

Использование инновационных биофизических методов обработки раневых поверхностей в комплексном хирургическом лечении пациентов с хроническими ранами различной этиологии и локализации

В. В. Петрова, М. Н. Аржелас, Н. С. Бойко

Клиника высоких медицинских технологий имени Н. И. Пирогова Санкт-Петербургского государственного университета,
Россия, 198103, Санкт-Петербург, наб. р. Фонтанки, д. 154Б

Контактное лицо: Вероника Владимировна Петрова, violet_hamster@mail.ru

В статье представлены материалы, отражающие биоинженерный потенциал инновационных биофизических методов обработки хронических ран на основе применения плазменно-дуговой установки в комплексном хирургическом лечении ран. Использование уникальных биологических и физических свойств низкотемпературной плазмы в среде инертного газа-аргона — перспективное направление для лечения хронических и послеоперационных ран, в которых присутствует гнойно-некротическое поражение мягких тканей и костей, для деструкции и удаления некрозов и устранения бактериальной, вирусной и грибковой инфекции в ранах.

Ключевые слова: хроническая рана, биофизические методы обработки ран, фазы раневого процесса, микробный пейзаж, закрытие обширных дефектов.

Для цитирования: Петрова В. В., Аржелас М. Н., Бойко Н. С. Использование инновационных биофизических методов обработки раневых поверхностей в комплексном хирургическом лечении пациентов с хроническими ранами различной этиологии и локализации. Раны и раневые инфекции. Журнал им. проф. Б. М. Костюченка. 2026; 13 (1): 26–31.

DOI: 10.25199/2408-9613-2026-13-1-26-31.

cc by 4.0

Using of innovative biophysical methods for the treatment of wound surfaces in the comprehensive surgical management of patients with chronic wounds by various etiologies and localizations

V. V. Petrova, M. N. Arzhelas, N. S. Boiko

N.I. Pirogov Clinic of High Medical Technologies, St. Petersburg State University,
154/B Fontanka River Embankment, St. Petersburg, 198103, Russia

The article presents materials reflecting the bioengineering potential of innovative biophysical methods for the treatment of chronic wounds based on the application of a plasma-arc system within comprehensive surgical wound management. The use of the unique biological and physical properties of low-temperature plasma in an inert argon gas environment represents a promising approach for the treatment of chronic and postoperative wounds characterized by purulent-necrotic lesions of soft and bone tissues. This method enables the destruction and removal of non-viable tissues, as well as the elimination of bacterial, viral, and fungal infections within the wound.

Keywords: chronic wound, biophysical wound treatment methods, wound healing phases, microbial landscape, closure of extensive defects.

For citation: Petrova V. V., Arzhelas M. N., Boiko N. S. Using of innovative biophysical methods for the treatment of wound surfaces in the comprehensive surgical management of patients with chronic wounds by various etiologies and localizations. Clinical observation. Wounds and wound infections. The Prof. B. M. Kostyuchenok Journal. 2026; 13 (1): 26–31.

Введение

Хроническая рана — это рана, не заживающая в течение периода, который является нормальным для ран подобного типа или локализации.

Пациенты с хроническими ранами составляют до 1 % популяции в развитых странах, имея тенденцию к постоянному росту на фоне увеличения продолжительности жизни [1, 2]. Отмечается широкий спектр

причин возникновения и сохранения данной патологии [2, 3]. Сложность лечения определяется комплексом факторов:

- коморбидность пациента;
- в ране одновременно существуют все фазы раневого процесса;
- наблюдается быстрый возврат состояния раны к исходному при непоследовательном лечении;

- имеется разнообразный микробный пейзаж раны;
- в ранах присутствует рост условно патогенной флоры, анаэробов, редких возбудителей, грибов с перекрестной резистентностью к противомикробным препаратам;
- существуют характеристики (обильная лимфоцитарная инфильтрация, резкая болезненность), ограничивающие выбор терапии.

Классическая стратегия лечения данных пациентов подразумевает перевод раневого процесса на площади всей раны в репаративную стадию с последующим пластическим закрытием дефекта при помощи различных вариантов пластики [3, 4]. В повседневной практике регулярно встречаются пациенты, которым в силу целого ряда причин (тяжелое общее состояние, невозможность полноценного достижения репаративной фазы процесса, сложная анатомическая локализация дефекта, проблема с выбором донорской зоны, низкий комплаенс пациента и иные организационные моменты и т.д.) нет возможности выполнить оперативное закрытие раневого дефекта [1, 5–8].

Цель исследования – изучение клинической эффективности комплексного хирургического лечения пациентов с хроническими ранами различной этиологии и локализации с использованием инновационных технологий.

Материалы и методы исследования

Проведено проспективное когортное исследование, в которое были выключены 30 пациентов с хроническими ранами различной этиологии и локализации в различных стадиях раневого процесса, находившихся на лечении в Университетской клинике СПбГУ им. Н.И. Пирогова.

Возраст пациентов, принявших участие в исследовании, составил от 25 до 90 лет (Me – 57,5 лет).

Стаж заболевания – от 2 до 12,5 мес до начала участия в данном исследовании. У всех больных диагностированы хронические раны площадью не более 10,0 % поверхности тела. Площадь ран – от 5 до 140,5 см². Локализация ран: передняя стенка грудной клетки (n=11), передняя брюшная стенка (n=9), нижние конечности (n=7), шея (n=1), область промежности (n=1), ягодичная область (n=1). У пациентов с ранами грудной стенки отмечали наличие инородных тел (средства остеосинтеза грудной клетки). У пациентов с ранами передней брюшной стенки в ранах также присутствовали инородные тела (сетчатые импланты).

Каждому пациенту проведено в среднем от 5 до 15 обработок ран прибором «ПлазмоРан» (ООО «ПлазмоПром», Россия) в режиме В-3 в стадии экссудации и В-2 в стадии репарации на расстоянии 5–15 см в течение 5–15 мин.

Режимы отличаются размером светового пятна. Диаметр светового пятна при режиме В-3 равен 2,5 см, при режиме В-2 – 3,5 см.

Обработка поверхности характеризуется накоплением энергии – энергетической освещенности (Дж/м²), которая представляет интенсивность генерируемого в процессе плазмообразования ультрафиолетового излучения. Это излучение можно разделить на 3 основных спектра: УФА, УФВ, УФС. Для максимального антибактериального эффекта доза УФА составляет 37,80; УФВ – 15,90 и УФС – 34,20 Дж. Для создания пролиферативного эффекта УФА составляет 8,10; УФВ – 3,12 и УФС – 6,80 Дж соответственно [6, 7].

Всем пациентам проводили объективный осмотр с оценкой раневых дефектов по системе MEASURE, измерение показателей раневого процесса в динамике и их цифровую обработку.

Микробиологическое исследование раневого отделяемого, гистологическое исследование тканей в

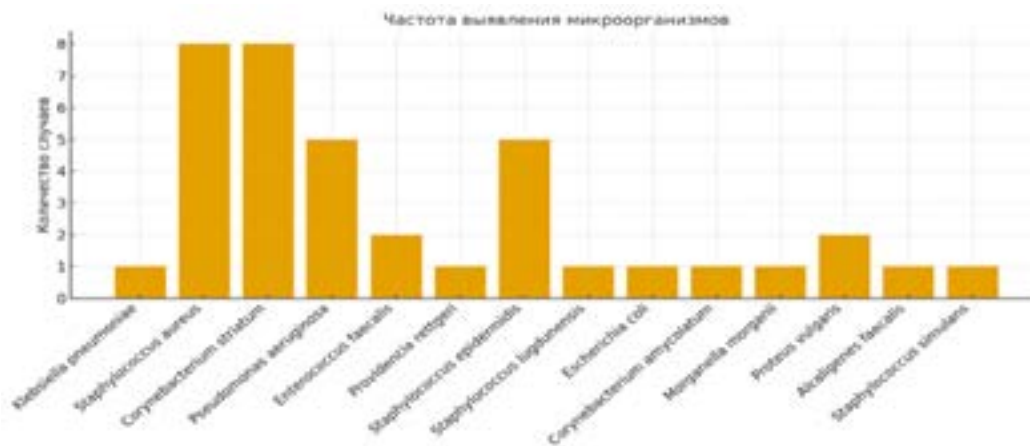


Рис. 1. Частота выявления микроорганизмов при первичном обращении
 Fig. 1. Frequency of microorganisms detection during initial consultation

стадии репарации. Выполняли лабораторный клинический минимум.

При бактериологическом исследовании определяли данные микробного пейзажа ран (рис. 1).

В процессе лечения отмечали снижение степени микробной обсемененности ран, активности бактериальных агентов, уменьшение количества микроорганизмов в ране.

Кроме того, после проведения 5–7 процедур у 80,0 % пациентов происходила смена инфекционных агентов в ранах, что связано с тем, что в хронических ранах микробный пейзаж на поверхности раны значительно отличается от такового в глубине раневого дефекта. Однако степень бактериальной обсемененности значительно снижалась и не требовала применения системной антибактериальной терапии. Некоторое повышение микробной обсемененности ран на 3–5-й процедуре обработки отмечали только у пациентов, находящихся на стационарном лечении, где микробные агенты являлись представителями так называемой госпитальной (внутрибольничной инфекции). Однако эти факты никак не повлияли на четкую смену фаз раневого процесса и сроки заживления ран.

На начало исследования (1-е сутки) раны у 28 пациентов находились в стадии экссудации, у 2 пациентов – в стадии репарации.

Комплексное хирургическое лечение ран состояло из следующих этапов:

1. Радикальная хирургическая обработка гнойно-некротического очага/раны по стандартной методике в объеме некрэктомии или остеонекрэктомии всех скомпрометированных тканей.

2. Обработка раневых поверхностей с применением плазменно-дуговой хирургической установки «ПлазмоРан» в режиме В-3, экспозиция 5–15 мин для стерилизации раневой поверхности и в режиме В-2, экспозиция 5–10 мин для активизации регенерации тканей и микроциркуляции, стимуляции и высвобождения клеточных факторов заживления ран.

3. Санация ран с помощью наложения вакуум-ассистированной повязки с использованием аппарата Vivano Tec S042 NPWT (Hartmann, Германия) сроком на 3–7-е сут (у 5 пациентов с ранами передней стенки грудной клетки и у 2 пациентов с ранами передней брюшной стенки).

4. Перевязки с использованием современных раневых покрытий, соответствующих фазе течения раневого процесса, производили через 1 сут в фазе экссудации и 2 раза в нед в фазе репарации.

5. Закрытие раневых дефектов проводили путем эксплантации в рану биodeградируемых ацеллюлярных матриксов на основе коллагенов различного происхождения (крупного рогатого скота, свиного, морских ракообразных) в форме мембран или гелей. Экспозиция препарата в процессе биодеградации и

построения матрикса для запуска процесса ангиогенеза составляла 7 сут. Применялось до 3 эксплантаций на одну рану (у 18 пациентов).

6. При необходимости выполняли наложение вторичных швов (у 10 пациентов: у 4 пациентов с ранами передней брюшной стенки и у 6 пациентов с ранами передней стенки грудной клетки).

У 14 пациентов раны полностью зажили вторичным натяжением. Необходимости в проведении кожной пластики раневого дефекта не потребовалось 27 пациентам. Трем пациентам с самой большой площадью и глубиной раневых дефектов потребовалось проведение пластических операций в режиме аутодермопластики с применением расщепленных кожных трансплантатов ($n=2$) и кожно-мышечных лоскутов ($n=1$).

Результаты исследования

Микробиологическое исследование раневого отделяемого проводили на 1, 3, 7 и 20-е сутки лечения, то есть до начала обработки установкой «ПлазмоРан» и после. Изначально отмечалось наличие в ране нескольких микробных агентов, степень загрязнения составляла 10^7 – 10^8 КОЕ/г. На 3-и сутки она снижалась до 10^3 – 10^5 КОЕ/г, к 7-м суткам – до 10^2 КОЕ/г или отсутствовала. У ряда амбулаторных пациентов происходила смена микробного пейзажа ран с уменьшением степени бактериальной обсемененности. У больных, находящихся в стационаре, могло наблюдаться нарастание числа микробных агентов в ранах к 7–10-м суткам, а затем также снижение к 10-м суткам или полное прекращение роста микробной флоры с поверхности ран.

При использовании установки «ПлазмоРан» на 2–3-и сутки лечения все пациенты отмечали снижение или полное купирование болевого синдрома, а также нормализацию температуры тела. На 7-е сутки у 9 больных отмечен рост грануляционной ткани по всей поверхности раны. У 8 пациентов наблюдали начало активного роста грануляционной ткани без прогрессирования деструктивного процесса. Сокращение площади раны на 7-е сутки составило 0–32,0 % (Ме – 16,0 %) В последующем во время этапных перевязок отмечалось постепенное сокращение полости и площади ран, активный рост грануляционной ткани, появление краевой и островковой эпителизации (рис. 2).

У 99,0 % пациентов удалось добиться полного заживления раневых дефектов. Сроки окончательной эпителизации составили от 14 до 56 сут от начала лечения. У всех пациентов в процессе заживления раны было проведено гистологическое исследование тканей в зоне роста грануляционной ткани и участков эпителизации. Выявлен рост зрелой полноценной грануляционной ткани и восстановление послойной структуры тканей соответствующей анатомической

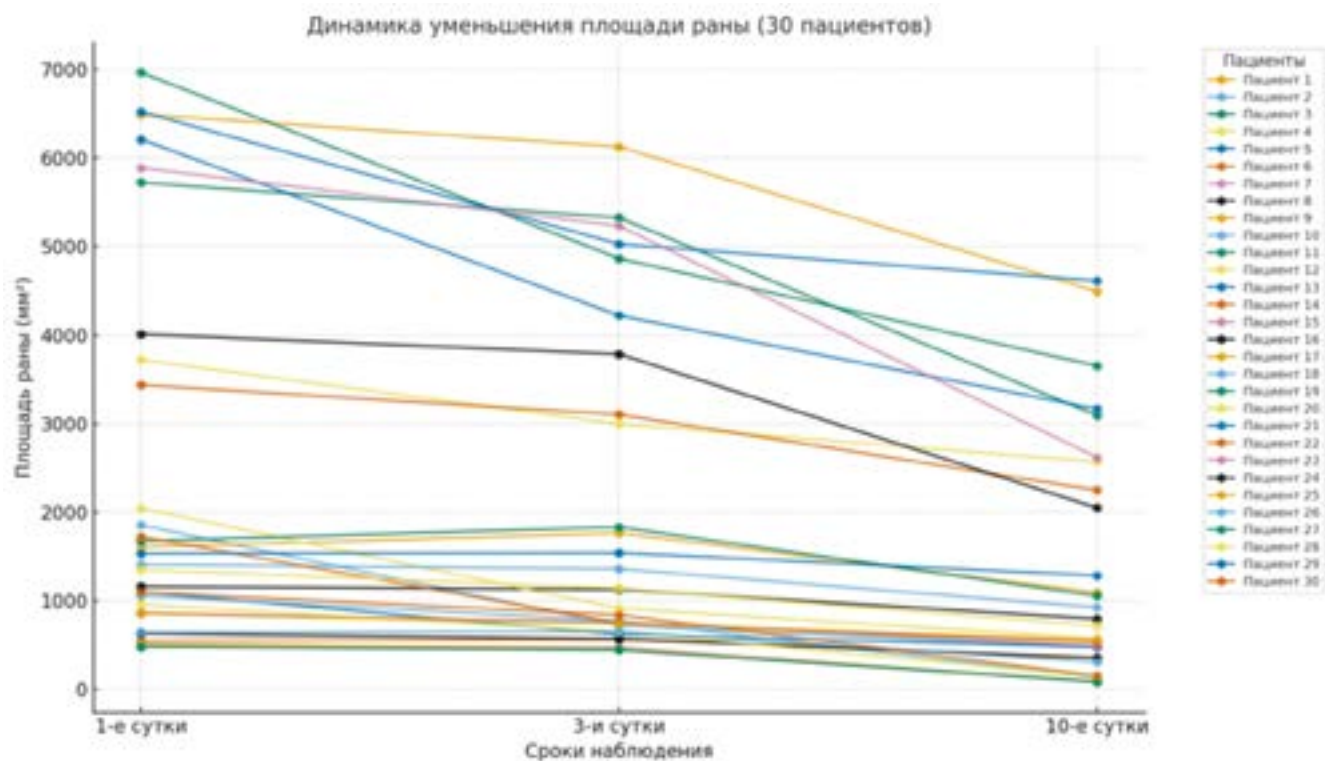


Рис. Динамика изменения размеров ран
 Fig. 2. Dynamics of changes in wound sizes

области с сохранением ее исходных анатомических особенностей. Полученные результаты коррелируют с опубликованными данными ряда российских и зарубежных авторов [4, 6, 9].

Осложнений от применения установки «Плазмо-Ран» в процессе лечения не выявлено. Оценка образовавшихся косметических дефектов по Ванкуверской шкале составила в среднем 5–6 баллов (рис. 3, 4).

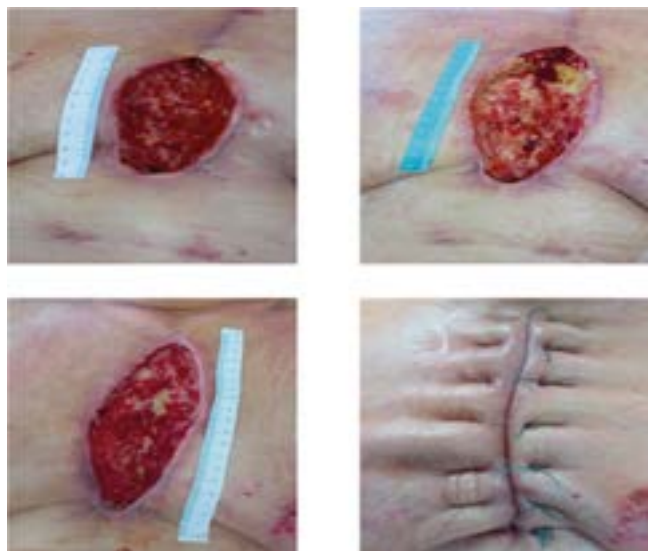


Рис. 3. Фото ран пациентов (динамика течения раневого процесса в ходе лечения)
 Fig. 3. Photos of patients' wounds (dynamics of the wound healing process during treatment)



Рис. 4. Фото ран пациентов (динамика течения раневого процесса в ходе лечения)
 Fig. 4. Photos of patients' wounds (dynamics of the wound healing process during treatment)

В случае использования кожных эквивалентов не требовалось предварительной подготовки эксплантатов и дополнительных хирургических обработок раневых поверхностей [10–12].

Заключение

Проведение комплексного хирургического лечения пациентов, имеющих хронические раны различной этиологии и локализации, с использованием инновационных медицинских технологий, в частности применения современной установки для обработки раневых поверхностей физическим способом, позволяет добиться следующих положительных эффектов:

1. Способствует последовательной четкой смене фаз раневого процесса, характерного для острых гнойных ран.

2. Значительно снижает выраженность болевого синдрома или приводит к полному его исчезновению, хорошо переносится всеми пациентами, не вызывает неприятных ощущений.

3. Практически не дает осложнений, отмечается отсутствие неприятных ощущений, аллергических проявлений, возвратов в предыдущую фазу раневого процесса, что характерно для течения хронических ран.

4. Ускоряет очищение ран от бактериальных загрязнений, сокращает сроки заживления раневых дефектов.

5. Несмотря на наличие у некоторых пациентов остаточных микробных колоний в ране, данный факт не мешает процессу заживления, что позволяет говорить о том, что бактериальные агенты в ходе работы установки теряют свою активность, агрессивность и вирулентность.

6. Одинаково эффективно действует как в отношении аэробной, так и анаэробной флоры.

7. Позволяет сократить сроки и повысить эффективность реабилитации пациентов.

8. Обеспечивает хороший косметический эффект, что позволяет повысить социальную адаптацию пациентов и улучшить качество их жизни.

9. Применение вышеописанной схемы комплексного хирургического лечения хронических ран различной этиологии и локализации, особенно с применением плазменно-дуговой установки «ПлазмоРан» позволяет оказывать высокотехнологичную помощь как пациентам, находящимся в стационаре, так и на амбулаторном лечении. При этом выписка пациентов с осложненным течением раневого процесса происходит в более ранние сроки, по сравнению с пациентами, которые не получали аналогичного лечения. Амбулаторный этап лечения также завершается в более ранние сроки и позволяет быстро адаптировать пациентов к обычной жизни.

10. Сокращение сроков лечения, отсутствие необходимости в проведении дорогостоящей кожной пластики, лечение пациентов в амбулаторных условиях позволяют значительно сократить затраты лечебных учреждений.

Таким образом, получены данные, открывающие перспективы местного клинического применения новой технологии для лечения сложных, длительно существующих хронических ран различной этиологии и локализации. Использование низкотемпературной плазмы – методика безопасная, безболезненная, хорошо переносится пациентами. По нашему мнению, применение данной технологии допустимо только в комплексном хирургическом лечении обширных гнойно-некротических ран, с обязательным использованием всего арсенала методов борьбы с раневой инфекцией и способами устранения раневых дефектов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки

Funding. The study had no sponsorship.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Зиновьев Е.В., Бородай Е.А., Солошенко В.В. и др. Влияние низкотемпературной аргоновой плазмы и ультразвуковой кавитации на течение раневого процесса в ожоговых ранах // Инновационная медицина Кубани. – 2024. – № 3. – С. 33–39. [Zinovev EV, Borodai EA, Soloshenko VV, et al. Effect of Low-Temperature Argon Plasma and Ultrasonic Cavitation on the Course of Burn Wound Healing. Innovative

Medicine of Kuban. 2024;3:33–39. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2024-9-3-33-39>

2. Суров Д.А., Сизоненко Н.А., Дымников Д.А. и др. Применение низкотемпературной аргоновой плазмы в лечении гнойных ран // Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова. – 2024. – Т. 19. – № 3. – С. 84–90. [Surov DA, Sizonenko NA,

Dymnikov DA, et al. The use of low-temperature argon plasma for the treatment of purulent wounds. Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center. 2024;19(3):84–90. (In Russ.) doi: https://doi.org/10.25881/20728255_2024_19_3_84

3. Маркевич П.С., Филиппов А.В., Долгих Р.Н. и др. Влияние низкотемпературной аргоновой плазмы на жизнеспособность и пролиферацию

фибробластов in vitro // Вестник мероприятия Медико-хирургического Центра им. Н. И. Пирогова. — 2024. — Т. 19. — № 4. — С. 51–57. [Markevich P.S., Filippov A.V., Dolgikh R.N., et al. Effect of low-temperature argon plasma on the viability and proliferation of fibroblasts in vitro. *Bulletin of Pirogov National Medical & Surgical Center*. 2024;19(4):51–57. (In Russ.)] doi: https://doi.org/10.25881/20728255_2024_19_4_51

4. Фролов С.А., Кузьминов А.М., Вышегородцев Д.В. и др. Возможности применения низкотемпературной аргоновой плазмы в лечении послеоперационных и длительно незаживающих ран // Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. — 2019. — Т. 29. — № 6. — С. 15–21. [Frolov S.A., Kuzminov A.M., Vyshgorodtsev D.V., et al. Possibilities for the Application of Low-Temperature Argon Plasma in the Treatment of Postoperative and Long-Term Non-Healing Wounds. *Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology*. 2019;29(6):15–21. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.22416/1382-4376-2019-29-6-15-21>

5. Герасименко М.Ю., Зайцева Т.Н., Евстигнеева И.С. Низкотемпературная плазма – перспективный метод реабилитации // Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. 2019. — Т. 1. — № 3. — С. 79–89. [Gerasimenko MY, Zait-

seva TN, Evstigneeva IS. Low-temperature plasma – a promising method of rehabilitation. *Physical and rehabilitation medicine, medical rehabilitation*. 2019;1(3):79–89. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.36425/2658-6843-2019-3-79-89>

6. Василец В.Н. Плазмохимическое получение оксидов азота в воздушной плазме для медицинских целей // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. — 2019. — Т. 62. — № 5. — С. 4–13. [Vasilets VN. Plasmachemical generation of nitric oxides in air plasma for medical applications. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*. 2019;62(5):4–13. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.6060/ivk-kt.20196205.5958>

7. Грушко В.И. Применение плазменного потока в комплексном лечении гнойных ран: дис... канд. мед. наук. Москва, 2008. — 127 с. [Grushko VI. *Primenenie plazmennogo potoka v kompleksnom lechenii gnojnykh ran: dis... kand. med. nauk*. Moskva, 2008. — 127 s. (In Russ.)] <https://www.dslib.net/xirurgia/primenenie-plazmennogo-potoka-v-kompleksnom-lechenii-gnojnyh-ran.html>

8. Османов Э.Г. Оглы. Инновационные плазменно-хирургические технологии в комплексном лечении воспалительно-гнойных поражений мягких тканей: дисс... доктора мед. наук. Москва, 2009. — 290 с.

[Osmanov EG Ogly. *Innovatsionnye plazmenno-khirurgicheskie tekhnologii v kompleksnom lechenii vospalitel'no-gnojnykh porazhenij myagkikh tkanej: diss... doktora med. nauk*. Moskva, 2009. — 290 s. (In Russ.)] <https://www.dslib.net/xirurgia/innovatsionnye-plazmenno-khirurgicheskie-tehnologii-v-kompleksnom-lechenii.html>

9. Mirpour S, Fathollah S, Mansouri P, et al. Cold atmospheric plasma as an effective method to treat diabetic foot ulcers: A randomized clinical trial. *Sci Rep*. 2020;10(1):10440. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67232-x>

10. Isbary G, Morfill G, Schmidt HU, et al. A first prospective randomized controlled trial to decrease bacterial load using cold atmospheric argon plasma on chronic wounds in patients. *Br J Dermatol*. 2010;163(1):78–82. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.2010.09744.x>

11. O'Connor N, Cahill O, Daniels S, et al. Cold atmospheric pressure plasma and decontamination. Can it contribute to preventing hospital-acquired infections? *J Hosp Infect*. 2014;88(2):59–65. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2014.06.015>

12. Dubuc A, Monsarrat P, Virard F, et al. Use of cold-atmospheric plasma in oncology: a concise systematic review. *Ther Adv Med Oncol*. 2018;10:1758835918786475. doi: <https://doi.org/10.1177/1758835918786475>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Петрова Вероника Владимировна — кандидат медицинских наук, врач-хирург клиники высоких медицинских технологий им. Н. И. Пирогова, Санкт-Петербург, Россия
 ORCID: 0000-0002-5516-9976
Veronica V. Petrova – MD, Cand. Sci. (Med.), surgeon at the N. I. Pirogov High-Technology Clinic, St. Petersburg, Russia

Аржелас Михаил Николаевич — врач-хирург клиники высоких медицинских технологий им. Н. И. Пирогова, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0002-1598-7894
Mikhail N. Arzhelas – MD, surgeon at the N. I. Pirogov High-Technology Clinic, St. Petersburg, Russia

Бойко Наталья Сергеевна — врач-хирург клиники высоких медицинских технологий им. Н. И. Пирогова, Санкт-Петербург, Россия
 ORCID: 0000-0002-2733-708X
Nataliya S. Boiko – MD, surgeon at the N. I. Pirogov High-Technology Clinic, St. Petersburg, Russia

Авторы: В. В. Петрова,
 М. Н. Аржелас, Н. С. Бойко

Authors: V. V. Petrova, M.N. Arzhelas,
 N.S. Boiko

Участие авторов:

Концепция и дизайн — В. В. Петрова
 Сбор и обработка материала — М. Н. Аржелас,
 Н. С. Бойко
 Написание текста — В. В. Петрова,
 М. Н. Аржелас, Н. С. Бойко
 Редактирование — В. В. Петрова

Authors' contribution:

Concept and design – V. V. Petrova
Material collection and processing – M. N. Arzhelas, N. S. Boiko
Text writing – V. V. Petrova, M. N. Arzhelas, N. S. Boiko
Editing – V. V. Petrova