Transcriptional regulation of interleukin-1 β gene by interleukin-1 β itself is mediated in part by Oct-1 in thymic stromal cells / Y.H. Tseng, L.A. Schuler // Journal of Biological Chemistry. – 1998. – Vol. 273, №20. – P. 12633–12641.

12. Белова, О.В. Роль цитокинов в иммунологической функции кожи / О.В. Белова, В.Я. Арион, В.И. Сергиенко // Иммунопатология, аллергология, инфектология. – 2008. – № 1. – С. 41–55.

13. Тополянская, С.В. Фактор некроза опухоли-альфа и возраст-ассоциированная патология / С.В. Тополянская // Архив внутренней медицины. – 2020. – Т. 10, №6 (56). – С. 414–421.

14. Baseta, J.G. TNF regulates thymocyte production by apoptosis and proliferation of the triple negative (CD3– CD4– CD8–) subset / J.G. Baseta, O. Stutman // The Journal of Immunology. – 2000. – Vol. 165, №10. – P. 5621–5630.

S.P. Navitskaya, E.A. Shchurova, N.V. Chueshova, V.M. Schemelev

**CONTENT OF PRO-INFLAMMATORY CYTOKINES IN MICE
THYMUS TISSUE UNDER CONDITIONS OF CHRONIC EXPOSURE
TO LOW-INTENSITY ELECTROMAGNETIC FIELD**

The thymus, being the central or primary lymphoid organ of the immune system, plays a vital role in creating and maintaining a suitable microenvironment for the differentiation of T-lymphocyte precursors into immunocompetent cells, as well as the selection and differentiation of T-cells, the integration of various populations of thymocytes and macrophages to implement an immune response. All this determines the sensitivity of the thymus to the effects of various types of stress factors, such as ionizing radiation, stress, bad habits, etc. The high rate of development and introduction into everyday life of wireless data transmission devices — cell phones, Wi-Fi, which are a source of radio frequency electromagnetic fields, pose an extremely important task for scientists to assess the possibility of adverse effects of this type of radiation on human health and, in particular, on the immune system.

The aim of this work was to analyze the content of proinflammatory cytokines — IL-1 β , TNF- α and IFN- γ in the thymus tissue of mice chronically exposed to the electromagnetic field (EMF) of a Wi-Fi device (2,45 GHz, PD= $0,46 \pm 0,37 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, 24 h/day, daily) from the age of 30 days until they reach 7 months.

The identified changes in the content of proinflammatory cytokines in the thymus tissue of mice chronically exposed to low-intensity EMF indicate the possibility of this factor to influence the morphofunctional activity of the thymus, namely its signaling and transcriptional functions, including the molecular mechanisms underlying the differentiation and migration of T cells, which can lead to a change in the regulatory functions of T cells and their role in the immune system.

Key words: *electromagnetic field, Wi-Fi, thymus, cytokines, mice*

Поступила 06.02.25