

Миллиметровые волны и стандарт 5G: дополнение к обзору

С.В. Яргин

*Российский университет дружбы народов
117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6*

Резюме

Телекоммуникационные системы пятого поколения (5G) внедряются во всем мире. В настоящей статье приведены соображения в пользу того, что миллиметровые волны, используемые в соответствии со стандартом 5G, не обладают большим повреждающим действием на единицу поглощенной энергии, чем инфракрасное излучение. Убедительные доказательства и теоретические соображения в пользу канцерогенного или повреждающего (до уровня термического повреждения) действия миллиметровых волн в литературе отсутствуют. Чрезмерно строгие правила техники безопасности вредны для экономики и создают неудобства в повседневной жизни. Результаты эпидемиологических исследований важны, но нужно уделять больше внимания уклонам и мешающим факторам. Получить достоверные результаты можно с помощью исследований на животных с регистрацией продолжительности жизни. Для того чтобы выводы были применимы к использованию мобильной связи или профессиональной деятельности, мощности доз в экспериментах должны быть сравнимыми с таковыми у человека.

Ключевые слова: электромагнитное излучение радиочастотного диапазона, миллиметровые волны, стандарт 5G, мобильная связь, канцерогенный эффект.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор для переписки: Яргин С.В., e-mail: sjargin@mail.ru

Для цитирования: Яргин С.В. Миллиметровые волны и стандарт 5G: дополнение к обзору. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2021; 41 (4): 25–29. doi: 10.18699/SSMJ20210403

Millimeter waves and 5G standard: addition to the review

S.V. Jargin

*Peoples' Friendship University of Russia
117198, Moscow, Miklukho-Maklay str., 6*

Abstract

The fifth generation (5G) telecommunication systems are about to be implemented worldwide. It is argued here that millimeter waves used in 5G cannot be more harmful per unit of absorbed energy than infrared radiation. In the literature, there is neither convincing evidence nor theoretical considerations in favor of carcinogenic or damaging (up to the level of thermal damage) effects of millimeter waves. Excessively strict safety regulations are unfavorable for the economy and everyday life. Epidemiological data are important; but more attention should be given to potential bias and confounding factors. Large-scale animal experiments with the registration of average life duration would be a reliable way to determine the net harm. The doses and exposure duration in animals must be comparable to those in related human populations to make results extrapolable to humans.

Key words: radiofrequency electromagnetic fields, millimeter waves, 5G standard, mobile phones, carcinogenicity.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

Correspondence author: Jargin S.V., e-mail: sjargin@mail.ru

Citation: Jargin S.V. Millimeter waves and 5G standard: addition to the review. *Sibirskiy nauchnyy meditsinskiy zhurnal = Siberian Scientific Medical Journal*. 2021; 41 (4): 25–29. [In Russian]. doi: 10.18699/SSMJ20210403

Недавно опубликованы обзоры экспериментальных и эпидемиологических исследований предполагаемого канцерогенного и повреждающего действия электромагнитного излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ) [1, 2]. В настоящей статье речь пойдет о миллиметровых волнах (МВ), которые используются в средствах связи нового поколения (стандарт 5G). МВ, которые в электромагнитном спектре соседствуют с инфракрасным излучением, характеризуются малой глубиной проникновения в живые ткани, поглощаются кожей и слизистыми оболочками [3]. Литература на данную тему противоречива, качество многих исследований невысокое [4, 5]; имеется много сообщений сомнительной достоверности. С помощью метаанализа для МВ выявлена статистически достоверная ($p < 0,05$) отрицательная корреляция между показателем качества (quality score) исследований и эффективностью облучения (effect size) [4]. Подобная тенденция неоднократно отмечалась для ЭМИ РЧ в целом [1]. В этих условиях увеличивается значение теоретических аргументов.

Обычные (термические) реакции получают энергию активации за счет термического возбуждения в результате случайных столкновений молекул, фотохимические – от поглощения фотонов молекулами. Поглощение может вести к электронному возбуждению молекул, но энергия может также рассеиваться в виде тепла. Рассеивание преобладает при низких энергиях фотонов (квантов), недостаточных для возбуждения молекул. Согласно закону Гротгуса – Дрейпера, только поглощенное излучение может вызывать фотохимические реакции. Согласно закону Штарка – Эйнштейна, в процессе возбуждения молекула поглощает один фотон. При воздействии лазера возможно поглощение молекулой нескольких квантов [6]. Как правило, для инициации фотохимических реакций необходимо излучение видимого или ультрафиолетового диапазона. Инфракрасные фотоны лазерного излучения также могут инициировать реакции. Кванты МВ имеют еще меньшую энергию, чем инфракрасные. Убедительные доказательства участия фотохимических или нетепловых механизмов повреждения тканей или ДНК под действием МВ отсутствуют.

Это относится также к образованию свободных радикалов кислорода, которое обсуждается как возможный механизм действия ЭМИ РЧ. Радикалы могут образовываться в результате диссоциации молекул под действием света или тепла, т.е. фотохимических и термических реакций. Гипертермия сама по себе может вызвать образование активных форм кислорода. Сообщалось о нарушении

репарации ДНК и повышении риска опухолей при частом перегреве профессионального или рекреационного характера. С другой стороны, имеются данные, что ЭМИ РЧ защищают от окислительного повреждения живых тканей [7]; подробности и ссылки – в обзорах [1, 2]. Отсутствуют какие-либо доводы в пользу того, что нагрев под действием МВ вызывает более интенсивный окислительный стресс, чем нагрев иным способом. Теоретически нет оснований ожидать от ЭМИ РЧ большего повреждающего действия на единицу поглощенной энергии или температуры, чем от инфракрасных лучей, с которыми МВ соседствуют в спектре.

Согласно заключению Международного агентства по изучению рака (IARC), заболеваемость опухолями головного мозга не отреагировала на глобальное распространение мобильной связи [7]. По мнению экспертов Научного комитета по новым и вновь выявленным рискам для здоровья (SCENIHR) и Международной комиссии по защите от неионизирующего излучения (ICNIRP), эпидемиологические исследования в целом не подтверждают повышения риска опухолей вследствие использования сотовых телефонов [8, 9]. Эпидемиологические данные противоречивы; в них не исключены уклоны (bias): дозозависимый отбор и самоотбор, ошибки памяти и др. [10, 11]. Если бы канцерогенный эффект ЭМИ РЧ был сколько-нибудь существенным, то показатели заболеваемости были бы выше в тех регионах, где давно используются бытовые и промышленные источники ЭМИ РЧ. Частота глиомы в США мало изменилась за период с 1992 по 2008 г. [12, 13], несмотря на быстрый рост популярности мобильных телефонов. Некоторое увеличение заболеваемости в отдельных странах и возрастных группах не имело четкой временной связи с их использованием. Представляется вероятным, что увеличение зарегистрированной заболеваемости обусловлено прогрессом методов визуализации и качества диагностики. Суммарное время использования мобильных телефонов могло быть связано с уровнем дохода [14, 15], который, в свою очередь, ассоциирован с качеством медицинского наблюдения и диагностики. Этот уклон может объяснить корреляции доза – эффект.

В отличие от солнечного излучения и инфракрасных обогревателей, МВ в повседневной жизни не вызывают значительного нагрева живых тканей. В литературе обсуждаются канцерогенные и иные вредные эффекты ЭМИ РЧ нетепловой интенсивности [3]. Вместе с тем ультра- и крайне высокочастотная (УВЧ, КВЧ) диатермия широко использовалась для лечения синусита,

тонзиллита и т.п. у детей и взрослых с 1960-х годов [16, 17]. О повышении риска онкологических и офтальмологических заболеваний после УВЧ-терапии не сообщалось, хотя избыточная экспозиция тканей мозга и глаза в принципе не исключена [8].

Опасения по поводу МВ включают следующее. Наличие потовых желез может привести к локальному повышению поглощения энергии [18]. Следует отметить, что первичный пот почти изотоничен плазме крови, а конечный пот, выделяемый на поверхность кожи, становится гипотоническим после реабсорбции ионов Na^+ и Cl^- в протоке [19]. Соответственно, электропроводность потовых протоков не должна существенно отличаться от таковой капилляров и других сосудов. Предпочтительный нагрев потовых протоков, если и имеет место, едва ли вызовет повреждение (иначе МВ можно было бы испытать как средство от гипергидроза). Те же соображения относятся к инфракрасному излучению.

Еще один повод для озабоченности состоит в том, что беспроводные устройства могут передавать пакеты МВ продолжительностью от нескольких миллисекунд до секунд. Даже если усредненная по времени и площади поглощаемая мощность находится в допустимых пределах, предполагается возможность температурных пиков с повреждающим действием [20]. Данный вопрос следует поставить перед экспериментаторами: могут ли импульсные ЭМИ РЧ с определенными характеристиками (плотность потока энергии, отношение пиковой мощности к ее среднему значению) повреждать живые ткани. Для МВ исследования будут проще, чем для прочих ЭМИ РЧ, ввиду малой глубины проникновения, так что достаточно будет измерять температуру на поверхности.

Можно с уверенностью предположить, что повреждение кожи и слизистых оболочек под действием МВ будет зависеть от измеряемой температуры как и при любом нагреве. Сообщалось, например, что импульсное и непрерывное облучение МВ с одинаковой эффективностью вызывали катаракты у кроликов [21]. В отношении органа зрения отметим, что развитие катаракты и других повреждений при уровнях ЭМИ РЧ ниже теплового не подтверждается [21, 22]. Эксперименты с облучением всего тела (far field) показали, что у кроликов катаракта образуется только при облучении МВ на уровне, близком к летальному. При локальном облучении (near field) пороговые условия для возникновения катаракты у кроликов были определены как 150 Вт/кг в течение 30 минут, что сопровождалось повышением температуры до 41 °С и выше в хрусталике или рядом с ним.

У обезьян даже при таком воздействии катаракты не возникали [21]. Гипотермия предотвращала развитие катаракт у кроликов, что подтверждает термический механизм повреждения хрусталика при микроволновом облучении [23]. Облучение с вышеуказанными характеристиками значительно превышает предельно допустимые уровни [24].

Воздействие на головной мозг и глаз можно исследовать на крупных животных с имитацией, например, УВЧ-терапии области головы и шеи. Кроме того, необходимо исследовать возможность появления повреждающих горячих точек вследствие интерференции волн в неподвижном облучаемом теле применительно к УВЧ-терапии или такой «экстремальной» ситуации, как спящий ребенок с прижатым к уху излучающим телефоном. Опасения в отношении головного мозга, сетчатки глаза, других глубоко расположенных органов и тканей не имеют оснований при облучении МВ ввиду малой глубины их проникновения. Наконец, нужно отметить мистификацию вокруг данной темы. Анализировать соответствующую литературу не имеет смысла, приведем лишь несколько цитат: «Воздействие внешнего МВ индуцирует акустоэлектрические волны в клеточных мембранах», «Биологические эффекты не зависят от интенсивности МВ», «Распространение МВ происходит по каналам, которые описаны в традиционной китайской медицине» [25].

Заключение

Убедительные доказательства и теоретические соображения в пользу канцерогенного или повреждающего (до уровня термического повреждения) действия МВ в литературе отсутствуют. Результаты эпидемиологических исследований важны, но нужно уделять больше внимания уклонам (bias) и мешающим факторам. Большое число наблюдений не предохраняет от систематических ошибок. Получить достоверные результаты можно с помощью исследований на животных с регистрацией продолжительности жизни. Неинвазивные эксперименты такого рода этически приемлемы, технически просты, позволяют объективно оценивать зависимость доза – эффект. Прижизненное и посмертное исследование отдельных животных сопровождается затратами, которые можно направить на увеличение числа наблюдений с целью повышения статистической достоверности. Средняя продолжительность жизни облученных самцов крыс в исследовании высокого качественного уровня была выше, чем в контроле [26], что может отражать благоприятное действие малых доз ЭМИ РЧ в соответствии с

концепцией гормезиса. Подробный комментарий и ссылки приведены в обзорах [1, 2]. Очевидно, что средняя продолжительность жизни лучше отражает суммарное вредное действие, чем частота связанных с возрастом редких опухолей. Время облучения крыс (9 ч/сут) в исследовании [26] было больше, чем у пользователей мобильных телефонов; у многих животных отмечено измеримое повышение температуры тела. Для того чтобы выводы были применимыми к использованию мобильной связи или профессиональной деятельности, мощности доз в экспериментах должны быть сравнимыми с таковыми у человека.

Список литературы / References

1. Яргин С.В. О биологическом действии электромагнитного излучения радиочастотного диапазона. *Сиб. науч. мед. ж.* 2019; 39 (5): 52–61. doi: 10.15372/ssmj20190506
2. Jargin S.V. On the biological effects of radiofrequency electromagnetic fields. *Sibirskiy nauchnyy meditsinskiy zhurnal = Siberian Scientific Medical Journal*. 2019; 39 (5): 52–61. [In Russian]. doi: 10.15372/SSMJ20190506
3. Jargin S.V. Radiofrequency radiation: carcinogenic and other potential risks. *J. Radiat. Oncol.* 2020; 9: 81–91. doi: 10.1007/s13566-020-00425-z
4. Григорьев Ю.Г. Стандарт 5G – технологический скачок вперед в сотовой связи: будет ли проблема со здоровьем у населения? (погружение в проблему). *Радиаци. биол. Радиоэкол.* 2020; 60 (6): 627–634. doi: 10.31857/S0869803120060181
5. Grigoriev Yu.G. 5g standard – technological leap ahead for cellular communication. Will there be a problem with the health of the population? (diving in problem). *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya = Radiation Biology. Radioecology*. 2020; 60 (6): 627–634. [In Russian]. doi: 10.31857/S0869803120060181
6. Wood A., Mate R., Karipidis K. Meta-analysis of in vitro and in vivo studies of the biological effects of low-level millimetre waves. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 2021; 31 (4): 606–613. doi: 10.1038/s41370-021-00307-7
7. Karipidis K., Mate R., Urban D., Tinker R., Wood A. 5G mobile networks and health—a state-of-the-science review of the research into low-level RF fields above 6 GHz. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 2021; 31 (4): 585–605. doi: 10.1038/s41370-021-00297-6
8. Панченко П.А. Фотохимические реакции. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2017. 132 с.
9. Panchenko P.A. Photochemical reactions. Moscow, 2017. 132 p. [In Russian].
10. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Non-ionizing radiation, Part 2: Radiofrequency electromagnetic fields. *IARC Monogr. Eval. Carcinog. Risks Hum.* 2013; 102 (Pt 2): 1–460.
11. Scientific Committee on Emerging Newly Identified Health Risks. Opinion on potential health effects of exposure to electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 2015; 36 (6): 480–484. doi: 10.1002/bem.21930
12. Swerdlow A.J., Feychting M., Green A.C., Lee-Kheifets L.K., Savitz D.A. International commission for non-ionizing radiation protection standing committee on epidemiology. Mobile phones, brain tumours, and the interphone study: Where are we now? *Environ. Health Perspect.* 2011; 119 (11): 1534–1538. doi: 10.1289/ehp.1103693
13. Jargin S.V. Hormesis and radiation safety norms: Comments for an update. *Hum. Exp. Toxicol.* 2018; 37 (11): 1233–1243. doi: 10.1177/0960327118765332
14. Vrijheid M., Deltour I., Krewski D., Sanchez M., Cardis E. The effects of recall errors and of selection bias in epidemiologic studies of mobile phone use and cancer risk. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 2006; 16 (4): 371–384. doi: 10.1038/sj.jes.7500509
15. Inskip P.D., Hoover R.N., Devesa S.S. Brain cancer incidence trends in relation to cellular telephone use in the United States. *Neuro-Oncol.* 2010; 12 (11): 1147–1151. doi: 10.1093/neuonc/noq077
16. Little M.P., Rajaraman P., Curtis R.E., Devesa S.S., Inskip P.D., Check D.P., Linet M.S. Mobile phone use and glioma risk: Comparison of epidemiological study results with incidence trends in the United States. *BMJ*. 2012; 344: e1147. doi: 10.1136/bmj.e1147
17. Текшева Л.М., Барсукова Н.К., Чумичева О.А., Хатит З.Х. Гигиенические аспекты использования сотовой связи в школьном возрасте. *Гигиена и сан.* 2014; (2): 60–65.
18. Teksheva L.M., Barsukova N.K., Chumicheva O.A., Khatit Z.Kh. Hygienic aspects of cellular communication in school age. *Gigiena i sanitariya = Hygiene and Sanitation*. 2014; (2): 60–65. [In Russian].
19. Schüz J., Jacobsen R., Olsen J.H., Boice J.D. Jr., McLaughlin J.K., Johansen C. Cellular telephone use and cancer risk: Update of a nationwide Danish cohort. *J. Natl. Cancer Inst.* 2006; 98 (23): 1707–1713. doi: 10.1093/jnci/djj464
20. Николаевская В.П. Применение микроволновой терапии у больных хроническим тонзиллитом. *Вестн. оториноларингол.* 1966; 28 (6): 31–34.
21. Nikolaevskaya V.P. The use of microwave therapy in patients with chronic tonsillitis. *Vestnik otorinolaringologii = Bulletin of Otorhinolaryngology*. 1966; 28 (6): 31–34. [In Russian].
22. Поважная Е.Л., Мамбеталиева А.С. КВЧ-терапия в профилактике острых респираторных заболеваний у детей с хроническими ЛОР- и аллергическими заболеваниями. *Вопр. курорт., физиотерапии и лечеб. физ. культуры*. 2010; (5): 17–21.

- Povazhnaia E.L., Mambetalieva A.S. Extremely high frequency therapy for the prevention of acute respiratory diseases in children with chronic ENT and allergic diseases. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoy fizicheskoy kul'tury = Problems of Balneology, Physiotherapy, and Exercise Therapy*. 2010; (5): 17–21.
18. Betzalel N., Ben Ishai P., Feldman Y. The human skin as a sub-THz receiver - Does 5G pose a danger to it or not? *Environ. Res.* 2018; 163: 208–216. doi: 10.1016/j.envres.2018.01.032
19. Baker L.B. Physiology of sweat gland function: The roles of sweating and sweat composition in human health. *Temperature (Austin)*. 2019; 6 (3): 211–259. doi: 10.1080/23328940.2019.1632145
20. Neufeld E., Kuster N. Systematic derivation of safety limits for time-varying 5G radiofrequency exposure based on analytical models and thermal dose. *Health Phys.* 2018; 115 (6): 705–711. doi: 10.1097/HP.0000000000000930
21. Elder J.A. Ocular effects of radiofrequency energy. *Bioelectromagnetics*. 2003; (Suppl. 6): S148–S161. doi: 10.1002/bem.10117
22. Кудряшов Ю.Б., Перов Ю.Ф., Рубин А.Б. Радиационная биофизика. М.: Физматлит, 2008. 184 с.
- Kudryashov Yu.B., Perov Yu.F., Rubin A.B. Radiation biophysics. Moscow: Fizmatlit, 2008. 184 p. [In Russian].
23. Kramar P.O., Emery A.F., Guy A.W., Lin J.C. The ocular effects of microwaves on hypothermic rabbits: a study of microwave cataractogenic mechanisms. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1975; 247: 155–165. doi: 10.1111/j.1749-6632.1975.tb35992.x
24. Yu Y., Yao K. Non-thermal cellular effects of low-power microwave radiation on the lens and lens epithelial cells. *J. Int. Med. Res.* 2010; 38 (3): 729–736. doi: 10.1177/147323001003800301
25. Резункова О.П. Экологические (биотропные) особенности миллиметрового диапазона. СПб.: СПбГУТ, 2015. 172 с.
- Rezunkova O.P. Ecological (biotropic) features of the millimeter diapason. Saint-Petersburg, 2015. 172 p. [In Russian].
26. National Toxicology Program. Toxicology and carcinogenesis studies in Sprague Dawley (Hsd: Sprague Dawley SD) rats exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones. *Natl. Toxicol. Program Tech. Rep. Ser.* 2018; (595): NTP-TR-595. doi: 10.22427/NTP-TR-595

Сведения об авторе

Сергей Вадимович Яргин, к.м.н., ORCID: 0000-0003-4731-1853, e-mail: sjargin@mail.ru

Information about the author

Sergei V. Jargin, candidate of medical sciences, ORCID: 0000-0003-4731-1853, e-mail: sjargin@mail.ru

Поступила в редакцию 28.04.2021

Принята к публикации 19.05.2021

Received 28.04.2021

Accepted 19.05.2021