



Капустин И.В.¹, Тульская Е.А.², Бляхер М.С.¹, Сандалова С.В.¹, Одинцов Е.Е.¹,
Котелева С.И.¹, Рамазанова З.К.¹, Фёдорова И.М.¹

Влияние *in vitro* электромагнитного излучения мобильного телефона на антиген-специфическую активность Т-лимфоцитов крови у людей, перенёвших COVID-19

¹ФБУН «Московский научно-исследовательский институт микробиологии и эпидемиологии имени Г.Н. Габричевского» Роспотребнадзора, 125212, Москва, Россия;

²ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Иммунная система относится к числу объектов, наиболее чувствительных к воздействию электромагнитных полей. Однако мнение о том, что влияние электромагнитного излучения (ЭМИ) радиочастотного диапазона на клетки, ткани и системы живых организмов отчётливо и существенно, не является общепринятым.

Цель работы: изучить *in vitro* влияние ЭМИ на активность Т-клеток иммунной памяти против вируса SARS-CoV-2 при использовании режима облучения, соответствующего обычному пользованию мобильным телефоном.

Материалы и методы. Испытуемое оборудование — мобильный телефон с параметрами: SAR на тело 1,18 Вт/кг, SAR на голову 1,25 Вт/кг. В телефоне активировали максимально возможное количество функций (bluetooth, Wi-Fi). Объектом исследования служили образцы крови 46 людей, перенёвших COVID-19 (22 человека болели в период с ноября 2020 г. по июль 2021 г., 24 — в период с декабря 2022 г. по март 2023 г.). Антигенную стимуляцию Т-лимфоцитов проводили в полистироловых планшетах из ИФА-тест-систем российского производства, предназначенных для определения концентрации IgG-антител к SARS-CoV-2. Для оценки влияния ЭМИ мобильного телефона каждый образец клеток (интактный или АГ-стимулированный) делили на две порции. Одну порцию инкубировали в течение четырёх часов в присутствии ЭМИ мобильного телефона, вторую — без него. Определение концентрации интерферона-гамма (IFN-γ) иммуноферментным методом в культуральных супернатантах проводили на тест-системах той же фирмы.

Результаты. Показано, что влияние ЭМИ выражается в значимом ($p < 0,05$) снижении активности Т-клеток памяти, которая характеризовалась снижением продукции IFN-γ при распознавании антигена облучёнными клетками. Только у 4 пациентов из 46 при антигенной стимуляции лимфоцитов под влиянием ЭМИ мобильного телефона обнаружено повышение активности Т-клеток памяти. Медианная величина снижения продукции IFN-γ составила $151,3 \pm 80,8$ пг/мл или $66,6 \pm 11,4\%$ от исходного уровня антиген-стимулированной продукции IFN-γ лимфоцитами пациентов.

Ограничения исследования: использование подхода *in vitro*.

Заключение. Дальнейшее исследование влияния ЭМИ мобильного телефона на АГ-стимулированную активность лимфоцитов у людей, перенёвших COVID-19, позволит определить, связана ли повышенная чувствительность АГ-специфических клеток к ЭМИ с нарушениями иммунной регуляции вследствие болезни, и установить, может ли ЭМИ отрицательно влиять на АГ-специфические Т-клетки у здоровых людей.

Ключевые слова: антиген-специфические Т-лимфоциты; IFN-γ, SARS-CoV-2; электромагнитное излучение мобильного телефона

Соблюдение этических стандартов. Все обследованные дали информированное добровольное согласие на участие в исследовании, одобренном Этическим комитетом ФБУН МНИИЭМ им. Г.Н. Габричевского (протокол № 41 от 10.12.2020 г.).

Для цитирования: Капустин И.В., Тульская Е.А., Бляхер М.С., Сандалова С.В., Одинцов Е.Е., Котелева С.И., Рамазанова З.К., Фёдорова И.М. Влияние *in vitro* электромагнитного излучения мобильного телефона на антиген-специфическую активность Т-лимфоцитов крови у людей, перенёвших COVID-19. *Гигиена и санитария*. 2026; 105(4): 350–355. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-4-350-355> <https://elibrary.ru/pshpgy>

Для корреспонденции: Капустин Иван Всеволодович, e-mail: vano-kapusta@inbox.ru

Вклад авторов: Капустин И.В. — анализ экспериментальных данных, оформление иллюстраций; Тульская Е.А. — анализ данных литературы, ведение базы данных; Бляхер М.С. — концепция и дизайн исследования, редактирование; Сандалова С.В. — анализ данных литературы, сбор материала; Одинцов Е.Е. — сбор материала, редактирование; Котелева С.И. — культуральные исследования, написание текста; Рамазанова З.К. — сбор материала; Фёдорова И.М. — статистическая обработка, написание текста. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование проведено за счёт бюджетного финансирования.

Поступила: 02.04.2025 / Поступила после доработки: 24.11.2025 / Принята к печати: 24.03.2026 / Опубликовано: 18.05.2026

Ivan V. Kapustin¹, Elena A. Tulskeya², Mariya S. Blyakher¹, Svetlana V. Sandalova¹, Evgeny E. Odintsov¹, Svetlana I. Koteleva¹, Zarema K. Ramazanova¹, Irina M. Fedorova¹

Influence of the *in vitro* effect of electromagnetic radiation from a mobile phone on the antigen-specific activity of blood T-lymphocytes in people who have had COVID-19

¹G.N. Gabrichevsky Moscow Research Institute of Epidemiology and Microbiology, Moscow, 125212, Russian Federation;

²Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, 141014, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The immune system is one of the objects most sensitive to the effects of the electromagnetic fields. At the same time, the opinion that the effect of radio frequency EMR on cells, tissues, and systems of living organisms is shown at the present stage as distinct and significant is not generally accepted.

The aim of the work was to study the effect of EMR on the activity of immune memory T cells against the SARS-CoV-2 virus *in vitro* when using an irradiation regime corresponding to the usual use of a mobile phone.

Materials and methods. The test equipment is a mobile phone with parameters: SAR for the body 1.18 W/kg, for the head 1.25 W/kg, the maximum possible number of functions (bluetooth, Wi-Fi) are connected to the phone.

The object of the research was blood samples from forty six people who had suffered from COVID-19 (22 people were ill from November 2020 to July 2021 and 24 were ill from December 2022 to March 2023).

Polystyrene plates from the SARS-CoV-2-IgG-ELISA test systems were used for antigenic stimulation (produced by JSC Vector-Best, Russia). To assess the effect of mobile phone EMR, each cell sample (intact or AG-stimulated) was divided into 2 portions. One portion was incubated for 4 hours in the presence of an EMP mobile phone, the second without it. Next, the concentration of interferon-gamma (IFN- γ) in the filler fluid was determined by the ELISA method on test systems from the same company.

Results. The effect of EMR has been shown to be expressed in a significant ($p < 0.05$) decrease in the activity of memory T cells, which, after exposure to EMR, produce IFN- γ weaker during antigen recognition. Only in 4 out of 46 patients, increased activity of memory T cells was detected during antigenic stimulation of lymphocytes in the presence of mobile phone EMR. The average decrease in IFN- γ production was 151.3 ± 80.8 pg/mL or $66.6 \pm 11.4\%$ of the baseline level of antigen-stimulated IFN- γ production by patient lymphocytes.

Limitations: the use of an *in vitro* approach.

Conclusion. Further investigation of the effect of electromagnetic radiation from a mobile phone on AG-induced lymphocyte activity in people who have suffered from COVID-19 will determine whether the hypersensitivity of AG-specific cells to EMR is associated with impaired immune regulation due to the disease, or EMR can adversely affect AG-specific T cells in healthy people.

Keywords: antigen specificity; T-lymphocytes; SARS-CoV-2; mobile phone EMR

Compliance with ethical standards. All T-donors gave informed consent to participate in the study, approved by the Ethics Committee of the G.N. Gabrichevsky Moscow Research Institute of Epidemiology and Microbiology (Protocol No. 41 dated 12/10/2020).

For citation: Kapustin I.V., Tulskeya E.A., Blyakher M.S., Sandalova S.V., Odintsov E.E., Koteleva S.I., Ramazanova Z.K., Fedorova I.M. Influence of the *in vitro* effect of electromagnetic radiation from a mobile phone on the antigen-specific reactivity of blood T-lymphocytes in people who have suffered COVID-19. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal.* 2026; 105(4): 350–355. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2026-105-4-350-355> <https://elibrary.ru/pshpgy> (In Russ.)

For correspondence: Ivan V. Kapustin, e-mail: vano-kapusta@inbox.ru

Contribution: Kapustin I.V. — analysis of experimental data, design of illustrations; Tulskeya E.A. — literature data analysis, database maintenance; Blyakher M.S. — research concept and design, editing; Sandalova S.V. — literature data analysis, material collection; Odintsov E.E. — material collection, editing; Koteleva S.I. — cultural research, text writing; Ramazanova Z.K. — collection of material; Fedorova I.M. — statistical processing, text writing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The study had no sponsorship.

Received: April 2, 2025 / Revised: November 24, 2025 / Accepted: March 24, 2026 / Published: May 18, 2026

Введение

Актуальность оценки влияния электромагнитного излучения (ЭМИ) на функции биологических систем не снижается, несмотря на санитарно-эпидемиологические требования, предъявляемые к бытовым приборам, офисной технике и др. Причина заключается в широком и постоянно возрастающем внедрении техногенных источников ЭМИ в жилые помещения [1].

Иммунная система относится к числу объектов, наиболее чувствительных к воздействию ЭМИ. Исследованиям характера и интенсивности этого влияния посвящены обзоры [2, 3] и оригинальные статьи [4–8]. Однако мнение о том, что влияние ЭМИ радиочастотного диапазона на клетки, ткани и системы живых организмов отчётливо и существенно, не является общепринятым [5, 9].

Ранее нами была разработана экспериментальная модель, на базе которой проведена количественная оценка влияния ЭМИ мобильного телефона на фагоцитарную активность нейтрофилов человека [10] и на активацию лимфоцитов митогенами *in vitro* [11]. При этом существует ещё

один важный аспект функционирования иммунной системы — активность Т-клеток иммунной памяти. Эти клетки играют наиболее значительную роль в защите организма от вирусных инфекций, но методы их исследования, трудоёмкие и дорогостоящие [12–14], ограничивают экспериментальную оценку воздействия ЭМИ и других физических факторов на антиген-специфические Т-лимфоциты.

Цель исследования заключалась в применении собственного запатентованного способа определения специфического клеточного иммунного ответа на антигены коронавируса (SARS-CoV-2) [15] для оценки *in vitro* влияния ЭМИ мобильного телефона на Т-клетки памяти против SARS-CoV-2 у лиц, перенёсших COVID-19.

Материалы и методы

Испытуемое оборудование — мобильный телефон с параметрами SAR на тело 1,18 Вт/кг, SAR на голову 1,25 Вт/кг; в телефоне активировали максимально возможное количество функций (bluetooth, Wi-Fi). Объектом исследований служили образцы крови 46 людей, перенёсших COVID-19

Таблица 1 / Table 1

Изменение продукции IFN- γ при ФГА-стимуляции выделенных лимфоцитов у 22 людей, перенёсших COVID-19 в 2020–2021 гг., в зависимости от воздействия ЭМИ мобильного телефона на культуру клеток [Me (Q₁; Q₃)]

Changes in IFN- γ production during PHA stimulation of isolated lymphocytes in 22 people who had COVID-19 in 2020–2021, depending on the effect of mobile phone EMR on cell culture [Me (Q₁; Q₃)]

Наличие ФГА-стимуляции The presence of PHA stimulation	Продукция IFN- γ выделенными лимфоцитами (пг/мл) IFN- γ production by isolated lymphocytes (pg/mL)	
	без воздействия ЭМИ without EMR exposure	под воздействием ЭМИ under the influence of EMR
Без стимуляции / Without stimulation	4.9 (1.1; 23.5)	2.0 (1.0; 7.0)
ФГА-стимуляция / PHA stimulation	354.5 (153.8; 1040.0)	105.0 (39.0; 329.0)*
Δ	418.0 (121.0; 817.0)	98.0 (39.0; 327.0)*

Примечание. Δ — разница между концентрацией IFN- γ в супернатантах митоген-стимулированных клеток и нестимулированных; * — статистически достоверное отличие от показателя без воздействия ЭМИ мобильного телефона по критерию *U* Манна — Уитни при $p < 0,05$.

Note: Δ — is the difference between the IFN- γ concentration in the supernatants of mitogen-stimulated cells and unstimulated cells; * — statistically significant difference from the value without exposure to mobile phone EMR according to the Mann — Whitney *U*-test at $p < 0.05$.

(22 человека болели в период с ноября 2020 г. по июль 2021 г., 24 перенесли болезнь в лёгкой либо среднетяжёлой форме в период с декабря 2022 г. по март 2023 г.). Диагностика COVID-19 и терапия пациентов проводились в поликлиниках и клиниках Москвы. Все доноры дали информированное согласие на участие в исследовании, одобренном Этическим комитетом ФБУН МНИИЭМ им. Г.Н. Габричевского (протокол № 41 от 10.12.2020 г.). Переболевшие COVID-19 обследовались через 1–1,5 мес после перенесённой болезни.

Выделенные из гепаринизированной венозной крови человека мононуклеарные клетки, содержащие 85–95% лимфоцитов, вносили в лунку в рабочей концентрации $2,5 \cdot 10^6$ /мл и инкубировали при температуре плюс 37 °C и 5% CO₂ в течение 20 ч. Для антигенной стимуляции (АГ-стимуляции) использовали полистироловые планшеты из наборов, предназначенных для ИФА-обнаружения антител к SARS-CoV-2 (SARS-CoV-2-IgG-ИФА-БЕСТ (АО «Вектор-Бест», Россия), или ИФА-набор для выявления IgG-антител к цельновирионному инактивированному SARS-CoV-2 (ФБУН ГНЦ «Вектор», РЗН № 2020/10017 от 10.04.2020 г.)). Митогенную стимуляцию проводили внесением в лунку 20 мкл фитогемагглютинаина Р в рабочей концентрации. Процедура стимуляции подробно описана в статье [16]. В контрольной пробе мононуклеары инкубировались без антигена.

Для оценки влияния ЭМИ мобильного телефона каждый образец клеток (интактный или АГ-стимулированный) делили на две порции. Одну порцию инкубировали в течение четырёх часов при воздействии ЭМИ мобильного телефона, вторую — без него. Культуральные планшеты находились в разных термостатах в двух разных комнатах. На телефон выполняли звонки каждые 10 мин в течение 4 ч (всего 25 звонков), при этом динамики и вибрация были отключены. Через 4 ч телефон убирали, общая продолжительность инкубации планшетов в термостате составляла 20 ч. По окончании периода антигенной стимуляции из лунок отбирали надосадочную жидкость, в которой определяли концентрацию интерферона-гамма (IFN- γ) и её изменение по сравнению с пробой без антигена.

Наличие в крови обследуемого Т-клеток памяти, способных распознавать антиген SARS-CoV-2 и активироваться в его присутствии, определялось повышением концентрации IFN- γ после АГ-стимуляции культуры выделенных клеток.

Статистический анализ результатов исследования выполнен с помощью программ Microsoft® Office Excel и GraphPad Prism 8. Достоверность различий оценивали с помощью непараметрического *U*-критерия Манна — Уитни для независимых выборок.

Результаты

Влияние ЭМИ мобильного телефона на активность Т-клеток памяти изучали в различные периоды пандемии COVID-19: в начальный период на территории Российской Федерации (2020–2021 гг.) и в период активной циркуляции омикрон-штамма (2022–2023 гг.).

Регистрацию активации вирус-специфических Т-клеток проводили по увеличению продукции ими IFN- γ , которое запускалось в момент распознавания антигена. Функциональный потенциал общего пула Т-лимфоцитов у тех же доноров оценивали по способности к митоген-индуцированной продукции IFN- γ (для индукции использован фитогемагглютинин Р (ФГА)).

Результаты изучения митоген-индуцированной активности клеток крови по продукции IFN- γ до и после воздействия ЭМИ мобильного телефона представлены в табл. 1, 2.

Результаты измерений показали, что медианные значения концентрации цитокина IFN- γ в супернатантах ФГА-стимулированных выделенных лимфоцитов при воздействии ЭМИ телефона на культуру клеток у людей, перенёсших COVID-19, статистически достоверно ниже, чем в супернатантах ФГА-стимулированных лимфоцитов, не подвергавшихся воздействию ЭМИ мобильного телефона.

Поскольку в разные периоды пандемии циркулировали различные штаммы вируса SARS-CoV-2, при изучении *in vitro* влияния ЭМИ мобильного телефона на выделенные лимфоциты переболевших людей статистическую обработку результатов на этапах наблюдения проводили отдельно (см. табл. 2).

Как видно из табл. 2, при культивировании лимфоцитов без антигена продукция ими IFN- γ практически не изменялась под воздействием ЭМИ мобильного телефона. Однако в присутствии антигенов вируса SARS-CoV-2 у лиц, перенёсших COVID-19, Т-клетки памяти через 1–1,5 мес после выздоровления распознавали специфический антиген *in vitro* и отвечали на стимуляцию повышенной продукцией IFN- γ . Экспозиция культурального планшета с мобильным телефоном в течение четырёх часов приводила к торможению активности Т-клеток памяти. Стимулированная антигеном вируса SARS-CoV-2 продукция IFN- γ у некоторых пациентов снижалась до 0.

В образцах супернатантов, собранных в 2020–2021 гг., при стимуляции антигеном медианная продукция IFN- γ в необлучённых пробах составляла 213 (64,3; 816) пг/мл, в то время как в образцах, находившихся под воздействием ЭМИ мобильного телефона, концентрация цитокина была в 3,7 раза ниже. Снижение активности Т-клеток памяти являлось статистически достоверным при $p = 0,0498$.

Таблица 2 / Table 2

Изменение продукции IFN- γ при антигенной стимуляции выделенных лимфоцитов, полученных от людей, перенёсших COVID-19, в зависимости от наличия воздействия ЭМИ мобильного телефона [Me (Q₁; Q₃)]

Changes in IFN- γ production during antigen stimulation of isolated lymphocytes obtained from people who have had COVID-19, depending on the presence of exposure to mobile phone EMR [Me (Q₁; Q₃)]

Период наблюдения Observation period	Продукция IFN- γ при стимуляции лимфоцитов антигенами SARS-CoV-2 (пг/мл) IFN- γ production upon stimulation of lymphocytes with SARS-CoV-2 antigens (pg/mL)			
	Без воздействия ЭМИ No EMR exposure		Под воздействием ЭМИ Under the influence of EMR	
	Спонтанная Spontaneous	Антиген-стимуляция Antigenic stimulation	Спонтанная Spontaneous	Антиген-стимуляция Antigenic stimulation
Эпидсезон 2020–2021 гг., $n = 22$ Epidemic season 2020–2021, $n = 22$	23.5 (2.8; 79.8)	213.0 (64.3; 816.0)	4.0 (1.8; 8.3)	57.0 (21.8; 174.0)*
Эпидсезон 2022–2023 гг., $n = 24$ Epidemic season 2022–2023, $n = 24$	2.3 (0.9; 5.0)	137.0 (61.0; 474.0)	2.0 (0.8; 7.0)	51.0 (15.0; 85.0)*

Примечание. * – статистически достоверное отличие от показателя без воздействия ЭМИ мобильного телефона по критерию U Манна – Уитни, при $p < 0,05$.

Note: * – statistically significant difference from the indicator without exposure to mobile phone EMR according to the Mann – Whitney U-test at $p < 0.05$.

Во втором периоде наблюдений (эпидсезон 2022–2023 гг.) стимулированная продукция IFN- γ иммунокомпетентными клетками переболевших людей была несколько ниже, чем у людей, перенёсших COVID-19 в начале пандемии. Однако при стимуляции антигеном образцов, собранных в данный период пандемии, также наблюдали достоверное снижение активности Т-клеток памяти при воздействии ЭМИ мобильного телефона ($p = 0,0095$).

Таким образом, результаты экспериментов, проведённых в периоды циркуляции различных штаммов вируса SARS-CoV-2, аналогичны. Снижение продукции IFN- γ стимулированными иммунокомпетентными клетками, в данном случае Т-клетками памяти к вирусу SARS-CoV-2, при воздействии ЭМИ мобильного телефона *in vitro* характеризует ответную реакцию лимфоцитов людей, переболевших COVID-19, независимо от штамма вируса. Воздействие ЭМИ мобильного телефона на выделенные лимфоциты приводит к снижению их специфической функциональной активности в общей сложности на $66,6 \pm 11,4\%$.

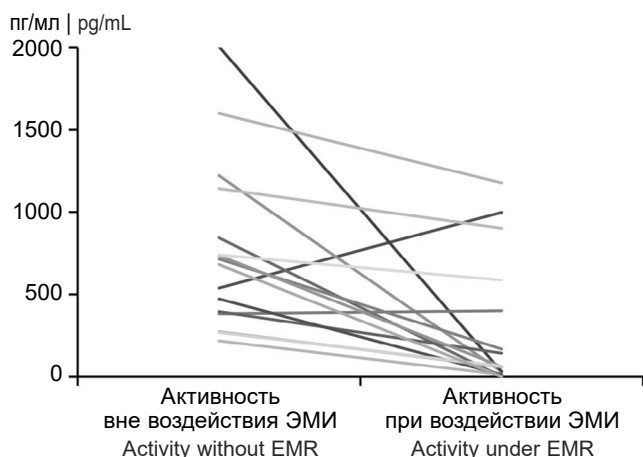
Следует отметить, что при усреднении данных теряется значительная часть информации о влиянии ЭМИ на тест-объект: о том, у какого числа людей происходит снижение,

а у какого – повышение показателя, а также о частоте слабых и сильных изменений.

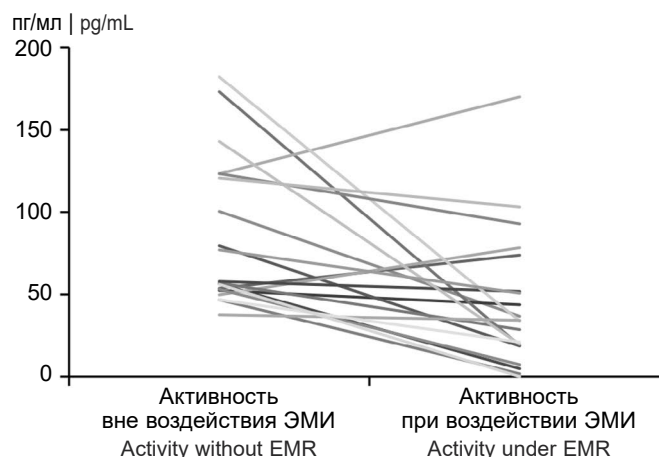
В связи с этим мы провели анализ индивидуальной чувствительности АГ-стимулированных Т-клеток памяти к воздействию ЭМИ мобильного телефона *in vitro* и графически представили результаты на рисунке. Анализ проводили с использованием Δ , которая является разницей между концентрацией IFN- γ в АГ-стимулированной пробе и концентрацией IFN- γ в пробе без антигена [$\Delta = (\text{IFN-}\gamma \text{ АГ} - \text{IFN-}\gamma \text{ без АГ})$]. Кроме того, результаты измерений концентрации цитокина в образцах супернатантов 46 человек разделили на две группы: для пациентов с уровнем АГ-стимулированной продукции IFN- γ выше 200 пг/мл (см. рисунок, А) и уровнем меньшим или равным 200 пг/мл (см. рисунок, В).

Как показал анализ результатов исследования, только у четырёх человек культура выделенных мононуклеаров крови среагировала повышением продукции IFN- γ на воздействие ЭМИ мобильного телефона *in vitro*. Ещё у трёх людей снижение концентрации IFN- γ в супернатантах с АГ-стимулированными Т-клетками было относительно небольшим – оно составило 8,9–16,6% от исходного показателя АГ-стимулированной продукции.

Продукция IFN- γ без воздействия ЭМИ больше 200 пг/мл
IFN- γ production without EMR is more than 200 pg/mL



Продукция IFN- γ без воздействия ЭМИ меньше 200 пг/мл
IFN- γ production without EMR is less than 200 pg/mL



Индивидуальные изменения активности Т-клеток памяти под воздействием ЭМИ мобильного телефона. По оси ординат: $\Delta = (\text{IFN-}\gamma \text{ АГ} - \text{IFN-}\gamma \text{ без АГ})$ пг/мл.

Individual changes in the activity of memory T cells under the influence of mobile phone EMR. Along the ordinate axis: $\Delta = (\text{IFN-}\gamma \text{ АГ} - \text{IFN-}\gamma \text{ без АГ})$ pg/mL.

В ходе отработки применённого нами метода его воспроизводимость характеризовалась коэффициентом вариации $CV = 21,2\%$ [16], поэтому три вышеуказанные пробы были расценены нами как нечувствительные к ЭМИ. В остальных образцах под влиянием ЭМИ мобильного телефона снижение продукции $IFN-\gamma$ превышало 21%.

Обсуждение

Для оценки воздействия ЭМИ мобильного телефона на культуру выделенных мононуклеаров, содержащую Т-клетки памяти к антигенам вируса SARS-CoV-2, выбрана модель облучения, при которой объект получает нагрузку, сравнимую с той, которую человек, пользующийся мобильным телефоном, может получить в течение суток.

Ранее в этой модели нами было показано, что ЭМИ мобильного телефона влияет на способность лимфоцитов продуцировать различные цитокины при их стимуляции митогеном фитогемагглютинин Р у привитых людей [11]. Настоящее исследование подтвердило наличие эффекта ЭМИ мобильного телефона на такую поликлональную активацию Т-лимфоцитов. В ходе работы также получены данные о влиянии ЭМИ мобильного телефона на АГ-специфическую активность Т-клеток памяти. Подобные модели часто применяются в экспериментальных исследованиях.

В работе Yadav H. и Singh R. [18], изучавших влияние неионизирующего ЭМИ мобильных телефонов, отмечено повышение уровня цитокина IL-1 α в культуре лейкоцитарных моноцитарных клеток, а также уровня реактивных веществ, таких как оксид азота (NO) и оксид серы (SO), по сравнению с контрольной группой в сочетании со значительным снижением фагоцитарной активности моноцитов. Экспозиция культуральных планшетов в электромагнитном поле выполнялась в режиме: воздействие ЭМИ мобильного телефона с частотой 2318 МГц (МГц) и плотностью поля 0,224 Вт/м² в течение 15; 30; 45; 60; 90 и 120 мин.

Sieroń K. и соавт. [17] проводили исследования на лабораторных животных и показали, что антиоксидантная активность при оценке влияния электромагнитных полей с различными физическими свойствами проявлялась в снижении активности каталазы в гомогенатах языка, пищевода, желудка, тонкого и толстого кишечника по сравнению с контрольной группой. Для исследования влияния ЭМИ на мобильный телефон Nokia 5110 (с частотой 900 МГц), закреплённый на клетке, совершались звонки, каждый длительностью 15 с, в течение 4 ч утром и 4 ч вечером. Всего выполняли 16 звонков в день. Средняя плотность электромагнитного поля оценивалась как 85,3 мВт/м² в момент соединения и как 17 мВт/м² при продолжении соединения.

Следовательно, полученные нами результаты согласуются с данными других исследователей и свидетельствуют о влиянии ЭМИ мобильного телефона на общую функциональную активность иммунокомпетентных клеток и на специфические функции Т-клеток памяти, отвечающих за противовирусный иммунный ответ.

Аналитические обзоры доказательности исследований влияния ЭМИ указывают на недостаточную стандартизацию экспериментов и погрешности дозиметрии [5]. Не отрицая важности этих аспектов, считаем, что чувствительность биологических объектов к ЭМИ чаще обнаруживается в экспериментах, где моделируется определённый иммунологический процесс, работа ведётся на клеточных линиях, имеющих опухолевое происхождение, или на клетках больных людей с конкретным диагнозом. В группе здоровых людей, по существу значительно разнородной, однонаправленные изменения в принципе происходят реже.

Ограничение исследования. Влияние ЭМИ мобильного телефона на функциональную активность АГ-специфических Т-клеток против вируса SARS-CoV-2 показано нами *in vitro*, а не при воздействии ЭМИ на человека. Эти модели имеют существенные различия.

Заключение

Таким образом, выявленный в ходе исследований биологический эффект ЭМИ мобильного телефона, который *in vitro* выражается в снижении антиген-индуцированной продукции $IFN-\gamma$ у людей, имеющих Т-клетки памяти против антигенов вируса SARS-CoV-2, может свидетельствовать о снижении функциональной активности лимфоцитов и, как следствие, приводить к ослаблению защиты организма человека в отношении инфекционных болезней.

Полученные данные могут быть важны для гигиенического нормирования ЭМИ радиочастотного диапазона, например, в медицинских стационарах, модернизация инфраструктуры которых в настоящее время является одной из приоритетных государственных программ [19]. Врачам предоставляют планшетные компьютеры, которые посредством беспроводного радиочастотного приёма (передачи) данных позволяют оперативно просмотреть и дополнить любую информацию в электронной медицинской карте, повышают эффективность врачебного обхода пациентов. Для правильного проведения процедур медицинские сёстры пользуются радиочастотной идентификацией больных, беспроводным устройством для мониторинга капельниц, сигнализирующим о завершении процедуры или аномалиях [20, 21]. Отказ от беспроводной связи в пользу проводной во всех случаях, когда это возможно, уменьшит нагрузку на иммунную систему пациентов в инфекционных, ожоговых или хирургических отделениях.

Литература (п.п. 2–9, 13, 14, 17, 18 см. References)

- Губернский Ю.Д., Гошин М.Е., Калинина Н.В., Банин И.М. Гигиенические аспекты электромагнитного загрязнения современного жилища. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(4): 329–35. <https://elibrary.ru/vzvzhz>
- Бляхер М.С., Тульская Е.А., Капустин И.В., Фёдорова И.М., Нестеренко В.Г., Сулов А.П. и др. Влияние электромагнитного излучения мобильного телефона на фагоцитарную активность нейтрофилов *in vitro*. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(9): 925–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-925-929> <https://elibrary.ru/aggqml>
- Бляхер М.С., Тульская Е.А., Капустин И.В., Фёдорова И.М., Лопатина Т.К., Нестеренко В.Г. и др. Влияние электромагнитного излучения мобильного телефона на активацию лимфоцитов *in vitro*. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(10): 965–70. <https://elibrary.ru/zwsrsj>
- Владимиров И.С., Жданова А.С., Мухин В.Е., Макаров В.В., Юдин В.С., Краевой С.А. Идентификация и функциональная характеристика SARS-CoV-2-специфических Т-лимфоцитов у перенесших COVID-19 пациентов в период до 16 месяцев от начала заболевания. *Медицинская иммунология*. 2024; 26(3): 555–68. <https://doi.org/10.15789/1563-0625-IAF-2921> <https://elibrary.ru/nkhnig>
- Бляхер М.С., Капустин И.В., Одинцов Е.Е., Рамазанова З.К., Сандалова С.В., Тульская Е.А. и др. Способ определения специфического клеточного иммунного ответа на антигены коронавируса (SARS-CoV-2). Патент РФ №2780369; 2022. <https://elibrary.ru/eaudxv>
- Бляхер М.С., Фёдорова И.М., Тульская Е.А., Капустин И.В., Котелева С.И., Рамазанова З.К. и др. Определение специфического Т-клеточного иммунитета к антигенам вируса SARS-CoV-2 у людей, переболевших COVID-19. *Вопросы вирусологии*. 2022; 67(6): 527–37. <https://doi.org/10.36233/0507-4088-151> <https://elibrary.ru/yoyzob>
- Распоряжение Правительства Российской Федерации № 959-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации здравоохранения»; 2024.
- Тыров И.А., Токарев А.С., Небытова А.К., Завалко А.Ф. Управление изменениями в процессе внедрения цифровых технологий в медицинских организациях стационарного звена: опыт города Москвы. *Национальное здравоохранение*. 2021; 2(2): 47–54. <https://doi.org/10.47093/2713-069X.2021.2.2.47-54> <https://elibrary.ru/ojyspd>
- Verified Market Report. Основные тенденции в сфере медицинских планшетных ПК: мобильность, безопасность и интеллектуальная интеграция. Доступно: <https://verifiedmarketreports.com/ru/blog/top-7-trends-in-medical-tablet-pc/>

References

- Gubernsky Yu.D., Goshin M.E., Kalinina N.V., Banin I.M. Hygienic aspects of electromagnetic pollution of indoor environment. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(4): 329–35. <https://elibrary.ru/vzvzhz> (in Russian)
- Szmigielski S. Reaction of the immune system to low-level RF/MW exposures. *Sci. Total. Environ.* 2013; 454–455: 393–400. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.034>
- Schuermann D., Mevissen M. Manmade electromagnetic fields and oxidative stress-biological effects and consequences for health. *Int. J. Mol. Sci.* 2021; 22(7): 3772. <https://doi.org/10.3390/ijms22073772>
- Askaripour K., Zak A. A mechanistically approached review upon assorted cell lines stimulated by athermal electromagnetic irradiation. *Cell Cycle*. 2023; 22(11): 1319–42. <https://doi.org/10.1080/15384101.2023.2206682>
- Romeo S., Zeni O., Scarfi M.R., Poeta L., Lioi M.B., Sannino A. Radiofrequency electromagnetic field exposure and apoptosis: a scoping review of in vitro studies on mammalian cells. *Int. J. Mol. Sci.* 2022; 23(4): 2322. <https://doi.org/10.3390/ijms23042322>
- Piszczek P., Wójcik-Piotrowicz K., Guzek P., Gil K., Kaszuba-Zwońska J. Protein expression changes during phagocytosis influenced by low-frequency electromagnetic field exposure. *Int. J. Biol. Macromol.* 2022; 217: 481–91. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.07.080>
- Arthamin M.Z., Sulalah A., Resvina R., Widodo C., Endharti A.T., Widjanto E., et al. Exposure of 1800 MHz radiofrequency with SAR 1.6 W/kg caused a significant reduction in CD4⁺ T cells and release of cytokines *in vitro*. *Iran. J. Immunol.* 2020; 17(2): 154–66. <https://doi.org/10.22034/iji.2020.84760.1671>
- Kimata H. Microwave radiation from cellular phones increases allergen-specific IgE production. *Allergy*. 2005; 60(6): 838–9. <https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2005.00802.x>
- Stronati L., Testa A., Moquet J., Edwards A., Cordelli E., Villani P., et al. D Lloyd 935 MHz cellular phone radiation. An *in vitro* study of genotoxicity in human lymphocytes. *Int. J. Radiat. Biol.* 2006; 82(5): 339–46. <https://doi.org/10.1080/09533000600739173>
- Blyakher M.S., Tulskeya E.A., Kapustin I.V., Fedorova I.M., Nesterenko V.G., Suslov A.P., et al. Impact of a cellphone electromagnetic radiation on phagocytic activity of neutrophils *in vitro*. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(9): 925–9. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-925-929> <https://elibrary.ru/aggqml> (in Russian)
- Blyakher M.S., Tulskeya E.A., Kapustin I.V., Fedorova I.M., Lopatina T.K., Nesterenko V.G., et al. The impact of electromagnetic radiation of mobile phone for lymphocyte activation *in vitro*. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(10): 965–70. <https://elibrary.ru/zwsrsj> (in Russian)
- Vladimirov I.S., Zhdanova A.S., Mukhin V.E., Makarov V.V., Yudin V.S., Kraevoy S.A. Identification and functional characteristic of SARS-CoV-2-specific T lymphocytes in COVID-19 patients up to 16 months after disease onset. *Meditsinskaya immunologiya*. 2024; 26(3): 555–68. <https://doi.org/10.15789/1563-0625-IAF-2921> <https://elibrary.ru/nkhniq> (in Russian)
- Flaxman A., Ewer K.J. Methods for measuring T-cell memory to vaccination: from mouse to man. *Vaccines (Basel)*. 2018; 6(3): 43. <https://doi.org/10.3390/vaccines6030043>
- Golubovskaya V., Wu L. Different subsets of T cells, memory, effector functions, and CAR-T immunotherapy (review). *Cancers (Basel)*. 2016; 8(3): 36. <https://doi.org/10.3390/cancers8030036>
- Blyakher M.S., Kapustin I.V., Koteleva S.I., Odintsov E.E., Ramazanova Z.K., Sandalova S.V., et al. Method for determining the specific cellular immune response to coronavirus antigens (SARS-CoV-2). Patent RF No. №2780369; 2022. (in Russian)
- Blyakher M.S., Fedorova I.M., Tulskeya E.A., Kapustin I.V., Koteleva S.I., Ramazanova Z.K., et al. Assessment of specific T-cell immunity to SARS-CoV-2 virus antigens in COVID-19 convalescents. *Voprosy virusologii*. 2022; 67(6): 527–37. <https://doi.org/10.36233/0507-4088-151> <https://elibrary.ru/yoyzob> (in Russian)
- Sieroń A., Knapik K., Onik G., Romuk E., Birkner E., Kwiatek S., et al. Electromagnetic fields modify redox balance in the rat gastrointestinal tract. *Front. Public Health*. 2021; 13(9): 710484. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.710484>
- Yadav H., Singh R. Immunomodulatory role of non-ionizing electromagnetic radiation in human leukemia monocytic cell line. *Environ. Pollut.* 2023; 331(Pt. 2): 121843. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121843>
- Order of Government of the Russian Federation № 959-р «On approval of the strategic direction in the field of digital transformation of healthcare»; 2024. (in Russian)
- Tyrov I.A., Tokarev A.S., Nebytova A.K., Zavalko A.F. Managing changes following introduction of digital technologies in inpatient medical organizations: Moscow's experience. *Natsional'noe zdoravookhranenie*. 2021; 2(2): 47–54. <https://doi.org/10.47093/2713-069X.2021.2.2.47-54> <https://elibrary.ru/ojyspd> (in Russian)
- Verified Market Report. The main trends in the field of medical tablet PCs: mobility, security and intelligent integration. Available at: <https://verifiedmarketreports.com/ru/blog/top-7-trends-in-medical-tablet-pc/> (in Russian)

Сведения об авторах

Капустин Иван Всеволодович, канд. мед. наук, вед. науч. сотр. лаб. иммунологии ФБУН МНИИЭМ им. Г.Н. Габричевского Роспотребнадзора, 125212, Москва, Россия. E-mail: vano-kapusta@inbox.ru

Тулская Елена Анатольевна, канд. биол. наук, вед. науч. сотр. отд. гигиены воды ФБУН «ФНЦГ им Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи, Россия. E-mail: tulskeya.ea@fncg.ru

Бляхер Мария Сергеевна, доктор мед. наук, профессор, руководитель лаб. иммунологии ФБУН МНИИЭМ им. Г.Н. Габричевского Роспотребнадзора, 125212, Москва, Россия. E-mail: maria.s.b@bk.ru

Сандалова Светлана Вячеславовна, науч. сотр. отд. иммунологии ФБУН МНИИЭМ им. Г.Н. Габричевского Роспотребнадзора, 125212, Москва, Россия. E-mail: s.sandalova74@mail.ru

Одинцов Евгений Евгеньевич, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. лаб. иммунологии ФБУН МНИИЭМ им. Г.Н. Габричевского Роспотребнадзора, 125212, Москва, Россия. E-mail: evgenyodin@yahoo.com

Котелева Светлана Игоревна, канд. мед. наук, вед. науч. сотр. лаб. иммунологии ФБУН МНИИЭМ им. Г.Н. Габричевского Роспотребнадзора, 125212, Москва, Россия. E-mail: felileo@yandex.ru

Рамзанова Зарема Керимовна, канд. мед. наук, вед. науч. сотр. лаб. иммунологии ФБУН МНИИЭМ им. Г.Н. Габричевского Роспотребнадзора, 125212, Москва, Россия. E-mail: rzarema@mail.ru

Федорова Ирина Михайловна, канд. мед. наук, вед. науч. сотр. лаб. иммунологии ФБУН МНИИЭМ им. Г.Н. Габричевского Роспотребнадзора, 125212, Москва, Россия. E-mail: vestnik-07@mail.ru

About the authors

Ivan V. Kapustin, PhD (Medicine), leading researcher, Laboratory of immunology, G.N. Gabrichevsky Institute of Epidemiology and Microbiology, Moscow, 125212, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-6191-260X> E-mail: vano-kapusta@inbox.ru

Elena A. Tulskeya, PhD (Biology), leading researcher, Department of water hygiene, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, Mytishchi, 141014, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-1969-4009> E-mail: tulskeya.ea@fncg.ru

Mariya S. Blyakher, DSc (Medicine), professor, head, Laboratory of immunology, G.N. Gabrichevsky Institute of Epidemiology and Microbiology, Moscow, 125212, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-3480-6873> E-mail: maria.s.b@bk.ru

Svetlana V. Sandalova, researcher, Laboratory of immunology, G.N. Gabrichevsky Institute of Epidemiology and Microbiology, Moscow, 125212, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-4548-9888> E-mail: s.sandalova74@mail.ru

Evgeny E. Odintsov, PhD (Medicine), senior researcher, Laboratory of immunology, G.N. Gabrichevsky Institute of Epidemiology and Microbiology, Moscow, 125212, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-5895-2520> E-mail: evgenyodin@yahoo.com

Svetlana I. Koteleva, PhD (Medicine), leading researcher, Laboratory of immunology, G.N. Gabrichevsky Institute of Epidemiology and Microbiology, Moscow, 125212, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-1878-2234> E-mail: felileo@yandex.ru

Zarema K. Ramazanova, PhD (Medicine), leading researcher, Laboratory of immunology, G.N. Gabrichevsky Institute of Epidemiology and Microbiology, Moscow, 125212, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9314-3312> E-mail: rzarema@mail.ru

Irina M. Fedorova, PhD (Medicine), leading research assistant, Laboratory of immunology, G.N. Gabrichevsky Institute of Epidemiology and Microbiology, Moscow, 125212, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0335-2752> E-mail: vestnik-07@mail.ru