

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ



<https://doi.org/10.17238/2072-3180-2025-3-178-189>

УДК: 616-089.843:537.594

© Земляной А.Б., Евсеев М.А., Маркевич П.С., Филиппов А.В., Долгих Р.Н., Тюкалов Ю.А., Налбандян Р. Т., Зеленина Т.А., Громова А.А., Герасимов Н.Г., Пестерев И.А., Корецкий Д.С., 2025

Оригинальная статья / Original article

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ АРГОНОВАЯ ПЛАЗМА: ОТ БИОФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ В КЛИНИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЕ

А.Б. ЗЕМЛЯНОЙ^{1,2*}, М.А.ЕВСЕЕВ¹, П.С. МАРКЕВИЧ¹, А.В. ФИЛИППОВ¹, Р.Н. ДОЛГИХ¹, Ю.А. ТЮКАЛОВ¹, Р. Т. НАЛБАНДЯН⁴, Т.А. ЗЕЛЕНИНА³, А.А. ГРОМОВА³, Н.Г. ГЕРАСИМОВ¹, И.А. ПЕСТЕРЕВ¹, Д.С. КОРЕЦКИЙ¹

¹ФГБУ НМИЦ ВМТ им. А.А. Вишневого МО РФ, 143400, г. Красногорск, Московская область, Россия

²Кафедра хирургии повреждений ФГБУ ВО Росбиотех, Медицинский институт непрерывного образования, Минобрнауки РФ, 125080, Москва, Россия

³Кафедра терапии усовершенствования врачей 1 ФГБУ ВМА им. С.М. Кирова МО РФ 194044, Санкт-Петербург, Россия

⁴ГБУЗ "НИИ НДХИТ - Клиника Доктора Рошаля" 119180, Москва, Россия

Резюме

Введение. Низкотемпературная аргонная плазма (НТАП) находит всё более широкое применение в медицине благодаря антимикробным, противовоспалительным и регенерирующим свойствам.

Цель исследования. Сравнить энергетические параметры ультрафиолетового излучения аппаратов «ПлазмоРан» и «ПЛАЗОН» для оценки их эффективности в клинической практике.

Материалы и методы. Исследование проведено на двух аппаратах – «ПлазмоРан» (работает на аргоне); – «ПЛАЗОН» (использует воздух). Измерялась энергетическая освещённость УФ-излучения на расстояниях 10, 15 и 20 см. Для «ПлазмоРана» использовался режим В2, для «ПЛАЗОНа» – максимальный режим.

Результаты. «ПлазмоРан» показал в 5 раз более высокую освещённость в УФ-С диапазоне. Это связано с применением аргона, обеспечивающего стабильное рекомбинационное излучение. С увеличением расстояния эффективность снижается из-за поглощения УФ кислородом воздуха. Клинические данные подтверждают эффективность НТАП при лечении ран, ожогов, дерматологических заболеваний и минно-взрывных травм у детей. Применение плазмы способствует ускоренному заживлению, снижению воспаления и активации регенерации тканей.

Заключение. Аппарат «ПлазмоРан» обладает более высокими энергетическими характеристиками и стабильностью воздействия, что делает его предпочтительным для клинического применения. Использование аргона исключает побочные химические реакции и повышает терапевтический эффект. Полученные результаты подтверждают перспективность дальнейшего внедрения технологий НТАП в медицинскую практику.

Ключевые слова: низкотемпературная плазма, ультрафиолетовое излучение, антимикробное действие, раневая регенерация, клиническая эффективность

Конфликт интересов: отсутствует.

Для цитирования: Земляной А.Б., Евсеев М.А., Маркевич П.С., Филиппов А.В., Долгих Р.Н., Тюкалов Ю.А., Налбандян Р. Т., Зеленина Т.А., Громова А.А., Герасимов Н.Г., Пестерев И.А., Корецкий Д.С. Низкотемпературная аргонная плазма: от биофизических основ к практическому применению в клинической медицине. *Московский хирургический журнал*, 2025. № 3. С. 178–189. <https://doi.org/10.17238/2072-3180-2025-3-178-189>

Вклад авторов: А.Б. Земляной – научное руководство, написание и редактирование статьи, М.А. Евсеев – курирование научного направления, интерпретация результатов, участие в подготовке текста статьи, П.С. Маркевич – проведение экспериментальной части исследования, участие в написании статьи, А.В. Филиппов – участие в клинической апробации, внесение корректировок в текст статьи, Р.Н. Долгих – статистическая обработка полученных данных, подготовка к публикации, Ю.А. Тюкалов – участие в клинических испытаниях при огнестрельной травме, подготовка к публикации, Р.Т. Налбандян – анализ применения НТАП в педиатрической хирургии, подготовка к публикации, Т.А. Зеленина – анализ применения НТАП, подготовка к публикации, А.А. Громова – участие в клинических исследованиях, работа с данными по минно-взрывным травмам у детей, подготовка к публикации, Н.Г. Герасимов – проведение экспериментов, подготовка отчетных материалов, И.А. Пестерев – участие в проведении клинических испытаний, сбор и анализ данных по раневому процессу, Д.С. Корецкий – участие в проведении экспериментов, подготовка технической части исследования и оформление аппаратурных данных.

LOW-TEMPERATURE ARGON PLASMA: FROM BIOPHYSICAL FOUNDATIONS TO PRACTICAL APPLICATION IN CLINICAL MEDICINE

ALEXANDER B. ZEMLYANOV^{1,2*}, MAXIM A. EVSEEV¹, PAVEL S. MARKOVICH¹, ALEXANDER V. FILIPPOV¹,
RUSLAN N. DOLGIKH¹, YURI A. TYUKALOV¹, RUBEN T. NALBANDYAN⁴, TATIANA A. ZELENINA³,
ANASTASIA A. GROMOVA³, NIKITA G. GERASIMOV¹, IVAN A. PESTEREV¹, DANIL S. KORETSKY¹

¹Federal State Budgetary Institution National Medical Research Center of High Technologies named after A.A. Vishnevsky, Ministry of Defense of the Russian Federation, 143400, Krasnogorsk, Moscow Region, Russia

²Department of Trauma Surgery, Federal State Budgetary Institution Higher Education Rosbiotech, Medical Institute for Continuous Education, Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, 125080, Moscow, Russia

³Department of Therapy for Physicians' Training, Federal State Budgetary Institution Military Medical Academy named after S.M. Kirov, Ministry of Defense of the Russian Federation, 194044, Saint Petersburg, Russia

⁴Municipal Healthcare Institution "Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology - Dr. Roche's Clinic," 119180, Moscow, Russia

Abstract

Introduction. Low-temperature argon plasma (LTAP) is increasingly being used in medicine due to its antimicrobial, anti-inflammatory, and regenerative properties. **Objective.** To compare the energy parameters of ultraviolet radiation emitted by the "Plazmoran" and "PLAZON" devices to evaluate their effectiveness in clinical practice.

Materials and Methods. The study was conducted using two devices: – "Plazmoran" (operates on argon) – "PLAZON" (uses air). The energy illumination of UV radiation was measured at distances of 10, 15, and 20 cm. For "Plazmoran," mode B2 was used; for "PLAZON," the maximum mode was applied.

Results. "Plazmoran" demonstrated 5 times higher illumination in the UV-C range compared to "PLAZON." This is attributed to the use of argon, which ensures stable recombinant radiation. With increasing distance, the effectiveness decreases due to the absorption of UV radiation by oxygen in the air. Clinical data confirm the efficacy of LTAP in treating wounds, burns, dermatological diseases, and blast injuries in children. The application of plasma promotes faster wound healing, reduces inflammation, and activates tissue regeneration.

Conclusion. The "Plazmoran" device has higher energy characteristics and more stable effects, making it preferable for clinical use. The use of argon eliminates unwanted chemical reactions and enhances therapeutic efficacy. The obtained results confirm the promising prospects for further integration of LTAP technologies into medical practice.

Key words: low-temperature plasma, ultraviolet radiation, antimicrobial action, wound regeneration, clinical efficacy

Conflict of interests: none.

For citation: Zemlyanov A.B., Evseev M.A., Markevich P.S., Filippov A.V., Dolgikh R.N., Tyukalov Yu.A., Nalbandian R.T., Zelenina T.A., Gromova A.A., Gerasimov N.G., Pesterev I.A., Koretsky D.S. Low-temperature Argon Plasma: from the Biophysical Foundations for practical application in clinical medicine. *Moscow Surgical Journal*, 2025, № 3, pp. 178–189. <https://doi.org/10.17238/2072-3180-2025-3-178-189>

Contribution of the authors: A.B. Zemlyanov – scientific guidance, writing and editing of the article, M.A. Evseev – supervision of the scientific direction, interpretation of the results, participation in the preparation of the text of the article, P.S. Markevich – conducting the experimental part of the study, participation in writing the article, A.V. Filippov – participation in clinical testing, making adjustments to the text of the article, R.N. Dolgikh – statistical processing of the data obtained, preparation for publication, Yu.A. Tyukalov – participation in clinical trials for gunshot injury, preparation for publication, R.T. Nalbandian – analysis of the use of NTAP in pediatric surgery, preparation for publication, T.A. Zelenina – analysis of the use of NTAP, preparation for publication. A.A. Gromova – participation in clinical trials, work with data on mine-explosion injuries in children, preparation for publication, N.G. Gerasimov – conducting experiments, preparation of reports materials, I.A. Pesterev – participation in conducting clinical trials, collecting and analyzing data on the wound process, D.S. Koretsky – participation in conducting experiments, preparing the technical part of the study and processing hardware data.

Введение

Плазма – это форма ионизированного газа, которая имеет высокую концентрацию заряженных частиц (OH^- , H_2O^+ и электронов), реактивных химических веществ (свободных радикалов кислорода или «СРК» и реактивных форм азота или «СРА»), возбужденных молекул и УФ-фотонов [1]. Физико-химические свойства плазмы зависят от множества факторов, включая вид используемого газа или смеси газов, а также применяемую энергию, давление и атмосферу [2].

Все знают о трёх агрегатных состояний веществ: твёрдое, жидкое и газообразное. Плазму, в свою очередь, называют четвёртым агрегатным состоянием вещества – имеющим место при высоких температурах в цепочке превращений: твёрдое тело – жидкость – газ – плазма. Газ является потоком нейтрально заряженных атомов или молекул, основная часть которых имеет определённую или же наиболее вероятную скорость, обусловленную функцией распределения Максвелла. Атомы или молекулы движутся в пространстве и, если и соударяются друг с другом, то при обычных (допустим, комнатных) температурах такие соударения будут упругими, то есть не будут вызывать образо-

вания новых частиц, диссоциаций (распад молекул на атомы) или ионизации (процесс отрыв электрона от атома). Однако, с повышением температуры растёт и количество соударений, и их энергия: атомы и молекулы двигаются быстрее и с большей энергией соударяются, взаимодействуя друг с другом. И если газ представляет собой взаимодействие нейтральных частиц, которое не столь велико, а с увеличением расстояния между частицами - и вовсе практически незаметно, то плазма – это взаимодействие заряженных частиц (описанных в силе Кулона). Именно этот сильнодействующий и далекодействующий характер сил между заряженными частицами и представляет собой «Плазменное состояние вещества».

Любой ионизированный газ состоит из частиц, несущих большую кинетическую энергию, которая превышает его кинетическую энергию в состоянии покоя. Поэтому каждая такая частица будет стремиться, тем или иным образом, избавиться от лишней энергии. Это может быть реакция с другими частицами, выделение тепла или излучение (инфракрасное, видимое излучение, ультрафиолетовое или радиоактивное). Так как сам процесс плазмообразования связан с большими энергетическими затратами в виде «разогрева газа» для его ускорения. Такие системы высвобождают эту энергию в виде рекомбинационного излучения. Применение аргона в качестве газа, переносящего состояние плазмы, связано с фактором того, что инертные газы (газы с заполненной внешней электронной оболочкой) образуют положительно заряженные ионы, в отличие от прочих газов. Это позволяет сконцентрировать всю избыточную энергию частицы в рекомбинационное излучение, и в отличие от частиц, находящихся в воздухе (которые могут образовывать достаточно стабильные отрицательно заряженные ионы и в дальнейшем реагировать с другими частицами, атомами или молекулами, образуя новые молекулы). Именно благодаря использованию аргона в низкотемпературной плазме можно получить искомое ультрафиолетовое излучение от дальнего спектра (длина волны равная 100 нм), с достаточной энергией, которая, при нужной экспозиции и расстоянии до поверхности, губительна для патогенных микроорганизмов и обладает стимулирующим фактором для клеток раны.

Цель исследования. Сравнить энергетические параметры ультрафиолетового излучения аппаратов «ПлазмоРан» и «ПЛА-ЗОН» для оценки их эффективности в клинической практике.

Материалы и методы исследования

Для генерации низкотемпературной аргоновой плазмы применяются плазмотроны, устройства, в которых электрическая энергия преобразуется в ионизацию частиц рабочего вещества и энергию частиц плазмы. Получаемая в плазмотронах плазма имеет электронную температуру в диапазоне от 1 до 10 эВ (электрон-вольт, что соответствует примерно 11600 до 116000 К, скорость ее частиц обычно не выше 2×10^3 м/с.

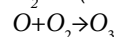
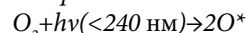
Плазмотрон аппарата «ПлазмоРан» в ходе плазмообразования формирует рекомбинационное излучение (в области спектра от вакуумного ультрафиолета до ближнего инфракрасного спектра), активные формы кислорода, в том числе атомарный кислород, азот, поток газа аргона с высоким теплосодержанием. Совокупность этих физических факторов оказывает лечебное воздействие на осложненное течение раневого процесса.

Образуемый ультрафиолет в области спектра 100–400 нм имеет ярко выраженный бактерицидный эффект, механизмы которого связаны с:

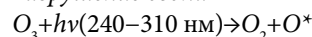
- 1) Разрушением и повреждением ДНК и РНК.
- 2) Пероксидазным окислением липидов мембран, белков и ДНК.
- 3) Повреждением целостности клеточных мембран.
- 4) Нарушением клеточного метаболизма.
- 5) Нарушением репарационных механизмов.

В процессе плазмообразования аргоновая плазма, даже будучи инертной, создает условия для различных физических и химических преобразований частиц в воздухе, которые благодаря турбулентному потоку попадают в высокоэнергетическую зону излучения. В качестве таких преобразований присутствует ионизация и диссоциация молекул в воздухе, которые приводят к образованию озона, атомарного кислорода и оксида азота.

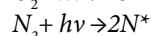
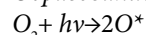
1. Образование озона:



Разрушение озона



Образование оксида азота (II)



Эти атомы и ионы могут затем участвовать в образовании новых соединений, таких как оксид азота NO. Помимо образования экзогенного монооксида азота, генерируемый спектр УФ излучения воздействует на кожу с последующим высвобождением эндогенного монооксида азота. Основные механизмы при этом [3, 4]:

2. Фотохимическая реакция в коже.

УФ-излучение способствует высвобождению NO из нитритов (NO_2^-) и нитратов (NO_3^-), которые накапливаются в коже, при помощи следующей реакции:

Нитраты, поступающие в организм с пищей (например, из овощей, таких как свёкла или шпинат), могут накапливаться в коже и под действием УФ-излучения превращаться в нитриты, а затем в NO.

Высвобождение NO из запасов:

В коже присутствуют запасы NO в форме нитрозотиолов (S-нитрозотиолов) и других соединений. УФ-излучение способствует их распаду с высвобождением NO при помощи следующих механизмов [4].

Активация NO-синтазы, фермента, который катализирует образование оксида азота (NO) из аминокислоты L-аргинина, кофакторами в реакции выступают NADPH, через увеличение кальция:

- УФ-излучение может вызывать временное увеличение внутриклеточной концентрации кальция (Ca^{2+}), который является кофактором для активации **эндотелиальной синтазы оксида азота (eNOS)**.

- Активированная eNOS увеличивает образование NO из аргинина.

- Стимуляция синтеза **синтазы оксида азота (NOS)**:
- УФ-излучение может стимулировать экспрессию генов, кодирующих NOS, что приводит к увеличению количества фермента и, соответственно, к усилению образования NO.

- Снижение окислительного стресса:
- УФ-излучение в умеренных дозах может активировать антиоксидантные системы организма, что снижает уровень окислительного стресса. Это важно, так как окислительный стресс подавляет активность NOS и разрушает NO.

- Косвенное влияние через витамин D:
- УФ-излучение способствует синтезу витамина D в коже. Витамин D, в свою очередь, может модулировать активность NOS и увеличивать образование NO.

Образующее ультрафиолетовое излучение (УФ) также может стимулировать пролиферацию фибробластов через ряд механизмов, связанных с клеточной сигнализацией и реакцией на окислительный стресс. Основные пути, через которые ультрафиолетовое излучение влияет на фибробласты, включают [5–10]:

1. Генерация активных форм кислорода (АФК):

- УФ проникает в кожу и поглощается хромофорами (например, NADH, NADPH, флавинами), что приводит к образованию активных форм кислорода (АФК), таких как супероксидные радикалы, перекись водорода и синглетный кислород.

- АФК активируют сигнальные пути, такие как MAPK/ERK и PI3K/AKT, которые регулируют пролиферацию и выживаемость клеток.

2. Активация факторов транскрипции:

- УФ-индуцированный окислительный стресс может активировать факторы транскрипции, такие как NF- κ B и AP-1, которые регулируют экспрессию генов, связанных с пролиферацией и воспалением.

- Эти факторы могут стимулировать синтез цитокинов и факторов роста, таких как TGF- β , которые способствуют пролиферации фибробластов.

3. Стимуляция синтеза внеклеточного матрикса:

- УФ может усиливать экспрессию коллагена и других компонентов внеклеточного матрикса через активацию TGF- β и других факторов роста.

- Это может косвенно стимулировать фибробласты к пролиферации, так как они играют ключевую роль в ремоделировании матрикса.

4. Изменение клеточного цикла:

- УФ может влиять на регуляцию клеточного цикла, способствуя переходу клеток из G1 в S-фазу, что приводит к увеличению пролиферации.

- Однако высокие дозы ультрафиолетового излучения могут вызывать повреждение ДНК и остановку клеточного цикла или апоптоз.

5. Влияние на цитокины и факторы роста:

- УФ может стимулировать выработку цитокинов (например, IL1-, IL6-) и факторов роста (например, VEGF, FGF), которые способствуют пролиферации фибробластов и ангиогенезу.

Одним из основных факторов физических явлений НТАП, который можно статистически достоверно измерить и сравнить, является ультрафиолетовое излучение (УФИ).

В ходе вышесказанного, всякая обработка раневой поверхности характеризуется накоплением энергии – энергетической освещённости (Дж/м^2 , или $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{с}$), которая представляет из себя интенсивность генерируемого в процессе плазмообразования ультрафиолетового излучения.

Плазмотрон аппарата «ПлазмоРан» в ходе плазмообразования генерирует ультрафиолет, который можно разделить на 3 основных измеряемых спектра:

Зона УФА: 400–315 нм

Зона УФВ: 315–280 нм

Зона УФС: 100–280 нм

Каждый спектр характеризуется собственным значением энергетической освещённости, который зависит от расстояния: от точки плазмообразования до обрабатываемой поверхности. Поверхность в процессе обработки «накапливает» энергию, при достаточном «накоплении энергии» реализуются антимикробные и биологические эффекты в тканях (табл. 1).

Представлены энергетические характеристики Плазмотрона аппарата «ПлазмоРан» в режиме В_2 . За единицу времени аппарат генерирует ультрафиолет с определённой интенсивностью излучения. Генерируемый ультрафиолет представляет из себя

крайне энергонасыщенное излучение и, проходя через поток воздуха, теряет часть энергии, отдавая её в виде тепла, нагревая пространство вокруг себя, вступая в реакцию с молекулами, входящими в состав воздуха, и не только с ними, а также с пылью и органическими веществами в воздухе (вирусами, бактериями, спорами грибов, частичками кожи и т.д.) Поэтому,

с увеличением расстояния поток энергии (энергетическая освещённость) уменьшается. Поток энергии обычно выражается в Вт/м²*с и представляет из себя числовую характеристику того, сколько энергии оказалось на единице поверхности в единицу времени (табл. 2).

Таблица 1

Значения энергетической освещённости при различных расстояниях, генерируемой аппаратом «ПлазмоРан»

Table 1

The values of the energy illumination at different distances generated by the PlasmorAn device

Расстояние, см/ Distance, cm	Поток энергии, Вт/м ² (Дж/м ² за единицу времени-одна секунда) (±10 %)/Energy flow, W/ m ² (J/m ² per unit of time-one second) (±10 %)												
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
УФА/UFA	4,31	3,42	2,81	2,37	2,06	1,69	1,47	1,26	1,16	1,010	0,880	0,860	0,810
УФВ/ UFV	1,67	1,39	1,14	0,98	0,83	0,7	0,61	0,53	0,47	0,426	0,386	0,343	0,312
УФС/ UFSF	4,01	3,32	2,65	2,26	1,87	1,63	1,31	1,14	1,02	0,932	0,830	0,770	0,680

Таблица 2

Параметры накопленной энергии

Table 2

Parameters of stored energy

	Поток энергии, Дж/м ² (±10 %)/ Energy flow, J/m ² (±10 %)			
	Для максимального анти- бактериального эффекта/For maximum antibacterial effect	Формирование потока энергий аппаратом «Плаз- моРан» при режиме В ₂ , рас- стоянии 8 см, времени 10 сек/Formation of the energy flow by the PlasmorAn device in the B ₂ mode, at a distance of 8 cm, time of 10 seconds	Формирование потока энергий аппаратом «Плаз- моРан» при режиме В ₂ , рас- стоянии 10 см, времени 20 сек/ Formation of the energy flow by the PlasmorAn device in the B ₂ mode, at a distance of 10 cm, and a time of 20 seconds	Формирование потока энер- гий аппаратом «ПлазмоРан» при режиме В ₂ , рассто- янии 15 см, времени 40 сек/ Formation of the energy flow by the PlasmorAn device in the B ₂ mode, at a distance of 15 cm, and a time of 40 seconds
УФА/UFA	37,80	43,1	56,2	50,4
УФВ/ UFV	15,90	16,7	22,8	21,2
УФС/ UFSF	34,20	40,1	53,0	45,6

Поток энергии (энергетическая освещённость) накапливается на поверхности за определённый промежуток времени, выражаясь в Дж/м² (Вт/м² * с). Накопление энергии показывает то, сколько энергии успело пройти через обрабатываемую поверхность за определённый промежуток времени. Эмпирически были получены значения, которых необходимо достичь для того, чтобы создать оптимальный антибактериальный эффект со 100% эффективностью, а также поддержать последующую чистоту рану и максимальный пролиферативный эффект. В применяемых режимах «ПлазмоРан» при воздействии на рану,

на стадии воспаления, на расстоянии 8, 10, 15 см и экспозиции 10, 20 и 40 секунд воздействия соответственно, накопление энергии существенно превышает необходимые энергетические показатели с целью достижения антибактериального эффекта (табл. 2). При этом, характер накопления энергии обратно экспоненциально зависит от расстояния и увеличивается с уменьшением этого расстояния.

В настоящее время ведущими приборами для формирования аргоновой плазмы являются аппарат «Плазморан» и аппарат «ПЛАЗОН». Нами проведено сравнительное исследование

энергетических характеристик УФ излучения различного спектра, как ведущего фактора биологического воздействия.

«Установка плазменно-дуговая хирургическая для лечения ран «ПлазмоРан» по ТУ 9444-001-43009282-2015» РУ № РЗН 2016/4567 производства ООО «ПЛАЗМОПРОМ» (Россия) и «Скальпель-коагулятор-стимулятор воздушно-плазменный СКВП/NO-01 «ПЛАЗОН» КРЛД.941616.001 ТУ» РУ № 2023/21133, производства ООО «ЦВТМ при МГТУ имени Н.Э. Баумана» (Россия).

Оборудование для сравнения энергетических характеристик рекомбинационного излучения газодинамического потока: «УФ-Радиометр с ослабляющим фильтром «ТКА-ПКМ»(13)» вместе с датчиками, предназначенными для раздельного измерения энергетической освещённости в спектральных диапазонах: «УФ-С (200-280 нм); УФ-В (280-315 нм); УФ-А (315–400 нм).

Измерение энергетической освещённости происходило в условиях естественного освещения и при комнатной температуре (21 °С). Для проведения измерения использовался лабораторный штатив с регулируемым зажимом для фиксирования расстояния от сопла плазматрона до поверхности датчика: 10 см, 15 см, 20 см. Расстояние определялось при помощи штангельциркуля. Для установки «ПлазмоРан» использовался режим В2. Для установки «ПЛАЗОН» был выбран максимальный режим. Измерение энергетической освещённости проводилось в течение 10 секунд с фиксацией всех значений каждую секунду.

Результаты исследования

Проведено сравнение двух медицинских изделий, работающих по принципу генерации низкотемпературной плазмы и отличающихся методами подачи газа для генерации плазмы. Установка «ПлазмоРан» использует инертный газ – аргон (высшей очистки, содержащий аргон объёмной доли не менее 99,993 %), установка «ПЛАЗОН» использует газ из внешней окружающей среды (воздух, преимущественно состоящий из азота – 78 % и кислорода – 21 %, аргона – 0,93 %).

Установка «ПлазмоРан» образует энергетически более сильное воздействие на поверхность, что может объясняться тем, что в работе происходит ионизация инертного газа, который в свою очередь, возвращается в исходное состояние, высвобождая энергию в виде рекомбинационного излучения (в нашем случае – интересующего нас ультрафиолетового излучения).

Установка «ПЛАЗОН» ионизирует воздух из окружающей среды, при этом, ионы в воздушном потоке хаотично и непрогнозируемо взаимодействуют друг с другом, с раневой поверхностью, окисляя и также образуя, к примеру, азиды. Поэтому возбуждённые молекулы высвобождают энергию в виде излучения не столь эффективно, как аргон.

Как видно на графике (рис.1) зависимости ЭС от расстояния воздействия, исследуемая установка (ПлазмоРан) имеет значительно больший показатель энергетической освещённости

в спектральном диапазоне УФ-А: разница составляет более чем в 5 раз. И такая разница сохраняется с увеличением расстояния воздействия ЭС.

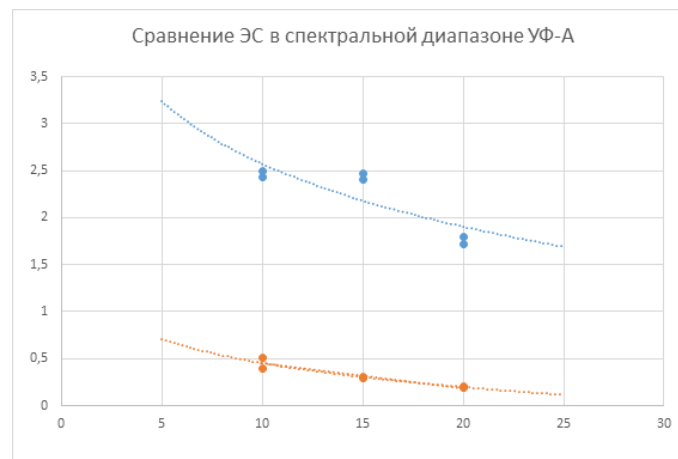


Рис. 1. Сравнение энергетической освещённости (ЭС) в спектральном диапазоне УФ-А установки «ПлазмоРан» (синий ряд) и установки «ПЛАЗОН» (оранжевый ряд) в зависимости от расстояния воздействия (см)
Fig. 1. Comparison of the energy illumination (ES) in the UV-A spectral range of the PlasmorAn installation (blue row) and the PLASON installation (orange row) depending on the exposure distance (cm)

Как видно на графике (рис. 2) зависимости ЭС от расстояния воздействия, исследуемая установка (ПлазмоРан) имеет значительно больший показатель энергетической освещённости в спектральном диапазоне УФ-В: разница составляет более чем в 6 раз. И такая разница сохраняется с увеличением расстояния воздействия.

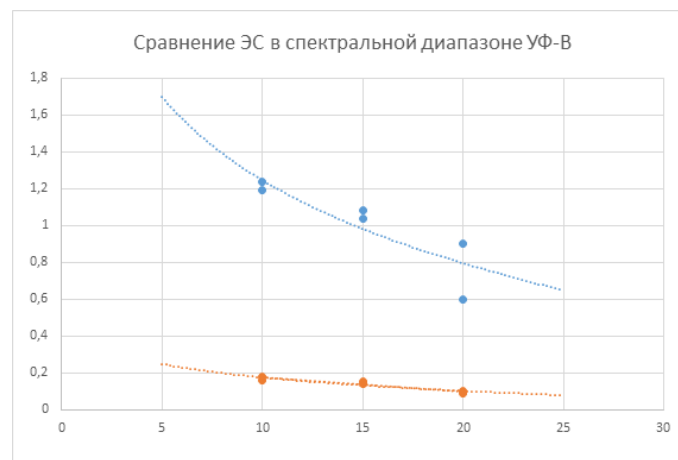


Рис. 2. Сравнение энергетической освещённости (ЭС) в спектральном диапазоне УФ-В установки «ПлазмоРан» (синий ряд) и установки «ПЛАЗОН» (оранжевый ряд) в зависимости от расстояния воздействия (см)
Fig. 2. Comparison of energy illumination (ES) in the UV spectral range in the «PlasmorAn» (blue row) and «PLASON» (orange row) installations, depending on the exposure distance (cm)

Как видно на графике (рис. 3) зависимости ЭС от расстояния воздействия исследуемая установка (ПлазмоРан) имеет значительно больший показатель энергетической освещённости в спектральном диапазоне УФ-С: разница составляет более чем в 5 раз.

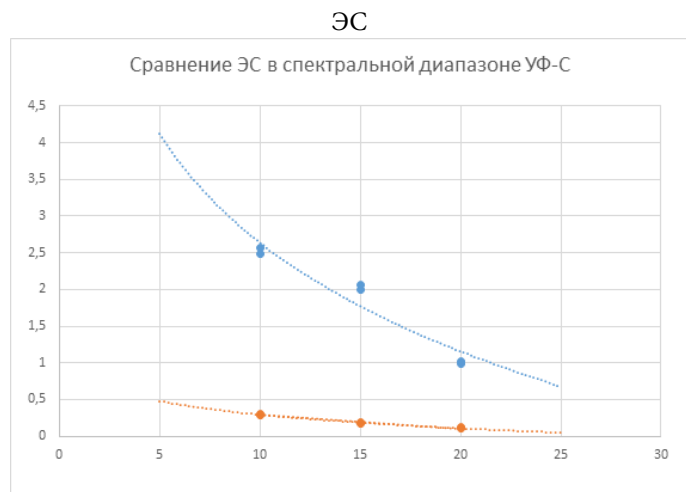


Рис. 3. Сравнение энергетической освещённости (ЭС) в спектральном диапазоне УФ-С установки «ПлазмоРан» (синий ряд) и установки «ПЛАЗОН» (оранжевый ряд) в зависимости от расстояния воздействия (см)

Fig. 3. Comparison of the energy illumination (ES) in the UV spectral range from the PlazmoRan installation (blue row) and the PLASON installation (orange row) depending on the exposure distance (cm)

Однако с увеличением расстояния происходит заметное снижение ЭС у ПлазмоРана, что связано с тем, что кислород поглощает ультрафиолет в этой области спектра с выделением озона, увеличивая расстояние, увеличивается и объём кислорода, потенциально поглощающего ультрафиолет в области УФ-С. Область С (280–210 нм) оказывает сильное бактерицидное.

Что касается ультрафиолетового фактора воздействия установка ПлазмоРан вырабатывает энергетически более сильный ультрафиолет во всём возможном спектре. Благодаря этому антибактериальный и антимикотический эффект у установки ПлазмоРан существенно выраженнее чем у установки ПЛАЗОН. И этот эффект надёжно достигается на расстоянии воздействия 10–15 см.

Обсуждение

Низкотемпературная аргонная плазма способствует заживлению ран благодаря своему антисептическому эффекту, стимулируя пролиферацию и миграцию клеток кожи, активируя или ингибируя рецепторы интегрин на поверхности клеток или посредством своего проангиогенного эффекта.

НТАП действует, вызывая эндогенную выработку оксида азота (NO), который способствует миграции клеток и сборке

эндотелиальных клеток в сосудоподобные структуры, важные для неоваскуляризации ран [6].

Бактерицидная активность НТАП привлекла внимание и была предметом исследований в течение 20 лет [13]. Способность НТАП эффективно уничтожать бактериальные биопленки была продемонстрирована несколькими исследованиями [7–9]. Именно это вдохновило на концепцию использования НТАП для снижения бактериальной обсемененности раны и, таким образом, улучшения ее заживления [8].

Активные формы кислорода и азота, связанные с НТАП, делятся на коротко- и долгоживущие молекулы, которые играют различную роль в лечении кожных заболеваний. НТАП способствует заживлению ран посредством антисептического и проангиогенного эффектов, стимулируя пролиферацию и миграцию клеток кожи путем активации/ингибирования рецепторов интегрин.

Амини и др. [6] продемонстрировали, что лечение с помощью НТАП изменяет уровни персистенции воспалительных цитокинов и факторов роста, включая IL-1, IL-8, TGF- β , TNF- α и INF- γ , способствуя заживлению посредством более быстрого начала пролиферативной фазы. Кроме того, НТАП генерирует внутритканевые активные формы кислорода и азота, которые могут увеличить синтез проангиогенных факторов, следовательно, способствуя заживлению ран [7].

При воздействии НТАП на рану происходит увеличение факторов роста, таких как: инсулиноподобный фактор роста I; фактор роста эндотелия сосудов- α ; колониестимулирующий фактор гранулоцитов-макрофагов, способствующие ангиогенезу с противовоспалительным эффектом интерлейкина-8. Наконец, рана заживает с реэпителизацией и синтезом нового матрикса благодаря фибробластам и цитокинам, мембранному ко- факторному белку-1 и интерлейкину-6 [8].

Проведенное исследование продемонстрировало формирование установкой ПлазмоРан более высоких энергий НТАП и, соответственно, физических факторов воздействия по сравнению с аппаратом «Плазон».

Проведены лабораторные исследования для оценки эффективности выживаемости патогенных микроорганизмов после воздействия факторов низкотемпературной аргонной плазмы (НТАП), генерируемой аппаратом ПлазмоРан на модели in vitro.

С целью получения результатов с высокой достоверностью, выполнены исследования в ведущих микробиологических лабораториях России: Центре стратегического планирования ФМБА России, Главного клинического госпиталя им. Н.Н. Бурденко МО РФ, Межрегиональной Московской микробиологической лаборатории (Городская клиническая больница № 67 им. Л.А. Ворохобова).

В ходе многоцентровых микробиологических исследований in vitro доказано, что НТАП обладает выраженным антимикробным действием как при воздействии на монокультуры, так и на микробные ассоциации, с эффективностью 99,99 % [9].

В Национальном медицинском исследовательском центре колопроктологии имени А.Н. Рыжих изучено влияние НТАП на микробные биопленки на модели *in vitro*. В результате исследования доказано выраженное антимикробное воздействие на микробные биопленки, приводящее к их полному разрушению [10].

В отделении биотехнологий и трансфузиологии ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ» выполнено исследование. Цель работы: оценить влияние низкотемпературной аргонной плазмы, генерируемой аппаратом ПлазмоРан, на структуру и пролиферативную активность фибробластов человека *in vitro* [11].

Низкотемпературная плазма активизирует разные формы клеточной активности. Стимуляция пролиферативной активности фибробластов отмечена на втором пассаже после обработки низкотемпературной аргонной плазмой с расстояния 10 см 30 и 45 секунд и 15 см 45 секунд.

При повторном посеве, клетки, обработанные в присутствии коллагенового экрана фибробласты, проявляют высокую пролиферативную активность и быстро восстанавливают целостность мембран.

Применение низкотемпературной аргонной плазмы широко изучается в качестве альтернативного подхода лечения гнойных хирургических заболеваний, боевой травмы, гнойных инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи, кожных заболеваний, когда эффективность антимикробных препаратов и антисептиков снижена из-за сформированной к ним устойчивости патогенов.

В НМИЦ ВМТ им. А.А. Вишневского МО РФ (г. Красногорск) НТАП генерируемой аппаратом ПлазмоРан, применяют в методологии, направленной на деконтаминацию огнестрельной раны, на предотвращение контаминирования внутригоспитальной микрофлорой, на купирование острого воспаления с потенцированием процессов регенерации в условиях развившегося тяжелого инфекционного процесса, обусловленного высокорезистентными микробными патогенами.

В научно-исследовательском институте скорой помощи им. И.И. Джанелидзе (г. Санкт-Петербург) на основании клинических наблюдений и цитологического исследования доказана высокая эффективность применения низкотемпературной аргонной плазмы в лечении поверхностных и глубоких ожоговых ран [12].

В ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова», (Санкт-Петербург) выполнено клиническое исследование применения НТАП, генерируемой аппаратом ПлазмоРан в лечении хронических и послеоперационных ран. Использование в комплексном лечении инфицированных ран установки «ПлазмоРан» способствует сокращению сроков раневого процесса, раннему началу фазы регенерации, снижает проявления синдрома системного воспалительного ответа и позволило сократить сроки лечения пациентов [13].

На кафедре и клинике кожных и венерических болезней

им. В.А. Рахманова института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского Первого МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет) проведены исследования оценки эффективности комплексной терапии с применением низкотемпературной аргонной плазмы ряда дерматологических заболеваний: гангренозной пиодермии, ливедоидной васкулопатии, вульгарного псориаза, постакне [14].

Исследование подтвердило высокую эффективность и переносимость аргонной плазмы на основании клинической оценки и положительной динамики морфофункциональных показателей кожи лица, а также практически полного отсутствия побочных явлений.

В Научно-исследовательском институте неотложной детской хирургии и травматологии (Клиника доктора Рошаля (Москва) с 2023 года проводится исследование низкотемпературной аргонной плазмы для обработки ран различной этиологии у детей (от 8 до 18 лет), включая минно-взрывные и осколочные ранения.

За указанный период, в комплексном хирургическом лечении, аппарат «Плазморан» применялся у 22 пациентов. Во всех случаях отмечено ускорение восстановления физиологического течения раневого процесса, что существенно сократило период подготовки ран к реконструктивным и пластическим операциям, а также улучшило функциональные результаты лечения [15].

Заключение

Сравнение двух медицинских установок, работающих на принципе генерации низкотемпературной плазмы, – «ПлазмоРан» и «ПЛАЗОН» выявило существенные различия в их эффективности, обусловленные методами подачи газа и особенностями генерации плазмы.

1. Источник газа и его влияние на плазму

- Установка «ПлазмоРан» использует аргон высшей очистки (содержание аргона не менее %99,993), что обеспечивает стабильную и предсказуемую ионизацию. Аргон, как инертный газ, высвобождает энергию в виде рекомбинационного излучения, преимущественно в ультрафиолетовом диапазоне, что делает его воздействие энергетически более сильным и целенаправленным.

- Установка «ПЛАЗОН» использует воздух из окружающей среды, состоящий в основном из азота (78 %) и кислорода (21 %). Ионизация воздуха приводит к хаотичным и непредсказуемым взаимодействиям между частицами, что снижает эффективность высвобождения энергии в виде излучения. Кроме того, возможны побочные химические реакции, такие как образование азидов или окисление, что может негативно влиять на раневую поверхность.

2. Энергетическая освещённость (ЭС) в ультрафиолетовом спектре:

- По графикам зависимости энергетической освещённости от расстояния видно, что «ПлазмоРан» значительно превосходит «ПЛАЗОН» во всех спектральных диапазонах УФ-излучения (УФ-А, УФ-В и УФ-С). Разница в ЭС составляет более чем в 6–5 раз, что свидетельствует о более мощном и эффективном воздействии «ПлазмоРана».

- В диапазоне УФ-С (210–280 нм), который обладает сильным бактерицидным действием, «ПлазмоРан» демонстрирует высокую эффективность на расстоянии до 15 см. Однако, с увеличением расстояния до 20 см наблюдается снижение ЭС более чем в 2 раза, что связано с поглощением ультрафиолета кислородом и образованием озона.

3. Антибактериальный и антимикозный эффект

- Благодаря более высокой энергетической освещённости во всём спектре УФ-излучения, «ПлазмоРан» обеспечивает выраженный антибактериальный и антимикозный эффект, особенно на расстоянии 10–15 см. Это делает его более эффективным для обработки ран и уничтожения патогенных микроорганизмов.

- Установка «ПЛАЗОН» уступает по эффективности из-за менее интенсивного УФ-излучения и возможных побочных химических реакций, что снижает её терапевтический потенциал.

Установка «ПлазмоРан» демонстрирует значительные преимущества перед «ПЛАЗОН» благодаря использованию аргона, который обеспечивает более мощное и стабильное ультрафиолетовое излучение. Это делает её более эффективной для медицинских применений, таких как антибактериальная обработка ран и стимуляция регенерации тканей. Однако при увеличении расстояния воздействия до 20 см эффективность «ПлазмоРана» снижается, что необходимо учитывать при её использовании. В целом, установка «ПлазмоРан» является более предпочтительным решением для медицинских задач, в особенности требующих высокого антимикробного эффекта.

В настоящее время в России и за рубежом проводятся многочисленные лабораторные и клинические исследования по изучению физиологических механизмов действия НТАП, подтверждающие её высокую эффективность во многих областях медицины. Дальнейшие исследования в этой области могут открыть новые перспективы эффективного использования низко-температурной аргоновой плазмы.

Список литературы:

- Niedzwiedz I., Waśko A., Pawłat J., Polak-Berecka M. The State of Research on Antimicrobial Activity of Cold Plasma. *Pol. J. Microbiol.*, 2019, № 68, pp. 153–164. <https://doi.org/10.33073/pjm-2019-028>
- Pecorelli A., Cervellati F., Hayek J., Valacchi G. Compromised immune/inflammatory responses in Rett syndrome. *Free Radic. Biol. Med.*, 2020, № 152, pp. 100–106. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2020.02.023>

- Mizuhashi S., Nishida E., Saito K., Yanagisawa M., Toda M., Toyoshima K. et al. Immune cell therapy against disseminated melanoma by utilizing induced pluripotent stem cell-derived myeloid cell lines producing interferon-beta or interleukin-15/interleukin-15 receptor alpha. *J. Dermatol. Sci.*, 2021, № 102(2), pp. 133–136. <https://doi.org/10.1016/j.jdermsci.2021.03.005>

- Kim Y.H., Oh S.H., Kim J.H., Lee J., Kim H., Kim J. et al. Therapeutic potential of rottlerin for skin hyperpigmentary disorders by inhibiting the transcriptional activity of CREB-regulated transcription coactivators. *J. Invest. Dermatol.*, 2019, № 139(11), pp. 2359–2367. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2019.05.012>

- Xiao Y., Chen X., Zhang P.A., Li X., Liu Y., Zhang Y. et al. Metformin induces S-adenosylmethionine restriction to extend the Caenorhabditis elegans healthspan through H3K4me3 modifiers. *Aging Cell*, 2022, № 21(3), pp. e13567. <https://doi.org/10.1111/ace1.13567>

- Duchesne C., Banzet S., Lataillade J.-J., Rousseau A., Frescaline N. Cold atmospheric plasma modulates endothelial nitric oxide synthase signalling and enhances burn wound neovascularisation. *J. Pathol.*, 2019, № 249, pp. 368–380. <https://doi.org/10.1002/path.5323>

- Katiyar K.S., Lin A., Fridman A., Keating C.E., Cullen D.K., Miller V. Non-thermal plasma accelerates astrocyte regrowth and neurite regeneration following physical trauma in vitro. *Appl. Sci.*, 2019, № 9, pp. 3747. <https://doi.org/10.3390/app9183747>

- Longhitano Y., Zanza C., Thangathurai D., Taurone S., Kozel D., Racca F. et al. Gut alterations in septic patients: A biochemical literature review. *Rev. Recent Clin. Trials.*, 2020, № 15, pp. 289–297. <https://doi.org/10.2174/18761038MTA5BMDIr2>

- Amini M.R., Sheikh Hosseini M., Fatollah S., Mirpour S., Ghoranneviss M., Larijani B. et al. Beneficial effects of cold atmospheric plasma on inflammatory phase of diabetic foot ulcers; a randomized clinical trial. *J. Diabetes Metab. Disord.*, 2020, № 19, pp. 895–905. <https://doi.org/10.1007/s40200-020-00577-2>

- Орлова О.Е., Сухина М.А., Зубрицкий В.Ф. и др. Оценка возможности антимикробного действия низкотемпературной аргоновой плазмы in vitro. *Вестник Медицинского института непрерывного образования*, 2024. № 4(2). С. 50–55. https://doi.org/10.36107/2782-1714_2024-4-2-50-55

- Маркевич П.С., Филиппов А.В., Долгих Р.Н. и др. Влияние низкотемпературной аргоновой плазмы на жизнеспособность и пролиферацию фибробластов in vitro. *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова*, 2024. № 19(4). С. 51–57. https://doi.org/10.25881/20728255_2024_19_4_51

- Зиновьев Е.В., Бородай Е.А., Солошенко В.В. и др. Влияние низкотемпературной аргоновой плазмы и ультразвуковой кавитации на течение раневого процесса в ожоговых ранах. *Инновационная медицина Кубани*, 2024. № 3. С. 33–39. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2024-9-3-33-39>

- Суров Д.А., Сизоненко Н.А., Дымников Д.А. и др. Применение низкотемпературной аргоновой плазмы в лечении гнойных ран. *Вестник НМХЦ им. Н.И. Пирогова*, 2024. № 19(3). С. 84–90. https://doi.org/10.25881/20728255_2024_19_3_84

14. Олисова О.Ю., Каюмова Л.Н., Шепелева А.В. и др. Эффективность низкотемпературной аргонной плазмы в терапии постакне. *Российский журнал кожных и венерических болезней*, 2024. № 27(6). С. 687–706. <https://doi.org/10.17816/dv640815>

15. Громова А.А., Налбандян Р.Т., Мединский П.В. и др. Роль аргон-плазменной технологии при минно-взрывных травмах у детей. *Материалы X Форума детских хирургов России*, 2024. С. 60. <https://doi.org/10.17816/psaic.konf2024>

References:

1. Niedźwiedz I., Wasko A., Pawlat J., Polak-Berecka M. The State of Research on Antimicrobial Activity of Cold Plasma. *Pol. J. Microbiol.*, 2019, № 68, pp. 153–164. <https://doi.org/10.33073/pjm-2019-028>

2. Pecorelli A., Cervellati F., Hayek J., Valacchi G. Compromised immune/inflammatory responses in Rett syndrome. *Free Radic. Biol. Med.*, 2020, № 152, pp. 100–106. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2020.02.023>

3. Mizushima S., Nishida E., Saito K., Yanagisawa M., Toda M., Toyoshima K. et al. Immune cell therapy against disseminated melanoma by utilizing induced pluripotent stem cell-derived myeloid cell lines producing interferon-beta or interleukin-15/interleukin-15 receptor alpha. *J. Dermatol. Sci.*, 2021, № 102(2), pp. 133–136. <https://doi.org/10.1016/j.jdermsci.2021.03.005>

4. Kim Y.H., Oh S.H., Kim J.H., Lee J., Kim H., Kim J. et al. Therapeutic potential of rottlerin for skin hyperpigmentary disorders by inhibiting the transcriptional activity of CREB-regulated transcription coactivators. *J. Invest. Dermatol.*, 2019, № 139(11), pp. 2359–2367. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2019.05.012>

5. Xiao Y., Chen X., Zhang P.A., Li X., Liu Y., Zhang Y. et al. Metformin induces S-adenosylmethionine restriction to extend the Caenorhabditis elegans healthspan through H3K4me3 modifiers. *Aging Cell.*, 2022, № 21(3), pp. e13567. <https://doi.org/10.1111/acer.13567>

6. Duchesne C., Banzet S., Lataillade J.-J., Rousseau A., Frescaline N. Cold atmospheric plasma modulates endothelial nitric oxide synthase signalling and enhances burn wound neovascularisation. *J. Pathol.*, 2019, № 249, pp. 368–380. <https://doi.org/10.1002/path.5323>

7. Katiyar K.S., Lin A., Fridman A., Keating C.E., Cullen D.K., Miller V. Non-thermal plasma accelerates astrocyte regrowth and neurite regeneration following physical trauma in vitro. *Appl. Sci.*, 2019, № 9, pp. 3747. <https://doi.org/10.3390/app9183747>

8. Longhitano Y., Zanza C., Thangathurai D., Taurone S., Kozel D., Racca F. et al. Gut alterations in septic patients: A biochemical literature review. *Rev. Recent Clin. Trials.*, 2020, № 15, pp. 289–297. <https://doi.org/10.2174/18761038MTA5BMDIr2>

9. Amini M.R., Sheikh Hosseini M., Fatollah S., Mirpour S., Ghoranneviss M., Larijani B. et al. Beneficial effects of cold atmospheric plasma on inflammatory phase of diabetic foot ulcers; a randomized clinical trial. *J. Diabetes Metab. Disord.*, 2020, № 19, pp. 895–905. <https://doi.org/10.1007/s40200-020-00577-2>

10. Orlova O.E., Sukhina M.A., Zubritskiy V.F. and others. Evaluation of the possibility of antimicrobial action of low-temperature argon plas-

ma in vitro. *Bulletin of the Medical Institute of Continuing Education*, 2024, № 4(2), pp. 50–55. (In Russ.) https://doi.org/10.36107/2782-1714_2024-4-2-50-55

11. Markevich P.S., Filippov A.V., Dolgikh R.N. and others. The effect of low-temperature argon plasma on the viability and proliferation of fibroblasts in vitro. *Bulletin of the National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov*, 2024, № 19(4), pp. 51–57. (In Russ.) https://doi.org/10.25881/20728255_2024_19_4_51

12. Zinoviev E.V., Borodai E.A., Soloshenko V.V. and others. The effect of low-temperature argon plasma and ultrasonic cavitation on the course of the wound process in burn wounds. *Innovative medicine of Kuban*, 2024, № 3, pp. 33–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2024-9-3-33-39>

13. Surov D.A., Sizonenko N.A., Dymnikov D.A. and others. The use of low-temperature argon plasma in the treatment of purulent wounds. *Bulletin of the N.I. Pirogov NMCC*, 2024, № 19(3), pp. 84–90. (In Russ.) https://doi.org/10.25881/20728255_2024_19_3_84

14. Olisova O.Yu., Kayumova L.N., Shepeleva A.V. and others. The effectiveness of low-temperature argon plasma in post-acne therapy. *Russian Journal of Skin and Venereal Diseases*, 2024, № 27(6), pp. 687–706. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/dv640815>

15. Gromova A.A., Nalbandian R.T., Medinsky P.V. and others. The role of argon-plasma technology in mine-explosion injuries in children. *Proceedings of the X Forum of Pediatric Surgeons of Russia*, 2024, pp. 60. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/psaic.konf2024>

Сведения об авторах:

Земляной Александр Борисович – доктор медицинских наук, профессор, ведущий научный сотрудник ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий им. А.А. Вишневого» Минобороны России, ЦВКГ им. А.А. Вишневого, д. 1, территория 3, 143420, Россия, Московская область, Красногорск, посёлок Новый, e-mail: ales9@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5438-0075>

Евсеев Максим Александрович – доктор медицинских наук, профессор, заместитель начальника по научной работе ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий им. А.А. Вишневого» Минобороны России, ЦВКГ им. А.А. Вишневого, д. 1, территория 3, 143420, Россия, Московская область, Красногорск, посёлок Новый, e-mail: dr.maxim.evseev@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3074-1884>

Маркевич Павел Сергеевич – кандидат медицинских наук, подполковник медицинской службы, начальник 63 отделения гнойной хирургии, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий им. А.А. Вишневого» Минобороны России, ЦВКГ им. А.А. Вишневого, д. 1, территория 3, посёлок Новый, город Красногорск, Московская область, 143420, Россия; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7613-1005>; e-mail: mps.doc@mail.ru

Филиппов Александр Викторович – кандидат медицинских наук, подполковник медицинской службы, главный хирург ФГБУ

«Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий им. А.А. Вишневого» Минобороны России; 143420, Россия, Московская область, Красногорск, посёлок Новый, e-mail: filippov.70@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-5096-4727>

Долгих Руслан Николаевич – кандидат медицинских наук, полковник медицинской службы, врач-хирург ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий им. А.А. Вишневого» Минобороны России, ЦВКГ им. А.А. Вишневого, д. 1, территория 3, 143420, Россия, Московская область, Красногорск, посёлок Новый, e-mail: ruslan-doc@mail.ru

Тюкалов Юрий Александрович – врач-хирург 12-го отделения абдоминальной хирургии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий им. А.А. Вишневого» Минобороны России, ЦВКГ им. А.А. Вишневого, д. 1, территория 3, 143420, Россия, Московская область, Красногорск, посёлок Новый, e-mail: tyukalov93@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8676-0714>

Налбандян Рубен Тигранович – кандидат медицинских наук, руководитель отдела ран и раневых инфекций НИИ неотложной детской хирургии и травматологии, клиника доктора Рошаля, 119180, Россия, Москва, ул. Большая Полянка, д. 22, г, e-mail: rubnalb@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4585-9904>;

Зеленина Татьяна Александровна – кандидат медицинских наук, доцент, врач-эндокринолог, старший преподаватель кафедры ТУВ-1 с курсом эндокринологии, Военно-медицинской академии им С.М. Кирова, Минобороны России; e-mail: tzelenina@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6208-0972>;

Громова Анастасия Александровна – врач-хирург отдела ран и раневых инфекций НИИ неотложной детской хирургии и травматологии, клиника доктора Рошаля, 119180, Россия, Москва, ул. Большая Полянка, д. 22, г, e-mail: gromova.nas@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8628-5710>

Герасимов Никита Геннадьевич – майор медицинской службы, врач-хирург 63-го отделения гнойной хирургии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий им. А.А. Вишневого» Минобороны России, ЦВКГ им. А.А. Вишневого, д. 1, территория 3, 143420, Россия, Московская область, Красногорск, посёлок Новый, e-mail: ibiza_89@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3362-923X>

Пестерев Иван Александрович – врач-травматолог 63-го отделения гнойной хирургии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий им. А.А. Вишневого» Минобороны России, ЦВКГ им. А.А. Вишневого, д. 1, территория 3, 143420, Россия, Московская область, Красногорск, посёлок Новый, e-mail: valmont1989@icloud.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7037-2647>

Корецкий Данил Сергеевич – врач-травматолог 63-го отделения гнойной хирургии ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий им. А.А. Вишневого» Минобороны России, ЦВКГ им. А.А. Вишне-

ского, д. 1, территория 3, e-mail: ds.koretskiy@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9149-4008>

Information about the authors:

Zemlyanoi Alexander Borisovich – Doctor of Medical Sciences, Professor, Leading Researcher at the Vishnevsky National Medical Research Center for High Medical Technologies, Ministry of Defense of the Russian Federation, Vishnevsky Central Medical School, 1, territory 3, Novy Settlement, Krasnogorsk, Moscow Region, 143420, Russia; e-mail: ales9@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5438-0075>

Evseev Maxim Alexandrovich – Doctor of Medical Sciences, Professor, Deputy Head of Scientific Work at the Vishnevsky National Medical Research Center for High Medical Technologies, Ministry of Defense of the Russian Federation, Vishnevsky Central Medical Center, 1, territory 3, Novy settlement, Krasnogorsk, Moscow Region, 143420, Russia; e-mail: dr.maxim.evseev@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3074-1884>

Markevich Pavel Sergeyevich – Candidate of Medical Sciences, Lieutenant Colonel of the Medical Service, Head of the 63rd Department of Purulent Surgery, Vishnevsky National Medical Research Center for High Medical Technologies of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Vishnevsky Central Medical Center, 1, territory 3, Novy settlement, Krasnogorsk, Moscow Region, 143420, Russia; e-mail: mps.doc@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7613-1005>

Filippov Alexander Viktorovich – Candidate of Medical Sciences, Lieutenant Colonel of the Medical Service, Chief Surgeon of the Vishnevsky National Medical Research Center for High Medical Technologies of the Russian Ministry of Defense; e-mail: filippov.70@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5096-4727>

Dolgikh Ruslan Nikolaevich – Candidate of Medical Sciences, Colonel of the Medical Service, Surgeon at the Vishnevsky National Medical Research Center for High Medical Technologies of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Vishnevsky Central Medical School, 1, territory 3, Novy settlement, Krasnogorsk, Moscow Region, 143420, Russia; e-mail: ruslan-doc@mail.ru

Tyukalov Yuri Alexandrovich – Surgeon of the 12th Department of Abdominal Surgery of the Vishnevsky National Medical Research Center for High Medical Technologies of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Vishnevsky Central Medical Center, 1, territory 3, Novy settlement, Krasnogorsk, Moscow Region, 143420, Russia; e-mail: tyukalov93@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8676-0714>.

Nalbandian Ruben Tigranovich – Candidate of Medical Sciences, Head of the Department of Wounds and Wound Infections at the Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology, Dr. Rashal Clinic, 22 Bolshaya Polyanka str., Moscow, 119180, Russia; e-mail: rubnalb@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4585-9904>

Zelenina Tatiana Aleksandrovna – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, endocrinologist, Senior lecturer at the TUV-1 Department with a course in endocrinology, Kirov Military Medical

Academy, Ministry of Defense of Russia; e-mail: tzelenina@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6208-0972>

Gromova Anastasia Alexandrovna – Surgeon at the Department of Wounds and Wound Infections at the Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology, Dr. Rashal's Clinic, 22 Bolshaya Polyanka str., Moscow, 119180, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8628-5710>; e-mail: gromova.nas@yandex.ru

Gerasimov Nikita Gennadievich – Major of the Medical Service, Surgeon of the 63rd Department of Purulent Surgery of the Vishnevsky National Medical Research Center for High Medical Technologies of the Ministry of Defense of the Russian Federation, A. A. Vishnevsky Central Medical Center, 1, territory 3, Novy settlement, Krasnogorsk, Moscow Region, 143420, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3362-923X>; e-mail: ibiza_89@bk.ru

Pesterev Ivan Aleksandrovich – Traumatologist of the 63rd Department of Purulent Surgery of the Vishnevsky National Medical Research Center for High Medical Technologies of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Vishnevsky Central Medical Center, 1, territory 3, Novy settlement, Krasnogorsk, Moscow Region, 143420, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7037-2647> e-mail: valmont1989@icloud.com

Koretsky Danil Sergeevich – Traumatologist of the 63rd Department of Purulent Surgery of the Vishnevsky National Medical Research Center for High Medical Technologies of the Ministry of Defense of the Russian Federation, A. A. Vishnevsky Central Medical Center, 1, territory 3, Novy settlement, Krasnogorsk, Moscow Region, 143420, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9149-4008> e-mail: ds.koretskiy@gmail.com