

© КОЛЛЕКТИВ АВОРОВ, 2020

Бляхер М.С.¹, Тульская Е.А.¹, Капустин И.В.¹, Фёдорова И.М.¹, Нестеренко В.Г.², Суслов А.П.², Коноплёва М.В.²

Влияние электромагнитного излучения мобильного телефона на фагоцитарную активность нейтрофилов *in vitro*

¹ФБУН «Московский НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Г.Н. Габричевского» Роспотребнадзора, 125212, Москва;²ФГБУ «Научно-исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почётного академика Н.Ф. Гамалеи» Минздрава России, 123098, Москва

Введение. Исследован характер влияния электромагнитного излучения (ЭМИ) мобильного телефона на активацию нейтрофилов *in vitro*. Актуальность изучения влияния средств мобильной связи и их воздействия на физиологические процессы организма определяется глобальной распространённостью таких средств и противоречивостью данных исследований как в отечественной, так и в зарубежной научной литературе.

Материал и методы. Объектом исследования служили образцы цельной венозной крови и выделенные нейтрофилы 36 взрослых доноров (от 22 до 65 лет) обоего пола. Постановку реакции фагоцитарной активности нейтрофилов и её учёт проводили в плоскодонном планшете для иммуноферментного анализа (ИФА), в качестве индуктора фагоцитоза использовали суточную культуру *S. aureus* ATCC 6538 (штамм 209). Интенсивность фагоцитоза оценивали по изменению активности миелопероксидазы (МПО) спектрофотометрическим методом в модификации авторов.

Результаты. В ходе исследований биологических эффектов ЭМИ мобильного телефона на фагоцитирующие нейтрофилы выявлено следующее: при культивировании нейтрофилов без добавления *S. aureus* наблюдалась тенденция к увеличению спонтанной активности МПО (на 69%), то есть её продукции в отсутствие стимулирующего фактора, и наоборот, значимое снижение индуцированной *S. aureus* активности фермента (на 34%, $p < 0,05$), то есть фагоцитарной активности нейтрофилов.

Заключение. Выявленный биологический эффект ЭМИ мобильного телефона – увеличение спонтанной активности МПО и снижение бактериально индуцированной активности фермента может свидетельствовать о снижении фагоцитарной активности основных клеток иммунной системы, следовательно, демонстрирует ослабление защитных свойств организма человека против инфекционных заболеваний. В ранее проведённых исследованиях показано наличие влияния ЭМИ мобильного телефона на активацию лимфоцитов *in vitro*. Видимо, применение иммунологических тестов может являться перспективным направлением при оценке воздействия ЭМИ мобильного телефона на организм человека.

Ключевые слова: нейтрофилы; активность миелопероксидазы; электромагнитное излучение (ЭМИ) мобильного телефона.

Для цитирования: Бляхер М.С., Тульская Е.А., Капустин И.В., Фёдорова И.М., Нестеренко В.Г., Суслов А.П., Коноплёва М.В. Влияние электромагнитного излучения мобильного телефона на фагоцитарную активность нейтрофилов *in vitro*. Гигиена и санитария. 2020; 99 (9): 925-929. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-925-929>

Для корреспонденции: Бляхер Мария Сергеевна, доктор мед. наук, проф. ФБУН «МНИИЭМ им. Г.Н. Габричевского» Роспотребнадзора, 125212, Москва. E-mail: msb2222@list.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена в рамках НИОКР № АААА-А16-116021550310-5 (дата регистрации 15.02.2016 г.) по теме: «Влияние препаратов пробиотиков и интерферонов на формирование специфического клеточного иммунитета при инфекционных заболеваниях и вакцинации».

Участие авторов: концепция и дизайн исследования – Бляхер М.С., Фёдорова И.М., Нестеренко В.Г.; сбор и обработка материала – Капустин И.В., Фёдорова И.М.; статистическая обработка – Тульская Е.А.; написание текста – Бляхер М.С., Тульская Е.А.; редактирование – Суслов А.П., Коноплёва М.В.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все соавторы.

Поступила 05.09.2019

Принята к печати 18.09.2020

Опубликована 20.10.2020

Maria S. Blyakher¹, Elena A. Tulskeya¹, Ivan V. Kapustin¹, Irina M. Fedorova¹, Vladimir G. Nesterenko², Anatoly P. Suslov², Mariya V. Konopleva²

Impact of a cellphone electromagnetic radiation on phagocytic activity of neutrophils *in vitro*

¹G.N. Gabrichevsky Moscow Research Institute of Epidemiology and Microbiology, Moscow, 125212, Russian Federation;²N.F. Gamaleya Research Center of Epidemiology and Microbiology, Moscow, 123098, Russian Federation

Introduction. The nature of a cellphone electromagnetic radiation (EMP) influence on the neutrophils *in vitro* activation was studied. The relevance of studying the impact of mobile communications and their effects on the body's physiological processes is determined by the global prevalence of such tools and the research data inconsistency in the both domestic and foreign scientific literature.

Material and methods. The object of the study was the whole venous blood samples and isolated neutrophils from 36 adult donors (aged from 22 to 65 years) of both genders. The responses of the neutrophils' phagocytic activity and its registration were carried out in a flat-bottomed plate for enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA), the daily culture of *S. aureus* ATCC 6538 (strain 209) was used as an inducer of phagocytosis. The intensity of phagocytosis was evaluated by changing the activity of myeloperoxidase (MPO) spectrophotometric method in our modification.

Results. In the course of studies of the EMR impact of a cellphone on phagocytic neutrophils, the following was revealed: when culturing neutrophils without the addition of *S. aureus*, there was a tendency to increase spontaneous MPO activity (by 69%), i.e. its production in the absence of a stimulating factor and, conversely, a significant decrease in the enzyme activity induced by *S. aureus* (by 34%, $p < 0.05$), i.e. the phagocytic activity of neutrophils.

Conclusion. We revealed the biological effect of the cellphone EMR as an increase in the spontaneous activity of MPO and a decrease in the bacterially induced activity of the enzyme may indicate a decline in the phagocytic activity of the main cells of the immune system, therefore, it demonstrates a weakening of the protective properties of the human body against infectious diseases. In previous studies, we have shown the presence of the impact of cellphone EMR on the activation of lymphocytes *in vitro*. The use of immunological tests can be a promising direction in assessing the impact of the cellphone EMR on the human body.

Key words: neutrophils; myeloperoxidase activity; cellphone electromagnetic radiation (EMR).

For citation: Blyakher M.S., Tulskaia E.A., Kapustin I.V., Fedorova I.M., Nesterenko V.G., Suslov A.P., Konopleva M.V. Impact of a cellphone electromagnetic radiation on phagocytic activity of neutrophils *in vitro*. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99 (9): 925-929. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-925-929> (In Russ.)

For correspondence: Maria S. Blyakher, MD, Ph.D., DSci., G.N. Gabrichesky Moscow Research Institute of Epidemiology and Microbiology, Moscow, 125212, Russian Federation. E-mail: msb2222@list.ru.

Information about the authors:

Blyakher M.S., <https://orcid.org/0000-0003-3480-6873>; Tulskaia E.A., <https://orcid.org/0000-0003-1969-4009>; Kapustin I.V., <https://orcid.org/0000-0001-6191-260X>; Fedorova I.M., <https://orcid.org/0000-0002-0335-2752>; Nesterenko V.G., <https://orcid.org/0000-0002-9574-6512>; Suslov A.P., <https://orcid.org/0000-0001-5731-3284>; Konopleva M.V., <https://orcid.org/0000-0002-9724-695X>

Conflict of Interest. The authors of the article have no conflict of interest.

Acknowledgment. The work was performed in the framework of R & D no. AAAA16-116021550310-5 (registration date 15/02/2016) on the topic: "The influence of preparations of probiotics and interferonogens on the formation of specific cellular immunity in infectious diseases and vaccination".

Contribution: Blyakher M.S. – concept and design of the study, writing the text. Fedorova I.M. – concept and design of the study. Nesterenko V.G. – concept and design of the study. Kapustin I.V. – collection and processing of the material. Fedorova I.M. – collection and processing of the material. Tulskaia E.A. – statistical processing, writing the text. Suslov A.P. – editing. Konopleva M.V. – editing. All authors approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Received: September 05, 2020
Accepted: September 18, 2020
Published: September 30, 2020

Введение

Актуальность изучения влияния средств мобильной связи и их воздействия на физиологические процессы организма определяется глобальной распространённостью таких средств и противоречивостью данных исследований как в отечественной, так и в зарубежной научной литературе. Для оценки воздействия на человеческий организм неблагоприятных химических и физических факторов внешней среды получили распространение массовые иммунологические исследования. Известно, что резистентность организма к инфекции зависит во многом от функционирования фагоцитирующих клеток периферической крови и тканевых макрофагов [1].

Одним из механизмов защиты макроорганизма от инфекции, в частности от стафилококка, является фагоцитоз [2, 3]. Реакции фагоцитоза неразрывно связаны с деятельностью кислородозависимых антимикробных систем, сопровождаются увеличением поглощения кислорода и выработкой перекиси водорода, супероксид-анион-радикала, гидроксильных радикалов. Активность данной системы киллинга бактерий сопряжена с ферментом миелопероксидазой (МПО) [4]. В работе [5] показано, что снижение и исчезновение МПО сопровождается ослаблением антимикробной активности, а также указано на прямое участие пероксидазной системы в повышении защитной функции различных организмов, в том числе человека.

Существует несколько методов оценки функциональной активности фагоцитирующих клеток периферической крови. При этом фагоциты инкубируют с различными объектами фагоцитоза: бактериями, дрожжами (зимозан), латексом и т. д. Одним из способов, с помощью которого можно проводить регистрацию фагоцитоза, является определение спонтанной и индуцированной активности МПО [6].

В связи с этим представляется актуальным исследование вопроса о том, какое влияние оказывает электромагнитное излучение (ЭМИ) мобильного телефона на функциональную активность разных клеток людей, в том числе фагоцитарную активность нейтрофилов.

Цель настоящей работы – проведение оценки влияния ЭМИ мобильного телефона *in vitro* на фагоцитарную активность выделенных нейтрофилов взрослых доноров.

Материал и методы

Материалом исследования влияния ЭМИ мобильного телефона служили образцы цельной венозной крови и выделенные нейтрофилы 36 взрослых доноров обоего пола (от 22 до 65 лет). Культуры клеток крови (выделенные нейтрофилы) 7 доноров использовали для отработки метода определения активности МПО на разных сроках фагоцитарного процесса. Цельную венозную кровь и культуры клеток 29 доноров использовали для изучения влияния ЭМИ мобильного телефона на функциональную активность клеток иммунной системы. От всех доноров получено информированное согласие до их включения в исследование.

Кровь забирали в пробирку с гепарином (для исследования нейтрофилов) и с ЭДТА (для изучения показателей клинического анализа крови и иммунного статуса), хорошо перемешивали и исследовали через 1 ч после взятия. Оценку показателей клинического анализа проводили на гематологическом анализаторе для *in vitro* диагностики «CELL-DYN Emerald» (фирма «Abbott», США). Иммунный статус доноров (численность основных субпопуляций лимфоцитов – CD3⁺, CD3⁺CD4⁺, CD3⁺CD8⁺, CD3⁺CD19⁺, CD3⁺CD16,56⁺, CD3⁺CD16,56⁺ и соотношения CD4/CD8) оценивали методом проточной цитометрии. К образцам крови добавляли моноклональные антитела, меченные флуорохромами: CD3 (FITC или ECD), CD69 (PE), CD8 (PE или PC5), CD4 (PE или PC7), CD16,56 (PE), CD19 (PE), CD25 (FITC), CD38 (PC5). Пробоподготовку проводили на автоматической станции TQpgr по безотмывочной технологии. Измерения проводили на проточном цитометре Cytomics FC 500 в измерительном протоколе для 3-цветной метки. Всё оборудование и антитела, конъюгированные с флуорохромами, – производства фирмы «Beckman Coulter» (США).

В данной работе использованы нейтрофилы, которые выделяли по методу Кулакова В.В. и соавт. [7] в 2 этапа. На первом этапе проводили отделение мононуклеаров с помощью одноступенчатого градиента плотности Histopaque-1077. На втором – отделение нейтрофилов от эритроцитов на 3% желатине. С этой целью всю жидкую фракцию над слоем эритроцитов удаляли. Оставшуюся эритроцитарную массу,

Таблица 1

Средние значения уровней активности МПО *in vitro* в выделенных нейтрофилах (спонтанная и индуцированная *S. aureus* активность)

Показатель	Длительность инкубации нейтрофилов со <i>S. aureus</i>					
	30 мин		60 мин		120 мин	
	спонтанная	индуцированная	спонтанная	индуцированная	спонтанная	индуцированная
Уровень активности МПО, пг/мл	1054 ± 568	1561 ± 719	1041 ± 548	1376 ± 568	2082 ± 1034	1773 ± 733

разведённую забуференным физраствором (ЗФР) до 3 мл, смешивали с 3 мл 3% желатина. Инкубировали смесь при 37 °С 20 мин. Лейкомассу (примерно 3 мл) переносили в отдельную пробирку, отмывали ЗФР путем центрифугирования (5 мин при 1500 об./мин). Осадок нейтрофилов разводили средой RPMI-1640 до концентрации 5–6 · 10⁶/мл. При измерении процента нейтрофильных гранулоцитов на гематологическом анализаторе в пробах от разных доноров определили, что он колебался от 82 до 95% в подготовленной взвеси.

О кислородозависимой бактерицидной активности фагоцитирующих нейтрофилов судили по изменению активности МПО. Определение активности МПО проводили спектрофотометрически [8, 9] в модификации авторов.

Постановку реакции фагоцитарной активности нейтрофилов и её учёт проводили в плоскодонном планшете для иммуноферментного анализа (ИФА). В качестве индуктора фагоцитоза использовали суточную культуру *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 (штамм 209), полученный в Государственном НИИ стандартизации и контроля медицинских биологических препаратов им. Л.А. Тарасевича.

В каждую лунку вносили 100 мкл нейтрофильной взвеси и 100 мкл сыворотки, представляющей собой пул сывороток крови 15 доноров (выборка случайная), разлитой порционно и хранящейся при минус 40 °С. Концентрацию нейтрофилов при этом доводили до 2,5 · 10⁶/мл. Исходная взвесь *S. aureus* охарактеризована по стандарту мутности. Для каждого донора ставили лунки, в которые на определённом моменте инкубации добавляли по 30 мкл взвеси *S. aureus* таким образом, что на 1 нейтрофил приходилось 20–30 бактерий, и лунки, в которые бактерии не добавляли. Эта схема позволяла сравнивать миелопероксидазную активность нейтрофилов на разных этапах фагоцитоза с её спонтанным уровнем.

Дизайн исследования. Планшеты с образцами нейтрофилов экспонировали в течение 4 ч. «Опытные образцы» — при непосредственном контакте мобильного телефона с планшетом (параметры мобильного телефона: SAR на тело 1,18 Вт/кг, на голову 1,25 Вт/кг, на телефоне подключили максимально возможное количество функций (bluetooth, Wi-Fi — 3G, sim-карта оператора «Мегафон»; динамики и вибрация были отключены). На телефон производили звонки каждые 10 мин с длительностью 6 гудков. «Контрольные образцы» экспонировали в аналогичных условиях, что и опытные, но без воздействия телефона, а также других приборов, способных излучать ЭМИ. Энзиматическая реакция при добавлении стафилококка развивается быстро, поэтому, чтобы оценить влияние ЭМИ мобильного телефона на этот процесс, планшет с клетками инкубировали 4 ч, а бактерии добавляли в соответствующие лунки за 30 мин, 1 или 2 ч до конца инкубации. Через 4 ч из лунок отбирали супернатанты и замораживали для дальнейших исследований.

Нейтрофилы, адгезированные в лунки плоскодонного планшета в ходе 4-часового эксперимента, отмывали ЗФР 3 раза по 250 мкл. После отмывки в лунки добавляли субстратный буфер (готовый раствор ТМБ (Алкор-Био, Россия)). Дожидались развития градуированной окраски в линейке калибровочных стандартов. Затем останавливали реакцию стоп-реагентом (1N HCl) и проводили фотометрию при 450 нм.

В качестве калибратора применён раствор пероксидазы хрена (RZ 3,0; акт. 250 ед/мг; кат. № HRP4B.0001, Диа-М, Россия).

Опытным путём подобран диапазон концентраций пероксидазы хрена, при котором наблюдалась линейная зависимость оптической плотности от концентрации в реакции с ТМБ. Концентрация в верхней точке калибровочной кривой составила 2500 пг/мл, в нижней точке — 39,1 пг/мл.

Сравнение МПО фагоцитов в процессе фагоцитоза с её спонтанным уровнем проводили по проценту изменения индуцированной активности от спонтанной с помощью формулы:

$$(МПО_{инд.}) / (МПО_{спонт.}) \cdot 100 = МПО \text{ в } \% \text{ к спонт. (1)},$$

где МПО_{инд.} — активность МПО (пг/мл), индуцированная *S. aureus*, МПО_{спонт.} — спонтанная активность МПО (пг/мл).

Статистическая обработка полученных результатов проведена с использованием программ MS Excel и StatSoft Statistica 10, для каждой из подгрупп в отдельности. В соответствии с рекомендациями Платонова А.Е. [10] обработку полученных данных проводили как с использованием среднего арифметического (*M*) и доверительного интервала (95% CI), так и медианы (*Me*), нижнего (25%) и верхнего (75%) квартилей, чтобы исключить влияние экстремальных значений. Достоверность различий оценивали с помощью непараметрического *U*-критерия Манна–Уитни, используемого для оценки различий между независимыми выборками.

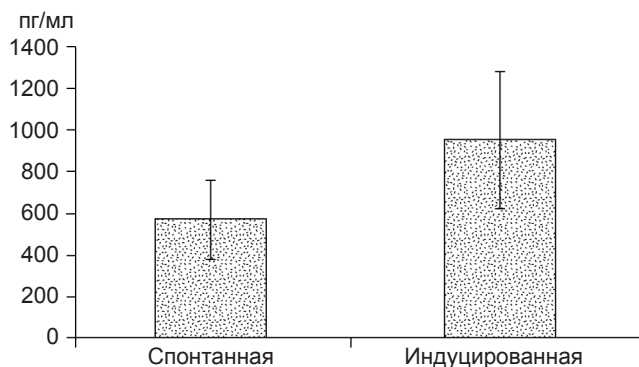
Результаты

На первом этапе настоящей работы в результате обследования 7 здоровых лиц по показателю фагоцитарной активности их нейтрофилов (активность МПО) получены данные, свидетельствующие о том, что уже через 30 мин после начала взаимодействия клеток со *S. aureus* зарегистрировано повышение активности МПО по сравнению с активностью фермента в нестимулированных нейтрофилах во всех пробах. Этот эффект сохранялся через 60 мин в пяти образцах, а через 120 мин — в четырёх. Полученные результаты представлены в табл. 1 в виде $M \pm 95\% \text{ CI}$.

Таким образом, предварительные исследования показали, что через 30 мин контакта со *S. aureus* результаты более стабильные. Именно этот срок — 30 мин фагоцитарного процесса — использован для изучения влияния ЭМИ мобильного телефона на активность МПО фагоцитирующих нейтрофилов.

Обследование доноров, культуры клеток которых были использованы для изучения влияния на них ЭМИ мобильного телефона, показало, что по показателям клинического анализа крови, численности основных субпопуляций лимфоцитов и соотношению CD4⁺/CD8⁺ Т-лимфоцитов они являются здоровыми людьми (отсутствовали лица с показателями, выходящими за пределы возрастной физиологической нормы). Всё это говорит о том, что воздействие ЭМИ мобильного телефона осуществлялось на фагоцитарную активность нейтрофилов, выделенных из крови людей без патологии иммунной системы.

Дальнейшая работа была направлена на изучение влияния ЭМИ мобильного телефона на культуру выделенных



Сравнение спонтанной и индуцированной *S. aureus* активности миелопероксидазы в выделенных нейтрофилах.

нейтрофилов, как фагоцитирующих (индуцированная активность МПО), так и интактных.

Анализ результатов исследования выявил, что индуцированная стафилококком активность МПО в выделенных нейтрофилах, не подвергавшихся воздействию ЭМИ мобильного телефона, статистически достоверно повышается на 60% ($p < 0,05$) по сравнению со значениями спонтанной активности этих клеток. На рисунке представлены данные об изменении активности МПО в нейтрофилах, фагоцитирующих добавленный к ним *S. aureus*.

Дальнейший анализ данных проводили с использованием процента индуцированной активности МПО от спонтанной (МПО в % к спонт.), который вычисляли по формуле (1).

Исследования биологического действия стафилококка показали, что активность МПО в выделенных нейтрофилах при стимуляции их *S. aureus* превышала спонтанный уровень не у всех доноров, а у 22 из 29 обследованных. В связи с тем, что существуют индивидуальные особенности функционирования иммунной системы, в частности, изменение активности МПО при активации клетки, а также то, что адгезивная способность фагоцитирующих клеток на пластике может существенно колебаться у разных людей, вся группа доноров была разделена на две подгруппы в зависимости от способности клеток крови активироваться в присутствии бактерий: подгруппа 1 ($n = 22$) и подгруппа 2 ($n = 7$). В подгруппу 2 включены те доноры, у которых внесение *S. aureus* в лунку не привело к активации нейтрофилов, то есть спонтанная активность МПО была выше индуцированной.

В табл. 2 представлены результаты оценки активности МПО в фагоцитирующих нейтрофилах в зависимости от наличия воздействия ЭМИ мобильного телефона.

Как видно из табл. 2, воздействие ЭМИ мобильного телефона на культуру фагоцитирующих нейтрофилов вызвало достоверное снижение активности МПО в подгруппе 1 на 34% ($p < 0,05$). Относительно воздействия ЭМИ мобильного телефона на «не активировавшиеся» нейтрофилы можно сделать заключение, что оно приводит к незначительному повышению активности МПО.

Несмотря на то что среднее арифметическое и медиана изученного показателя несколько различаются, оба параметра свидетельствуют о снижении активности МПО в фагоцитирующих нейтрофилах, которые подвергались воздействию ЭМИ мобильного телефона.

В то же время влияние ЭМИ мобильного телефона на спонтанную активность МПО сопровождалось повышением этого показателя с 569 ± 189 пг/мл у необлучённых клеток до 827 ± 369 пг/мл у облучённых. Подъём спонтанной активности МПО после облучения был выявлен у 10 из обследованных в среднем на 89%, а снижение этого показателя у 7 человек — только на 31%. Однако из-за большого разброса данных это повышение статистически недостоверно ($p = 0,41$).

Обсуждение

В настоящее время суммарная напряжённость электромагнитных полей радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ) и интенсивность неионизирующих ЭМИ увеличилась по сравнению с естественным фоном в 1000–1 000 000 раз. Это явление можно рассматривать как мгновенный скачок со сложно предсказуемыми медицинскими, биологическими и экологическими последствиями [11]. Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) введены новые термины, отражающие потенциальную значимость данного фактора для медицины и биологии: «электромагнитное загрязнение окружающей среды», «электромагнитная совместимость» и др. В связи с этим в научной литературе увеличивается количество сообщений, посвящённых доказательствам неблагоприятного влияния ЭМИ сотовых телефонов на теплокровный организм [12, 13]. В то же время среди многочисленных факторов ЭМИ относится к числу тех, для определения степени негативного влияния которых требуется длительный период времени. Использование культуральных методов исследования позволяет сокращать сроки экспериментов и уменьшать количество лабораторных животных, задействованных в них.

Наблюдаемые биологические эффекты ЭМИ мобильного телефона в проведённом исследовании очень важны для понимания процессов, происходящих в основных клетках иммунной системы, в частности в нейтрофилах, так как в основе механизмов индивидуальной резистентности организма к внешним воздействиям лежат процессы, развивающиеся на клеточном уровне [14, 15]. В ранее проведённых исследованиях показано наличие влияния ЭМИ мобильного телефона на активацию лимфоцитов *in vitro*. Основной вывод исследования — клетки крови людей в поствакцинальном периоде иначе реагируют на ЭМИ, чем у людей без изменений в иммунной системе [16].

Выявленный в ходе настоящего исследования биологический эффект ЭМИ мобильного телефона — увеличение спонтанной активности МПО и снижение бактериально индуцированной активности фермента — может свидетельствовать о снижении фагоцитарной активности нейтрофилов [17] и, как следствие, приводить к ослаблению защитных свойств организма человека против инфекционных заболеваний.

Таблица 2

Активность МПО *in vitro* в фагоцитирующих нейтрофилах при воздействии ЭМИ мобильного телефона и его отсутствии

Подгруппа	Миелопероксидаза в % к спонтанной активности							
	без воздействия ЭМИ				при воздействии ЭМИ			
	$M \pm 95\% \text{ CI}$	25%	<i>Me</i>	75%	$M \pm 95\% \text{ CI}$	25%	<i>Me</i>	75%
1-я, $n = 22$	175 ± 44	121	136	180	$107 \pm 22^*$	77	94	116
2-я, $n = 7$	48 ± 22	53	29	60	58 ± 29	65	36	76

Примечание. * — статистически значимые отличия от показателя до облучения ЭМИ при $p < 0,05$.

Таким образом, применение иммунологических тестов может являться перспективным направлением при оценке воздействия ЭМИ мобильного телефона на организм человека.

Заклучение

Воздействие ЭМИ мобильного телефона *in vitro* на культуру клеток фагоцитирующих нейтрофилов людей без патологии иммунной системы в течение 4 ч с 10-минутными

перерывами сопровождается статистически достоверным снижением их метаболической активности на 34% ($p < 0,05$) по показателю уровня активности МПО.

Облучение выделенных нейтрофилов с помощью мобильного телефона вызывает повышение спонтанной продукции ими МПО на 69% по сравнению со значениями этого показателя в необлучённых клетках. Это повышение статистически незначимо в связи с большим разбросом индивидуальных показателей, однако тенденция чётко прослеживается.

Литература

1. Подопригора Г.И. Микробиотический фактор развития системы мононуклеарных фагоцитов (гнотобиологические исследования). *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2013; 68(6): 26–33.
2. Phan Q.T., Sipka T., Gonzalez C., Levraud J.P., Lutfalla G., Nguyen-Chi M. Neutrophils use superoxide to control bacterial infection at a distance. *PLoS Pathog.* 2018; 14(7): e1007157. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1007157>
3. Слободчикова С.В., Шмагель К.В. Цитокинзависимые механизмы фагоцитоза *Staphylococcus aureus* Cowan I. *Цитокины и воспаление*. 2012; (2): 107–12.
4. Чеснокова Н.П., Понукалина Е.В., Невважай Т.А., Полотова Н.В., Бизенкова М.Н. Морфофункциональные и метаболические особенности гранулоцитов периферической крови. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2015; (4-2): 285–9.
5. Ройт А., Бростофф Дж., Мейл Д. *Иммунология*. Пер. с англ. М: Мир, 2000.
6. Бурая Т.Л., Бутаков А.А., Дрожеников В.А., Никулин В.Н., Пинегин Б.В., Юшук Н.Д. Изменение активности миелопероксидазы и кислой фосфатазы в нейтрофилах периферической крови человека при стимуляции клеток *in vitro*. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. 1991; (10): 52–5.
7. Кулаков В.В., Воробьева Н.В., Пинегин Б.В. Изучение цитостатической и цитотоксической активности нейтрофилов периферической крови человека. *Иммунология*. 1997; (4): 19–20.
8. Саидов М.З., Пинегин Б.В. Спектрофотометрический способ определения активности миелопероксидазы в фагоцитирующих клетках. *Лабораторное дело*. 1991; 3: 56–9.
9. Хитрик Н.М., Малашенкова И.К., Танасова А.Н., Зуйков И.А., Дидковский Н.А., Малиновская В.А. Влияние интерферона-альфа и его индуктора на функциональную активность нейтрофилов при тяжёлой герпетической инфекции. *Аллергология и иммунология*. 2006; 7(3): 397.
10. Платонов А.Е. *Статистический анализ в медицине и биологии: задачи, терминология, логика, компьютерные методы*. М.; 2000.
11. Жаворонков Л.П., Петин В.Г. Влияние электромагнитных излучений сотовых телефонов на здоровье. *Радиация и риск*. 2016; 25(2): 43–56.
12. Шилкова Т.В., Шибкова Д.З., Ефимова Н.В., Полевик Н.Д. Оценка биологических эффектов электромагнитного поля радиочастотного диапазона низкой интенсивности на систему крови экспериментальных животных. *Вестник ЮУрГУ*. 2011; (7): 10–4.
13. Григорьев Ю.Г. Принципиально новое электромагнитное загрязнение окружающей среды и отсутствие адекватной нормативной базы к оценке риска (анализ современных отечественных и зарубежных данных). *Гигиена и санитария*. 2014; 93(3): 11–5.
14. Длуская И.Г., Калинин С.В., Киселев Р.К., Дженжера Л.Ю. Некоторые биохимические и функциональные показатели состояния организма при многочасовой операторской работе в экстремальных условиях. *Физиология человека*. 1993; 19(1): 105–111.
15. Ризопулу А.П., Гариб Ф.Ю. Взаимодействия патогенных бактерий с врождёнными иммунными реакциями хозяина. *Инфекция и иммунитет*. 2012; 2(3): 581–96.
16. Блякхер М.С., Тульская Е.А., Капустин И.В., Фёдорова И.М., Лопатина Т.К., Нестеренко В.Г. и соавт. Влияние электромагнитного излучения мобильного телефона на активацию лимфоцитов *in vitro*. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(10): 965–70. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-10-965-970>
17. Ковальчук Л.В., Игнатьева Г.А., Ганковская Л.В., ред. *Иммунология: практикум: Учебное пособие*. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2010: 65–6.

References

1. Podoprigrora G.I. Microbiotic factor influencing the mononuclear phagocyte system development. *Vestnik Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2013; 68(6): 26–33. (in Russian)
2. Phan Q.T., Sipka T., Gonzalez C., Levraud J.P., Lutfalla G., Nguyen-Chi M. Neutrophils use superoxide to control bacterial infection at a distance. *PLoS Pathog.* 2018; 14(7): e1007157. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1007157>
3. Slobodchikova S.V., Shmagel' K.V. Cytokine-dependent mechanisms of phagocytosis of *Staphylococcus aureus* Cowan I. *Tsitokiny i vospalenie*. 2012; (2): 107–12. (in Russian)
4. Chesnokova N.P., Ponukalina E.V., Nevvazhay T.A., Polutova N.V., Bizenkova M.N. Morphological and metabolic features of peripheral blood granulocytes. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2015; (4-2): 285–9. (in Russian)
5. Roitt I., Brostoff J., Male D. *Immunology*. Maryland Heights, Missouri: Mosby; 1998.
6. Buraya T.L., Butakov A.A., Drozhennikov V.A., Nikulin V.N., Pinegin B.V., Yushuk N.D. Changes in the activity of myeloperoxidase and acid phosphatase in human peripheral blood neutrophils during cell stimulation *in vitro*. *Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii*. 1991; (10): 52–5. (in Russian)
7. Kulakov V.V., Vorob'eva N.V., Pinegin B.V. Study of the cytostatic and cytotoxic activity of human peripheral blood neutrophils. *Immunologiya*. 1997; (4): 19–20. (in Russian)
8. Saidov M.Z., Pinegin B.V. Spectrophotometric method for determining the activity of myeloperoxidase in phagocytic cells. *Laboratornoe delo*. 1991; 3: 56–9. (in Russian)
9. Khitrik N.M., Malashenkova I.K., Tanasova A.N., Zuykov I.A., Didkovskiy N.A., Malinovskaya V.A. The effect of interferon-alpha and its inducer on the functional activity of neutrophils in severe herpetic infections. *Allergologiya i immunologiya*. 2006; 7(3): 397. (in Russian)
10. Platonov A.E. *Statistical Analysis in Medicine and Biology: Tasks, Terminology, Logic, Computer Methods [Statisticheskiy analiz v meditsine i biologii: zadachi, terminologiya, logika komp'yuternye metody]*. Moscow: RAMS; 2000. (in Russian)
11. Zhavoronkov L.P., Petin V.G. The influence of cell phones electromagnetic radiation on a public health. *Radiatsiya i risk*. 2016; 25(2): 43–56. (in Russian)
12. Shilkova T.B., Shibkova D.Z., Efimova H.B., Polevik N.D. Estimation of biological effects of the electromagnetic field of radio frequency range of subzero intensity on system of blood of experimental animals. *Vestnik YuUrGU*. 2011; (7): 10–4. (in Russian)
13. Grigor'ev Yu.G. Fundamentally new electromagnetic pollution and the lack of adequate regulatory framework on the risk assessment (analysis of modern domestic and foreign data). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2014; 93(3): 11–5. (in Russian)
14. Dlusskaya I.G., Kalinkin S.V., Kiselev R.K., Dzhenzhera L.Yu. Some biochemical and functional indicators of the state of the body during long hours of operator work in extreme conditions. *Fiziologiya cheloveka*. 1993; 19(1): 105–111. (in Russian)
15. Rizopulu A.P., Garib F.Yu. Interactions of pathogenic bacteria with innate immune reactions of host. *Infektsiya i immunitet*. 2012; 2(3): 581–96. (in Russian)
16. Blyakher M.S., Tul'skaya 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://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-10-965-970> (in Russian)
17. Koval'chuk L.V., Ignat'eva G.A., Gankovskaya L.V., eds. *Immunology: Workshop: Study Guide [Immunologiya: praktikum: Uchebnoe posobie]*. Moscow: GEOTAR-Media; 2010: 65–6. (in Russian)