



Влияние низкотемпературной аргоновой плазмы и ультразвуковой кавитации на течение раневого процесса в ожоговых ранах

©Е.В. Зиновьев^{1,2}, Е.А. Бородай¹, В.В. Солошенко¹, Д.О. Вагнер^{1,3}, Д.В. Костяков^{1*},
О.С. Панкратьева¹, С.Н. Пятакова¹

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

³ Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

* Д.В. Костяков, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе, 192242, Санкт-Петербург, ул. Будапештская, д. 3, лит. А, kosdv@list.ru

Поступила в редакцию 15 марта 2024 г. Исправлена 9 апреля 2024 г. Принята к печати 3 мая 2024 г.

Резюме

Актуальность: Различные физические явления и феномены находят все большее применение в медицине. Однако до настоящего времени не разработаны универсальные методы физического воздействия на ожоговую рану, позволяющие оптимизировать течение раневого процесса на всех этапах лечения. В комбустиологии при лечении ожоговых ран на первых этапах необходимо очистить рану от погибших тканей, далее ставятся задачи по созданию оптимальной биологической среды, нормализации кровообращения, подавлению патогенной флоры и стимуляции пролиферативных процессов в ране.

Цель исследования: На основании клинических наблюдений и цитологического исследования определить эффективность применения низкотемпературной аргоновой плазмы и ультразвуковой кавитации в лечении глубоких ожоговых ран.

Материалы и методы: Выполнено исследование мазков отпечатков из ожоговых ран 36 пациентов с глубокими ожогами различной этиологии, которые находились на лечении в отделе термических поражений ГБУ СПб НИИ СП им. И.И. Джанелидзе в период с 2022 по 2023 г. При лечении данных пострадавших применялось два вида физического воздействия на ожоговые раны: низкотемпературная аргоновая плазма (НАП) и ультразвуковая кавитация (УЗК).

Результаты: Выявлено, что смена воспалительного типа цитограммы на регенераторно-воспалительный при использовании НАП и УЗК происходит на 3–7-е сут. на исследуемом участке, в то время как на контрольном участке этот процесс отмечен лишь спустя 10 сут. лечения. Благодаря применению физических методов воздействия на ожоговую рану (НАП, УЗИ) после выполнения некрэктомии при глубоком дермальном ожоге удалось подготовить рану к аутодермотрансплантации быстрее, чем при стандартных способах местного лечения ожоговых ран. Установлено, что УЗК целесообразно применять при выраженной экссудации и при наличии влажного струпа, НАП предпочтительно использовать при замедлении репаративных процессов в ожоговой ране.

Заключение: Обработка ожоговой раны УЗК и НАП позволяет подготовить раневую поверхность к выполнению аутодермотрансплантации с высоким коэффициентом приживления. Процедура позволяет эффективно, бескровно и атравматично очищать раневой дефект от погибших тканей и одновременно подавлять патогенную микрофлору. Планируется проведение дальнейших исследований с участием пациентов с обширными глубокими ожоговыми ранами.

Ключевые слова: ожог, раневой процесс, цитологическое исследование, низкотемпературная аргоновая плазма, ультразвуковая кавитация

Цитировать: 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;9(3):33–39. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2024-9-3-33-39>

Effect of Low-Temperature Argon Plasma and Ultrasonic Cavitation on the Course of Burn Wound Healing

©Evgenii V. Zinovev^{1,2}, Elena A. Borodai¹, Vitaliy V. Soloshenko¹, Denis O. Vagner^{1,3},
Denis V. Kostyakov^{1*}, Olga S. Pankratyeva¹, Svetlana N. Pyatakova¹

¹ Saint Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine, Saint Petersburg, Russian Federation

² Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russian Federation

³ North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russian Federation

* Denis V. Kostyakov, Saint Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine, ulitsa Budareshetskaya 3A, Saint Petersburg, 192242, Russian Federation, kosdv@list.ru

Received: March 15, 2024. Received in revised form: April 9, 2024. Accepted: May 3, 2024.



Abstract

Background: Various physical phenomena come into use in medicine; however, to date, universal physical methods have not been developed to optimize the course of the wound healing at all treatment stages. In combustiology, the first stage of burn treatment is debridement; then it is important to create an optimal biological environment, normalize blood circulation, suppress pathogenic flora, and stimulate proliferative processes in the wound.

Objective: To determine the effectiveness of low-temperature argon plasma (LTAP) and ultrasonic cavitation in deep burn wound treatment based on clinical observations and cytological findings.

Materials and methods: We studied impression smears from burn wounds of 36 patients with deep burns of various etiologies who were treated using LTAP and ultrasonic cavitation in the Thermal Injuries Unit at the Saint Petersburg I.I. Dzhanlidze Research Institute of Emergency Medicine (Saint Petersburg, Russian Federation) between 2022 and 2023.

Results: We found that cytogram findings in the study area changed from the inflammatory type to the regenerative-inflammatory one on day 3-7 when LTAP and ultrasonic cavitation were used, while such change in the control area was observed only after 10 days of treatment. Thanks to the use of LTAP and ultrasound after necrosectomy for deep dermal burns, the wound preparation for autologous skin grafting takes less time than it does with standard methods of local burn wound care. Ultrasonic cavitation should be used in cases of severe exudation and slough, whereas LTAP should be used when reparative processes in a burn wound slow down.

Conclusions: Burn wound treatment using ultrasonic cavitation and LTAP enables to prepare the wound surface for autologous skin grafting with a high engraftment rate. The procedure allows to effectively and atraumatically debride the wound and suppress pathogenic microflora. Further research is planned in patients with large deep burn wounds.

Keywords: burn, wound healing, cytology, low-temperature argon plasma, ultrasonic cavitation

Cite this article as: 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;9(3):33–39. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2024-9-3-33-39>

Основным и единственным методом лечения глубоких ожоговых ран остается хирургическая обработка с последующим пластическим закрытием. При этом в области глубоких ожогов кожи последовательно развиваются все стадии воспаления. Глубина поражения, анатомическая область, вирулентность микрофлоры, реактивность организма – это далеко не все факторы, влияющие на заживление глубокой ожоговой раны и оказывающие влияние на длительность фаз раневого процесса.

В хирургии ожогов на протяжении уже трех десятилетий используются физические методы воздействия на ожоговую рану. Наиболее распространен метод ультразвуковой кавитации (УЗК) ожоговых ран [1]. Лечебные свойства ультразвука связаны с его губительным воздействием на бактериальную флору в ране, способностью механически разъединять ткани и уменьшать воспаление [1].

Второй физический метод лечения ожоговых ран, который активно развивается в последние два десятилетия, предусматривает использование низкотемпературной аргонной плазмы (НАП) [2, 3]. Во многих исследованиях изучено влияние обработки плазменным потоком живых клеток и тканей [4]. Авторы доказали, что воздействие слабой интенсивности низкотемпературной плазмы усиливает пролиферацию клеток в ране, стимулирует репаративные процессы [5]. Воздействие низкотемпературной плазмы ускоряет сроки отторжения погибших тканей, таким образом сокращая сроки самостоятельного заживления раневых поверхностей за счет самостоятельной эпителизации [6, 7]. Применение ионизированного газа благоприятно сказывается на очищении раны от девитализированных тканей за счет стимуляции макрофагов, ускоряются регенеративные процессы за счет стимуляции фибробластов [8, 9]. Вышеперечисленные факты

позволили активно использовать плазменные технологии в combustiологии для более быстрой подготовки ожоговых ран к аутодермотрансплантации. По данным авторов, поток низкотемпературной плазмы обладает также антимикробным и гемостатическим действием, что особенно важно после выполнения операций по удалению погибших тканей. Авторы отмечают уменьшение сроков заживления ран за счет оптимизации раневого процесса, что приводит в конечном счете к уменьшению продолжительности стационарного лечения [10–14].

Таким образом, совместное применение двух таких физических методов воздействия на ожоговую рану, имеющих различные точки приложения и принципы воздействия, позволит оптимизировать лечение глубоких ожогов и подготовить рану к успешной аутодермотрансплантации.

Цель исследования

На основании клинических наблюдений и цитологического исследования определить эффективность применения низкотемпературной аргонной плазмы и ультразвуковой кавитации в лечении глубоких ожоговых ран.

Материалы и методы исследования

В исследовании анализируются результаты применения двух физических методов воздействия на ожоговую рану с целью определения их эффективности в различные фазы раневого процесса и показаний к использованию НАП и УЗК в комплексном лечении глубоких ожоговых ран. В разделе **Актуальность** представлены многочисленные исследования, которые доказывают клиническую эффективность НАП и УЗК, поэтому научный интерес представляет поиск точек приложения для совместного использования данных физических методов воздействия на раневой процесс.

В основу работы положены клинические данные и результаты цитологического исследования мазков отпечатков из ожоговых ран 36 пациентов с глубокими ожогами, которые находились на лечении в ожоговом отделении № 2 ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе» в период с 2022 по 2023 г.

Все пациенты – женского пола, так как исследование проводилось на базе ожогового отделения № 2. Средний возраст пострадавших составил 58,81 лет. По этиологии у 11 пострадавших причиной травмы было пламя, у 20 – горячая вода, у 5 ожоги получены в результате контакта с горячим предметом. Общая площадь поражения у пострадавших в среднем составила 7,11% п. т. поверхности тела, в том числе глубокого поражения – 1,94% п. т. У всех пострадавших были ограниченные ожоги, которые не сопровождались ожоговой болезнью, что могло бы оказать значимое влияние на течение раневого процесса. Во всех случаях у 36 больных был ряд причин, по которым не было возможности выполнить одновременно некрэктомию и аутодермотрансплантацию. Наиболее частой причиной отложенной аутодермотрансплантации были: влажный струп, мозаичность по глубине поражения, невозможность выполнения радикальной некрэктомии у пациента с сахарным диабетом или облитерирующим атеросклерозом, трофические изменения в области дистальных отделов нижних конечностей. Именно у этих пациентов для подготовки ожоговых ран к аутодермотрансплантации использовали два физических метода воздействия на ожоговую рану.

Для выполнения УЗК использован ультразвуковой хирургический аппарат Sonoca 300 (Söring GmbH, Германия). Воздействие на рану низкотемпературной плазмой осуществлялось при помощи плазменно-дуговой хирургической установки Плазморан (ООО «ПлазмоПром», Россия), где в качестве рабочего газа использован аргон по ГОСТ 10157–79.

С целью нивелирования влияния иных факторов в виде сопутствующей общесоматической патологии на течение раневого процесса были выбраны у одного пострадавшего два участка глубокого ожога, расположенные на противоположных сегментах верхних (5,7%) или нижних конечностей (94,3%). В начале исследования подбирали одинаковые по глубине поражения участки ожоговых ран, которые назначали как исследуемые и контрольные. Пациент был информирован о целях и методах исследования, было подписано письменное согласие на выполняемые манипуляции. Оба участка были расположены на одном уровне и в одинаковых анатомических областях на противоположных конечностях. По площади контрольный участок занимал менее 25 см², что не вызывало у пострадавшего

заметных эстетических и функциональных различий в ближайшем и отдаленном периодах лечения.

В течение первой недели после травмы всем пострадавшим выполнялась некрэктомия, в процессе которой полностью удалялся струп. В начале исследования выполняли исходные отпечатки для цитологического исследования с поверхности раны из исследуемого и контрольного участков. Далее во время проведения некрэктомии в соответствии с показаниями выполнялась ультразвуковая кавитация на исследуемом участке ожоговых ран. С целью исключения влияния других факторов местного лечения на контрольном участке ожоговой раны после выполнения некрэктомии использовались повязки с мазью лево-меколь и отечественные сетчатые раневые покрытия, которые также применялись для местного лечения и на исследуемом участке.

В процессе последующего лечения в 11 случаях (30,56%) повторно выполнялась УЗК ожоговых ран, кроме контрольного участка. Основным показанием к повторной УЗК было наличие в ране остатков девитализированных тканей. Также всем пострадавшим проводилось не менее 5 сеансов обработки ран НАП в условиях перевязочного ожогового отделения. Повторно клиническую картину и тип мазка-отпечатка оценивали во время перевязок через 3-е сут. после выполненной операции по удалению погибших тканей.

Для изучения клеточного состава ожоговой раны использовали цитологическое исследование мазков-отпечатков. Применялась методика М.П. Покровской и М.С. Макарова (1942). Она проста и информативна для применения в клинических условиях. Из раневой поверхности предварительно удалялся экссудат, затем к ране прикасались стеклом на несколько секунд. Полученный препарат фиксировали в денатурированном спирте и окрашивали гематоксилин-эозином. При этом использовали несколько стекол из различных частей ожоговой раны для исключения артефактов. Препараты маркировали для последующего изучения под микроскопом.

Для характеристики раневого процесса использовалась классификация типа цитограммы по М.И. Кузину (1990) [15]. В данной классификации описывается 5 типов цитограмм: некротический, дегенеративно-воспалительный, воспалительный, воспалительно-регенераторный и регенераторный тип. Описание препарата и определение типа цитограммы осуществлялось в отделе патоморфологии и клинической экспертизы института. Для изучения клеточного состава в ожоговой ране срок в 10 сут. после некрэктомии признан достаточным. На каждом этапе фиксировался тип цитограммы на контрольном и исследуемом участке ожоговой раны, данные вносились в таблицу для последующей статистической обработки. Данные

цитологического исследования сопоставляли с полученными клиническими данными. Фиксировался срок выполнения аутодермотрансплантации и оценивался результат приживления на 7-е сут. после пересадки расщепленного кожного трансплантата.

Результаты исследования

В ходе исследования выявлены основные технические и клинические особенности использования каждого метода воздействия на ожоговую рану. Использование НАП интраоперационно при влажном струпе приводило к высушиванию некроза и еще большей фиксации его к раневой поверхности, в то время как УЗК в силу своего главного принципа действия – разделять слои ткани образующимися пузырьками газа, прекрасно справлялась с поставленной задачей (рис. 1). Раневая поверхность после УЗК была очищена от фибрина и остатков погибших тканей, наблюдалось слабое капиллярное кровотечение. Однако в полной мере рана, представленная на рисунке, не была готова к пересадке расщепленного аутодермотрансплантата (наблюдались мозаично расположенные участки дермы белесоватого цвета), что потребовало применения дополнительных методов физического воздействия на ожоговую рану в виде низкотемпературной аргонной плазмы.

Для ежедневной обработки ожоговой раны с целью санации и подготовки к аутодермотрансплантации УЗК не была целесообразна по ряду причин: из-за необходимости создания условий в операционной в связи с образованием аэрозоля с каплями крови, проведения анестезиологического пособия, длительности стерилизации насадок прибора после каждого пациента и др. В то время как НАП дистанционно воздействует на рану, не требует при работе анестезии раневой поверхности, может применяться в условиях

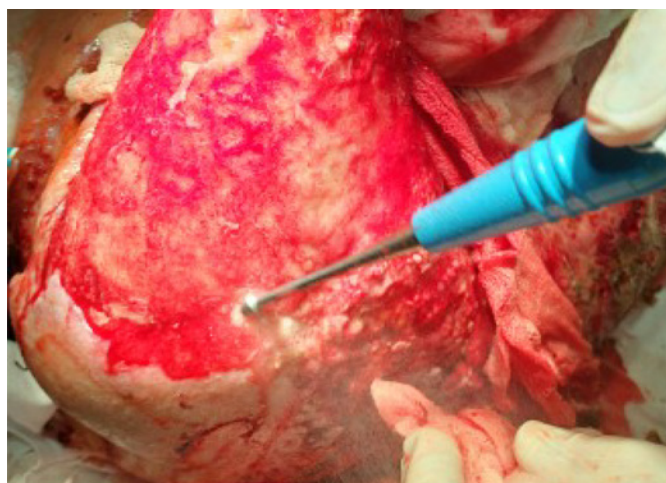


Рисунок 1. Обработка раневой поверхности с помощью ультразвуковой кавитации (образование облака аэрозоля)
Figure 1. Wound debridement using ultrasonic cavitation (aerosol cloud formation)



Рисунок 2. Воздействие на рану низкотемпературной аргонной плазмы (расстояние от тубуса излучателя до раны 10 см)

Figure 2. Exposure of the wound to low-temperature argon plasma (10-cm distance between the emitter and the wound)

обычной перевязочной и палаты отделения (рис. 2). На представленном рисунке проводится обработка раневой поверхности струей низкотемпературной аргонной плазмы на расстоянии 10 см и под углом 45° с экспозицией на каждом участке светового пятна 45 сек. Пациент при этом ощущает тепло и слабый поток воздуха.

В мазках-отпечатках, полученных из ожоговых ран сразу после выполнения некрэктомии, различий в типе цитогаммы между контрольным и исследуемым участком не было ($p=0,9393$, ($p(x \leq Z)=0,4697$), тестовая статистика Z равна $-0,07615$, что находится в области 95% приемлемости). При изучении мазков-отпечатков фиксировался дегенеративно-воспалительный тип цитогаммы, который характеризовался во всех полях зрения скоплениями нейтрофильных лейкоцитов, остатков разрушенных тканей и бактерий.

Клинически на 3-и сут. после операции еще было трудно оценить готовность исследуемого и контрольного участков к пересадке кожного трансплантата. При повторном выполнении мазков-отпечатков на 3-и сут. после некрэктомии, УЗК и сеансов обработки НАП на исследуемом участке ожоговой раны выявлена картина, статистически значимо отличающаяся от контрольного участка. Значение $p=0,04756$, ($p(x \leq Z)=0,9762$). Тестовая статистика Z равна $1,9813$, что не находится в 95% области приемлемости). По данным цитологического исследования у двух пострадавших на исследуемых участках еще сохранялись дегенеративные процессы в ране, что подтверждалось клинически формированием вторичного струпа. У большинства пациентов фиксировались изменения, свойственные нормальному течению воспалительного процесса. У 16 (44,44%) пациентов в мазках-отпечатках отмечен воспалительный тип диаграмм и у 18 (50%) – воспалительно-регенераторный. Цитологическая картина характеризовалась наличием

большого количества жизнеспособных нейтрофилов, на фоне которых появились скопления тканевых макрофагов, причем последние проявляли фагоцитарную активность.

При изучении отпечатков контрольных участков ожоговых ран отмечался дегенеративно-воспалительный тип цитогамм. В ране фиксировались скопления нейтрофилов, причем большинство из них подверглось дистрофическим процессам. Нарушение функции нейтрофилов свидетельствовало о замедлении репаративных процессов в ожоговой ране. Одновременно с этим у 18 пострадавших в отпечатках из исследуемого участка зафиксировано появление единичных фибробластов и фиброцитов, что свидетельствовало о воспалительно-регенераторном типе цитогамм.

При анализе клинических данных спустя неделю после применения физических методов воздействия на ожоговую рану исследуемые участки у всех пострадавших были готовы к аутодермотрансплантации. Контрольный участок в ряде случаев вызывал сомнения, которые были разрешены в ходе цитологического исследования. При изучении мазков-отпечатков из исследуемых участков на 7-и сут. после некрэктомии в случае преобладания фибробластов в клеточном составе раны фиксировался регенераторно-воспалительный тип цитогамм, а в ряде случаев выявлен регенераторный тип. Различия по типам цитогамм между контрольным исследуемым участком были еще более статистически значимы: значение $p=0,01713$, ($p(x \leq Z)=0,9914$). Тестовая статистика Z равна 2,3839, что не находится в 95% области приемлемости).

У 35 (97,22%) пациентов на исследуемом участке ожоговой раны был выявлен регенераторно-воспалительный и регенераторный типы цитогамм, только в одном случае тип цитогамм был воспалительный, что было связано с диабетической микроангиопатией у пациента. На контрольном участке зафиксирован воспалительный тип цитогамм у 28 (77,78%) пациентов. Регенераторно-воспалительный тип цитогамм отмечен только у 8 (22,22%) пациентов на контрольных участках ожоговых ран.

На последнем этапе мазки-отпечатки исследовали спустя 10 сут. после операции. Выявлено, что клинически во всех случаях раны были готовы к пересадке расщепленного кожного трансплантата (раневая поверхность была покрыта свежими, мелкозернистыми, легкоранимыми грануляциями). При сопоставлении данных цитологического исследования статистически значимой разницы по типу цитогамм также не получено. Значение p равно 0,3916, ($p(x \leq Z)=0,8042$). Тестовая статистика Z равна 0,8567, что находится в 95% области приемлемости). В отпечатках из всех ран отмечен регенераторно-воспалительный и регенераторный типы цитогамм.

Обсуждение и выводы

В результате проведенного анализа клинических наблюдений и цитологических исследований выявлено, что обработка ожоговой раны ультразвуковой кавитацией в комплексе с проведением сеансов обработки ран низкотемпературной аргонной плазмой позволяет быстрее подготовить ожоговую рану к выполнению аутодермотрансплантации. При этом сроки подготовки раны к аутодермотрансплантации уменьшаются более, чем на 30% (во всех наблюдениях с 10-и до 7-и сут.), а в половине случаев срок подготовки раны к пересадке расщепленного кожного трансплантата сократился до 3-х сут.

У пациентов с ограниченными ожогами сокращение сроков подготовки к операции имеет, безусловно, как функциональный, так и экономический эффект. Однако наиболее значимым является сокращение периода подготовки раневой поверхности к последующему закрытию расщепленным кожным трансплантатом у пациентов с обширными ожогами, что может определить прогноз для жизни. Именно при обширных глубоких термических поражениях кожных покровов, сопровождающихся дефицитом донорских ресурсов, использование физических методов воздействия на ожоговую рану следует считать методом выбора, так как выполняются две задачи – рана эффективно, бескровно и атравматично очищается от погибших тканей, и одновременно происходит подавление микробной флоры, стимулируются репаративные процессы, что дает возможность эффективно выполнять хирургическое лечение на большой площади. Данное исследование будет продолжено у пациентов с обширными глубокими ожоговыми ранами.

Вклад авторов

Разработка концепции и дизайна исследования:

Е.В. Зиновьев, Д.А. Козулин

Сбор, анализ и интерпретация данных: Е.А. Бородай,

В.В. Солошенко, Д.О. Вагнер, О.С. Панкратьева

Подготовка и редактирование текста: В.В. Солошенко,

Д.В. Костяков, С.Н. Пятакова

Проведение статистического анализа: В.В. Солошенко,

Д.В. Костяков

Author contributions

Concept and design: Zinovev, Kozulin

Acquisition, analysis, or interpretation of data: Borodai,

Soloshenko, Vagner, Pankrateva

Manuscript drafting and revising: Soloshenko, Kostyakov, Pyatkova

Statistical analysis: Soloshenko, Kostyakov

Литература/References

1. Степаненкова Л.В., Молодцова А.В., Шахмаева О.В., Шапкина П.М. Использование ультразвукового дебридмента в лечении глубоких ожогов. *Forcipe*. 2021;4(S1):954.

Stepanenkova LV, Molodtsova AV, Shakhmaeva OV, Shapkina PM. Use of ultrasonic debridement in the treatment of deep burns. *Forcipe*. 2021;4(S1):954. (In Russ.).

2. Weltmann K-D, Polak M, Masur K, von Woedtke T, Winter J, Reuter S. Plasma processes and plasma sources in medicine. *Contributions to Plasma Physics*. 2012;52(7):644–654. <https://doi.org/10.1002/ctpp.201210061>
3. Laroussi M. Cold plasma in medicine and healthcare: the new frontier in low temperature plasma applications. *Frontiers in Physics*. 2020;8. <https://doi.org/10.3389/fphy.2020.00074>
4. 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*. 2018;(2):171–176.
- Zinovyev EV, Tsygan VN, Asadulayev MS, et al. Possibilities of use of arc-type discharge low-temperature air plasma of atmospheric pressure for burn wound treatment. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2018;(2):171–176. (In Russ.).
5. Астафьева К.А., Иванова И.П. Анализ цитотоксического действия медицинских газоразрядных устройств. *Современные технологии в медицине*. 2017;9(1):115–122.
- Astafyeva KA, Ivanova IP. Analysis of cytotoxic effects of medical gas-discharge devices. *Sovremennye tehnologii v medicine*. 2017;9(1):115–122. (In Russ.).
6. 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;29(6):15–21. <https://doi.org/10.22416/1382-4376-2019-29-6-15-21>
- Frolov SA, Kuzminov AM, Vyshegorodtsev DV, 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.). <https://doi.org/10.22416/1382-4376-2019-29-6-15-21>
7. Короткий В.Н. Возможности применения холодной атмосферной плазмы в онкологии (обзор литературы). *Сибирский онкологический журнал*. 2018;17(1):72–81. <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2018-17-1-72-81>
- Korotky VN. Feasibility of using cold atmospheric plasma in the treatment of cancer patients (literature review). *Siberian Journal of Oncology*. 2018;17(1):72–81. (In Russ.). <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2018-17-1-72-81>
8. Семенов А.П., Балданов Б.Б., Ранжуров Ц.В. и др. Инактивация микроорганизмов в холодной аргоновой плазме атмосферного давления. *Успехи прикладной физики*. 2014;2(3):229–233.
- Semenov AP, Baldanov BB, Ranzhurov TsV, et al. Inactivation of microorganisms in cold argon plasma at the atmospheric pressure. *Uspekhi prikladnoi fiziki*. 2014;2(3):229–233. (In Russ.).
9. 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. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.2010.09744.x>
10. Бобровский М.А., Муравьева В.Б., Филиппов Ю.И., Акимов А.В. Исследование бактерицидных свойств низкотемпературной, неравновесной гелиевой плазмы атмосферного давления in vitro. *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2017;(2):49–53.
- Bobrovskiy MA, Murav'eva VB, Filippov YuI, Akimov AV. Study of bactericidal properties of low-temperature, non-equilibrium helium plasma of atmospheric pressure in vitro. *Veterinariya, zootekhnika i biotekhnologiya*. 2017;(2):49–53. (In Russ.).
11. Гришанова И.А., Вакилова А.И. Влияние «холодной» плазмы на наноструктуру и свойства полимерных материалов. *Бутлеровские сообщения*. 2016;48(10):31–36.
- Grishanova IA, Vakilova AI. Effect of “a cold” plasma on the nanostructure and properties of polymeric materials. *Butlerov Communications*. 2016;48(10):31–36. (In Russ.).
12. Грушко В.И. Непосредственные результаты хирургического лечения гнойных ран с применением плазменного потока. *Вятский медицинский вестник*. 2006;(2):142–143.
- Grushko VI. Immediate results of surgical treatment of purulent wounds using plasma flow. *Vyatskii meditsinskii vestnik*. 2006;(2):142–143. (In Russ.).
13. Грушко В.И. Цитологическая картина мазков-отпечатков гнойных ран под воздействием плазменного потока. *Medline.ru. Российский биомедицинский журнал*. 2007;8:18–29.
- Grushko VI. Cytological picture of impression smears of purulent wounds exposed to plasma flow. *Medline.ru. Rossiiskii biomeditsinskii zhurnal*. 2007;8:18–29. (In Russ.).
14. Емельянов О.А., Петрова Н.О., Смирнова Н.В., Шемет М.В. Разработка и применение устройства генерации холодной плазмы атмосферного давления для лечения повреждений кожи и мягких тканей животных. *Письма в Журнал технической физики*. 2017;43(16):30–37. <https://doi.org/10.21883/pjtf.2017.16.44930.16627>
- Emelyanov OA, Petrova NO, Smirnova NV, Shemet MV. Development and application of a device for generating cold atmospheric pressure plasma for the treatment of skin and soft tissue injuries in animals. *Pisma v Zhurnal tekhnicheskoi fiziki*. 2017;43(16):30–37. (In Russ.). <https://doi.org/10.21883/pjtf.2017.16.44930.16627>
15. Кузин М.И., Костюченко Б.Н. *Раны и раневая инфекция*. 2-е изд. Медицина; 1990.
- Kuzin MI, Kostyuchenok BN. *Wounds and Wound Infection*. 2nd ed. Meditsina; 1990. (In Russ.).

Сведения об авторах

Зиновьев Евгений Владимирович, д. м. н., профессор, руководитель отдела термических поражений, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе; профессор кафедры госпитальной хирургии с курсами травматологии и военно-полевой хирургии, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет (Санкт-Петербург, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-2493-5498>

Бородай Елена Анатольевна, к. м. н., научный сотрудник отдела патоморфологии и клинической экспертизы, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе (Санкт-Петербург, Россия). <https://orcid.org/0009-0008-6997-183X>

Солошенко Виталий Викторович, д. м. н., доцент, врач-хирург отдела термических поражений, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе (Санкт-Петербург, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-5800-5803>

Вагнер Денис Олегович, к. м. н., врач-хирург отдела термических поражений, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе; доцент кафедры общей хирургии, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова (Санкт-Петербург, Россия). <https://orcid.org/0000-0001-7241-4008>

Костяков Денис Валерьевич, к. м. н., ведущий научный сотрудник отдела термических поражений, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой

помощи им. И.И. Джанелидзе (Санкт-Петербург, Россия). <https://orcid.org/0000-0001-5687-7168>

Панкратьева Ольга Станиславовна, врач-хирург отдела термических поражений, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе (Санкт-Петербург, Россия). <https://orcid.org/0000-0003-2101-2505>

Пятакова Светлана Николаевна, врач-ординатор отдела термических поражений, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе (Санкт-Петербург, Россия). <https://orcid.org/0009-0000-7808-5233>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author credentials

Evgenii V. Zinovev, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Thermal Injuries Unit, Saint Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine; Professor at the Hospital Surgery Department with Traumatology and Military Surgery Courses, Saint Petersburg State Pediatric Medical University (Saint Petersburg, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-2493-5498>

Elena A. Borodai, Cand. Sci. (Med.), Researcher, Division of Pathomorphology and Clinical Evaluation, Saint Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine (Saint

Petersburg, Russian Federation). <https://orcid.org/0009-0008-6997-183X>

Vitaliy V. Soloshenko, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Surgeon, Thermal Injuries Unit, Saint Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine (Saint Petersburg, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-5800-5803>

Denis O. Vagner, Cand. Sci. (Med.), Surgeon, Thermal Injuries Unit, Saint Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine; Associate Professor at the Department of General Surgery, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov (Saint Petersburg, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0001-7241-4008>

Denis V. Kostyakov, Cand. Sci. (Med.), Leading Researcher, Thermal Injuries Unit, Saint Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine (Saint Petersburg, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0001-5687-7168>

Olga S. Pankrateva, Surgeon, Thermal Injuries Unit, Saint Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine (Saint Petersburg, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-2101-2505>

Svetlana N. Pyatakova, Resident, Thermal Injuries Unit, Saint Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine (Saint Petersburg, Russian Federation). <https://orcid.org/0009-0000-7808-5233>

Conflict of interest: none declared.