

РЕЗУЛЬТАТЫ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПОСТРАДАВШИХ С ОЖОГАМИ КОЖИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ АРГОНОВОЙ ПЛАЗМЫ

OUTCOMES OF SURGICAL TREATMENT IN PATIENTS WITH SKIN BURNS USING LOW-TEMPERATURE ARGON PLASMA

Зиновьев Е.В. Zinoviev E.V.
Солошенко В.В. Soloshchenko V.V.
Пятакова С.Н. Pyatakova S.N.
Кудрявцева И.А. Kudryavtseva I.A.

ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи имени И.И. Джанелидзе»,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России,
ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Минобороны России,
г. Санкт-Петербург, Россия
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России,
г. Краснодар, Россия

Saint Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine,
Saint-Petersburg State Pediatric Medical University,
S. M. Kirov Military Medical Academy,
St. Petersburg, Russia
Kuban State Medical University,
Krasnodar, Russia

Согласно литературным данным, низкотемпературная аргоновая плазма оказывает многогранное воздействие на ожоговую рану. Плазменные технологии активно применяются в лечении пациентов с глубокими ожогами, что позволяет выявлять новые терапевтические свойства холодной аргоновой плазмы.

Цель исследования — изучить результаты аутодермотрансплантации на ожоговые раны после обработки кожного трансплантата потоком низкотемпературной аргоновой плазмы.

Материалы и методы. Для изучения возможности фиксации аутодермотрансплантата на ожоговой ране с помощью низкотемпературной аргоноплазменной струи проанализированы результаты хирургического лечения 64 пострадавших, находившихся на лечении в отделе термических поражений ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе» в период с 2023 по 2025 г. У всех пациентов были глубокие ожоги, потребовавшие пересадки кожи. На исследуемом участке ожоговой раны трансплантат обрабатывали с помощью плазменно-дуговой хирургической установки «Плазморан» (Россия). На контрольном участке фиксацию трансплантата осуществляли по периметру узловыми швами.

Результаты. Показатели приживления и дислокации трансплантата на исследуемом участке не имели статистически значимых отличий от результатов на контрольном участке. Возможность фиксации аутодермотрансплантата на ожоговой ране с помощью обработки потоком низкотемпературной плазмы без наложения лигатур снижает травматичность и трудоемкость оперативного вмешательства. Выявлено, что обработка трансплантата низкотемпературной плазмой в 2 раза сокращает частоту

According to the literature, low-temperature argon plasma is characterized by a multifaceted effect on burn wounds. Plasma technologies are actively used in the treatment of victims with deep burns, and new properties of cold argon plasma are being identified.

Objective — to study the results of autologous skin grafting on burn wounds after skin graft treatment with a low-temperature argon plasma stream.

Materials and methods. To study the feasibility of autologous skin graft fixation on a burn wound after treatment with a low-temperature argon plasma stream, the surgical treatment outcomes of 64 victims treated at the thermal injuries department of the I.I. Dzhanelidze State Research Institute of Emergency Care in St. Petersburg from 2023 to 2025 were analyzed. All patients had deep burns requiring skin grafting. The graft was treated with Plasmoran plasma arc surgical unit (Russia) on the study area of the burn wound. On the control area, the graft was fixed to the wound perimeter with interrupted sutures.

Results. The rates of graft engraftment and dislocation in the study area did not differ from those in the control area. The ability to fix the autologous skin graft to the burn wound using a low-temperature plasma stream without ligatures makes autologous skin grafting less traumatic and labor-intensive. It was found that treating the graft on the wound with low-temperature plasma reduced the incidence of hematomas and seromas under the graft by half. The plasma stream,

Для цитирования: Зиновьев Е.В., Солошенко В.В., Пятакова С.Н., Кудрявцева И.А. РЕЗУЛЬТАТЫ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПОСТРАДАВШИХ С ОЖОГАМИ КОЖИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ АРГОНОВОЙ ПЛАЗМЫ //ПОЛИТРАВМА / POLYTRAUMA. 2026. № 2. С. 43-47.

Режим доступа: <http://poly-trauma.ru/index.php/pt/article/view/686>

DOI: 10.24412/1819-1495-2026-2-43-47

образования гематом и сером под трансплантатом. Поток плазмы при выбранном режиме обработки не повреждает клетки трансплантата, что подтверждено морфологическими исследованиями: признаков разрушения клеток трансплантата и дна раны не обнаружено.

Заключение. Обработка аутодермотрансплантата на ожоговой ране потоком низкотемпературной аргоновой плазмы обеспечивает фиксацию рассеченной кожи с эффективностью, сопоставимой с наложением лигатурных швов.

Ключевые слова: ожоговая рана; низкотемпературная аргоновая плазма; пересадка кожи

using the selected treatment mode, did not damage the graft cells, as confirmed by morphological studies: no signs of cell destruction of the graft or the wound bed were detected.

Conclusion. Treatment of an autologous skin graft on a burn wound with a low-temperature argon plasma stream allows fixation of the skin graft with the same result as the application of ligature sutures.

Keywords: burn wound; low-temperature argon plasma; skin grafting

Раневой дефект, не способный к самостоятельному заживлению, требует хирургического вмешательства. Наиболее доступный и эффективный способ хирургического восстановления кожного покрова — это аутодермотрансплантация. Рассеченный трансплантат требует фиксации на гранулирующей ране в течение первой недели, пока идет процесс приживления. В этих целях используют швы, скобы, биологический клей или фракции плазмы, обогащенной тромбоцитами [1–3].

Основное действие плазмы на рану обеспечивается трехатомным кислородом (озоном) и его соединениями, а также ультрафиолетовым излучением [4–8]; кроме того, плазменная струя обладает согревающим действием. По поводу антисептической активности холодной аргоновой плазмы ведется дискуссия, между тем ее противовоспалительное действие доказано и находит применение на практике [9–11]. В нашей клинике изучали действие низкотемпературной плазмы на ожоговую рану и пересаженный трансплантат. Была отмечена стимуляция регенераторных процессов при обработке ран во время перевязок на этапе подготовки к операции. При интраоперационном использовании обратили внимание на улучшение фиксации трансплантата на ране после обработки аргоноплазменной струей. В литературных источниках подобный эффект не описан.

В процессе исследования получены клинические данные о приживлении аутодермотрансплантатов, а также результаты морфологического изучения раневых биоптатов после обработки ожоговых ран аргоноплазменной струей.

Цель исследования — изучить результаты аутодермотрансплантации на ожоговые раны после обработки кожного трансплантата потоком низкотемпературной аргоновой плазмы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведен анализ результатов хирургического лечения 64 пациентов с глубокими ожогами. Для восстановления целостности кожного покрова выполнялась аутодермотрансплантация, причем в функционально значимых зонах использовались неперфорированные трансплантаты. Пациенты находились на лечении в ожоговых отделениях ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе» в период с августа 2023 года по сентябрь 2025 года. Большинство пострадавших составляли мужчины трудоспособного возраста — 46 человек (71,87 %), женщин было 18 (28,13 %). Возраст пациентов варьировал от 18 до 94 лет. У 55 обожженных причиной травмы стало пламя, у 6 — горячая вода, у 3 — контакт с горячим предметом. Средняя общая площадь поражения составила 25,61 % поверхности тела, из них глубоких ожогов — 12,83 % поверхности тела. Аутодермотрансплантация выполнялась на третьей неделе после травмы. Основной причиной позднего поступления пациентов и, как следствие, отсроченного оперативного вмешательства являлась сложная логистика доставки пострадавших в специализированный ожоговый стационар.

Ожоговая рана обрабатывалась при помощи плазменно-дуговой хирургической установки «Плазморан» (Россия). В качестве инертного газа для генерации потока плазмы использовали аргон. Процесс обработки осуществлялся с расстояния 8 см от сопла волновода до поверхности раны и занимал не более 2 секунд. Был выбран режим работы «B2» со следующими характеристиками: сила тока — 40 А, поток газа — 2,4 л/мин. Использование штатного ограничителя исключало приближение сопла волновода к ране на расстояние менее 8 см. При данном режиме на поверхности раны одновременно создавалась температура

50–60 °C в проекции округлого светового пятна диаметром 2 см (рис. 1). Отсутствие перфораций в трансплантате предупреждало его дислокацию под действием газоплазменной струи.

Изучены результаты пересадки рассеченных кожных трансплантатов после обработки низкотемпературной аргоновой плазмой. В ходе динамического наблюдения во время перевязок в течение первой недели после операции фиксировали частоту формирования сером и гематом под трансплантатом. Сравнивали опытный (исследуемый) участок ожоговой раны, где применялась плазменная технология, и контрольный участок аналогичной локализации, на котором трансплантат фиксировали по периметру узловыми швами с использованием атравматического шовного материала.

Оценку процента приживления трансплантатов проводили клинически на 7–8-е сутки после оперативного вмешательства. Для удобства статистического анализа площадь прижившего трансплантата выражали в баллах, где 100 % приживления соответствовало 100 баллам. Аналогичным образом в баллах оценивали выраженность дислокации пересаженных аутодермотрансплантатов.

Кроме того, у данных пациентов интраоперационно выполняли забор биоптатов дна раны и обработанного в указанном режиме трансплантата для последующего морфологического исследования. При гистологическом анализе препаратов прицельно изучали зону фиксации трансплантата ко дну раны с целью выявления возможных признаков клеточной деструкции под действием аргоноплазменной струи. Площадь обработки аргоноплазменной струей составила $2,6 \pm 0,31$ % поверхности тела. Данное воздействие осуществлялось в функционально значимых зонах, для закрытия которых применяли неперфорированные аутодермотрансплантаты с целью достиже-

ния оптимального функционального и эстетического результатов.

Исследование выполнено в соответствии с этическими принципами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения медицинских исследований с участием человека в качестве субъекта» (в редакции 2013 г.) и «Правилами клинической практики в Российской Федерации» (утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 г.). Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе» (протокол № 2-04 от 06.02.2024 г.). Перед включением в исследование всем пациентам были подробно разъяснены его цели и особенности, после чего от каждого из них получено письменное информированное согласие.

Первичный сбор и систематизацию данных осуществляли в программе Microsoft Excel. Статистический анализ результатов исследования проводили с использованием пакета программ StatSoft Statistica 10.0 (или вашей версии, например, 6.0). Количественные показатели представлены в виде средней арифметической величины (M) и стандартных отклонений (σ), качественные — в виде абсолютных значений (n) и относительных частот (%). Для оценки достоверности различий между количественными показателями независимых выборок применяли U-критерий Манна — Уитни. Сравнение качественных признаков проводили с помощью критерия χ^2 Пирсона. Критический уровень статистической значимости при проверке нулевых гипотез принимался равным $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты приживления аутодермотрансплантатов оценивали на 7–8-е сутки после оперативного вмешательства. Средний показатель приживления кожного трансплантата на исследуемом участке составил $92,34 \pm 4,06$ балла (что соответствует процентам площади), на контрольном — $93,66 \pm 3,51$ балла. Статистически значимых различий между сопоставляемыми участками не выявили ($p = 0,16$). Не обнаружено также значимых различий по частоте дислокации трансплантата ($p = 0,33$): данный показатель на исследуемом

участке составил $2,34 \pm 1,54$ балла, на контрольном — $2,33 \pm 1,91$ балла. Это свидетельствует о сопоставимой эффективности фиксации трансплантата потоком низкотемпературной аргонной плазмы и традиционным наложением лигатурных швов.

В послеоперационном периоде при осмотре опытных участков раны гематом выявлено не было, серомы под трансплантатом зафиксированы в 13 случаях. На контрольных участках гематомы и серомы определялись суммарно в 26 случаях. Таким образом, обработка пересаженных трансплантатов потоком низкотемпературной плазмы позволила в 2 раза снизить частоту формирования гематом и сером под трансплантатом ($\chi^2 = 6,23$, $p = 0,013$).

В ходе морфологического исследования биоптатов *ex vivo* изучено состояние клеточных структур трансплантата и воспринимающего ложа после обработки аргонплазменной струей. Было установлено, что при использовании выбранного режима на всех участках происходила надежная фиксация расщепленного кожного трансплантата. При этом клеточные элементы как дна раны, так и самого трансплантата полностью сохраняли свою структуру и форму. Данный факт свидетельствует об отсутствии повреждающего (деструктивного) действия плазменного потока и его основных действующих факторов: ультрафиолетового излучения, повышенной температуры и озона. Подробная гистологическая картина клеточных элементов ожоговой раны представлена на рисунке 2.

При микроскопическом исследовании препаратов (рис. 2) в поверхностных отделах на границе аутодермотрансплантата с воспринимающим ложем определялись зоны гомогенизированных фиброзных волокон. Многослойный плоский ороговевающий эпителий аутодермотрансплантата характеризовался полным сохранением стратификации; признаки повреждения клеточных структур отсутствовали. Грануляционная ткань ожоговой раны содержала многочисленные кровеносные сосуды, в просвете части из которых отмечалось краевое стояние нейтрофильных лейкоцитов. Инфильтрация ткани была слабой, диффузно-очаговой, преимущественно лимфоцитарной, с присутствием единичных нейтрофилов.

Рисунок 1

Пациент М. Процесс интраоперационной обработки неперфорированного аутодермотрансплантата на гранулирующей ожоговой ране потоком низкотемпературной аргонной плазмы

Figure 1

Patient M. Intraoperative treatment of a non-perforated autodermal graft on a granulating burn wound with a low-temperature argon plasma flow

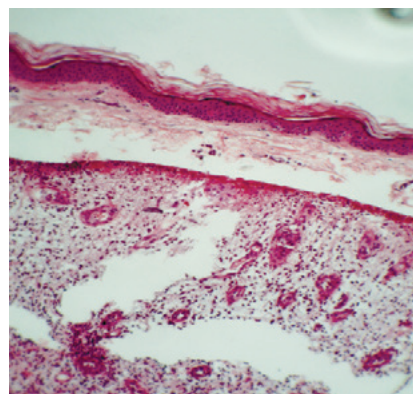


Рисунок 2

Граница между воспринимающим ложем ожоговой раны и фиксированным аутодермотрансплантатом. Окраска гематоксилином и эозином. Увеличение $\times 100$

Figure 2

Boundary between the receptive bed of the burn wound and the fixed autologous skin graft. Hematoxylin and eosin stain. Magnification $\times 100$



При использовании иного метода окрашивания (рис. 3) визуализировался тканевый комплекс, представлявший собой аутодермотрансплантат, фиксированный ко дну раны. Дно раны было представлено грануляционной тканью разной степени зрелости

с большим количеством сосудов и выраженной пролиферацией эндотелиоцитов; отмечалась умеренная лимфо-плазмоцитарная и нейтрофильная инфильтрация. На всем протяжении микропрепарата многослойный плоский ороговевающий эпителий сохранял стратификацию. Данная морфологическая картина подтвердила отсутствие повреждающего (деструктивного) действия аргонноплазменной струи при выбранном режиме интраоперационной обработки.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные клинические данные продемонстрировали отсутствие статистически значимых различий между исследуемым и контрольным участками по показателю приживления трансплантата. Это указывает на то, что интраоперационная обработка аутодермотрансплантата на ране потоком низкотемпературной аргонной плазмы позволяет добиться результатов, сопоставимых с традиционным наложением лигатурных швов по периметру трансплантата. Частота дислокации трансплантата, обусловленная двигательной активностью пациентов в послеоперационном периоде, также значимо не отличалась в сопоставляемых зонах. Данный факт подтверждает одинаковую надежность фиксации кожной ткани как шовным материалом, так и путем воздействия аргонноплазменной струи.

Существенное снижение частоты формирования жидкостных образова-

ний (гематом и сером) под трансплантатом на исследуемом участке обусловлено отсутствием дополнительной травматизации воспринимающего ложа иглой. В то же время на контрольном участке фиксация по периферии лигатурными швами неизбежно сопровождалась механическим повреждением микрососудов дна раны.

Установлено, что для достижения максимального фиксирующего эффекта при обработке ожоговой раны потоком холодной плазмы целесообразно использовать тонкие и расщепленные трансплантаты толщиной от 0,2 до 0,4 мм. При работе с более толстыми трансплантатами воздействие аргонноплазменной струи не обеспечивало должной адгезии пересаженной кожи к поверхности грануляций. Кроме того, данная плазменная технология оказалась неэффективной при фиксации перфорированных трансплантатов: мощный поток инертного газа, проникая через перфорационные отверстия, приводил к дислокации пересаженной кожи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

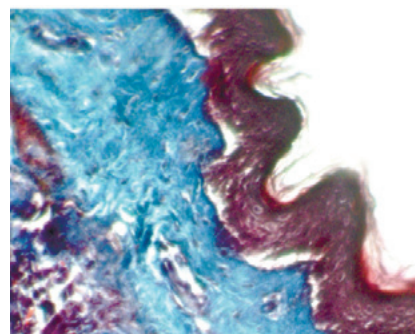
Полученные результаты позволяют считать, что при интраоперационной обработке расщепленного аутодермотрансплантата потоком низкотемпературной аргонной плазмы приживление расщепленной кожи сопоставимо с результатами на контрольных участках, где фиксация осуществлялась при помощи лигатурных швов. Данные морфологических исследований под-

Рисунок 3

Структура дна ожоговой раны и прилежащего участка кожного трансплантата после плазменного воздействия в выбранном режиме. Окраска трихромом по Массону. Увеличение $\times 100$

Figure 3

Structure of the burn wound base and adjacent skin graft after plasma treatment in the selected mode. Stained with Masson's trichrome. Magnification $\times 100$



тверждают безопасность метода: воздействие аргонноплазменной струи в выбранном режиме не оказывает деструктивного влияния на ткани, сохраняя целостность клеточных структур на всех участках трансплантата и ожоговой раны.

Информация о финансировании и конфликте интересов

Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Shuchi A, Gupta D, Sarabahi S. An Outcome analysis of fibrin sealant versus staples for fixation of split-thickness skin grafts Indian. *J Plast Surg.* 2024;57(1):60-66.
- Tyagi A, Gupta A, Martires Ili VI, Romo M, Garg I, Tapia D, et al. Efficacy of platelet-rich plasma in reduction of post-operative split-thickness skin graft loss and hematoma formation: a meta-analysis. *Cureus.* 2021;13(5):e15160. DOI: 10.7759/cureus.15160.
- Ishii N, Akimoto M, Ogawa R. Geometric wire-frame fixation of skin grafting for lip reconstruction. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2023; 11(9):e5248. DOI: 10.1097/GOX.0000000000005248.
- Martusevich AK, Golygina ES, Nazarov VV, Epishkina AA, Malysheva KS. The effect of cold helium plasma on microcirculation in the periwound zone after experimental thermal injury. *Biophysics.* 2022; 67:141-145.
- Martusevich AK, Fedotov AS, Surovegina AB, Nazarov VV. Plasma biomedicine: modern state-of-art and perspectives in regenerative medicine. *The New Armenian Medical Journal.* 2023; 17(3): 58-65.
- Bekeschus S, Woedtk T, Emmert S, Schmidta A. Medical gas plasma-stimulated wound healing: evidence and mechanisms. *Redox Biol.* 2021;46: 102116.
- Eggers B, Marciniak J, Deschner J, Mustea A, Kramer F, Nokhbehsaim M. Cold atmospheric plasma promotes regeneration-associated cell functions of murine cementoblasts in vitro. *Int. J. Mol. Sci.* 2021; 22(10): 5280.
- Bekeschus S, Woedtk T, Emmert S, Schmidta A. Medical gas plasma-stimulated wound healing: evidence and mechanisms. *Redox Biol.* 2021; Oct. 46: 102116. DOI: 10.1016/j.redox.2021.102116.
- Osmanov KF, Zinoviev EV, Osmanova ZF, Kravtsov SN. Prospects for the use of plasma therapy in biomedicine. *Pediatric Surgery.* 2019; 23(153):49. Russian (Османов К. Ф., Зиновьев Е. В., Османова З. Ф., Кравцов С. Н. Перспективы использования плазменной терапии в биомедицине // Детская хирургия. 2019. Т. 23, № 153. С. 49.)
- Osmanov KF, Movchan KN, Zinoviev EV, Artyushin BS, Kostyakov DV, Popov AA. Results of experimental use of low-temperature air plasma of corona discharge in the treatment of burn wounds. *Bulletin of Emergency and Reconstructive Surgery.* 2019; 4(2):78-83. Russian (Османов К. Ф., Мовчан К. Н., Зиновьев Е. В., Артюшин Б. С., Костяков Д. В., Попов А. А. Результаты экспериментального применения низкотемпературной воздушной плазмы коронного разряда при обработке ожоговых ран // Вестник неотложной и восстановительной хирургии. 2019. Т. 4, № 2. С. 78-83.)

11. Osmanov KF, Zinoviev EV, Bogdanov SB. Air plasma as a physical method for improving the treatment of burn wounds. *Medicine: Theory and Practice*. 2019; 4(3):125-129. Russian (Османов К. Ф.,

Зиновьев Е. В., Богданов С. Б. Воздушная плазма как физический метод улучшения лечения ожоговых ран // Медицина: теория и практика. 2019. Т. 4, №3. С. 125-129.)

Сведения об авторах:

Зиновьев Евгений Владимирович — д.м.н., профессор, руководитель отдела термических поражений ГБУ СПб НИИ СП им. И.И. Джанелидзе; ул. Будапештская, д. 3, г. Санкт-Петербург, Россия, 192242; профессор кафедры госпитальной хирургии с курсом травматологии и военно-полевой хирургии ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России; ул. Литовская, д. 2, г. Санкт-Петербург, Россия, 194100; старший научный сотрудник НИЛ (военной хирургии) НИЦ Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова; ул. Академика Лебедева, д. 6, г. Санкт-Петербург, Россия, 194044.

Солошенко Виталий Викторович (автор для переписки) — д.м.н., доцент, заведующий ожоговым отделением №3 ГБУ СПб НИИ СП им. И.И. Джанелидзе; ул. Будапештская, д. 3, г. Санкт-Петербург, Россия, 192242. E-mail: burncenter.vs@gmail.com

Пятакова Светлана Николаевна — лаборант отдела термических поражений ГБУ СПб НИИ СП им. И.И. Джанелидзе; ул. Будапештская, д. 3, г. Санкт-Петербург, Россия, 192242.

Кудрявцева Ирина Андреевна — врач-ординатор ФГБОУ ВО КубГМУ Минздрава России; ул. им. Митрофана Седина, д. 4, г. Краснодар, Россия, 350063.

Статья поступила в редакцию 07.10.2025

Рецензирование пройдено 16.02.2026

Подписано в печать 30.05.2026

Information about authors:

Zinoviev Evgeny Vladimirovich — MD, PhD, professor, head of department of thermal injuries, Saint Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine; Budapeshtskaya St., 3, Saint Petersburg, Russia 192242; professor of the department of hospital surgery with a course in traumatology and military field surgery of St. Petersburg State Pediatric Medical University; 2 Litovskaya St., St. Petersburg, Russia, 194100; senior researcher of research laboratory (military surgery) of Research Center of S.M. Kirov Military Medical Academy; Akademika Lebedeva St., 6, Saint Petersburg, Russia 194044.

Soloshenko Vitaly Viktorovich (corresponding author) — MD, PhD, associate professor, head of burn department No. 3, Saint Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine; Budapeshtskaya St., 3, Saint Petersburg, Russia 192242. E-mail: burncenter.vs@gmail.com

Pyatakova Svetlana Nikolaevna — laboratory assistant, department of thermal injuries, Saint Petersburg I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine; Budapeshtskaya St., 3, Saint Petersburg, Russia 192242.

Kudryavtseva Irina Andreevna — resident physician, Kuban State Medical University; Mitrofana Sedina St., Krasnodar, Russia, 350063.

Received 07.10.2025

Review completed 16.02.2026

Passed for printing 30.05.2026

