https://doi.org/10.26442/26586630.2025.2.203254

ОБЗОР

Использование низкотемпературной аргоновой плазмы в лечении ран у детей (обзор литературы)

А.А. Громова✉, **Р.Т. Налбандян, П.В. Мединский**
ГБУЗ «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии» Департамента здравоохранения г. Москвы, Москва, Россия

Аннотация

Обоснование. В настоящее время вопрос лечения ран и их гнойно-воспалительных осложнений в детской хирургии остается весьма актуальным. Современный подход к лечению ран и раневой инфекции основан на методе активного хирургического лечения и включает выполнение хирургической обработки, проведение местного лечения современными раневыми повязками и различные дополнительные физические воздействия. Особое внимание обращает на себя плазменная технология, которая остается малоизученной и для которой нет точных показаний к использованию в детской практике, в частности при лечении повреждений мягких тканей и костей различной этиологии.

Материалы и методы. В работе проведен анализ литературы по применению плазменных технологий в различных областях медицины на основании отечественных и иностранных данных: eLIBRARY, PubMed, Google Scholar и UpToDate за последние 10 лет. Для поиска подходящей литературы использовались ключевые слова: «низкотемпературная аргоновая плазма», «обширные раны у детей», «плазменная технология в медицине». При первичном отборе найдено 962 источника литературы, в обзор включено 38.

Результаты. Осложненное хирургической инфекцией течение раневого процесса ведет к увеличению объема поражения тканей, что препятствует проведению реконструктивных и пластических операций. Применение низкотемпературной аргоновой плазмы в комбинации с традиционными методами хирургической обработки позволяет в короткие сроки подготовить раневую поверхность к окончательным этапам хирургического лечения. Это достигается путем снижения бактериальной обсемененности инфицированных ран и стимуляции репаративных процессов.

Заключение. Анализ литературы показал эффективность плазменных технологий в хирургии.

Ключевые слова: аргоновая плазменная коагуляция, плазменная технология, дети, раны, раневая инфекция, заживление раны, низкотемпературная аргоновая плазма, аргон, плазменный поток, обзор литературы

Для цитирования: Громова А.А., Налбандян Р.Т., Мединский П.В. Использование низкотемпературной аргоновой плазмы в лечении ран у детей (обзор литературы). Педиатрия. Consilium Medicum. 2025;2:176–182. DOI: 10.26442/26586630.2025.2.203254

REVIEW

The use of low-temperature argon plasma in children's practice: A review

Anastasia A. Gromova✉, **Ruben T. Nalbandyan, Pavel V. Medinskiy**
Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology, Moscow, Russia

Abstract

Background. Currently, the issue of treating wounds and their purulent-inflammatory complications in pediatric surgery remains highly relevant. The modern approach to treating wounds and wound infections is based on the method of active surgical treatment and includes performing surgical treatment, conducting local treatment with modern wound dressings, and treating with various methods of additional physical impact. Special attention is paid to plasma technology, which remains poorly studied and has no clear indications for use in pediatric practice, particularly in the treatment of extensive soft tissue damage of various etiologies, including open limb injuries.

Materials and methods. In this work, the analysis of domestic and foreign literature on the use of plasma technologies in various fields of medicine based on domestic and foreign data: eLIBRARY, PubMed, Google Scholar and UpToDate over the past 10 years. To search for relevant literature, the following keywords were used: low-temperature argon plasma; extensive wounds in children; plasma technology in medicine. During the initial selection, 962 sources of literature were found, 41 were included in the review.

Results. Literature analysis has shown the effectiveness of plasma technologies in various fields of medicine. The features of this method of exposure in various modes to tissues are described, as well as the technical aspects of its use in surgery are indicated.

Conclusion. Complicated by surgical infection, the course of the wound process leads to an increase in the volume of tissue damage, which hinders reconstructive and plastic surgeries. The use of low-temperature argon plasma in combination with traditional methods of surgical treatment allows for the rapid preparation of the wound surface for the final stages of surgical treatment. This is achieved by reducing bacterial contamination of infected wounds and stimulating reparative processes.

Keywords: argon plasma coagulation, plasma technology, children, wounds, wound infection, wound healing, low-temperature argon plasma, argon, plasma flow, literature review

For citation: Gromova AA, Nalbandyan RT, Medinskiy PV. The use of low-temperature argon plasma in children's practice: A review. Pediatrics. Consilium Medicum. 2025;2:176–182. DOI: 10.26442/26586630.2025.2.203254

Информация об авторах / Information about the authors

✉**Громова Анастасия Александровна** – врач – детский хирург, науч. сотр. ГБУЗ НИИ НДХиТ. E-mail: gromova.nas@yandex.ru; SPIN-код: 3115-5413

Налбандян Рубен Тигранович – канд. мед. наук, ст. науч. сотр., рук. отд. ран и раневых инфекций ГБУЗ НИИ НДХиТ. SPIN-код: 8674-0578

Мединский Павел Владимирович – врач – детский хирург ГБУЗ НИИ НДХиТ. SPIN-код: 1054-5830

✉**Anastasia A. Gromova** – pediatric surgeon, Res. Officer, Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology. E-mail: gromova.nas@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-8628-5710

Ruben T. Nalbandyan – Cand. Sci. (Med.), Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology. ORCID: 0009-0009-4585-9904

Pavel V. Medinskiy – pediatric surgeon, Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology. ORCID: 0000-0003-3764-1664

Введение

В настоящее время исследования по проблеме ран и раневой инфекции проводятся достаточно интенсивно, поскольку раны и их гнойно-воспалительные осложнения являются актуальной проблемой, с которой сталкивается человечество на протяжении всей истории. Это демонстрируется в крупных научных трудах, из которых следует, что принципы лечения ран неоднократно менялись в зависимости от исторических событий. Среди таких значимых моментов можно выделить появление асептики и антисептики, развитие методов хирургической обработки ран, а также открытие первого антибиотика – пенициллина. На протяжении всего периода разрабатывались и усовершенствовались различные подходы к ведению ран, новые способы дренирования ран, а также новые препараты для местного лечения. Применение антибактериальной терапии, ее нерациональное использование привели к развитию резистентности микроорганизмов, тем самым вызывая извращенное течение раневого процесса. В ранах стала преобладать преимущественно грамотрицательная микрофлора, больший вес приобрели анаэробы [1–4]. Такое разнообразие возбудителей с различной чувствительностью к антибактериальным препаратам привело к необходимости разработки новых препаратов и физических методов воздействия на раневой дефект [5].

По данным Всемирной организации здравоохранения, ежегодно в мире тяжелые травмы и ранения получают около 10 млн человек, среди них – более 750 тыс. пациентов с посттравматическими дефектами кожных покровов конечностей [6]. В Российской Федерации ежегодно медицинские организации России регистрируют более 3 млн детских травм [7]. Среди всех травм в детском возрасте открытые повреждения составляют 12,3%. На долю первично-инфицированных ран среди них приходится 76%, нагноившихся – 24% [8]. Постоянно возрастающее количество травм стало причиной увеличения доли пострадавших с тяжелыми открытыми повреждениями конечностей, до 30% всего числа пострадавших. Подобные травмы считаются наиболее тяжелыми в лечении из-за высокой вероятности осложнений, таких как развитие раневой инфекции, замедленное формирование костной мозоли и рубцовые изменения мягких тканей, и в детской практике на их долю приходится от 12,5 до 33,4% [2]. Несмотря на постоянное развитие и улучшение методов лечения, позволяющее достигать все более высоких результатов в заживлении ран и предотвращении осложнений, в настоящее время остается множество нерешенных вопросов.

Исследования зарубежных и отечественных ученых, которые посвящены заживлению и лечению ран, свидетельствуют об общем мнении специалистов, что течение раневого процесса можно свести к единой патогенетической схеме [2], суть которой в том, что заживление раны всегда носит фазовый характер и проходит 3 стадии: альтерации, экссудации и пролиферации [1, 8]. Однако присоединение инфекции и влияние других этиологических факторов приводит к замедлению и извращенному течению раневого процесса [2].

До настоящего времени во всем мире проводятся исследования, направленные на усовершенствование лечения различных ран путем активизации комплексного воздействия клеточных структур на различные фазы раневого процесса, что, в свою очередь, ускорит элиминацию патогенной микрофлоры и стимуляцию репаративной регенерации. Одним из основных этапов в лечении ран и раневой инфекции считается хирургическая обработка, во время которой происходит дополнительная обработка различными способами физического воздействия, среди которых особое место занимает плазменная технология.

Применение плазменных технологий в медицинской практике

Плазма (от греческого слова πλάσμα – как «вылепленное», «оформленное») – это полностью или частично ионизированный газ, содержащий свободные электроны, положительные и отрицательные ионы, способный проводить электрический ток. Существование такого вещества в природе предположено Майклом Фарадеем в 1819 г., его научные труды продолжил У. Крукс, который в 1879 г. зафиксировал подобное агрегатное состояние вещества. Само вещество «плазма» открыто американским химиком Ирвингом Ленгмюром, за что в 1932 г. ему присудили Нобелевскую премию. В течение времени учеными разных стран исследовались свойства ионизированного газа, что в дальнейшем позволило сделать многие открытия, использовать данную технологию как в промышленности, так и в медицине [9].

Первые исследовательские работы по внедрению ионизированного газа в медицину начались с США в 1970-е годы. Плазменная технология применялась в генераторах (plasma scalpel – плазменный скальпель, thermal knife – термический нож), которые применялись только для диссекции мягких тканей. Данные приборы обладали небольшой мощностью (до 70 Вт) и способны были нагревать ионизирующий газ до температуры 3700°C. Недостатком таких генераторов являлось длительное воздействие ионизированным газом на ткани, что приводило к перегреву и повреждению клеточных структур. В дальнейшем проводились работы по модификации генераторов, с середины 1990-х годов стали появляться хирургические установки, в которых использовался ионизированный газ – аргон.

Первые исследовательские работы, проведенные в нашей стране профессорами В.С. Савельевым, Г.И. Лукомским, О.К. Скобелкиным, начались с 1980-х годов. Учеными представлены успешные результаты по использованию плазменной технологии на паренхиматозных органах, что в дальнейшем позволило внедрить данных метод в различных сферах хирургии [9].

Одним из главных свойств плазмы в медицине является ее бактерицидный эффект. Научные работы, проведенные зарубежными и отечественными исследователями, демонстрируют высокую эффективность использования низкотемпературной плазмы как с грамположительными и грамотрицательными бактериями, так и с вирусами, грибами [10].

В 1969 г. M. Robson и соавт. опубликовали научную работу, в которой описали бактерицидный эффект от плазменных технологий. В исследовании показано, что процесс раневого заживления замедляется при наличии в ране более четырех различных штаммов бактерий и более 10^5 колоний образующих единиц β-гемолитических стрептокок-

https://doi.org/10.26442/26586630.2025.2.203254

ков, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*. В данном клиническом исследовании выявлено, что пациенты с хроническими ранами, которым ежедневно проводили дополнительную обработку раневой поверхности низкотемпературной аргоновой плазмой с экспозицией до 5 мин, отмечали значительный регресс инфекционного процесса в ранах по сравнению с пациентами контрольной группы, у которых не проводилась дополнительная физическая обработка [11].

В работе Н.Е. Щебниковой и соавт., опубликованной в 2003 г., изучали воздействие плазменных потоков на штаммы бактерий *S. aureus 209p, S. pyogenes ATCC19615* и *Klebsiella pneumoniae ATCC43062* при разной экспозиции. В результате доказано, что с 15-й секунды отмечалось подавление роста *S. aureus, S. pyogenes* – с 30-й секунды, а *K. pneumoniae* – только на 90-й секунде. В зависимости от экспозиции также отмечалась различная реакция лимфоцитов. Так, при 15-секундной обработке усиливалась индуцированная пролиферация, при этом не выявляли изменений в спонтанной и мутагенной пролиферации. После 30 с обработки отмечалось усиление индуцированной и спонтанной пролиферации, а после 90-й секунды происходило подавление спонтанной пролиферации, однако не обнаруживалось изменений стимулированной пролиферации [12]. Таким образом, результаты исследования подтвердили антибактериальный эффект плазменной технологии в зависимости от времени экспозиции.

В 2011 г. S. Ermolaeva и соавт. опубликовали исследование, направленное на изучение бактерицидных свойств плазмы, а именно определение индивидуальной чувствительности различных штаммов бактерий после обработки плазменных потоков. В этой работе доказано, что наиболее чувствительными к воздействию плазменных потоков на основе аргона являются грамотрицательные бактерии – *P. aeruginosa, Burkholderia cenocepacia* и *Escherichia coli*, которые не высеивались после 5-минутной обработки. Но стоит отметить, что чувствительность грамположительных бактерий к аргоновой плазме являлась различной в зависимости от вида и штамма бактерии. Наиболее устойчивым оказался *S. pyogenes*, среднюю стойкость проявили *S. epidermidis* и *Enterococcus faecium*, а наиболее восприимчивым оказался *S. aureus* [13].

Изучением бактерицидного эффекта в отношении различных штаммов и времени экспозиции плазменного потока в 2017 г. занимались М.А. Бобровский и соавт. При воздействии на штаммы *S. aureus, P. aeruginosa* и *E. coli* доказано, что минимальный рост сохраняется при 1 мин, а увеличение экспозиции от 2 мин и более полностью останавливает рост микроорганизмов. Полученные результаты свидетельствуют о достижении достоверного антибактериального эффекта при обработке не менее 2 мин [14].

Важным фактором достижения полной элиминации патогенной микрофлоры является время воздействия плазменных потоков на раневую поверхность и расстояние от сопла устройства до дефекта. Изучением данного вопроса занимались А.П. Семенов и соавт. (2014 г.), а также Е.А. Зуймач и соавт. (2013 г.). В своих исследованиях они проводили воздействовали на *E. coli M 17, E. coli 675, S. aureus 906*. В обеих работах доказано, что при прямом воздействии плазменного потока при меньшем расстоянии начиная с 5 с отмечалась полная гибель микроорганизмов [15, 16].

В работах Ю.С. Акишевой и соавт. в 2002 г. и G. Kamgang-Youbi и соавт. в 2007 г. описано воздействие плазменного потока на раневые поверхности и в жидкой среде. В исследованиях продемонстрирован выраженный антимикробный эффект плазмы на различные патогенетические агенты при различных экспозициях в физиологической среде [17, 18].

Помимо антибактериального действия плазменные потоки способны положительно воздействовать на клеточном уровне. Н.П. Делюкина и соавт. в 2007 г. опубликовали свое исследование, где описано, что плазменные потоки способны стимулировать фагоцитоз макрофагов. Однако важно учитывать время экспозиции, чтобы миновать депрессию функциональной активности макрофагов. Таким образом, экспериментально доказано, что обработка в течение 15 с не приводит к ухудшению активности кислой фосфатазы фагоцитов, а обработка в течение 30 с стимулирует фагоцитоз. При увеличении экспозиции до 60 с отмечался обратный эффект в виде уменьшения активности кислой фосфатазы, а до 180 с – полное угнетение активности, что может привести к депрессии функции макрофагов [19].

В последующем проводились лабораторные исследования на эндотелиальных клетках, миоцитах и фибробластах, что позволило подобрать оптимальные параметры применения плазменных потоков в практической деятельности. Воздействие на клетки в течение 30 с приводит к потере клеточной адгезии, проницаемость клеток временно увеличивается, и за счет факторов роста усиливается пролиферация клеток. Воздействие свыше минуты приводит к некрозу (гибели) клеток [20].

G. Fridman и соавт. в 2008 г. в своих исследованиях показали, что важную роль играет взаимодействие плазменного потока с клетками эукариот, что приводит к активации различных форм азота и кислорода. Такие активные формы, как озон, молекулярный кислород в метастабильных состояниях, супероксид-анион-радикал, атомарный кислород, пероксиды и гидроксильные радикалы, проникают внутрь клетки и вызывают реакцию свободного перекисного окисления липидов [21]. Это состояние приводит к последующей лавинообразной реакции и повреждению клеточной мембраны, липидов, полисахаридов, белков и цепей ДНК [22]. Экспериментально in vitro на меланомной клеточной линии ATCC A2058 подтверждено, что после обработки потоком плазмы происходит гибель злокачественных клеток [23]. B. Choi и соавт. получили положительный результат при использовании на меланомной клеточной линии G361 [24].

В 2009 г. в своей работе Э.Г. Османов описал комплексное исследование эффективности комбинированного применения плазменной медицинской технологии. В группу исследования вошел 501 пациент в возрасте от 19 до 82 лет с обширными гнойно-некротическими поражениями мягких тканей. Во время исследования доказана высокая эффективность при обработке низкотемпературной аргоновой плазмой в комплексе с традиционными хирургическими обработками, что достоверно снижало число этапных некрэктомий путем снижение микробной контаминации, ускорения очищения ран. Опытным путем подобраны оптимальные режимы воздействия на

различные раневые дефекты, что существенно ускоряло течение фаз раневого процесса и сокращало период подготовки к окончательным оперативным вмешательствам на 5–8 суток [25].

А.Л. Чарышкин и соавт. в 2014 г. в своей работой доказали, что, помимо сказанного, при воздействии плазменного потока отмечается оксигенация тканей, при этом происходит активизация ангиогенеза и пролиферации [26].

К.В. Липатов и соавт. увидели, что дополнительным преимуществом плазмы является повышение концентрации оксида азота. Это приводит к индукции цитокинов и факторов роста, что в свою очередь оказывает прямое бактерицидное воздействие, ускоряет скорость нервной передачи импульсов, приводит к расширению сосудов и нормализации микроциркуляции.

Кроме этого, под воздействием оксида азота происходит активация клетками эпидермиса ß-катенина, что оптимизирует соотношение пролиферации и апоптоза кератиноцитов, тем самым происходит восстановление толщины эпидермиса, т.е. ускоряется регенерация [27, 28].

Е.В. Зиновьев и соавт. в 2017 г. провели исследование, в котором изучали воздействие плазменных потоков на ожоговые раны. Во время эксперимента мелким лабораторным животным искусственно создавали ожоговые раны путем контакта нагревательного элемента с кожей. В ходе исследования раны ежедневно обрабатывались плазменным потоком, в результате чего произошло ускорение заживления на 7 дней. Кроме того, отмечено, что плазменный поток обладает бактерицидным эффектом, что приводит к снижению частоты инфекционных осложнений на 20%. В качестве контрольной группы использовались животные, которые получали лечение ран по стандартной методике без применения дополнительной обработки [29].

Сокращение сроков госпитализации пациентов путем ускорения подготовки ран к окончательным хирургическим этапам возможно при комплексном воздействии различных методов физических обработок. Данный вывод сделан Ю.Л. Шевченко и соавт. в 2009 г., которые в своем исследовании использовали комплексное воздействие потоков плазмы аппарата «ПЛАЗОН», гидрохирургическую систему Versajet, ультразвуковую низкочастотную кавитацию аппаратом SONOCA [30].

Г.Ц. Дамбаев и соавт. в 2011 г. провели сравнительный анализ интраоперационных способов гемостаза. При воздействии плазменных потоков в течение 15 с происходит коагуляция. Сделан вывод о том, что плазменная обработка позволяет осуществлять гемостаз ран более эффективно и быстро, так как аналогичный процесс без обработки занимает около 1 мин. Также отмечено, что после обработки содержание протеинов в плазме крови увеличивалось, что стимулировало процесс эпителизации ран [31].

Анализ научных трудов показал, что наиболее востребованы плазменно-физические воздействия в гнойной хирургии, где доктора используют все режимы обработки: хирургический и терапевтический. При хирургическом режиме на максимальной мощности воздействия на раневую поверхность высокотемпературным газовым потоком происходит диссекция тканей и коагуляция. Большинство авторов используют данный режим на заключительном этапе некрэктомии [30, 32, 33]. Терапевтический режим предусматривает обработку поверхности раны охлажденным (до 36–40°С) плазменным потоком с целью купирования воспалительного процесса и стимуляции регенерации тканей, а также для достижения бактерицидного эффекта [30].

В 2014 г. Д.В. Нарезкин и соавт. предложили подвергать обработке раневую поверхность потоком плазмы на этапе завершения операции. По итогу работы продемонстрировано, что при таком методе обработки экссудативная фаза сокращалась на 2–3 дня, происходило уменьшение частоты таких осложнений, как серомы, на 20% и инфильтратов – на 10%. Продолжительность терапии пациентов составляла всего 10 дней, что в 1,5 раза меньше, чем при использовании традиционного протокола терапии [34].

Профессор А.З. Вафин и соавт. в 2007 г. провели исследование на основе лечения 143 пациентов для того, чтобы изучить возможности плазменных технологий в лечении пациентов с гнойно-воспалительными заболеваниями мягких тканей; 42 пациентам к стандартному лечению добавили обработку раневых дефектов лучом плазмы. Основную группу составляли пациенты, которым проводились 3 процедуры через 1 день. По результатам работы выявлено, что при использовании плазменного потока снизились частота осложнений, количество необходимых перевязок и повторных оперативных вмешательств. Кроме этого, в работе показана экономическая результативность в связи со снижением затрат на лечение пациентов [35].

В статье Н.А. Андрюшенковой и соавт. в 2010 г. продемонстрировано комплексное лечение с применением низкотемпературной аргоновой плазмы пациентов с одонтогенными флегмонами. По данным их исследования, при воздействии плазменных потоков происходит оптимизация процесса раневого заживления путем ускорения сроков «очищения» раны от некротических тканей и активизации репаративных процессов. Результаты подтверждены при помощи клинического и цитологического обследования [36].

Согласно работе М.Ю. Герасименко и соавт. применение плазменных потоков может стать эффективным методом дополнительной обработки инфицированных ран у пожилых пациентов. В ходе исследования, проведенного в течение 11 лет (с 2004 по 2015 г.), проанализированы результаты лечения 489 пациентов с инфицированными хроническими ранами. Различные режимы плазменных потоков применены во время хирургической обработки и последующего местного лечения. Контрольную группу составили 280 пациентов, которые пролечены по стандартной методике. Исследование показало, что использование плазменной обработки гнойного очага значительно ускоряет «очищение» раневой поверхности и снижает степень микробной обсемененности. Все это способствует более быстрому заживлению ран после хирургической обработки практически в 1,8 раза независимо от объема поражения покровных тканей. Кроме этого, использование плазменных технологий в качестве дополнительной обработки помогает значительно снизить степень микробной контаминации в очаге поражения и, как следствие, сократить сроки госпитализации [37].

В своей работе А.М. Шулутко и соавт. в 2018 г. представили комплексное лечение раневой инфекции с использованием плазменных технологий в различных режимах. Во время работы использовали оба режима: и хирургический, и терапевтический. Хирургический режим обработки

https://doi.org/10.26442/26586630.2025.2.203254

плазменным лучом использовали вместо скальпеля, но это позволяло проводить хирургическую обработку тканей на небольшую глубину (до 2 мм). Терапевтический режим применяли для гемостаза: происходила коагуляция мелких сосудов (до 1 мм), что способствовало уменьшению интраоперационной кровопотери на 30–35%. Объективизация работы проводилась при помощи цитологических и гистологических исследований, а также при помощи микробиологического анализа. Благодаря применению плазменных потоков происходит ускорение течения раневого процесса в 1,8 раза, значительное снижение степени микробной обсемененности ран [38].

К.Ф. Османов в 2021 г. опубликовал исследование по применению низкотемпературной аргоновой плазмы при ожоговых ранах с использованием аппарата «ПЛАЗМОРАН». Установлено, что после воздействия плазменных потоков на ожоговый дефект происходило снижение количества микроорганизмов или полная элиминация патогенной микрофлоры, что уменьшало риски развития гнойно-воспалительных осложнений и ускоряло сроки эпителизации ран [39].

Заключение

Обобщая данные российских и зарубежных исследователей, можно отметить, что применение плазменных технологий доказало свою эффективность в медицинской практике у взрослого населения. Однако в публикациях практически отсутствуют работы по изучению применения низкотемпературной аргоновой плазмы в детской практике, в частности в хирургии. Изложенное позволяет говорить о значительных клинических перспективах широкого использования плазменных технологий в педиатрической практике.

Раскрытие интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Disclosure of interest. The authors declare that they have no competing interests.

Вклад авторов. Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. А. А. Громова – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста, ответственность за целостность всех частей статьи; Р.Т. Налбандян – концепция и дизайн исследования, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; П.В. Мединский – концепция и дизайн исследования, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Authors' contribution. The authors declare the compliance of their authorship according to the international ICMJE criteria. A.A. Gromova – the concept and design of the study, collection and processing of material, text writing; R.T. Nalbandyan – the concept and design of the study, editing, approval of the final version of the article; P.V. Medinskiy – the concept and design of the study, editing, approval of the final version of the article.

Источник финансирования. Авторы декларируют отсутствие внешнего финансирования для проведения исследования и публикации статьи.

Funding source. The authors declare that there is no external funding for the exploration and analysis work.

Литература/References

1. Кузин М.И., Костюченок Б.М. Раны и раневая инфекция. М., 1990 [Kuzin MI, Kostiuchenok BM. Rany i ranevaia infektsiia. Moscow, 1990 (in Russian)].
2. Налбандян Р.Т. Совершенствование хирургической обработки гнойно-некротических ран различной этиологии: дис. … канд. мед. наук. М., 2018 [Nalbandian RT. Sovershenstvovanie khirurgicheskoi obrabotki gnoyno-nekroticheskikh ran razlichnoi etiologii: dis. … kand. med. nauk. Moscow, 2018 (in Russian)].
3. Brocke T, Barr J. The History of Wound Healling. *Surg Clin North Am*. 2020;100(4): 787-806.
4. Симонян Р.З. История медицины: с древнейших времен до современности: учебное пособие для студентов лечебных факультетов образовательных организаций высшего образования. Чебоксары: Среда, 2020 [Simonyan RZ. Istoria meditsiny: s drevneyshikh vremen do sovremennosti: uchebnoe posobie dlia studentov lechebnykh fakultetov obrazovatelnykh organizatsiy vysshego obrazovania. Cheboksary: Sreda, 2020 (in Russian)].
5. Кирюшенкова С.В. Сравнительная микробиологическая оценка эффективности физических методов лечения гнойных ран: автореф. дис. … канд. мед. наук. М., 2005 [Kiryushenkova SV. Sravnitelnaia mikrobiologicheskaia otsenka effektivnosti fizicheskikh metodov lecheniia gnoynykh ran: avtoref. dis. … kand. med. nauk. Moscow, 2005 (in Russian)].
6. Фисталь Э.Я. Раневой процесс и результаты раннего хирургического лечения обширных ран – взгляд на проблему. *Вестник неотложной и восстановительной хирургии*. 2016;1(2) [Fistal Ela. Ranevoi protsess i rezultaty rannego khirurgicheskogo lecheniia obshirnykh ran – vzgliad na problemu. *Vestnik neotlozhnoi i vosstanovitelnoi khirurgii*. 2016;1(2) (in Russian)].
7. Информация Министерства здравоохранения РФ. Памятка «Детский травматизм». Режим доступа: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407620670/ Ссылка активна на 04.04.2025 [Information from the Ministry of Health of the Russian Federation. Memo "Children's injuries". Available at: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407620670/. Accessed: 04.04.2025 (in Russian)].
8. Применение гидрохирургических технологий в лечении обширных ран у детей. Под ред. Л.М. Рошаля, В.А. Митиш, Р.Т. Налбандян, и др. Методические рекомендации. М., 2014 [Primeneniie gidrokhirurgicheskikh tekhnologii v lechenii obshirnykh ran u detei. Pod red. LM Roshalia, VA Mitish, RT Nalbandian, et al. Metodicheskie rekomendatsii. Moscow, 2014 (in Russian)].
9. Шулутко А.М., Османов Э.Г., Семиков В.И., Мачарадзе А.Д. Плазменная хирургическая технология – от истоков до наших дней. *Российский медицинский журнал*. 2018;24(4):199-205 [Shulutko AM, Osmanov EG, Semikov VI, Macharadze AD. Plazmennaia khirurgicheskaia tekhnologiia – ot istokov do nashikh dneii. *Rossiiskii meditsinskii zhurnal*. 2018;24(4):199-205 (in Russian)].
10. Сигуа Б.В., Земляной В.П., Соколова А.С. История развития и возможности плазменной хирургии. *Вестник экспериментальной и клинической хирургии*. 2021;14(3):243-7 [Sokolova AS, SiguA BV, Zemlyanoy VP. History of Development and Potentials of Plasma Surgery. *Journal of Experimental and Clinical Surgery*. 2021;14(3):243-7 (in Russian)]. DOI:10.18499/2070-478X-2021-14-3-243-247
11. Robson MC, Heggers JP. Surgical infection. II. The beta-hemolytic streptococcus. *J Surg Res*. 1969;9(5):289-92. DOI:10.1016 0022-4804(69)90068-7
12. Щебникова Н.Е., Кирюшенкова С.В., Гришанов Д.Ю., и др. Влияние низкотемпературной гелиевой плазмы на биологические объекты. *Вестник Смоленской государственной медицинской академии*. 2003;4 [Shchebnikova NE, Kiryushenkova SV, Grishanov Diu, et al. Vliianie nizkotemperaturnoi gelievoi plazmy na biologicheskie obiekty. *Vestnik Smolenskoi gosudarstvennoi meditsinskoi akademii*. 2003;4 (in Russian)].
13. Ermolaeva SA, Varfolomeev AF, Chernukha MYu, et al. Bactericidal effects of non-thermal argon plasma in vitro, in biofilms and in the animal model of infected wounds. *J Med Microbiol*. 2011;1(60):75-83.

14. Бобровский М.А., Мураева В.Б., Филипов Ю.И., и др. Изучение бактерицидных свойств низкотемпературной неравновесной гелиевой плазмы атмосферного давления in vitro. *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2017;2:49-53 [Bobrovsky MA, Muraeva VB, Filipov YuI. Study of bactericidal properties of low temperature non-equilibrium helium plasma of atmospheric pressure in vitro. *Veterinary, animal science and biotechnology*. 2017;2:49-53 (in Russian)].
15. Семенов А.П., Балданов Б.Б., Ранжуров Ц.В., и др. Воздействие низкотемпературной (холодной) аргоновой плазмы слаботочных высоковольтных разрядов на микроорганизмы. *Прикладная физика*. 2014;3:47-9 [Semenov AP, Baldanov BB, Ranzhurov TSV, et al. Vozdeistviie nizkotemperaturnoi (kholodnoi) argonovoi plazmy slabotochnykh vysokovoltnykh razriadov na mikroorganizmy. *Prikladnaia fizika*. 2014;3:47-9 (in Russian)].
16. Зуймач Е.А., Спиров Г.М., Бочкарев А.Е., и др. Бактерицидное действие плазмы скользящих разрядов в воздухе. *Экспериментальная медицина*. 2013;3(27):50-2 [Zuimach EA, Spirov GM, Bochkarev AE, et al. Bakteritsidnoie deistvie plazmy skolziashchikh razriadov v vozdukhe. *Eksperimentalnaia meditsina*. 2013;3(27):50-2 (in Russian)].
17. Kamgang-Youbi G, Herry JM, Bellon-Fontaine MN, et al. Evidence of temporal postdischarge decontamination of bacteria by gliding electric discharges: application to Hafnia alvei. *Appl Environ Microbiol*. 2007;73(15):4791-6. DOI:10.1128/AEM.00120-07
18. Акишев Ю.С. Неравновесная плазма в плотных газах: физика, химия, техника и применение в экологии: уч. пособие. М.: МИФИ, 2002 [Akishev IuS. Neravnovesnia plazma v plotnykh gazakh: fizika, khimia, tekhnika i primenenie v ekologii: uch. posobie. Moscow: MIFI, 2002 (in Russian)].
19. Делюкина Н.П., Просцевич О.Д., Гришанов Д.Ю., Соловьев А.С. Влияние низкотемпературной гелиевой плазмы на активность кислой фосфатазы перитонеальных макрофагов. *Вестник Смоленской государственной медицинской академии*. 2007;3. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-nizkotemperaturnoy-gelievoy-plazmy-na- aktivnost-kisloy-fosfatazy-peritonealnyh-makrofagov. Ссылка активна на 27.09.2018 [Deliukina NP, Prostsevich OD, Grishanov DYu, Soloviev AS. Effect of low-temperature helium plasma on the activity of acid phosphatase in peritoneal macrophages. *Bulletin of the Smolensk State Medical Academy*. 2007;3. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-nizkotemperaturnoy-gelievoy-plazmy-na- aktivnost-kisloy-fosfatazy-peritonealnyh-makrofagov. Accessed: 27.09.2018 (in Russian)].
20. Chailakhyan RK, Grosheva AG, Gerasimov YuV, et al. Effect of Non-Thermal Plasma on Proliferative Activity and Adhesion of Multipotent Stromal Cells to Scaffolds Developed for Tissue-Engineered Constructs. *Bull Exp Biol Med*. 2019;167(1):182-8. DOI:10.1007/s10517-019-04486-0
21. Fridman G, Friedman G, Gutsol A, et al. Applied plasma medicine. *Plasma Processes Polym*. 2008;3:503-33.
22. Chinin VI. Two types of negative corona current pulsation. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2005;1(Series: Plasma Physics (10):178-80.
23. Cooper M, Fridman G, Staak D, et al. Decontamination of Surfaces From Extremophile Organisms Using Nonthermal Atmospheric-Pressure Plasmas. IEEE Trans. *Plasma Sci*. 2009;37:866-71.
24. Choi BBR, Choi JH, Hong JW, et al. Selective Killing of Melanoma Cells With Non-Thermal Atmospheric Pressure Plasma and p-FAK Antibody Conjugated Gold Nanoparticles. *Int J Med Sci*. 2017;4(14):1101-9. DOI:10.7150 / ijms.20104
25. Османов Э.Г. Инновационные плазменно-хирургические технологии в комплексном лечении воспалительно-гнойных поражений мягких тканей: дис. … д-ра мед. наук. М., 2009 [Osmanov EG. Innovatsionnye plazmenno-khirurgicheskie tekhnologii v kompleksnom lechenii vospalitelno-gnoynykh porazhenii myagkikh tkaney: dis. … d-ra med. nauk. Moscow, 2009 (in Russian)].
26. Чарышкин А.Л., Котов М.А. Устройство для лечения трофических язв и длительно незаживающих ран сочетанным воздействием локального вакуума и низкотемпературной плазмы остаточного азота. *Фундаментальные исследования*. 2014;10:1818-21 [Charyshkin AL, Kotov MA. Ustroistvo dlia lecheniia troficheskikh iazv i dlitelno nezazhivayushchikh ran sochetannym vozdeystviiem lokalnogo vakuuma i nizkotemperaturnoi plazmy ostatochnogo azota. *Fundamentalnye issledovaniia*. 2014;10:1818-21 (in Russian)].
27. Липатов К.В., Сопромадзе М.А., Шехтер А.Б., и др. Использование газового потока, содержащего оксид азота (NO-терапия) в комплексном лечении гнойных ран. *Хирургия*. 2002;2:41-3 [Lipatov KV, Sopromadze MA, Shekhter AB, et al. Ispolzovanie gazovogo potoka, soderzhashchego oksid azota (NO-terapia) v kompleksnom lechenii gnoinykh ran. *Khirurgia*. 2002;2:41-3 (in Russian)].
28. Шемшук М.И., Короткий В.Н., Серов Д.Н., и др. Низкотемпературная атмосферная плазма в коррекции возрастных изменений кожи лица. *Вестник РГМУ*. 2018;2:60-6 [Shemshuk MI, Korotkii VN, Serov DN, et al. Nizkotemperaturnaia atmosfernaia plazma v korrektsii vozrastnykh izmenenii kozhi litsa. *Vestnik RGMU*. 2018;2:60-6 (in Russian)].
29. Зиновьев Е.В., Цыган В.Н., Асадулаев М.С., и др. Возможности применения низкотемпературной воздушной плазмы дугового разряда атмосферного давления для лечения ожоговых ран. *Вестник Российской военно-медицинской академии им. С.М. Кирова*. 2018;2(62):171-6 [Zinoviev EV, Tsygan VN, Asadulaiev MS, et al. Vozmozhnosti primeneniia nizkotemperaturnoi vozdushnoi plazmy dugovogo razriada atmosfernogo davleniia dlia lecheniia ozhogovykh ran. *Vestnik Rossiiskoi voenno-meditsinskoi akademii im. S.M. Kirova*. 2018;2(62):171-6 (in Russian)].
30. Шевченко Ю.Л., Стойко Ю.М., Рябов А.Л., и др. Современные возможности комплексного лечения гнойных ран. *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова*. 2009;4(2):9-12 [Shevchenko IuL, Stoiko IuM, Riabov AL, et al. Sovremennye vozmozhnosti kompleksnogo lecheniya gnoinykh ran. *Vestnik Natsionalnogo mediko-khirurgicheskogo tsentra im. NI Pirogova*. 2009;4(2):9-12 (in Russian)].
31. Дамбаев Г.Ц., Байков А.Н., Семичев Е.В., и др. Интраоперационные способы гемостаза при операциях на печени. *Бюллетень сибирской медицины*. 2011;4:89-93 [Dambayev GTS, Baikov AN, Semichev YeV, et al. The intraoperative methods of hemostasis during liver surgeries. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2011;10(4):89-93 (in Russian)].
32. Шулутко А.М., Османов Э.Г., Чантурия М.О., Мачарадзе А.Д. Плазменные потоки в хирургической практике. *Российский медицинский журнал*. 2018;24(2):93-8 [Shulutko AM, Osmanov EG, Chanturiya MO, Macharadze AD. The plasma flows in surgical practice. *Rossiiskii meditsinski zhurnal*. 2018;24(2):93-8 (in Russian)]. DOI:10.18821/0869-2106-2018-24-2-93-98
33. Крюгер Ю.А. Плазмодинамическая санация оксидом азота (NO) в комплексном лечении гнойно-некротических поражений нижних конечностей у больных сахарным диабетом: дис. … канд. мед. наук. М., 2004 [Kryuger YuA. Plasmodynamic sanation with nitric oxide (NO) in the complex treatment of purulent-necrotic lesions of the lower limbs in patients with diabetes mellitus: dis. … kand. med. nauk. Moscow, 2004 (in Russian)].
34. Нарезкин Д.В., Сергеев Е.В. Методы профилактики развития гнойно- воспалительных раневых осложнений при грыжесечении ущемленных послеоперационных вентральных грыж. *Новости хирургии*. 2014;6. Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/metody-profilaktiki-razvitiya-gnoyno-vospalitelnyh-ranevyh-oslozhneniy-pri-gryzhesechenii-uschemlennyh-posleoperatsionnyh. Ссылка активна на: 19.11.2018 [Narezkin DV, Sergeev EV. Methods of preventing the development of purulent-inflammatory wound complications during herniotomy of strangulated postoperative ventral hernias. *Surgical news*. 2014;6. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/metody-profilaktiki-razvitiya-gnoyno-vospalitelnyh-ranevyh-oslozhneniy-pri-gryzhesechenii-uschemlennyh-posleoperatsionnyh. Accessed: 19.11.2018 (in Russian)].
35. Вафин А.З., Грушко В.И., Казанцев И.С. Плазменные технологии в лечение гнойных ран. *Вестник хирургии*. 2007;166(5):44-7 [Vafin AZ, Grushko VI, Kazantsev IS.

https://doi.org/10.26442/26586630.2025.2.203254

Plazmennye tekhnologii v lechenie gnoiinykh ran. *Vestnik khirurgii*. 2007;166(5):44-7 (in Russian)].

36. Андрюшенкова Н.А., Локтева М.Э. Особенности заживления гнойных ран лица и шеи при использовании воздушно-плазменного потока. *Вестник Смоленской государственной медицинской академии*. 2010;2:15-8 [Andriushenkova NA, Lokteva ME. Osobennosti zazhivleniia gnoinykh ran litsa i shei pri ispolzovanii vozdushno-plazmennogo potoka. *Vestnik Smolenskoi gosudarstvennoi meditsinskoi akademii*. 2010;2:15-8 (in Russian)].
37. Герасименко М.Ю., Зайцева Т.Н., Евстигнеева И.С. Низкотемпературная плазма – перспективный метод реабилитации. *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация*. 2019 [Gerasimenko MIu, Zaiitseva TN, Evstigneyeva IS. Nizkotemperaturnaia plazma – perspektivnyi metod reabilitatsii. *Fizicheskaia i reabilitatsionnaia meditsina, meditsinskaia reabilitatsiia*. 2019 (in Russian)].
38. Шулутко А.М., Османов Э.Г., Гогохия Т.Р., и др. Воздушно-плазменная технология в комплексном лечении раневой инфекции. *Медицинские новости Грузии*. 2018;6(279):7-10 [Shulutko AM, Osmanov EG, Gogokhiya TR, et al. Vozdushno-plazmennaia tekhnologia v kompleksnom lechenii ranevoi infektsii. *Meditsinskie novosti Gruzii*. 2018;6(279):7-10 (in Russian)].
39. Османов К.Ф. Патогенетическое обоснование применения низкотемпературной плазмы для лечения ожогов: дис. канд. ... мед. наук. СПб., 2021 [Osmanov KF. Patogeneticheskoe obosnovanie primenenia nizkotemperaturnoi plazmy dlia lecheniia ozhogov: dis. kand. ... med. nauk. Saint Petersburg, 2021 (in Russian)].

Статья поступила в редакцию / The article received: 14.08.2024
Статья принята к печати / The article accepted for publication: 04.06.2025