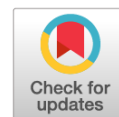


DOI: <https://doi.org/10.17816/rjpbr639987>

Результаты применения низкотемпературной аргоновой плазмы в реабилитации пациенток на этапе лучевой терапии рака молочной железы

В.О. Козырева

Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Во время лучевой терапии рака молочной железы повреждаются здоровые ткани, вызывая общие и местные реакции, включая радиодерматиты с симптомами эритемы, сухости, шелушения и боли. Нарушения в микроциркуляторном звене ведут к гипоксии и фиброзу. Применение аргоновой низкотемпературной плазмы является перспективным методом для профилактики острых лучевых повреждений кожи, что важно для поддержания качества жизни, предотвращения осложнений и минимизации долгосрочных последствий.

Цель исследования — оценить эффективность применения низкотемпературной аргоновой плазмы в комплексной медицинской реабилитации пациенток на этапе дистанционной лучевой терапии рака молочной железы.

Материалы и методы. Проведено интервенционное проспективное рандомизированное исследование с участием 60 пациенток со злокачественными новообразованиями молочной железы, проходящих лучевую терапию. Все пациентки получали курс медицинской реабилитации: общую магнитотерапию, лечебную физкультуру, тренировки по опорной реакции на тренажёре с биологической обратной связью, нутритивную поддержку и занятия с медицинским психологом. У пациенток основной группы ($n=30$) в курс реабилитации были включены процедуры воздействия низкотемпературной аргоновой плазмы. Полученные результаты оценивались с помощью шкалы острых осложнений лучевой терапии RTOG и лазерной доплеровской флоуметрии.

Результаты. После курса лучевой терапии и комплексной медицинской реабилитации между основной группой и группой сравнения, в которой участники не получали процедур низкотемпературной аргоновой плазмы, зафиксированы статистически значимые различия в выраженности лучевых реакций по шкале RTOG ($p=0,016$), а также в показателях периферического кровотока.

Заключение. Низкотемпературная аргоновая плазма способствует поддержанию нутритивного кровотока и активных механизмов регуляции микроциркуляции, что обеспечивает сохранение трофики кожных покровов и профилактику развития тяжёлых острых радиодерматитов.

Ключевые слова: медицинская реабилитация; низкотемпературная плазма; рак молочной железы; лучевая терапия.

Как цитировать:

Козырева В.О. Результаты применения низкотемпературной аргоновой плазмы в реабилитации пациенток на этапе лучевой терапии рака молочной железы // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2024. Т. 23, № 2. С. 91–100. DOI: <https://doi.org/10.17816/rjpbr639987>

DOI: <https://doi.org/10.17816/rjpbr639987>

Efficacy of low-temperature argon plasma in the rehabilitation of patients undergoing radiation therapy for breast cancer

Valeriia O. Kozyreva

Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: During radiation therapy for breast cancer, healthy tissues are damaged, leading to both systemic and local reactions, including radiation dermatitis with such symptoms as erythema, dryness, peeling, and pain. Disturbances of the microcirculation lead to hypoxia and fibrosis. The use of low-temperature argon plasma is a promising method for preventing acute radiation-induced skin damage, which is crucial for maintaining quality of life, preventing complications, and minimizing long-term effects.

AIM: To evaluate the effectiveness of low-temperature argon plasma used in the complex medical rehabilitation of patients undergoing external radiation therapy for breast cancer.

MATERIALS AND METHODS: A prospective, randomized interventional study was conducted involving 60 breast cancer patients undergoing radiation therapy. All patients received a course of medical rehabilitation, including general magnetic therapy, exercise therapy, balance response training on a biofeedback simulator, nutritional support, and sessions with a medical psychologist. In the main group ($n = 30$), rehabilitation included low-temperature argon plasma treatment. Outcomes were assessed using the RTOG scale for acute complications of radiation therapy and laser Doppler flowmetry.

RESULTS: After completing radiation therapy and complex medical rehabilitation, statistically significant differences were observed between the main group and the comparison group (which did not receive low-temperature argon plasma treatment) in the severity of radiation reactions on the RTOG scale ($p = 0.016$) and in peripheral blood flow parameters.

CONCLUSION: Low-temperature argon plasma supports nutritional blood flow and active mechanisms for microcirculatory regulation, preserving skin blood supply and preventing severe acute radiation dermatitis.

Keywords: medical rehabilitation; low-temperature plasma; breast cancer; radiation therapy.

To cite this article:

Kozyreva VO. Efficacy of low-temperature argon plasma in the rehabilitation of patients undergoing radiation therapy for breast cancer. *Russian journal of the physical therapy, balneotherapy and rehabilitation*. 2024;23(2):91–100. DOI: <https://doi.org/10.17816/rjpbr639987>

Submitted: 28.10.2024

Accepted: 06.11.2024

Published online: 08.11.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/rjpbr639987>

低温氩等离子体在乳腺癌患者康复放射治疗阶段的应用结果

Valeriia O. Kozyreva

Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia

摘要

论证。在乳腺癌放射治疗期间，健康组织会受到损伤，从而引起全身和局部反应，包括出现红斑、干燥、脱屑和疼痛症状的放射性皮炎。微循环障碍会导致缺氧和纤维化。使用氩气低温等离子体是预防皮肤急性辐射损伤的一种很有前途的方法，对于生活质量的保持、并发症的预防和长期后果的最小化非常重要。

研究目的 — 评估低温氩等离子体在乳腺癌患者综合医疗康复中的远程放射治疗阶段的应用效果。

材料和方法。这项前瞻性干预随机研究涉及60名正在接受放射治疗的恶性乳腺肿瘤患者。所有患者都接受了医疗康复疗程：普通磁疗、治疗性体能训练、生物反馈模拟器上的支持反应训练、营养支持和医学心理学家课程。在主要治疗组的患者（n=30）中，低温氩等离子程序也被纳入了康复疗程。使用RTOG放射治疗急性并发症量表和激光多普勒血流测量仪对结果进行了评估。

结果。通过放射治疗疗程和综合医疗康复治疗，主要治疗组和对比治疗组，其中参与者没有接受低温氩等离子体疗程，在RTOG量表中的辐射反应严重程度（ $p=0.016$ ），以及外周血流指数方面均存在显著的统计学差异。

结论。低温氩等离子体有助于保持营养血流和微循环的积极调节机制，从而确保皮肤滋养性的保持和严重急性放射性皮炎的预防。

关键词：医疗康复；低温等离子体；乳腺癌；放射治疗。

引用本文：

Kozyreva VO. 低温氩等离子体在乳腺癌患者康复放射治疗阶段的应用结果. *Russian journal of the physical therapy, balneotherapy and rehabilitation*. 2024;23(2):91–100. DOI: <https://doi.org/10.17816/rjpbr639987>

收到：28.10.2024

接受：06.11.2024

发布日期：08.11.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Лучевая терапия является одним из этапов лечения рака молочной железы, однако наряду с поражением опухолевых клеток неизбежно повреждаются и здоровые ткани, что приводит как к общим, так и местным реакциям [1, 2]. Радиодерматиты являются наиболее распространёнными побочными эффектами лучевой терапии и проявляются эритемой, сухостью, шелушением, могут вызывать сильный болевой синдром и значительно снижать качество жизни пациента, ограничивая его повседневную активность [3]. Без профилактики и адекватного лечения лучевые реакции могут приводить к более серьёзным осложнениям, таким как присоединение инфекции из-за нарушенной целостности кожного покрова, что может потребовать прерывания курса лучевой терапии и негативно сказаться на эффективности запланированного лечения [4]. Из-за повреждения капиллярного звена в здоровых тканях и выброса факторов воспаления развиваются местные воспалительные реакции, нарастают явления гипоксии и, как следствие, запускаются склеротические процессы, которые могут привести к фиброзированию окружающих структур [5, 6]. Своевременное и эффективное лечение радиодерматитов может способствовать улучшению качества жизни пациента и предотвращению развития отсроченных реакций.

Одним из перспективных методов, позволяющих снизить частоту и выраженность острых лучевых дерматитов, является низкотемпературная плазма [7], представляющая собой частично ионизированный газ, содержащий газообразные активные формы кислорода и азота [8]. Безопасность и эффективность применения плазменных потоков в профилактике и лечении, в том числе онкозаболеваний, явились основанием для исследований по применению аргонной низкотемпературной плазмы в профилактике острых лучевых повреждений кожи [7, 9].

Таким образом, адекватное лечение радиодерматитов во время лучевой терапии рака молочной железы является критически важным для поддержания качества жизни пациента, предотвращения осложнений, обеспечения приверженности к лечению и минимизации долгосрочных последствий [10].

Цель исследования — оценить эффективность применения низкотемпературной аргонной плазмы в комплексной медицинской реабилитации пациенток на этапе дистанционной лучевой терапии рака молочной железы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проведено интервенционное проспективное рандомизированное исследование с участием 60 женщин на этапе дистанционной лучевой терапии рака молочной железы.

Критерии соответствия

Критерии включения: рак молочной железы (C50.0-9 Злокачественное новообразование молочной железы) IIA, IIB, IIIA стадий; полихимиотерапия в анамнезе; возраст от 35 до 75 лет; этап адъювантной лучевой терапии; информированное согласие на участие в исследовании в письменной форме; информированное согласие на участие в исследовании с применением низкотемпературной аргонной плазмы в комплексе медицинской реабилитации в письменной форме / информированное согласие на участие в исследовании без применения низкотемпературной аргонной плазмы в комплексе медицинской реабилитации в письменной форме.

Критерии невключения: состояния, сопровождающиеся тяжёлыми двигательными и координационными расстройствами, когнитивными нарушениями; декомпенсация сопутствующих заболеваний; лихорадка неясного генеза; наличие сахарного диабета 1-го или 2-го типа; отказ пациента от участия в исследовании.

Критерии исключения: отказ пациента от продолжения участия в исследовании; индивидуальная непереносимость лечебных физических факторов; отсутствие приверженности к лечению (несоблюдение рекомендаций по лечению, сроков визитов к врачу).

Условия проведения

Исследование выполнено на базе клиники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Клиника имени профессора Ю.Н. Касаткина ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России) в период с сентября 2022 по сентябрь 2024 года.

Описание медицинского вмешательства

Методом простой рандомизации участники были разделены на две группы — основную ($n=30$) и сравнения ($n=30$).

Все пациенты в ходе основного лечения получали комплексную медицинскую реабилитацию, базовая программа которой включала лечебную физическую культуру (5 раз в неделю); тренировки с использованием стабилотформы с биологической обратной связью (5 раз в неделю); консультации медицинского психолога (3 раза в неделю); нутритивную поддержку в виде ежедневного приёма лечебно-профилактического питания — коктейля белкового детоксикационного (2 раза в день по 200 мл готового напитка); 10 процедур общей магнитотерапии (5 раз в неделю).

Пациентам основной группы помимо основных мероприятий программы медицинской реабилитации было назначено по 10 процедур воздействия низкотемпературной аргонной плазмой с помощью аппарата «Плазма 200» (ЗАО «Руднев-Шильяев», Москва; регистрационное удостоверение № РЗН 2019/8192 от 11.03.2019) по сканирующей методике на область послеоперационного рубца и зону

облучения на расстоянии 2–5 мм от поверхности кожи в течение 3 минут 5 раз неделю.

Основной исход исследования

Влияние низкотемпературной аргонной плазмы на выраженность лучевых реакций кожи на этапе адъювантной лучевой терапии рака молочной железы оценивалось по суррогатным конечным точкам: выраженность радиодерматита, показатели микрогемоциркуляции.

Анализ в подгруппах

Участники распределены методом простой рандомизации на две равные группы, сопоставимые по возрасту, локализации, распространённости и морфологическому строению новообразований, проведённому лечению на предыдущих этапах и плану лучевой терапии.

Методы регистрации исходов

Обследование участников осуществляли в 1–2-й день поступления на дистанционную лучевую терапию (до начала курса медицинской реабилитации) и после окончания запланированного лечения. При каждом визите проводили сбор жалоб пациентов, физикальный осмотр. При общем осмотре особое внимание уделяли оценке кожных покровов на предмет наличия радиодерматитов в соответствии с Международной шкалой оценки критериев острых лучевых повреждений, разработанных Американской онкологической группой по радиационной терапии (Radiation Therapy Oncology Group, RTOG, 1995), согласно которой значению «0» соответствуют кожные покровы без изменений; «1» — фолликулярная, слабая или неотчётливая эритема, потеря волос, сухая десквамация кожи, сниженное потоотделение; «2» — яркое покраснение кожи, кожа легко травмируется, очаговый влажный эпидермит с десквамацией, умеренный отёк; «3» — сливной влажный эпидермит за пределами кожных складок, отёк кожи, оставляющий ямку после надавливания; «4» — изъязвление, кровотечение, некроз кожи.

Состояние капиллярного кровотока в зоне воздействия ионизирующего излучения оценивалось с использованием лазерного анализатора микроциркуляции крови «ЛАЗМА-СТ» (паспорт изделия ИАБЖ.941111.011 ПС), для чего применялась технология лазерной доплеровской флоуметрии, которая позволяет анализировать изменения микроциркуляторно-тканевой системы, включая показатель микроциркуляции (М), среднее колебание кровотока (б), вариабельность (Kv), шунтирование ($M_{\text{нупр}}$, $M_{\text{шунт}}$, ПШ) и активность эндотелиального (Аэ), миогенного (Ам), нейрогенного (Ан), сердечного (Ас) и дыхательного (Ад) компонентов.

Исследования проводили в помещении при температуре около 24–25°C, перед началом измерения должно было пройти не менее 2 часов после последней процедуры облучения. Пациенты ложились на кушетку и адаптировались к условиям в течение как минимум 10 минут, затем лазерный зонд устанавливали на расстоянии 2 см

от послеоперационного рубца или на зоны облучения (в зависимости от плана лечения); для контроля с контралатеральной стороны, где отсутствовало воздействие ионизирующего излучения, проводилась аналогичная запись лазерной доплеровской флоуметрии. Данные обрабатывались автоматически с помощью специального программного обеспечения.

Этическая экспертиза

Каждому участнику исследования были разъяснены его цель и задачи, возможные последствия и обязательства участия в нём, а также длительность эксперимента. Участники дали своё информированное добровольное согласие на участие в исследовании в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека».

Исследование одобрено локальным этическим комитетом (протокол № 13 от 27.09.2022) ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России.

Статистический анализ

Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро–Уилка. Количественные показатели, имеющие нормальное распределение, описывались с помощью средних арифметических величин (М) и стандартных отклонений (SD), границ 95% доверительного интервала (95% ДИ). В случае отсутствия нормального распределения количественные данные описывались с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей [Q1; Q3]. Сравнение двух групп по количественному показателю, имеющему нормальное распределение, при условии равенства дисперсий выполнялось с помощью t-критерия Стьюдента. Сравнение двух групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, выполнялось с помощью U-критерия Манна–Уитни. При сравнении нормально распределённых количественных показателей, рассчитанных для двух связанных выборок, использовался парный t-критерий Стьюдента. При сравнении количественных показателей в двух связанных группах, распределение которых отличалось от нормального, использовался критерий Уилкоксона. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 4.6.1 (Статтех, Россия).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

Под наблюдением находилось 30 пациенток основной группы и 30 пациенток группы сравнения с диагнозом рака молочной железы (C50.0–9 Злокачественное новообразование молочной железы) IIA, IIB, IIIA

стадий и неоадьювантной полихимиотерапией в анамнезе на этапе адьювантной дистанционной лучевой терапии. При первичном осмотре у всех участников не зафиксировано лучевых реакций кожи (0 баллов по шкале RTOG).

При изучении данных лазерной доплерографии области послеоперационного рубца значительных отличий между группами не обнаружено (табл. 1).

При анализе амплитудно-частотного спектра колебаний кровотока в обеих группах выявлено преобладание нейрогенных (Ан), эндотелиальных (Аэ) и миогенных осцилляций (Ам), отражающее активные механизмы регуляции. Шунтовой ($M_{\text{шунт}}$) и нутритивный ($M_{\text{нутр}}$) кровотоки, а также показатель шунтирования (ПШ) были сопоставимы в обеих группах.

Основные результаты исследования

По завершении запланированного курса дистанционной лучевой терапии и реабилитационного лечения во всех исследуемых группах зафиксированы радиодерматиты, однако обращает внимание меньшее число случаев реакций II степени среди пациенток, получавших процедуры низкотемпературной аргонной плазмы (табл. 2).

Зафиксированы статистически значимые различия в выраженности острых лучевых реакций кожи между

основной и группой сравнения ($p=0,016$) (используемый метод Хи-квадрат Пирсона). В группе с применением низкотемпературной аргонной плазмы в курсе реабилитации преобладают пациенты с отсутствием радиодерматитов или радиодерматитов I степени, в то время как в группе сравнения преобладают лучевые реакции I и II степени (рис. 1).

Во всех группах после окончания дистанционной лучевой терапии зафиксированы изменения системы микроциркуляции в виде повышения показателя средней тканевой перфузии (М) в основной группе до 9,59 пф. ед. [8,20; 10,97], а в группе сравнения до 8,75 пф. ед. [7,35; 11,37] ($p=0,487$); снижение показателя среднего квадратичного отклонения (δ) в основной группе до 0,79 пф. ед. [0,65; 0,87], в группе сравнения до 0,61 пф. ед. [0,44; 0,68] ($p < 0,001$); снижение коэффициента вариации K_v в основной группе до 8,34% [6,99; 9,69], в группе сравнения до 8,04% [6,42; 9,54] ($p=0,647$). Эти изменения показывают, что состояние микроциркуляции у всех пациентов ухудшилось после проведения лучевой терапии, но при этом в группе сравнения наблюдается статистически значимое ($p < 0,001$) повышение шунтового кровотока ($M_{\text{шунт}}$ 6,02 [5,25; 6,51]; ПШ 2,00 [1,60; 2,46]), а в группе с применением низкотемпературной аргонной плазмы статистически

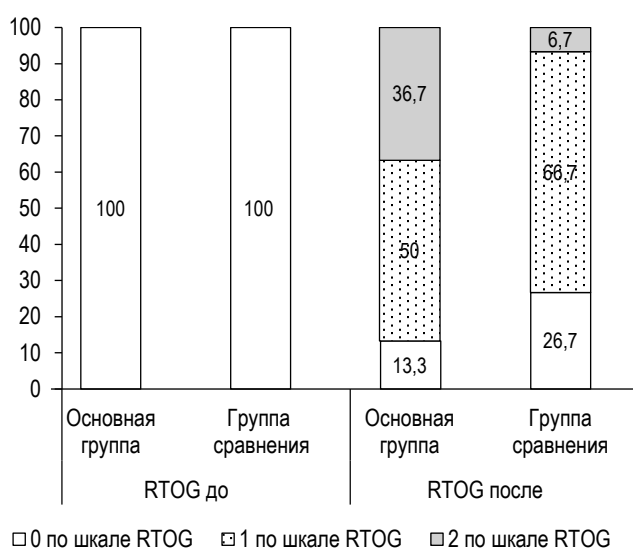
Таблица 1. Сравнение показателей лазерной доплерографической флоуметрии в группах исследования до начала курса медицинской реабилитации

Table 1. Comparison of laser Doppler flowmetry indicators of the main group and the comparison group before the start of the course of medical rehabilitation

Показатели	Со стороны операции		p	Здоровая сторона		p
	Основная группа	Группа сравнения		Основная группа	Группа сравнения	
М, пф. ед.	7,75 [6,66; 9,08]	7,59 [6,25; 9,17]	0,734	9,34 [8,71; 10,37]	9,64 [7,65; 11,38]	0,929
δ , пф. ед.	0,93 [0,79; 1,06]	0,89 [0,77; 1,06]	0,853	1,16 [0,94; 1,35]	1,00 [0,91; 1,25]	0,348
K_v , %	10,16 [7,71; 12,40]	10,18 [7,31; 12,21]	0,836	11,80 [8,82; 13,76]	10,53 [9,01; 12,51]	0,478
Аэ, пф. ед.	0,27 [0,24; 0,34]	0,29 [0,26; 0,32]	0,871	0,32 [0,28; 0,36]	0,30 [0,24; 0,37]	0,399
Ан, пф. ед.	0,28 [0,25; 0,34]	0,29 [0,25; 0,34]	0,807	0,34 [0,28; 0,38]	0,34 [0,27; 0,42]	0,888
Ам, пф. ед.	0,26 [0,21; 0,35]	0,26 [0,24; 0,32]	0,923	0,33 [0,25; 0,39]	0,33 [0,27; 0,39]	0,983
Ад, пф. ед.	0,18 [0,15; 0,23]	0,20 [0,15; 0,22]	0,912	0,18 [0,14; 0,22]	0,18 [0,15; 0,23]	0,625
Ас, пф. ед.	0,26 [0,20; 0,30]	0,25 [0,21; 0,29]	0,911	0,26 [0,21; 0,29]	0,24 [0,18; 0,30]	0,722
$M_{\text{нутр}}$, пф. ед.	3,70 [3,17; 4,42]	3,82 [2,99; 5,22]	0,982	4,67 [4,12; 5,66]	4,72 [3,88; 5,88]	1,000
$M_{\text{шунт}}$, пф. ед.	3,94 [3,10; 4,71]	3,78 [2,90; 4,84]	0,935	4,52 [3,79; 5,56]	4,91 [3,76; 5,71]	0,802
ПШ, усл. ед.	1,17 [0,95; 1,43]	1,16 [0,98; 1,45]	0,842	1,09 [0,93; 1,23]	1,11 [0,91; 1,36]	0,756

Таблица 2. Анализ динамики шкалы RTOG в группах исследования**Table 2.** Analysis of the dynamics of the RTOG scale depending on the group

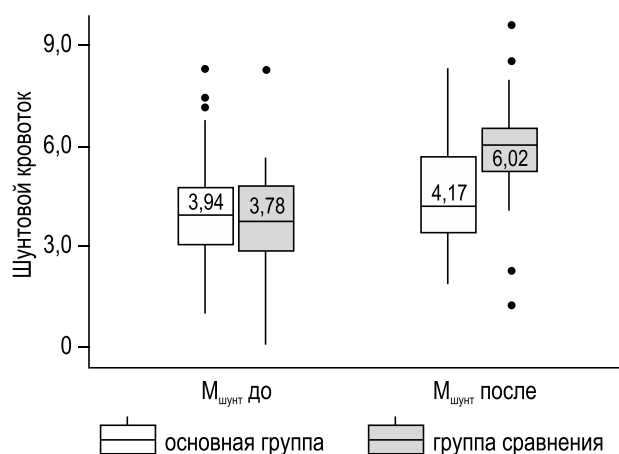
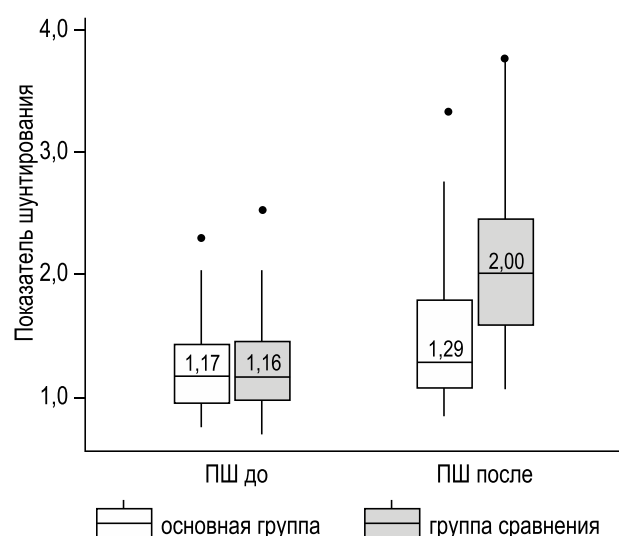
Группа	Показатель	Шкала RTOG				p
		до		после		
		Абс.	%	Абс.	%	
Основная	Степень 0	30	100,0	11	36,7	<0,001
	Степень I	0	0,0	15	50,0	
	Степень II	0	0,0	4	13,3	
Сравнения	Степень 0	30	100,0	2	6,7	<0,001
	Степень I	0	0,0	20	66,7	
	Степень II	0	0,0	8	26,7	
p		—		0,016		—

**Рис. 1.** Выраженность лучевых реакций по шкале RTOG.**Fig. 1.** Severity of radiation reactions according to the RTOG scale.

значимое ($p < 0,001$) повышение нутритивного кровотока ($M_{\text{нутр}}$ 5,01 [4,23; 5,84]; ПШ 1,29 [1,08; 1,79]) (рис. 2–4).

Застойные явления в системе микрогемоциркуляции подтверждаются результатами амплитудно-частотного анализа кровотока, согласно которым наблюдаются изменения активности почти всех звеньев регуляции микро-сосудистого тонуса (табл. 3).

Таким образом, у пациентов группы сравнения наблюдаются преимущественно пассивные механизмы регуляции кровотока, что проявляется увеличением амплитуд и вклада дыхательного ($p < 0,001$) и сердечного ($< 0,001$) ритма, а снижение амплитуд миогенного ритма Ам свидетельствует о вазоконстрикции, что и приводит к снижению $M_{\text{нутр}}$ и повышению шунтирования. В то же время у пациентов основной группы с использованием низкотемпературной аргонной плазмы зафиксировано поддержание амплитуд активных механизмов регуляции (миогенного, эндотелиального) и сохранение на прежнем

**Рис. 2.** Анализ динамики шунтового кровотока в группах исследования.**Fig. 2.** Analysis of the dynamics of shunt blood flow depending on the group.**Рис. 3.** Анализ динамики показателя шунтирования в группах исследования.**Fig. 3.** Analysis of the dynamics of the bypass rate depending on the group.

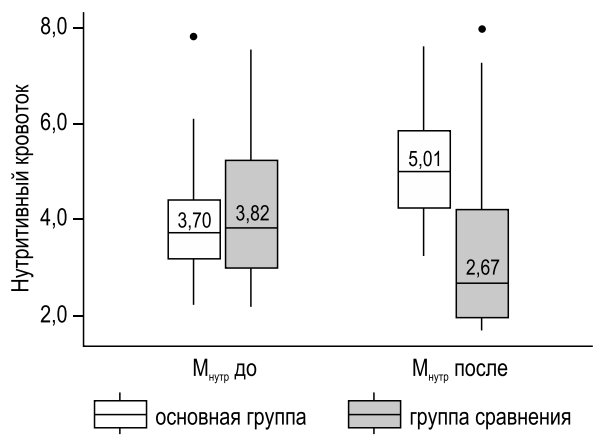


Рис. 4. Анализ динамики нутритивного кровотока в группах исследования.
Fig. 4. Analysis of the dynamics of nutritive blood flow depending on the group.

уровне амплитуд дыхательных ритмов. Статистически значимые различия между группами при анализе данных лазерной доплеровской флоуметрии с контралатеральной стороны не зафиксированы.

Нежелательные явления

В ходе проведения исследования нежелательных явлений не зафиксировано.

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

При проведении лучевого лечения рака молочной железы наблюдаются изменения кожи по шкале RTOG,

что также подтверждается данными лазерной доплеровской флоуметрии. К типичным изменениям относятся проявления застойно-гиперемических процессов в микроциркуляторной системе, сопровождаемые нарушением трофики облучаемых тканей. Применение низкотемпературной аргоновой плазмы в комплексной медицинской реабилитации способствует поддержанию активных механизмов регуляции кровотока и сохранению перфузии.

Обсуждение основного результата исследования

Изучение микроциркуляции в зоне воздействия ионизирующего излучения с помощью лазерной доплеровской флоуметрии по окончании курса лечения у пациентов групп сравнения показало изменение исследуемых показателей. У всех участников наблюдалось повышение локального кровотока с одновременным снижением коэффициента вариации и среднего отклонения кровотока, уменьшая эффективность трансапиллярного обмена. Одновременное с этими явлениями повышение амплитуд сердечного и дыхательного ритма свидетельствует об увеличенном притоке артериальной крови и нарушенном оттоке в веноулярном звене, т.е. о развитии смешанной венозно-артериальной гиперемии. Повышение показателя шунтирования в группе сравнения свидетельствует об увеличении кровотока, который отводится по шунтовым путям и не участвует в обмене веществ и кислорода, что подтверждается также снижением доли нутритивного кровотока в исследуемой области. В совокупности данные параметры указывают на снижение питания тканей и развитие гипоксии, что способствует активации фибробластов и последующему склерозированию [11], в то время

Таблица 3. Анализ динамики амплитуды колебаний кровотока в группах исследования
Table 3. Analysis of the dynamics of the amplitude of blood flow oscillations depending on the group

Показатель	Группа		p
	Основная	Сравнения	
Аэ, пф. ед.	0,29 [0,26; 0,32]	0,21 [0,16; 0,26]	<0,001
Ан, пф. ед.	0,24 [0,21; 0,29]	0,22 [0,19; 0,25]	0,060
Ам, пф. ед.	0,22 [0,16; 0,27]	0,12 [0,09; 0,15]	<0,001
Ад, пф. ед.	0,20 [0,18; 0,24]	0,21 [0,18; 0,27]	0,083
Ас, пф. ед.	0,23 [0,19; 0,28]	0,24 [0,21; 0,28]	0,328
Вклад* э, Аэ/σ	0,37 [0,31; 0,45]	0,35 [0,26; 0,48]	0,584
Вклад* н, Ан/σ	0,32 [0,27; 0,40]	0,39 [0,28; 0,49]	0,088
Вклад* м, Ам/σ	0,27 [0,22; 0,38]	0,21 [0,17; 0,25]	0,017*
Вклад* д, Ад/σ	0,27 [0,20; 0,33]	0,37 [0,29; 0,58]	<0,001
Вклад* с, Ас/σ	0,31 [0,22; 0,38]	0,42 [0,29; 0,56]	0,002

Примечание. * Вклад эндотелиального (э), нейрогенного (н), миогенного (м), дыхательного (д) и сердечного (с) ритмов в регуляцию кровотока.
Note. * Contribution of endothelial (э), neurogenic (н), myogenic (м), respiratory (д) and cardiac (с) rhythms to blood flow regulation.

как в группе пациентов, получающих процедуры воздействия низкотемпературной плазмой, отмечено сохранение изначального уровня нутритивного кровотока без преобладания пассивных механизмов регуляции. Выявленные изменения в микроциркуляторно-тканевой системе объясняют и достоверные различия между исследуемыми группами в выраженности лучевых реакций кожи. Полученные данные подтверждают гипотезу исследования об эффективности применения низкотемпературной плазмы в предупреждении развития тяжёлых радиодерматитов [12]. Комбинированное действие низкотемпературной плазмы сделало процедуру популярной в гнойной хирургии, дерматологии, стоматологии и других областях, включая онкологию [13, 14]. Плазменные потоки открывают перспективы и в медицинской реабилитации, в том числе в терапии лучевых реакций [15, 16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Быстрое развитие радиотерапии сопровождается совершенствованием возможностей лучевой терапии,

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Великая В.В., Старцева Ж.А., Гольдберг В.Е., Попова Н.О. Десятилетние результаты комплексного лечения больных первичным местнораспространенным раком молочной железы // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2023. Т. 68, № 5. С. 71–76. EDN: KWHBTU doi: 10.33266/1024-6177-2023-68-5-71-76
2. Струнkin Д.Н., Конончук В.В., Гуляева Л.Ф., и др. Современные аспекты систематики, диагностики и лечения рака молочной железы // Опухоли женской репродуктивной системы. 2022. Т. 18, № 1. С. 25–39. EDN: ZITHFA doi: 10.17650/1994-4098-2022-18-1-25-39
3. Балаева Д.А., Романов Д.С., Трофимова О.П., и др. Лучевые повреждения органов и тканей: механизмы возникновения, методы их профилактики и лечения // Современная онкология. 2023. Т. 25, № 4. С. 504–512. EDN: PDUTYF doi: 10.26442/18151434.2023.4.202572
4. Балаева Д.А., Романов Д.С. Курация пациентов с острым лучевым дерматитом. Современные тенденции и клинические примеры // Медицинский совет. 2022. Т. 16, № 22. С. 103–110. EDN: NYSCFO doi: 10.21518/2079-701X-2022-16-22-103-110
5. Singh M., Alavi A., Wong R., Akita S. Radiodermatitis: A review of our current understanding // Am J Clin Dermatol. 2016. Vol. 17, N 3. P. 277–292. EDN: YDRAVW doi: 10.1007/s40257-016-0186-4
6. Plaza D., Baic A., Lange B., et al. Correlation between isotherms and isodoses in breast cancer radiotherapy — First study // Int J Environ Res Public Health. 2021. Vol. 18, N 2. P. 619. doi: 10.3390/ijerph18020619
7. Евстигнеева И.С., Козырева В.О., Герасименко М.Ю. Опыт применения низкотемпературной плазмы в терапии лучевых реакций // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2021. Т. 20, № 6. С. 559–566. EDN: AHSCCW doi: 10.17816/rjpb108081
8. Акишев Ю.С. Низкотемпературная плазма при атмосферном давлении и ее возможности для приложений // Известия высших учебных заведений. Серия «Химия и химическая технология». 2019. Т. 62, № 8. С. 26–60. EDN: OEUOGV doi: 10.6060/ivkkt.20196208.5908
9. Короткий В.Н. Возможности применения холодной атмосферной плазмы в онкологии (обзор литературы) // Сибирский онкологический журнал. 2018. Т. 17, № 1. С. 72–81. EDN: YQNNNU doi: 10.21294/1814-4861-2018-17-1-72-81
10. Грушина Т.И., Жаворонкова В.В., Ткаченко Г.А., и др. Пособие для врачей о реабилитации больных раком молочной железы // Современная онкология. 2020. Т. 22, № 3. С. 3–34. EDN: AMTYTP doi: 10.26442/18151434.2020.3.200404
11. Wang B., Wei J., Meng L., et al. Advances in pathogenic mechanisms and management of radiation-induced fibrosis // Biomed Pharmacother. 2020. Vol. 121. P. 109560. EDN: DWFISV doi: 10.1016/j.biopha.2019.109560
12. Ma L., Chen Y., Gong Q., et al. Cold atmospheric plasma alleviates radiation-induced skin injury by suppressing inflammation and promoting repair // Free Radic Biol Med. 2023. N 204. P. 184–194. EDN: PAOKYD doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2023.05.002
13. Hartwig S., Doll C., Voss J.O., et al. Treatment of wound healing disorders of radial forearm free flap donor sites using cold atmospheric plasma: A proof of concept // J Oral Maxillofacial Surg. 2017. Vol. 75, N 2. P. 429–435. doi: 10.1016/j.joms.2016.08.011
14. Lin A., Stapelmann K., Bogaerts A. Advances in plasma oncology toward clinical translation // Cancers. 2020. Vol. 12, N 11. P. 32–83. EDN: OPIETN doi: 10.3390/cancers12113283
15. Li X., Rui X., Li D., et al. Plasma oncology: Adjuvant therapy for head and neck cancer using cold atmospheric plasma // Front Oncol. 2022. Vol. 29, N 12. P. 994172. EDN: JMEUID doi: 10.3389/fonc.2022.994172
16. Dejonckheere C.S., Torres-Crigna A., Layer J.P., et al. Non-invasive physical plasma for preventing radiation dermatitis in breast cancer: A first-in-human feasibility study // Pharmaceutics. 2022. Vol. 14, N 9. P. 17–67. EDN: MHPUEP doi: 10.3390/pharmaceutics14091767

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при подготовке рукописи.

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This publication was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The author's declare that they have no competing interests.

REFERENCES

1. Velikaya VV, Startseva ZA, Goldberg VE, Popova NO. Ten-year results of complex treatment of patients with primary local advanced breast cancer. *Med Radiol Radiat Safety = Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost.* 2023;68(5):71–76. EDN: KWHBTU doi: 10.33266/1024-6177-2023-68-5-71-76
2. Strunkin DN, Kononchuk VV, Gulyaeva LF, et al. Current aspects of systematics, diagnosis and treatment of breast cancer. *Tumors Female Reproductive Syst.* 2022;18(1):25–39. EDN: ZITHFA doi: 10.17650/1994-4098-2022-18-1-25-39
3. Balaeva DA, Romanov DS, Trofimova OP, et al. Radiation injuries of organs and tissues: mechanisms of occurrence, methods of prevention and treatment: A review. *Sovremennaya oncologiya = J Modern Oncol.* 2023;25(4):504–512. EDN: PDUTYF doi: 10.26442/18151434.2023.4.202572
4. Balaeva DA, Romanov DS. Management of patients with acute radiation dermatitis. Current trends and clinical examples. *Med Council = Meditsinsky sovet.* 2022;16(22):103–110. EDN: NYSCFO doi: 10.21518/2079-701X-2022-16-22-103-110
5. Singh M, Alavi A, Wong R, Akita S. Radiodermatitis: A review of our current understanding. *Am J Clin Dermatol.* 2016;17(3):277–292. EDN: YDRAVW doi: 10.1007/s40257-016-0186-4
6. Plaza D, Baic A, Lange B, et al. Correlation between isotherms and isodoses in breast cancer radiotherapy — First study. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(2):619. doi: 10.3390/ijerph18020619
7. Evstigneeva IS, Kozyreva VO, Gerasimenko MY. Experience in the use of low-temperature plasma in the therapy of radiation reactions. *Fizioterapiya, bal'neologiya i rehabilitatsiya = Russ J Physical Therapy, Balneotherapy Rehab.* 2021;20(6):559–566. EDN: AHSCCW doi: 10.17816/rjpbr108081
8. Akishev YS. Non-thermal plasma at atmospheric pressure and its opportunities for applications. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Khimiya khimicheskaya tekhnologiya = Russ J Chemistry Chemical Technol.* 2019;62(8):26–60. EDN: OEUOGV doi: 10.6060/ivkkt.20196208.5908
9. Korotky VN. Feasibility of using cold atmospheric plasma in the treatment of cancer patients (literature review). *Sibirskiy onkologicheskii zhurnal = Siberian J Oncol.* 2018;17(1):72–81. EDN: YQNNNU doi: 10.21294/1814-4861-2018-17-1-72-81
10. Grushina TI, Zhavoronkova VV, Tkachenko GA, et al. A guide for doctors on the rehabilitation of breast cancer patients. *J Modern Oncol.* 2020;22(3):3–34. (In Russ.) EDN: AMTYTP doi: 10.26442/18151434.2020.3.200404
11. Wang B, Wei J, Meng L, et al. Advances in pathogenic mechanisms and management of radiation-induced fibrosis. *Biomed Pharmacother.* 2020;121:109560. EDN: DWFISV doi: 10.1016/j.biopha.2019.109560
12. Ma L, Chen Y, Gong Q, et al. Cold atmospheric plasma alleviates radiation-induced skin injury by suppressing inflammation and promoting repair. *Free Radic Biol Med.* 2023;(204):184–194. EDN: PAOKYD doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2023.05.002
13. Hartwig S, Doll C, Voss JO, et al. Treatment of wound healing disorders of radial forearm free flap donor sites using cold atmospheric plasma: A proof of concept. *J Oral Maxillofacial Surg.* 2017;75(2):429–435. doi: 10.1016/j.joms.2016.08.011
14. Lin A, Stapelmann K, Bogaerts A. Advances in plasma oncology toward clinical translation. *Cancers.* 2020;12(11):32–83. EDN: OPIETN doi: 10.3390/cancers12113283
15. Li X, Rui X, Li D, et al. Plasma oncology: Adjuvant therapy for head and neck cancer using cold atmospheric plasma. *Front Oncol.* 2022;29(12):994172. EDN: JMEUID doi: 10.3389/fonc.2022.994172
16. Dejonckheere CS, Torres-Crigna A, Loyer JP, et al. Non-invasive physical plasma for preventing radiation dermatitis in breast cancer: A first-in-human feasibility study. *Pharmaceutics.* 2022;14(9):1767. EDN: MHPUEP doi: 10.3390/pharmaceutics14091767

ОБ АВТОРЕ

Козырева Валерия Олеговна;

адрес: Россия, 125993, Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1;

ORCID: 0000-0002-1103-704X;

eLibrary SPIN: 6936-0576;

e-mail: kvo03@yandex.ru;

AUTHOR'S INFO

Valeriia O. Kozyreva;

address: 2/1 Barrikadnaya street, 125993 Moscow, Russia;

ORCID: 0000-0002-1103-704X;

eLibrary SPIN: 6936-0576;

e-mail: kvo03@yandex.ru;