

УДК 612.82:577.3

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДИАПАЗОНА МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

А.Д. Наумов

Учреждение образования «Витебская ордена “Знак Почета”
государственная академия ветеринарной медицины»

Электромагнитное излучение окружающей среды и промышленного и бытового оборудования постоянно влияет на человека. Действие электромагнитных полей на живые организмы может оказывать влияние на их функционирование, и механизмы, обуславливающие это воздействие, не полностью объяснены. Предполагается, что взаимодействие между электромагнитным излучением и живым организмом будет зависеть от дозы и параметров электромагнитных полей.

Цель статьи – раскрыть современное состояние проблемы электромагнитного излучения диапазона мобильной связи, акцентируя внимание на потенциально высокой биологической активности действия электромагнитных полей.

Материал и методы. *Материалом исследования послужили научные работы зарубежных и отечественных специалистов, связанные с изучением действия электромагнитных полей на биологические объекты, включая человека. Применяли следующие методы: анализ, сравнение, обобщение и интерпретация представленных результатов.*

Результаты и их обсуждение. *За последнее десятилетие значительно выросли объемы использования мобильных телефонов, а вместе с ними и опасения о последствиях воздействия на здоровье электромагнитных полей, образуемых телефонами и базовыми станциями. Знания по этой теме постоянно дополняются, но до сих пор не известны все последствия такого воздействия электромагнитных полей на человека. Предполагается, что электромагнитное излучение оказывает неблагоприятные воздействия на многие функции, включая репродукцию человека, и может способствовать, как и многие факторы окружающей среды, снижению рождаемости, наблюдаемой во многих европейских странах и Беларуси.*

Отмечено, что нет еще достаточных научных данных для обоснованного вывода о степени опасности электромагнитного излучения для здоровья человека.

Заключение. *В связи с тем, что сохраняются пробелы в существующих знаниях, рекомендуется руководствоваться принципом предосторожности, предусматривая ограничение уровня воздействия электромагнитного излучения.*

Ключевые слова: *мобильная связь, электромагнитное излучение, биологические эффекты, здоровье.*

BIOLOGICAL EFFECTS OF THE ELECTROMAGNETIC RADIATION OF THE MOBILE COMMUNICATION RANGE

A.D. Naumov

Educational Establishment “Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine”

Electromagnetic radiation (EMR) of the environment as well as industrial and household equipment constantly affects a person. The effect of electromagnetic fields (EMFs) on living organisms can change their functioning by mechanisms that are not fully explained. It is assumed that the interaction between EMR and a living organism will depend on the doses and parameters of the EMF.

The purpose of this article is to reveal the current state of the EMR problem by drawing attention on potentially high biological activity of EMFs.

Material and methods. *The material of the study was the scientific works of foreign and regional experts related to the study of the effects of electromagnetic fields on biological objects, including humans. The main methods are theoretical analysis of scientific sources, own scientific works, comparison, generalization and interpretation of the presented results.*

Findings and their discussion. *Over the past decade, the mobile phone use has increased significantly as well as fears about the health effects of electromagnetic fields generated by cellphones and base stations. The knowledge in this field is still contributed and we don't know the consequence of this impact. It is supposed that EMR has negative effects on many functions, including human reproduction and can contribute, like many environmental factors, to fertility decline, which is observed in many European countries, particularly in Belarus.*

It is noted that there is not enough scientific knowledge to make a reasonable conclusion about the danger to human health.

Conclusion. *Due to the fact that gaps remain in existing knowledge, it is recommended to be guided by the precautionary principle, which provides for limiting the level of exposure to electromagnetic radiation.*

Key words: *mobile phones, electromagnetic radiation, biological effects, health.*

Сегодня каждый человек подвергнут влиянию электромагнитного излучения (ЭМИ) различных частот. По данным We Are Social (2017), в мире насчитывается 4,92 миллиарда мобильных пользователей, что составляет 66% от общей численности населения. По прогнозам Ericsson, к 2021 году количество клиентов мобильных операторов достигнет 9 млрд. Из них мобильным интернетом будут пользоваться около 7,7 млрд подписчиков, что составит 85% от всех подключений.

По обеспеченности сотовыми телефонами Беларусь находится среди высокоразвитых стран мира. Как сообщает БЕЛТА, общая абонентская база в 2018 году составила 11,4 млн, 121,2 абонента на 100 жителей республики. Охват населения услугами сотовых операторов – более 99%.

Рассматривая мобильный телефон (МТ) как источник электромагнитного излучения следует отметить, его особенности: облучение происходит на максимальном приближении, действие ЭМИ распространяется на окружающих людей, частота и продолжительность электромагнитного воздействия контролируются пользователем.

Цель статьи – раскрыть современное состояние проблемы электромагнитного излучения диапазона мобильной связи, акцентируя внимание на потенциально высокой биологической активности действия электромагнитных полей.

Материал и методы. Материалом исследования послужили научные работы зарубежных и отечественных специалистов, связанные с изучением действия электромагнитных полей на биологические объекты, включая человека. Применяли следующие методы: анализ, сравнение, обобщение и интерпретация представленных результатов.

Результаты и их обсуждение. Мобильные телефоны и базовые станции (БС), являясь источниками высокочастотного и сверхвысокочастотного излучения, непосредственно воздействуя на состояние здоровья, могут приводить и к косвенным эффектам, таким как дорожно-транспортные происшествия и работа медицинского оборудования.

В зависимости от стандарта телефона (СТ) базовые станции излучают электромагнитную энергию в диапазоне частот от 450 до 1880 МГц. Мощность излучения СТ является величиной переменной и зависит от состояния канала связи МТ–БС, т.е. чем выше уровень сигнала БС в месте приема, тем меньше мощность излучения МТ. Максимальная мощность находится в границах 0,1–1,0 Вт. Наибольшей выходной мощностью СТ обладает при максимальном удалении от базовой станции и при уменьшении сигнала в результате экранирования (во время разговора в железобетонном здании, транспорте и др.) [1; 2].

Нормируемым параметром электромагнитных полей (ЭМП) радиочастотного диапазона для СТ является плотность потока энергии (ППЭ). Она выражается в мкВт/см². Предельно допустимый уровень его воздействия не должен превышать 100 мкВт/см². В момент вызова СТ излучает ЭМП наибольшей величины, постепенно уменьшаясь по мере установления связи с запрашиваемым абонентом, поддерживаются невысокие величины ППЭ. В момент вызова величины ППЭ могут превышать предельно допустимые уровни (ПДУ) в десятки раз, особенно на большом удалении от БС.

Для характеристики значения ЭМП, создаваемого сотовым телефоном, взаимодействующего с телом человека, используют значение поглощенной дозы. Эту величину выражают в Вт/кг и обозначают как SAR (Specific Absorption Rate). Обычно SAR определяют для ткани массой 1 или 10 г за интервал 6 минут. Международные нормы безопасности допускают интенсивность микроволнового излучения на частотах GSM стандарта порядка 500–1000 мкВт/см² (в зависимости от частоты). Следует отметить, что значение SAR устанавливается при работе телефона на максимальной мощности. Диапазон регулировки пиковой мощности в GSM-телефонах – примерно от 2 Вт до 20 мВт, т.е. разница между максимальной и минимальной мощностью около ста раз.

В качестве предельно допустимого для условий профессионального воздействия принято значение SAR, равное 0,4 Вт/кг для тотального воздействия на тело реципиента и 10 Вт/кг для локального воздействия на его голову и торс. Для условий непрофессионального воздействия 0,08 Вт/кг и 2 Вт/кг соответственно [2; 3].

Во многих странах ведутся исследования воздействия ЭМИ на биологические объекты. В большинстве случаев данные экспериментов по воздействию высокочастотного излучения на живой организм носят очень общий и разнородный характер. В их число входит как изучение клеточных культур и тканей (*in vitro*), так и лабораторных животных (*in vivo*), а также людей (добровольцев). С одной стороны, в этих исследованиях основное внимание уделяется функциональным изменениям в головном мозге, которые связывают с отклонениями в когнитивной функции (воздействие излучения на голову). С другой стороны, изучается наличие взаимосвязи между использованием МТ и развитием канцерогенеза, воздействием на репродуктивную функцию и развитие, на сердечно-сосудистую систему и весь организм. Результаты этих исследований часто указывают на обратимые биологические и физиологические эффекты, которые необязательно приводят к развитию патологии. Считается, что ЭМИ относится к тем факторам, для определения степени влияния которых необходим длительный период времени [1; 4; 5].

При работе сотового телефона головной мозг и периферические рецепторы зоны вестибулярного и слухового анализаторов и сетчатка обязательно подвергаются воздействию ЭМП сотового телефона, при различном глубинном распределении и величине поглощенной энергии.

Проведен ряд исследований, указывающих на повышение температуры кожи и барабанной перепонки во время применения мобильного телефона. В ряде работ рассмотрена проблема влияния ЭМП на ДНК клеток мозга. В экспериментах на крысах было показано, что при локальном и кратковременном облучении мозга

ЭМП изменяются функция нейрорецепторов мозга и реакция глиальных клеток [5; 6]. Полученные результаты свидетельствуют, что изменение клеточной пролиферации зависит не только от нагрева, а имеются специфические механизмы воздействия ЭМП, среди которых окислительный стресс является основным в условиях длительного воздействия ЭМП сотового телефона [7–9].

Последствия от воздействия электромагнитного излучения связаны в первую очередь с функциональным расстройством центральной нервной системы. Затем начинают развиваться нейро-дегенеративные процессы. Они проявляются в нарушении сна, повышенной утомляемости, возбудимости, неадекватности поведения, изменении скорости реакции.

Установлено достоверное увеличение времени реакции человека при продолжительном воздействии сигнала сотового телефона. Некоторыми исследователями зарегистрированы небольшие изменения альфа- и тета-ритма биоэлектрической активности мозга. Однако имеются работы, в которых не было зафиксировано достоверных изменений [4; 10; 11].

Исследования познавательной активности животных при действии сотовых телефонов настолько противоречивы, что не позволяют сделать однозначный вывод.

В серии эпидемиологических исследований шведских онкологов было выявлено достоверное увеличение риска развития невриноом слухового нерва и глиом у постоянных пользователей мобильных и радиотелефонов. Риск развития невриноом слухового нерва возрастал у последних в 3,5 раза при ипсилатеральном (одностороннем) пользовании мобильным телефоном в течение 10 лет и более. Риск развития глиом у пользователей мобильной связи (10 лет и более, ипсилатерально) увеличивался более чем пятикратно по сравнению с контрольной группой. При двустороннем пользовании мобильным телефоном возрастание рисков было менее выражено, хотя также достоверно превышало показатели контрольных групп. Риск развития опухолей был более выражен у молодых людей, пользующихся мобильными телефонами.

В рамках масштабного международного проекта Interphone было выявлено, что при суммарном времени пользования мобильным телефоном свыше 1640 часов, если это время набиралось пользователями в течение 1–4 лет, риск развития глиом возрастал в 3,77 раза, а риск развития менингиом – в 4,8 раза по сравнению с контрольными группами [6; 12].

В работах Г.Г. Верещако и соавторов (2013–2015), выполненных в Институте радиобиологии НАН Беларуси на лабораторных животных, установлено, что облучение крыс ЭМИ (900 МГц) в течение двух недель вызывает у них падение массы тела (-18,3%), повышение числа лейкоцитов (+19,8%), лимфоцитов (+25,6%), тромбоцитов (+67,1%), уменьшение числа моноцитов (-23,0%), эритроцитов и содержания гемоглобина в крови. Экспозиция ЭМИ (900 МГц) животных приводила к повышению активности аланин- и аспаратаминотрансфераз и ЩФ в сыворотке крови. Использование витаминов С и Е способствовало нормализации изучаемых показателей в крови облученных животных.

Чувствительность некоторых гематологических показателей к электромагнитному облучению в диапазоне сотовой связи отражена и в других работах. Это такие показатели, как число клеток белой крови, лейкограмма, количество тромбоцитов и эритроцитов, митотический индекс гемопоэтических стволовых клеток, а также показатель гематокрита, содержание гемоглобина и количество клеток костного мозга. Согласно имеющимся данным изменение вышеперечисленных показателей крови происходило при действии как кратковременного, так и длительного воздействия ЭМП сотового диапазона, хотя не все полученные данные носят однозначный характер.

В ряде работ анализируется действие ЭМП мобильной связи на состояние репродуктивной системы. Показано, что продолжительность разговора по сотовому телефону отрицательно коррелировала с количеством активно подвижных форм сперматозоидов и положительно с числом малоподвижных зрелых половых клеток.

Изучая подвижность и митохондриальный мембранный потенциал сперматозоидов, полученных от здоровых мужчин-доноров, облученных при 900 МГц *in vitro*, ученые пришли к заключению, что изменение этих показателей зависит от значения SAR. При низком уровне SAR (2,0 Вт/кг) влияние электромагнитного излучения на указанные показатели не выявлено, однако экспозиция с высоким уровнем SAR (5,7 Вт/кг) приводила к значительным изменениям на подвижность и мембранный потенциал сперматозоидов [4; 10].

Уровень тестостерона, пролактина, тиреотропного и адренотропного гормонов в сыворотке крови облученных мужчин находился в пределах физиологической нормы. Для гормона роста и кортизола имело место значимое снижение их содержания на 28 и 12% соответственно по сравнению с периодом до облучения и периодом после облучения. Результаты исследований в этом случае показывают отсутствие существенного влияния экспозиции сотового телефона на эндокринную систему организма человека в условиях проведенного эксперимента.

Ограниченные возможности исследований по оценке влияния ЭМП МС на репродуктивную систему мужчин привели к проведению опытов на экспериментальных животных, свидетельствующих о снижении репродуктивного потенциала крыс-самцов под влиянием длительного электромагнитного облучения в диапазоне мобильной связи (900 МГц).

Исследований по вопросу воздействия радиочастот диапазона мобильной связи на женскую половую систему чрезвычайно мало и они противоречивы. Использование сотового телефона беременными женщинами может быть фактором риска аборт на ранних стадиях развития, а также вызвать уменьшение фонда половых клеток [1; 5; 10; 12].

Заключение. Таким образом, результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о потенциально высокой биологической активности электромагнитного излучения в диапазоне мобильной связи. Однако проведенный анализ показывает, что пока еще нет достаточно данных для обоснованного вывода о степени опасности мобильной связи для здоровья человека. Основная проблема в отсутствии данных по отдаленным эффектам связана с тем, что прошло мало времени с момента широкого использования сотовой связи, что вынуждает руководствоваться принципом предосторожности, предусматривая ограничение уровня воздействия, а также предоставлять населению актуальную информацию для возможности выбора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колешко, В.М. Мобильные телефоны, смартфоны и старение организма / В.М. Колешко, Е.А. Воробьев, Н.А. Хмурович. – Минск: БНТУ, 2011. – 315 с.
2. Мордачев, В.И. Системная экология сотовой радиосвязи / В.И. Мордачев. – Минск: Издательский центр БГУ, 2009. – 319 с.
3. Руководства МКЗНИ по ограничению воздействия переменных электрических, магнитных и электромагнитных полей (до 300 ГГц) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.who.int/peh-emf/publications/ICNIRP_Guidelines_rus_final.pdf. – Дата доступа: 06.12.2019.
4. Шибкова, Д.З. Эффекты воздействия электромагнитных излучений на разных уровнях организации биологических систем / Д.З. Шибкова, А.В. Овчинникова // Успехи современного естествознания. Физико-химическая биология. – 2015. – № 5. – С. 156–159.
5. Wdowiak, A. Effect of electromagnetic waves on human reproduction. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* / A. Wdowiak, P.A. Mazurek, A. Wdowiak, I. Bojar // *Ann Agric Environ Med.* – 2017. – № 24(1). – P. 13–18.
6. Hardell, L. Case-control study on cellular and cordless telephones and the risk for acoustic neuroma or meningioma in patients diagnosed 2000–2003 / L. Hardell, M. Carlberg, Mild K. Hansson // *Neuroepidemiology.* – 2005. – № 25(3). – P. 120–129.
7. Kesari, K.K. 900-MHz microwave radiation promotes oxidation in rat brain / K.K. Kesari, S. Kumar, J. Behari // *Electromagnetic Biology and Medicine.* – 2011. – № 30(4). – P. 219–234.
8. Leszczynski, D. Non-thermal activation of the hsp27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cells: molecular mechanism for cancer- and blood-brain barrier-related effects / D. Leszczynski, S. Joenväärä, J. Reivinen, R. Kuokka // *Differentiation.* – 2002. – № 70(2–3). – P. 120–130.
9. Leszczynski, D. Mobile phone radiation and gene expression / D. Leszczynski // *Radiat Res.* – 2007. – № 167(1). – P. 121–124.
10. Григорьев, Ю.Г. Сотовая связь и здоровье: электромагнитная обстановка. Радиобиологические и гигиенические проблемы. Прогноз опасности / Ю.Г. Григорьев, О.А. Григорьев; Федер. мед.-биофиз. центр им. А.И. Бурназяна. – М.: Экономика, 2013. – 565 с.
11. Mausset-Bonnefont, F.L. Acute exposure to GSM 900-MHz electromagnetic fields induces glial reactivity and biochemical modifications in the rat brain // A.L. Mausset-Bonnefont, H. Hirbec, X. Bonnefont, A. Privat, J. Vignon, R. de Seze // *Neurobiology.* – 2004. – № 17(1). – P. 445–454.
12. Верещако, Г.Г. Влияние электромагнитного излучения мобильных телефонов на состояние мужской репродуктивной системы и потомство / Г.Г. Верещако. – Минск: Беларус. навука, 2015. – 190 с.

REFERENCES

1. Koleshko V.M., Vorobyev E.A., Khmurovich N.A. *Mobilniye telephony, smartfony i starenie organizma* [Mobile Phones, Smart Phones and Ageing], Minsk: BNTU, 2011, 315 p.
2. Mordachev V.I. *Sistemnaya ekologiya sotovoi radiosvazi* [System Ecology of Cellular Radio Communication], Minsk: Izdatelski tsentr BGU, 2009, 319 p.
3. *Rukovodstva MKZNI po ogranicheniyu vozdeistviya peremennykh elektricheskikh, magnitnykh i elektromagnitnykh polei (do 300 GGTs)* [MKZNI Guidelines on Temporary Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)], Available at: http://www.who.int/peh-emf/publications/ICNIRP_Guidelines_rus_final.pdf. Accessed: 06.12.2019.
4. Shibkova D.Z., Ovchinnikova A.V. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. Fiziko-khimicheskaya biologiya* [Successes of the Contemporary Natural Science. Physical and Chemical Biology], 2015, 5, pp. 156–159.
5. Wdowiak A. Effect of electromagnetic waves on human reproduction. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* / A. Wdowiak, P.A. Mazurek, A. Wdowiak, I. Bojar // *Ann Agric Environ Med.* – 2017. – № 24(1). – P. 13–18.
6. Hardell, L. Case-control study on cellular and cordless telephones and the risk for acoustic neuroma or meningioma in patients diagnosed 2000–2003 / L. Hardell, M. Carlberg, Mild K. Hansson // *Neuroepidemiology.* – 2005. – № 25(3). – P. 120–129.
7. Kesari, K.K. 900-MHz microwave radiation promotes oxidation in rat brain / K.K. Kesari, S. Kumar, J. Behari // *Electromagnetic Biology and Medicine.* – 2011. – № 30(4). – P. 219–234.
8. Leszczynski, D. Non-thermal activation of the hsp27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cells: molecular mechanism for cancer- and blood-brain barrier-related effects / D. Leszczynski, S. Joenväärä, J. Reivinen, R. Kuokka // *Differentiation.* – 2002. – № 70(2–3). – P. 120–130.
9. Leszczynski, D. Mobile phone radiation and gene expression / D. Leszczynski // *Radiat Res.* – 2007. – № 167(1). – P. 121–124.
10. Grigoryev Yu.G., Grigoryev O.A. *Sotovaya sviaz i zdorovyе: elektromagnitnaya obstanovka. Radiobiologicheskiye i gigiyenicheskiye problemy. Prognoz opasnosti* [Cellular Communication and Health: Electromagnetic Situation. Radiobiological and Hygienic Problems. Hazard Forecast], M.: Ekonomika, 2013, 565 p.
11. Mausset-Bonnefont, F.L. Acute exposure to GSM 900-MHz electromagnetic fields induces glial reactivity and biochemical modifications in the rat brain // A.L. Mausset-Bonnefont, H. Hirbec, X. Bonnefont, A. Privat, J. Vignon, R. de Seze // *Neurobiology.* – 2004. – № 17(1). – P. 445–454.
12. Vereshchako G.G. *Vliyaniye elektromagnitnogo izlucheniya mobilnykh telefonov na sostoyaniye muzhskoi reproduktivnoi sistemy i potomstvo* [Impact of Electromagnetic Radiation of Mobile Phones on the State of Male Reproductive System and Offspring], Minsk: Belaruskaya navuka, 2015, 190 p.

Поступила в редакцию 08.01.2020

Адрес для корреспонденции: e-mail: adnaumov@tut.by – Наумов А.Д.