

DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-9-624-626>

УДК 623.621.373:612.821

© Коллектив авторов, 2020

Аминов А.М., Гавриш Н.Н.

Повреждения роговицы глаза при воздействии высокоинтенсивного электромагнитного излучения радиочастотного диапазона

ФГКУ «12 Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны Российской Федерации», ул. Весенняя, 26, Сергиев Посад, Московская область, Россия, 141307

Проведена экспериментальная оценка клинических проявлений повреждений роговицы закрытого веком глаза кролика при воздействии высокоинтенсивного электромагнитного излучения (ЭМИ) сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона. Аналогичные исследования проведены при воздействии высокоинтенсивного ЭМИ ультравысокой частоты (УВЧ) на открытый глаз кролика. Выявлены дозо- и частото зависимые изменения роговицы глаза кролика, подвергнутого воздействию ЭМИ частотами 3,97 ГГц и 1,27 ГГц со средней плотностью потока энергии (ППЭ) равной 1 Вт/см². Установлено, что высокоинтенсивное прямое кратковременное воздействие ЭМИ СВЧ-диапазона может приводить к поражению даже закрытого глаза. Близкое по интенсивности и экспозиции излучение УВЧ-диапазона кроме прямого повреждения роговицы открытого глаза вызывает легкое повреждение наружных структур открытого парного глаза, не подвергающегося прямому воздействию. Указанное обуславливает необходимость разработки средств и способов индивидуальной защиты органа зрения у персонала для защиты от кратковременного воздействия мощного ЭМИ радиочастотного диапазона.

Ключевые слова: роговица глаза; электромагнитное излучение сверхвысокой и ультравысокой частоты; биологическое действие

Для цитирования: Аминов А.М., Гавриш Н.Н. Повреждения роговицы глаза при воздействии высокоинтенсивного электромагнитного излучения радиочастотного диапазона. *Мед. труда и пром. экол.* 2020; 60(9). <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-9-624-626>

Для корреспонденции: Аминов Андрей Маулитович, зам. начальника отдела ФГКУ «12 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны РФ. E-mail: aminov010175@mail.ru

Благодарности. Авторы признательны коллегам Суеву А.А., Алекперову С.И. (ФГБУ «Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины» Минобороны России) за предоставленную возможность использования совместно полученных данных при написании статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 15.06.2020 / Дата принятия к печати: 12.08.2020 / Дата публикации: 07.10.2020

Andrey M. Aminov, Nikolay N. Gavrish

Damage to the cornea of the eye when exposed to high-intensity electromagnetic radiation of the radio frequency range

12 Central Research Institute of the Ministry of Defense of Russia, 2b, Vesennaya str., Sergiev Posad, Moscow Region, Russia, 141307

An experimental assessment of the clinical manifestations of corneal injuries of the rabbit-eyed eyes closed under the influence of high-intensity electromagnetic radiation (EMR) in the microwave range was carried out. Similar studies have been conducted when exposed to high-intensity EMR ultrahigh frequency (UHF) on the open eye of a rabbit. Dose- and frequency-dependent changes in the cornea of the rabbit eye exposed to EMR frequencies of 3.97 GHz and 1.27 GHz with an average energy flux density (EFD) of 1 W/cm² were revealed. It has been established that a high-intensity direct short-term exposure to a microwave EMF can lead to damage to even a closed eye. Radiation of the UHF range, which is close in intensity and exposure, in addition to direct damage to the cornea of the open eye, causes slight damage to the external structures of the open paired eye, which is not directly affected. The aforementioned necessitates the development of means and methods of individual protection of the organ of vision of personnel for protection against short-term exposure to powerful electromagnetic radiation of the radio frequency range.

Key words: cornea; electromagnetic field of ultrahigh and ultrahigh frequency; biological action

For citation: Aminov A.M., Gavrish N.N. Core eye damage after exposure high-intensity electromagnetic radiation radio frequency range. *Med. truda i prom. ekol.* 2020; 60(9). <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-9-624-626>

For correspondence: Andrey M. Aminov, Deputy head of the Department of the 12 Central Research Institute of the Ministry of Defense of Russia. E-mail: aminov010175@mail.ru

Acknowledgement. The authors are grateful to colleagues Suetov A.A., Alekperov S.I. (Federal State Budgetary Institution "State Scientific Research Testing Institute of Military Medicine" of the Ministry of Defense of Russia) for permission to use the jointly obtained data when writing an article.

Funding. The study had no funding.

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

Information about authors:

Aminov A.M. <https://orcid.org/0000-0002-5907-3242> Gavrish N.N. <https://orcid.org/0000-0002-7508-6940>

Received: 15.06.2020 / Accepted: 12.08.2020 / Published: 07.10.2020

Различные патологии органа зрения при хроническом воздействии ЭМИ радиочастотного (РЧ) диапазона нередко встречаются у лиц, занимающихся эксплуатацией средств связи, радионавигации и радиолокации, являющихся источниками электромагнитных полей (ЭМП) [1]. При соблюдении гигиенических требований, техники безопасности и условий штатной эксплуатации указанной радиотехнической аппаратуры практически исключается неблагоприятное влияние излучения на состояние здоровья (в том числе, органа зрения) обслуживающего персонала. Однако при аварийных ситуациях или при нарушении техники безопасности не исключена возможность экстремального воздействия на персонал, а также на лиц, попавших в зону распространения ЭМИ. Уровни электромагнитного воздействия при этом могут на несколько порядков превышать предельно

допустимые [2].

Наметившаяся в последнее время перспектива повышения мощности существующих и создания новых мощных генераторов ЭМП определяет актуальность исследований в области обеспечения электромагнитной безопасности и защиты персонала в процессе испытаний, ремонта, наладки и эксплуатации мощных источников ЭМИ.

Распространённой формой электромагнитного поражения органа зрения является СВЧ-индуцированная катаракта в результате как хронического, так и однократного интенсивного воздействия. Сведения о характере изменений, помимо катаракты, в структурах органа зрения на фоне кратковременного высокоинтенсивного воздействия отрывочны и чаще всего являются сопутствующими, несистематизированными и непригодны для

Таблица 1 / Table 1

Распределение кроликов в эксперименте
Distribution of rabbits in the experiment

Частота ЭМИ, ГГц	Экспозиция, с							Контроль
	15	20	30	40	50	60	90	
3,97	-	-	6	6	6	6	-	6
1,27	6	6	-	6	-	6	6	6

прогноза развивающихся эффектов [3, 4, 5]. Поэтому исследование наличия и условий развития изменений в поверхностных структурах органа зрения при кратковременном воздействии высокоинтенсивных ЭМП сантиметровой и дециметрового диапазона длин волн имеют важное практическое значение для определения безопасной продолжительности случайного или вынужденного пребывания человека в зоне излучения, а также разработки индивидуальных средств защиты.

Цель исследования — изучение клинических проявлений повреждений роговицы глаза у лабораторных кроликов при различных условиях однократного воздействия высокоинтенсивного ЭМИ сверхвысокой и ультравысокой частот.

Исследование выполнено на 66 кроликах-самцах породы Шиншилла (массой тела 3-3,5 кг), содержащихся в помещениях вивария при естественном освещении на стандартном пищевом рационе. Выбор кроликов был обусловлен традиционными представлениями о сходстве анатомических структур органа зрения у этого вида животных и человека [6]. Распределение животных в эксперименте представлено в таблице 1. Работа была проведена в соответствии с Международными рекомендациями по работе с лабораторными животными, Стокгольмской декларацией о гуманном обращении с лабораторными животными и одобрено локальным этическим комитетом ФГКУ «12 ЦНИИ» Минобороны России.

Перед опытом животное фиксировали в станке и обезбоживали путем внутримышечного введения 2% ксилазина гидрохлорида (Рометар, «Bioveta», Чешская Республика) в дозировке 5,0 мг/кг. Затем укрепляли станок на подвижной платформе на заданном расстоянии от рупора антенны установкой и ориентировали тело биообъекта боком к излучателю. Голова кролика была при этом расположена в профиль к падающему ЭМИ. До и сразу после воздействия исследовали орган зрения с помощью фундускамеры TRC-NW300 («Торсон», Япония) в условиях медикаментозного мидриаза, получаемого путем двукратной инстилляции тропикамида (Мидриацил 1,0 %, «Alcon», Бельгия). Для визуального определения наличия и выраженности эпителиопатии осуществляли прокрашивание поверхности глаза витальным красителем — лиссаминовым зеленым.

Все выявленные после воздействия изменения глазной поверхности классифицировали в соответствии с градацией, приведенной в работе [7]: 0 — нет изменений; 1 — отдельные участки эрозии в роговице, отек стромы слабый или отсутствует, инъекция конъюнктивы слабая или отсутствует; 2 — эрозия достигает 50% площади роговицы, умеренный отек стромы, инъекция конъюнктивы; 3 — тотальная эрозия, умеренный или выраженный отек стромы, выраженная инъекция и хемоз конъюнктивы.

Анализ результатов производили в пакете программ Microsoft Office Excel 2010 с использованием непараметрических методов статистической обработки данных. Результаты представлены в долях относительно уровня контроля. Статистически достоверными считали результаты с уровнем значимости меньше 0,05.

Результаты офтальмоскопической и визуальной оценки изменений у подопытных биообъектов в условиях СВЧ-воздействия на открытый и закрытый веком глаз свидетельствуют о достоверном развитии начальных признаков повреждения роговицы открытого и закрытого глаза через 15 с и 40 с СВЧ-воздействия, соответственно, и усугу-

блиении повреждения по мере увеличения экспозиции. В частности, в результате воздействия с экспозицией 30 с и более наблюдали признаки повреждения роговицы открытого глаза подопытного кролика в форме частичной или тотальной эрозии с отеком стромы различной выраженности. Степень повреждения роговицы коррелировала ($r=0,84$, $p<0,05$) с экспозицией. Обследование глазной поверхности другого (парного) глаза у животных, подвергнутых воздействию ЭМИ с различными временными интервалами, не выявило каких-либо патологических изменений.

При СВЧ-воздействии на закрытый веком глаз кролика первичные признаки повреждения глазной поверхности наблюдали при значениях времени воздействия 40 с. При увеличении экспозиции до 60 с степень повреждения роговицы повышалась до 2 баллов в соответствии с приведенной классификацией.

Повреждение, вызывшееся в эпителиопатии роговицы легкой степени, было обратимым и через сутки не определялось.

Результаты офтальмоскопической и визуальной оценки изменений роговицы открытого и закрытого веком глаза у кроликов в условиях УВЧ-воздействия, а также парного глаза, не подвергнутого прямому воздействию излучения, показали, что начальные признаки повреждения роговой оболочки открытого глаза достоверно проявляются у кроликов после 20 с экспозиции ЭМИ УВЧ-диапазона. При этом ЭМИ с экспозицией от 20 до 40 с обусловило развитие слабой эпителиопатии роговицы, возникновение незначительной инъекции конъюнктивы у подопытных животных. При длительности воздействия от 40 до 90 с выявлены повреждения роговицы в виде умеренной локальной эрозии эпителия, отека с частичным помутнением стромы, умеренной инъекции сосудов конъюнктивы, слабого хемоза с умеренным блефароспазмом. Следует отметить то, что во всех приведенных экспозициях ЭМИ УВЧ-диапазона на закрытый веком глаз кролика не было зарегистрировано видимых изменений роговой оболочки. Однако при экспозиции УВЧ-воздействия от 40 с и выше наблюдали повреждения роговицы открытого парного глаза, находящегося вне зоны прямого УВЧ-излучения, ограничивающееся легкой степенью эпителиопатии.

Как известно, клиническими проявлениями незначительного повреждения (легкой степени эпителиопатии) роговицы глаза являются резкая боль, обильное слезотечение, светоблезнь. Исходя из приведенных оценок степени повреждения органа зрения у биообъектов, можно предположить, что некоторым пострадавшим при экстремальном воздействии ЭМИ РЧ вероятно потребуются медикаментозная коррекция их состояния. Указанное обуславливает необходимость разработки и применения специальных средств защиты органа зрения при работе с генераторами высокоинтенсивных ЭМИ РЧ-диапазона.

На основании обобщения и анализа полученных результатов офтальмоскопического исследования установлено следующее.

Пороговые значения экспозиции ЭМИ с ППЭср 1,0 Вт/см² для развития повреждения роговицы открытого глаза у биообъектов составляли 15 с и 20 с при СВЧ- и УВЧ-воздействии, соответственно (табл. 2).

Повреждения роговой оболочки закрытого веком глаза кролика при воздействии СВЧ-излучения с ППЭср 1,0 Вт/см² развивались при экспозиции 40 с.

Прикрытый веком орган зрения является достаточно защищенным от воздействия ЭМИ УВЧ-диапазона.

Таблица 2 / Table 2

Характеристики экспериментальных установок
Characteristics of experimental installations

Наименование	Частота, ГГц	ППЭср, Вт/см ²	Импульсная мощность, кВт	Длительность импульса, мкс	Минимальная скважность
«Лама-4»	3,97	1,0	100	0,2–1000	40
«Вариометр»	1,27	1,0	2500	4	1000

Примечание: поляризация ЭМП вертикальная.
Note: vertical polarization of the electromagnetic field

При УВЧ — воздействию на голову биообъектов возможно повреждение роговицы открытого глаза, находящегося вне

прямого действия электромагнитного излучения радиочастотного диапазона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быстров Р.П., Дмитриев В.Г., Потапов А.А. и др. Электромагнитные системы и средства преднамеренного воздействия на физические и биологические объекты. *RENSIT*. 2014; 6(2): 129–69.
2. Barbu D. The effects of radiation on the eye in industrial environments. *J. Annals of the Oradea University: Fascicle Management and Technological Engineering*. 2015; 2. <https://doi.org/10.15660/AUOFMTE.2015-2.3153>
3. СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.
4. Elder J.A. Ocular effects of radiofrequency energy. *Bioelectromagnetics*. 2003; 6: 148–61. <https://doi.org/10.1002/bem.10117>
5. Saito K., Saiga T., Suzuki K. Reversible irritative effect of acute 2.45 Ghz microwave exposure on rabbit eyes-a preliminary evaluation. *J. Toxicol Sci*. 1998 Aug; 23(3): 197–203. https://doi.org/10.2131/jts.23.3_197
6. Даренская Н.Г., Ушаков И.Б., Иванов И.В. и др. *От эксперимента на животных — к человеку: поиски и решения*. Воронеж: Научная книга; 2010.
7. Суетов А.А., Алекперов С.И. Острое поражение органа зрения электромагнитным излучением сверхвысокочастотного диапазона (экспериментальное исследование). *Вестник офтальмологии*. 2019; 4: 4–49. <https://doi.org/10.17116/ofalma201913504141>

REFERENCES

1. Bystrov R.P., Dmitriev V.G., Potapov A.A. et al. Electromagnetic systems and means of deliberate action on physical and biological objects. *RENSIT*. 2014; 6(2): 129–69 (in Russian).
2. Barbu D. The effects of radiation on the eye in industrial environments *J. Annals of the Oradea University: Fascicle Management and Technological Engineering* 2015; 2. <https://doi.org/10.15660/AUOFMTE.2015-2.3153>
3. SanPiN 2.2.4.3359-16. Sanitary and epidemiological requirements for physical factors in the workplace. (in Russian).
4. Elder J.A. Ocular effects of radiofrequency energy. *Bioelectromagnetics*. 2003; 6: 148–61. <https://doi.org/10.1002/bem.10117>
5. Saito K., Saiga T., Suzuki K. Reversible irritative effect of acute 2.45 Ghz microwave exposure on rabbit eyes-a preliminary evaluation. *J. Toxicol Sci*. 1998 Aug; 23(3): 197–203. https://doi.org/10.2131/jts.23.3_197
6. Darenskaya N.G., Ushakov I. B., Ivanov I.V. et al. *From an experiment on animals — to humans: searches and solutions*. Voronezh: Scientific Book; 2010 (in Russian).
7. Suetov A.A., Alekperov S.I. Acute damage to the organ of vision by electromagnetic radiation of the ultrahigh frequency range (experimental study). *Vestnik oftal'mologii*. 2019; 4:41–49. <https://doi.org/10.17116/ofalma201913504141> (in Russian).