

ВЛИЯНИЕ АРГОНОВОЙ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КОЖИ КРЫС

Мартусевич Андрей Кимович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории медицинской биофизики Университетской клиники¹, профессор кафедры физиологии, биохимии животных и акушерства²

Суровегина Александра Владимировна, лаборант-исследователь лаборатории медицинской биофизики Университетской клиники¹, магистрант²

Назаров Владимир Викторович, младший научный сотрудник лаборатории медицинской биофизики Университетской клиники¹, младший научный сотрудник лаборатории моделирования космической плазмы³

¹ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России 603155, г. Нижний Новгород, Верхне-Волжская наб., д. 18; Тел. (831) 436-25-31, e-mail: crystmart@yandex.ru

²ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия» 603097, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 97.

³ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН» 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

Ключевые слова: холодная аргоновая плазма, СВЧ-зондирование, диэлектрическая проницаемость, проводимость

Целью данного исследования служило сравнительное изучение диэлектрических параметров кожи крыс при обработке аргоном и аргоновой холодной плазмой. Эксперимент был выполнен на 40 крысах-самцах линии Вистар, разделенных на 4 равные группы. Первая группа животных ($n=10$) была контрольной (интактной). Крысы остальных групп (по $n=10$ в каждой) ежедневно обрабатывали предварительно эпилированный участок кожи спины (площадь = 1×1 см). Продолжительность курса для всех опытных групп - 10 процедур. Животные второй группы получали обработку неионизированным потоком аргона (длительность одной процедуры – 1 минута), крысы третьей и четвертой групп – аргоновой холодной плазмой (1 и 2 минута соответственно). Генерацию холодной плазмы производили с использованием устройства, использующего принцип СВЧ-ионизации газового потока. В качестве последнего использовали аргон высокой чистоты (99,99%). Оценку диэлектрических параметров кожи животных в обработанном участке (у крыс контрольной группы – в аналогичной точке спины) осуществляли по завершении полного курса воздействий. Для этого использовали специализированный программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий проведение ближнепольного резонансного СВЧ-зондирования биологических тканей. Установлено, что курсовая обработка участка кожи спины крыс газовыми потоками с различной ионизацией вызывает формирование специфического функционально-метаболического и морфоструктурного ответа. Его характер определяется параметрами используемого газового потока: неионизированный аргон выражено снижает диэлектрические показатели (проницаемость и проводимость), а результат действия холодной аргоновой плазмы зависит от экспозиции. При одномоментной обработке наблюдали сохранения проницаемости тканей на интактном уровне при умеренном снижении проводимости. В случае увеличения времени воздействия до 2 минут диэлектрическая проницаемость повышалась, а проводимость оставалась неизменной.

Работа выполнена в рамках выполнения Государственного задания Министерства здравоохранения Российской Федерации (номер регистрации 208.095.01) и при поддержке Российского научного фонда (проект №22-25-00652).

Введение

К настоящему времени убедительно показано, что холодная плазма является универсальным биорегулятором с широким спектром биологических эффектов [1-3]. К их числу, в частности, относятся антибактериальное [1, 4-6], противовирусное и фунгицидное действие [7-9], способность активировать гемокоагуляцию [10], положительное влияние на регенеративные

процессы [5, 11, 12] и др. На этом основании предполагается, что холодная плазма атмосферного давления может быть использована как базис для создания инновационных биомедицинских и ветеринарных технологий, а также биотехнологий, например, для повышения урожайности некоторых сельскохозяйственных культур, борьбы с заболеваниями растений и т.д. [13, 14]).

С другой стороны, в плазменной медицине, учитывая ее непродолжительную историю развития как научного направления, до сих пор присутствует большое количество нерешенных вопросов. Так, не до конца понятны биофизические аспекты взаимодействия плазмы с живыми объектами, не полностью раскрыты молекулярные механизмы данного процесса, а также его лимитирующие параметры [15, 16]. Можно предположить, что к последним относятся характеристики самой плазмы (условия и среда генерации, тип ионизирующего источника, подаваемое напряжение), наличие модуляторов (ионизация воздушного потока либо монокомпонентных инертных газов, использование примесей кислорода, азота и др.). Кроме того, ключевым показателем, которым может варьировать оператор, проводящий воздействие на биосистему, является экспозиция обработки, так как ранее указанные параметры в большинстве случаев являются нерегулируемыми и служат исходными «жесткими константами» конкретного устройства для генерации холодной плазмы. В то же время оптимальные режимы применения рассматриваемого фактора остаются дискуссионными.

Для контроля роли указанных параметров в детерминации характеристик ответа биологической системы на действие холодной плазмы требуется привлечение высокоинформативных, но не инвазивных методов диагностики. Таковым, в частности, является ближнепольное резонансное СВЧ-зондирование, позволяющее интегрально изучать структуру тканей, а также осуществлять их послойное исследование (томографию) [17-19]. Данная диагностическая технология продолжает развиваться, однако уже продемонстрирована эффективность ее применения для оценки состояния кожи (дерматозы, опухоли покровных тканей, ожоги и др.) [17-22]. Следовательно, ближнепольное СВЧ-зондирование может выступать в качестве инструмента диагностического поиска и для раскрытия локальных эффектов холодной плазмы в экспериментах *in vitro* и *in vivo*, а также их особенностей в зависимости от параметров воздействия [21-25].

Поэтому целью данного исследования служило сравнительное изучение диэлектрических параметров кожи крыс при обработке аргоном и аргоновой холодной плазмой.

Материалы и методы исследований

Эксперимент был выполнен на 40 половозрелых крысах-самцах линии Вистар (масса

тела – 250-300 г.), разделенных на четыре равные по численности группы. Первая группа животных ($n=10$) была контрольной (интактной), с ее представителями не производили никаких манипуляций, кроме однократного изучения диэлектрических свойств кожи. Крысам остальных групп (по $n=10$ в каждой) ежедневно обрабатывали предварительно эпилированный участок кожи спины (площадь = 1×1 см). Продолжительность курса была единой для всех опытных групп и составляла 10 процедур. Животные второй группы получали обработку неионизированным потоком аргона (длительность одной процедуры – 1 минута), крысы третьей и четвертой групп – аргоновой холодной плазмой (продолжительность каждого воздействия – 1 и 2 минуты соответственно).

Генерацию холодной плазмы производили с использованием устройства оригинальной конструкции, использующего принцип СВЧ-ионизации газового потока [26, 27]. Для всех процедур строго контролировали скорость подачи газа. В качестве последнего использовали аргон высокой чистоты (99,99%) для исключения влияния примесных газов на эффекты изучаемой монокомпонентной плазмы.

Оценку диэлектрических параметров кожи животных на обработанном участке (у крыс контрольной группы – в аналогичной точке спины) осуществляли по завершении полного курса воздействий. Для этого использовали специализированный программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий проведение ближнепольного резонансного СВЧ-зондирования биологических тканей [21, 23]. В спектр основных оценочных показателей вошли диэлектрическая проницаемость среды и ее проводимость, рассчитываемые по степени сдвига резонансной зондирующей частоты. Зондирование производилось единым интегральным датчиком на глубину 5 мм под поверхность кожи.

Проведение исследований регламентировано разрешением локального этического комитета ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава России.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы Statistica 6.0.

Результаты исследований

В результате проведенного исследования установлено, что рассматриваемые физические факторы оказывают разнонаправленное действие на диэлектрические показатели кожи крыс (рис. 1 и 2). Так, по уровню диэлектрической проницаемости тканей было показано, что

курсовая обработка участка кожи спины животного потоком неионизированного аргона умеренно снижает указанный показатель (в 1,15 раза; $p < 0,05$ относительно крыс, с которыми не проводили никаких манипуляций).

Применение ионизированного потока использованного газа-носителя, как минимум, сохраняло диэлектрическую проницаемость кожи на уровне животных контрольной группы, однако в этом случае регистрировали зависимость ответа от продолжительности обработки. При экспозиции в 1 минуту значение параметра не отличалось от контрольного, тогда как удвоение продолжительности воздействия способствовало его умеренному, статистически достоверному нарастанию (на 7,2 %; $p < 0,05$ по сравнению с крысами интактной группы). Учитывая то обстоятельство, что диэлектрическая проницаемость ткани, базово определяясь ее морфоструктурными характеристиками, существенно зависит от степени гидратации, можно предположить, что курсовая обработка неионизированным аргоном снижает интенсивность локальной циркуляции в данной области кожи. Напротив, аргоновая холодная плазма либо сохраняет ее на исходных значениях (при минимальной продолжительности воздействия), либо умеренно стимулирует (при увеличении длительности процедуры). Для уточнения данного эффекта требуется непосредственное определение состояния микроциркуляции в месте обработки.

Также нами проведена оценка диэлектрической проводимости кожи при указанных вариантах ее обработки газовыми потоками (рис. 2). Установлено, что применение неионизированного аргона многократно снижает рассматриваемый показатель (в 4,34 раза; $p < 0,05$ относительно крыс контрольной группы). В то же время обработка участка кожи аргоновой холодной плазмой также уменьшает ее проводимость, причем эти сдвиги оказались статистически значимыми для одноминутного воздействия (в 1,27 раза; $p < 0,05$ относительно интактных животных). Интересно, что для двухминутной процедуры обработки уровень параметра в изучаемой области сохранялся практически на контрольных значениях. По нашему мнению, выявленная однонаправленная динамика изменения проводимости тканей имеет различные причины. Так, использование потока аргона, потенциально приводя к локальной гиперциркуляции, обуславливает крайне выраженное падение проводимости за счет устойчивого снижения кровенаполнения тканей.

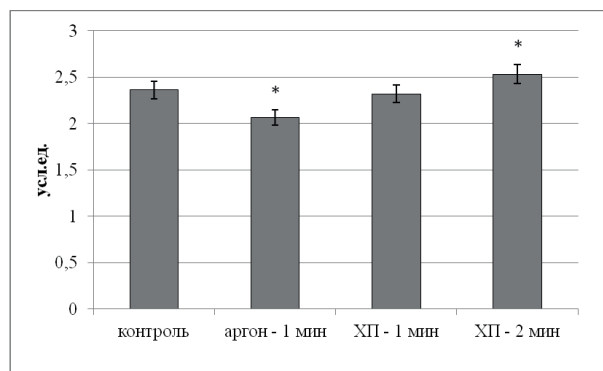


Рис. 1. - Уровень диэлектрической проницаемости кожи спины животных при различных видах обработки (ХП – аргоновая холодная плазма; «*» - различия относительно крыс контрольной группы статистически значимы, $p < 0,05$)

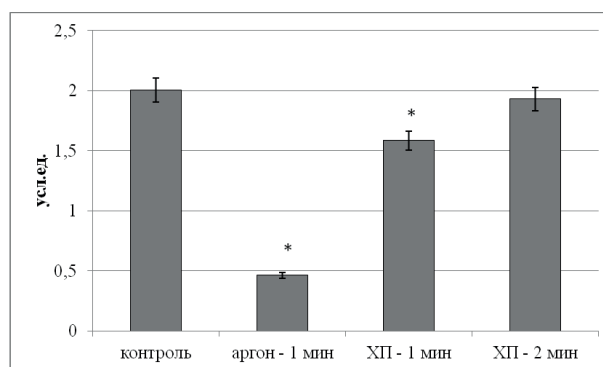


Рис. 2.- Уровень диэлектрической проводимости кожи спины животных при различных видах обработки (ХП – аргоновая холодная плазма; «*» - различия относительно крыс контрольной группы статистически значимы, $p < 0,05$)

С другой стороны, умеренные сдвиги показателя, регистрируемые при воздействии потока от генератора холодной плазмы при обоих выбранных режимах (продолжительность обработки - 1 и 2 мин) могут быть связаны с локальным уплотнением тканей как адаптивной реакцией на курсовое применение ионизированного газа. С этих позиций более оптимальным вариантом следует считать одноминутную обработку участка кожи холодной аргоновой плазмы, способную стабилизировать защитную функцию кожи без формирования стойкой местной гиперемии. С целью уточнения последнего эффекта и раскрытия механизмов указанных функционально-морфологических перестроек, индуцированных воздействием исследуемых физических факторов, необходима дополнительная оценка состояния микроциркуляторного русла и активности кровотока по сосудам

малого диаметра.

Заключение

Проведенные эксперименты позволили установить, что курсовая обработка участка кожи спины крыс газовыми потоками с различной ионизацией вызывает формирование специфического функционально-метаболического и морфоструктурного ответа. Его характер определяется параметрами используемого газового потока: неионизированный аргон выражено снижает диэлектрические показатели (проницаемость и проводимость), а результат действия холодной аргоновой плазмы зависит от экспозиции. При одноминутной обработке наблюдали сохранение проницаемости тканей на интактном уровне при умеренном снижении проводимости. В случае увеличения времени воздействия до 2 минут диэлектрическая проницаемость повышалась, а проводимость оставалась неизменной. Это создает предпосылки для выбора оптимального режима применения холодной аргоновой плазмы в регенеративной биомедицине и ветеринарии.

Библиографический список

1. Potential cellular targets and antibacterial efficacy of atmospheric pressure non-thermal plasma / P. B. Flynn, A. Busetti, E. Wielogorska [et al.] // *Sci. Rep.* - 2016. - Vol. 6. - P. 26320.
2. Hoffmann, C. Cold Atmospheric Plasma: methods of production and application in dentistry and oncology / C. Hoffmann, C. Berganza, J. Zhang // *Medical Gas Research.* - 2013. - Vol. 3. - P. 21.
3. Laroussi, M. Low-temperature plasmas for medicine? / M. Laroussi // *IEEE Trans. Plasma Sci.* - 2009. - Vol. 37. - P. 714-725.
4. Potential cellular targets and antibacterial efficacy of atmospheric pressure non-thermal plasma / M. Y. Alkawareek, S. P. Gorman, W. G. Graham, B. F. Gilmore // *Int J. Antimicrob. Agents.* - 2014. - Vol. 43. - P. 154-160.
5. Bactericidal effects of non-thermal argon plasma in vitro, in biofilms and in the animal model of infected wounds / S. A. Ermolaeva, A. F. Varfolomeev, M. Yu. Chernukha [et al.] // *J. Med. Microbiol.* - 2011. - Vol. 60. - P. 75-83.
6. Nonthermal plasma - A tool for decontamination and disinfection / V. Scholtz [et al.] // *Biotechnol. Adv.* - 2015. - Vol. 33, N 6. - P. 1108-1119.
7. Mechanism of Virus Inactivation by Cold Atmospheric-Pressure Plasma and Plasma-Activated Water / L. Guo, R. Xu, L. Gou [et al.] // *Appl Environ Microbiol.* - 2018. - Vol. 84, N 17. - P. e00726-18.
8. Cold argon-oxygen plasma species oxidize and disintegrate capsid protein of feline calicivirus / H. A. Aboubakr, S. K. Mor, L. Higgins, A. Armien, M. M. Youssef, P. J. Bruggeman, S. M. Goyal // *PLoS One.* - 2018. - Vol. 13, N 3. - P. e0194618.
9. Analysis of the antimicrobial effects of nonthermal plasma on fungal spores in ionic solutions / M. H. Kang, Y. J. Hong, P. Attri [et al.] // *Free Radic Biol Med.* - 2014. - Vol. 72. - P. 191-199.
10. Canady, J. Argon plasma coagulation and the future applications for dual-mode endoscopic probes / J. Canady, K. Wiley, B. Ravo // *Rev Gastroenterol Disord.* - 2006. - Vol. 6, N1. - P. 1-12.
11. Investigating effects of atmospheric-pressure plasma on the process of wound healing / S. Salehi, A. Shokri, M. R. Khani, M. Bigdeli, B. Shokri // *Biointerphases.* - 2015. - Vol. 10, N 2. - P. 029504.
12. Estimation of the microcirculatory response to the effect of cold helium plasma / A. K. Martusevich, S. Yu. Krasnova, A. G. Galka, P. V. Peretyagin, D. V. Yanin, A. V. Kostrov // *Biophysics.* - 2019. - Vol. 64, N 4. - P. 610-613.
13. Argon plasma effects on maize: pesticide degradation and quality changes / X. Feng, X. Ma, H. Liu, J. Xie, C. He, R. Fan // *J Sci Food Agric.* - 2019. - Vol. 99, N 12. - P. 5491-5498.
14. Growth-inducing effects of argon plasma on soybean sprouts via the regulation of demethylation levels of energy metabolism-related genes / J. J. Zhang, J. O. Jo, D. L. Huynh [et al.] // *Sci Rep.* - 2017. - Vol. 7. - P. 41917.
15. Physical and biological mechanisms of direct plasma interaction with living tissue / D. Dobyrynin, D. Fridman, G. Friedman, A. Fridman // *New J. Phys.* - 2009. - Vol. 11. - P. 1-26.
16. Plasma medicine: an introductory review / M. G. Kong, G. Kroesen, G. Morfill [et al.] // *New J. Phys.* - 2009. - Vol. 11. - P. 115012.
17. Применение современных методов визуализации в оценке состояния и прогнозировании развития патологических рубцов / Е. Б. Богомолова, А. К. Мартусевич, И. А. Клеменова, Д. В. Янин, А. Г. Галка // *Медицина.* - 2017. - Т. 5, № 3. - С. 58-75.
18. Raicu, V. A quantitative approach to the dielectric properties of the skin / V. Raicu, N. Kitagawa, A. Irimajiri // *Phys Med Biol.* - 2000. - Vol. 45, N 2. - P. L1-L4.
19. Reznik, A. N. Near-field microwave tomography of biological objects / A. N. Reznik, N. V. Yurasova // *Tech Phys.* - 2004. - Vol. 49, N 4. - P. 485-493.
20. Мартусевич, А. К. Возможности и перспективы применения СВЧ-томографии в оцен-

ке состояния кожи / А. К. Мартусевич, Д. В. Янин, Е. Б. Богомолова // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2017. – № 12. – С. 3–12.

21. Near-Field Resonance Microwave Sounding to Study Dielectric Properties of Different Skin Areas (Experimental Study) / A. K. Martusevich, A. A. Epishkina, E. S. Golygina, A. N. Tuzhilkin, A. S. Fedotova, A. G. Galka // *Sovremennye tehnologii v medicine*. - 2020. – Vol. 12, № 5. – P. 57-61.

22. Rezaeieh, S. A. Feasibility of using wide-band microwave system for non-invasive detection and monitoring of pulmonary oedema / S. A. Rezaeieh // *Scientific reports*. – 2015. – N 5. – P. 231-236.

23. Comparative study of dielectric properties of the skin of human and laboratory animals / A. K. Martusevich, A. G. Galka, S. Yu. Krasnova, D. V. Yanin, A. V. Kostrov // *EPJ Web of Conferences*. – 2018. – Vol. 195. – P. 08004.

24. Microwave reflectometry as a novel diagnostic tool for detection of skin cancers / P. Mehta, K. Chand, D. Narayanswamy [et al.] // *IEEE Trans. Instrum. Meas.* – 2006. – Vol. 55, N 4. – P. 1309–1316.

25. Raicu, V. A quantitative approach to the dielectric properties of the skin / V. Raicu, N. Kitagawa, A. Irimajiri // *Physics in Medicine and Biology*. – 2000. – Vol. 45, N 2. – P. L1-L4.

26. Effect of cold helium plasma on oxidative metabolism and crystallogenic properties of rat blood / A. K. Martusevich, K. A. Karuzin, V. V. Nazarov, S. L. Malinovskaya // *Int. J. Plasma Environ. Sci. Technol.* – 2021. – Vol. 15, N 3. – P. e03002.

27. Comparative study of the influence of helium and argon plasma on crystallogenic properties of the blood / A. K. Martusevich, A. G. Galka, E. S. Golygina, A. S. Fedotova, A. N. Tuzhilkin, S. L. Malinovskaya // *Plasma Medicine*. – 2021. – Vol. 11, N 1. – P. 69-79.

INFLUENCE OF COLD ARGON PLASMA ON DIELECTRIC PARAMETERS OF RAT SKIN

Martusevich A. K.^{1,2}, Surovegina A. V.^{1,2}, Nazarov V.V.^{1,3}

¹*FSBEI HE Volga Research Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation 603155, Nizhny Novgorod, Verkhne-Volzhskaya embankment, 18; Tel. (831) 436-25-31, e-mail: cryst-mart@yandex.ru*

²*FSBEI HE "Nizhny Novgorod State Agricultural Academy" 603097, Nizhny Novgorod, Gagarin Ave., 97.*

³*FSBIS Federal Research Center Institute of Applied Physics of RAS 603950, Nizhny Novgorod, Ulyanova st., 46*

Keywords: cold argon plasma, microwave sounding, dielectric capacitivy, conductivity

*The purpose of this study was a comparative study of dielectric parameters of rat skin treated with argon and cold argon plasma. The experiment was carried out on 40 male Wistar rats divided into 4 equal groups. The first group of animals (n=10) was the control (intact). A pre-epilated area of the back skin (area = 1*1 cm) of the rats of the remaining groups (n=10 in each) was treated daily. The course duration for all experimental groups was 10 procedures. Animals of the second group received treatment with non-ionized argon flow (the duration of one procedure is 1 minute), rats of the third and fourth groups received cold argon plasma (1 and 2 minutes, respectively). Cold plasma was generated using a device that uses the principle of microwave ionization of a gas stream. As the latter, high purity argon (99.99%) was used. The assessment of the dielectric parameters of the skin in the treated area (for rats of the control group - in a similar part of the back) was carried out after the completion of the full course of the exposure. A specialized software and hardware complex was used for this, which provides near-field resonant microwave sounding of biological tissues. It was established that the course treatment of the skin area of the rats' back with gas flows with different ionization causes formation of a specific functional-metabolic and morphostructural response. Its character is determined by the parameters of the gas flow used: non-ionized argon significantly reduces the dielectric parameters (permeability and conductivity), and the result of the action of cold argon plasma depends on the exposure. In case of one-minute treatment, the preservation of tissue permeability at an intact level was observed with a moderate decrease of conductivity. In the case of 2 minute exposure, the dielectric capacitivy increased, while the conductivity remained unchanged.*

Bibliography:

- 1. Potential cellular targets and antibacterial efficacy of atmospheric pressure non-thermal plasma / P. B. Flynn, A. Buseti, E. Wielogorska [et al.] // *Sci. Rep.* - 2016. - Vol. 6. - P. 26320.*
- 2. Hoffmann, C. Cold Atmospheric Plasma: methods of production and application in dentistry and oncology / C. Hoffmann, C. Berganza, J. Zhang // *Medical Gas Research*. - 2013. - Vol. 3. - P. 21.*
- 3. Laroussi, M. Low-temperature plasmas for medicine? / M. Laroussi // *IEEE Trans. Plasma Sci.* - 2009. - Vol. 37. - P. 714-725.*
- 4. Potential cellular targets and antibacterial efficacy of atmospheric pressure non-thermal plasma / M. Y. Alkawareek, S. P. Gorman, W. G. Graham, B. F. Gilmore // *Int J. Antimicrob. agents*. - 2014. - Vol. 43. - P. 154–160.*
- 5. Bactericidal effects of non-thermal argon plasma in vitro, in biofilms and in the animal model of infected wounds / S. A. Ermolaeva, A. F. Varfolomeev, M. Yu. Chernukha [et al.] // *J. Med. microbiol.* - 2011. - Vol. 60-P. 75–83.*
- 6. Nonthermal plasma - A tool for decontamination and disinfection / V. Scholtz [et al.] // *Biotechnol. Adv.* - 2015. - Vol. 33, № 6. - P. 1108-1119.*
- 7. Mechanism of Virus Inactivation by Cold Atmospheric-Pressure Plasma and Plasma-Activated Water / L. Guo, R. Xu, L. Gou [et al.] // *Appl Environ Microbiol.* - 2018. - Vol. 84, № 17. - R. e00726-18.*
- 8. Cold argon-oxygen plasma species oxidize and disintegrate capsid protein of feline calicivirus / H. A. Aboubakr, S. K. Mor, L. Higgins, A. Armién, M. M. Youssef, P. J. Bruggeman, S. M. Goyal // *PLoS One*. - 2018. - Vol. 13, N 3. - R. e0194618.*
- 9. Analysis of the antimicrobial effects of nonthermal plasma on fungal spores in ionic solutions / M. H. Kang, Y. J. Hong, P. Attri [et al.] // *Free Radic Biol Med.* - 2014. - Vol. 72. – P. 191-199.*
- 10. Canady, J. Argon plasma coagulation and the future applications for dual-mode endoscopic probes / J. Canady, K. Wiley, B. Ravo // *Rev Gastroenterol Disord*. - 2006. - Vol. 6, N1. – P. 1-12.*
- 11. Investigating effects of atmospheric-pressure plasma on the process of wound healing / S. Salehi, A. Shokri, M. R. Khani, M. Bigdeli, B. Shokri // *Biointerphases*. - 2015. - Vol. 10, N 2. - R. 029504.*

12. Estimation of the microcirculatory response to the effect of cold helium plasma / A. K. Martusevich, S. Yu. Krasnova, A. G. Galka, P. V. Peretyagin, D. V. Yanin, A. V. Kostrov // *Biophysics*. - 2019. - Vol. 64, № 4. - P. 610–613.
13. Argon plasma effects on maize: pesticide degradation and quality changes / X. Feng, X. Ma, H. Liu, J. Xie, C. He, R. Fan // *J Sci Food Agric*. - 2019. - Vol. 99, № 12. - P. 5491-5498.
14. Growth-inducing effects of argon plasma on soybean sprouts via the regulation of demethylation levels of energy metabolism-related genes / J. J. Zhang, J. O. Jo, D. L. Huynh [et al.] // *Sci Rep*. - 2017. - Vol. 7. - R. 41917.
15. Physical and biological mechanisms of direct plasma interaction with living tissue / D. Dobrynin, D. Fridman, G. Friedman, A. Fridman // *New J. Phys.* - 2009. - Vol. 11. - P. 1–26.
16. Plasma medicine: an introductory review / M. G. Kong, G. Kroesen, G. Morfill [et al.] // *New J. Phys.* - 2009. - Vol. 11. - P. 115012.
17. Application of modern imaging methods in assessing the condition and predicting the development of pathological scars / E.B. Bogomolova, A. K. Martusevich, I. A. Klemenova, D. V. Yanin, A.G. Galka // *Medicine*. - 2017. - V. 5, № 3. - P. 58–75.
18. Raicu, V. A quantitative approach to the dielectric properties of the skin / V. Raicu, N. Kitagawa, A. Irimajiri // *Phys Med Biol*. - 2000. - Vol. 45, N 2. – P. L1–L4.
19. Reznik, A. N. Near-field microwave tomography of biological objects / A. N. Reznik, N. V. Yurasova // *Tech Phys*. - 2004. - Vol. 49, № 4. - P. 485-493.
20. Martusevich, A. K. Opportunities and prospects for usage of microwave tomography in assessing the condition of the skin / A. K. Martusevich, D. V. Yanin, E. B. Bogomolova // *Biomedical radioelectronics*. - 2017. - № 12. - P. 3–12.
21. Near-Field Resonance Microwave Sounding to Study Dielectric Properties of Different Skin Areas (Experimental Study) / A. K. Martusevich, A. A. Epishkina, E. S. Golygina, A. N. Tuzhilkin, A. S. Fedotova, A. G. Galka // *Sovremennye tehnologii v medicine*. - 2020. - Vol. 12, № 5. - P. 57-61.
22. Rezaeieh, S. A. Feasibility of using wideband microwave system for non-invasive detection and monitoring of pulmonary oedema / S. A. Rezaeieh // *Scientific reports*. - 2015. - N 5. - P. 231-236.
23. Comparative study of dielectric properties of the skin of human and laboratory animals / A. K. Martusevich, A. G. Galka, S. Yu. Krasnova, D. V. Yanin, A. V. Kostrov // *EPI Web of Conferences*. - 2018. - Vol. 195. - R. 08004.
24. Microwave reflectometry as a novel diagnostic tool for detection of skin cancers / P. Mehta, K. Chand, D. Narayanswamy [et al.] // *IEEE Trans. Instrum. Meas.* - 2006. - Vol. 55, № 4. - P. 1309-1316.
25. Raicu, V. A quantitative approach to the dielectric properties of the skin / V. Raicu, N. Kitagawa, A. Irimajiri // *Physics in Medicine and Biology*. - 2000. - Vol. 45, N 2. - P. L1-L4.
26. Effect of cold helium plasma on oxidative metabolism and crystallogenic properties of rat blood / A. K. Martusevich, K. A. Karuzin, V. V. Nazarov, S. L. Malinovskaya // *Int. J. Plasma Environ. sci. Technol.* - 2021. - Vol. 15, N 3. - R. e03002.
27. Comparative study of the influence of helium and argon plasma on crystallogenic properties of the blood / A. K. Martusevich, A. G. Galka, E. S. Golygina, A. S. Fedotova, A. N. Tuzhilkin, S. L. Malinovskaya // *Plasma Medicine*. - 2021. - Vol. 11, № 1. - P. 69-79.