

# Состояние и перспективы использования низкоэнергетического лазерного излучения ранних лучевых повреждений в лечении больных с опухолями головы и шеи

С.Б. Алиева, И.А. Задеренко, М.В. Черных, Д.И. Федосеенко

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России;  
Россия, 115478 Москва, Каширское шоссе, 24

**Контакты:** Севил Багатуровна Алиева [drsevil@mail.ru](mailto:drsevil@mail.ru)

Низкоэнергетическое лазерное излучение, обладая противовоспалительным, биостимулирующим и обезболивающим эффектами, может быть использовано для профилактики и лечения лучевой эритемы кожи и постлучевого мукозита. Мы проанализировали публикации, посвященные использованию лазерной терапии у пациентов с опухолями головы и шеи, проходящих лучевую и химиолучевую терапию.

На сегодняшний день нет стандартизированных параметров методики использования лазерного излучения с профилактической и лечебной целями при лучевых повреждениях кожи и слизистой оболочки. Необходимо дальнейшее изучение параметров применения низкоэнергетической лазерной терапии как для лечения лучевых осложнений у больных с опухолями головы и шеи, так и для профилактики частоты и выраженности ранних и поздних лучевых повреждений.

**Ключевые слова:** лучевой мукозит, лучевой дерматит, лазерная терапия, мощность дозы

**Для цитирования:** Алиева С.Б., Задеренко И.А., Черных М.В., Федосеенко Д.И. Состояние и перспективы использования низкоэнергетического лазерного излучения ранних лучевых повреждений в лечении больных с опухолями головы и шеи. Поддерживающая терапия в онкологии 2025;2(2):27–33.

DOI: <https://doi.org/10.17650/3034-2473-2025-2-2-27-33>

## Current state and prospects of using low-energy laser radiation for early radiation damage in the treatment of head and neck tumors

Sevil B. Alieva, Igor A. Zaderenko, Marina V. Chernykh, Dmitriy I. Fedoseenko

N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Ministry of Health of Russia; 24 Kashirskoe Shosse, Moscow 115478, Russia

**Contacts:** Sevil Bagaturvna Alieva [drsevil@mail.ru](mailto:drsevil@mail.ru)

Low-energy laser radiation, having anti-inflammatory, biostimulating and analgesic effects, can be used for the prevention and treatment of radiation erythema of the skin and post-radiation mucositis.

We analyzed publications devoted to the use of laser therapy in patients with head and neck tumors undergoing radiation and chemoradiation therapy.

To date, there are no standardized parameters for the technique of using laser radiation for preventive and therapeutic purposes in case of radiation damage to the skin and mucous membrane. All this requires further study of the parameters of using low-energy laser therapy, both for the treatment of radiation complications in patients with head and neck tumors, and for the prevention of the frequency and severity of early and late radiation injuries.

**Keywords:** radiation mucositis, radiation dermatitis, laser therapy, dose rate

**For citation:** Alieva S.B., Zaderenko I.A., Chernykh M.V., Fedoseenko D.I. Current state and prospects of using low-energy laser radiation for early radiation damage in the treatment of head and neck tumors. Podderzhivayushchaya terapiya v onkologii = Supportive Therapy in Oncology 2025;2(2):27–33. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.17650/3034-2473-2025-2-2-27-33>

## Введение

Слово «лазер» (laser) возникло как аббревиатура, состоящая из 5 начальных букв английских слов light amplification by stimulated emission of radiation, что в переводе означает «усиление света с помощью стимулированного излучения» [1]. Первые работы по излучению лазерного (вынужденного) излучения принадлежат выдающимся российским ученым — академикам Н.Г. Басову и А.М. Прохорову, а также американцам А. Schawlow и С. Townes, независимо друг от друга разработавшим систему устройств, которые они называли «мазеры» (1952–1957 гг.) [2, 3].

Клинические исследования биологического действия лазерного излучения на ткани и организм в целом впервые были начаты в Киеве под руководством академика Академии медицинских наук СССР Р.Е. Кавецкого [4]. Начиная с этого периода лазерное излучение широко применяется в клинической практике как противовоспалительное, стимулирующее средство для восстановления гомеостаза. К настоящему времени сконструированы и используются в клинической практике различные варианты квантовых генераторов с разными длиной волны и мощностью дозы излучения. Для лечения больных в основном применяют низкоэнергетические гелий-неоновые генераторы с длиной волны 630 нм и генераторы с инфракрасным излучением с длиной волны 890 нм. Глубина проникновения лазерного излучения в ткани при длине волны 630 нм составляет 15 мм, при длине волны 890 нм — 70 мм.

За рубежом наибольшую известность в области излучения низкоинтенсивных лазеров получили исследования венгерского ученого Е. Mester на изолированных клетках и в эксперименте на животных, который показал отсутствие роста экспериментального рака под влиянием облучения гелий-неоновым лазером, а в дальнейших работах обнаружил биостимулирующий эффект на раны и живые ткани [5].

Согласно имеющимся данным о механизмах действия низкоэнергетических лазеров на биологические структуры, лазерное излучение не обладает противоопухолевым эффектом и под влиянием лазерного облучения в тканях наблюдаются следующие процессы:

- усиление микроциркуляции крови в тканях;
- стимуляция ангиогенеза;
- усиление пролиферативных процессов в тканях;
- стимуляция синтеза коллагена;
- активация Т- и В-клеточного иммунитета;

- активация клеточных элементов мононуклеарных систем;
- активация гуморального и клеточного иммунитета, восстановление нарушенного гомеостаза организма.

Указанные выше свойства низкоэнергетического лазерного излучения, в первую очередь противовоспалительные, могут быть использованы для профилактики и лечения лучевой эритемы кожи и постлучевого мукозита.

Мы бы хотели остановиться на применении лазерного излучения в лечении и профилактике лучевых повреждений при опухолях головы и шеи.

Основными методами лечения местно-распространенного рака области головы и шеи являются комбинированный и химиолучевой. Несмотря на появление усовершенствованной техники подведения дозы облучения к опухоли, прилежащие здоровые органы и ткани неизбежно получают определенную лучевую нагрузку, а добавление химиотерапии влечет за собой суммацию побочных реакций и осложнений от двух одновременно применяемых методов лечения. Это приводит к развитию выраженных лучевых реакций, сопровождающихся нарушением питания, и вынужденным перерывам во время курса лечения, что ухудшает его ближайшие и отдаленные результаты. К наиболее распространенным ранним побочным эффектам, возникающим в ходе лучевой терапии у больных с опухолями головы и шеи, относят мукозит (эпителиит) и лучевой дерматит [6, 7]. По данным большого обзора А. Trotti и соавт., частота возникновения мукозита при конвенциональной лучевой терапии у больных с опухолями головы и шеи достигала 97 %, а при ускоренных вариантах фракционирования увеличивалась до 100 %, при проведении химиолучевой терапии составляла 89 % [8]. В ретроспективном исследовании L.S. Elting и соавт., включившем 204 пациента с раком головы и шеи, которые получали одновременную химиолучевую терапию, мукозит наблюдался у 91 % пациентов, в том числе I степени — у 4 %, II степени — у 21 %, III степени — у 60 % и IV степени — у 6 % [9].

Тяжесть лучевых реакций зависит от общей дозы облучения, дозы за фракцию, общего времени лечения, типа и энергии пучка, площади поверхности кожи, подвергшейся облучению, использования одновременной химиолучевой терапии с таргетной терапией или без нее и индивидуальных факторов риска.

Низкоэнергетическое лазерное излучение путем воздействия в воспалительную фазу и активации

синтеза противовоспалительных соединений способно снизить частоту и выраженность как ранних, так и поздних осложнений лучевой терапии. Тем не менее использование низкоэнергетического лазерного излучения в целях профилактики лучевых повреждений кожи и мукозита при опухолях головы и шеи по-прежнему остается малоизученным. Имеется очень мало публикаций, посвященных клиническому использованию лазерного излучения при опухолях головы и шеи. Даже среди имеющегося минимального объема исследований выводы авторов порой противоречат друг другу, а сопоставить полученный клинический материал практически невозможно из-за различных условий облучения и величин поглощенных доз.

В настоящей работе представлен краткий обзор результатов современных зарубежных исследований по применению лазерной терапии для профилактики и лечения ранних лучевых повреждений кожи и слизистой оболочки у больных раком области головы и шеи.

### Патогенез лучевого мукозита и дерматита

Согласно современному пониманию, патогенез лучевого мукозита носит многофакторный характер, возникновение этого воспалительного состояния предполагает каскад взаимосвязанных изменений в различных тканевых структурах. Воспаление, вызванное образованием избыточных активных форм кислорода, и активация транскрипционного ядерного фактора (NF- $\kappa$ B) являются ключевыми аспектами патогенеза лучевого мукозита [7]. Важная роль принадлежит также микрососудистым повреждениям, образованию провоспалительных цитокинов, взаимодействию хозяина с микробиомом и изменениям внеклеточного матрикса [10]. Кроме того, такие активно применяемые таргетные препараты, как ингибиторы рецептора эпидермального фактора роста (EGFR) и ингибиторы рецептора тирозинкиназы, при проведении одновременной химиолучевой терапии также могут усиливать выраженность явлений лучевого мукозита с развитием акнеформной сыпи на коже.

Патогенез лучевого дерматита обусловлен воздействием на кожу высокоэнергетического физического излучения, которое напрямую повреждает молекулы ДНК эпидермальных клеток человека, эндотелиальных клеток сосудов, клеток Лангерганса, приводя к развитию воспалительного процесса [11]. Индуцированное радиацией образование свободных радикалов вызывает повреждение ДНК и высвобождение воспалительных цитокинов, в основном интерлейкинов 1 и 6 [12]. Этот процесс приводит к развитию эритемы, отека и изъязвления кожи. Поздние изменения, вызванные лучевой терапией и затрагивающие кожу, характеризуются потерей фолликулярных структур, увеличением количества коллагена, повреждением эластичных волокон в дерме и истончением эпидермиса [13]. Считают, что

трансформирующий фактор роста  $\beta$  играет центральную роль в генезе фиброза тканей, обусловленного лучевой терапией. Лучевой дерматит отрицательно влияет на косметический результат и функциональный статус, снижает качество жизни, особенно у пациентов с дерматитом, осложненным вторичной инфекцией [14].

### Обзор результатов современных зарубежных исследований

#### Лучевой дерматит

Лучевой дерматит характеризуется такими явлениями, как эритема, отшелушивание эпителия, язвы, боль и пигментация кожи. Реакции средней и тяжелой степени в виде влажного эпидермита, приводящие в последующем к поздним лучевым повреждениям, таким как фиброз и телеангиоэктазии, развиваются примерно у 36 % пациентов. Несмотря на техническое усовершенствование способов проведения лучевой терапии (например, применение интенсивно-модулированной лучевой терапии), способствующих снижению дозы на нормальные пограничные ткани, лучевой дерматит остается проблемой, которая отрицательно влияет на качество жизни пациента, ухудшает косметический эффект, приводит к вынужденным перерывам в лечении и, соответственно, снижает его эффективность.

Многолетний опыт клинического применения низкоэнергетического лазерного излучения красного и инфракрасного диапазонов спектра (длина волны 630–650 и 800–900 нм) при обработке раневой поверхности после ожогов дал хорошие результаты с точки зрения снижения интенсивности боли и профилактики инфекционных осложнений, что и стало основой для использования этой методики в лечении лучевых дерматитов. Большинство опубликованных работ в основном посвящены использованию лазерного излучения при лечении больных раком молочной железы, а работы, посвященные опухолям головы и шеи, единичны [15].

На сегодняшний день опубликовано лишь несколько клинических исследований применения низкоинтенсивного лазерного излучения у пациентов с опухолями головы и шеи при лучевом дерматите.

В исследовании X. Zhang и соавт. 60 больных с опухолями головы и шеи были рандомизированы на 2 группы по 30 пациентов. Пациенты контрольной и экспериментальной групп получали ежедневный стандартный уход за кожей местными средствами. В экспериментальной группе в дополнение к ежедневному уходу пациентам проводили лазерную терапию в течение 10 мин 2 раза в день на протяжении всего курса лечения. Сравнительную оценку интенсивности болевого синдрома и состояния кожи пациентов в обеих группах осуществляли ежедневно. Применение лазерной терапии привело к существенному снижению интенсивности дерматита — в 60 % случаев отмечались реакции I–II степени,

III степень не была зафиксирована ни у одного больного, в то время как в контрольной группе у 93 % пациентов наблюдалась токсичность I–III степени, причем у 30 % пациентов – реакция кожи III степени [16].

J.H. Park и соавт. провели пилотное исследование с участием 33 пациентов с опухолями головы и шеи. Все пациенты получали стандартный уход за кожей, который включал местное применение увлажняющего крема 2 раза в день. В случае болезненной кожной реакции использовали пенную абсорбирующую самоклеящуюся силиконовую повязку. При бактериальной инфекции применяли местные антибиотики. Всем пациентам проводили лазерную терапию 3 раза в неделю с длиной волны 590–830 нм, мощностью 60 Дж/см<sup>2</sup>, 100 мВт/см<sup>2</sup>. По окончании лучевой терапии примерно у 39 % пациентов наблюдалась кожная реакция II степени, реакции III степени не зафиксировано ни у одного больного [17].

С целью оценки эффективности лечения и качества жизни у пациентов с опухолями головы и шеи при использовании лазерного излучения J. Robijns и соавт. провели исследование, включившее 46 пациентов, которые были распределены на 2 группы [18]. Сеансы лазерной терапии начинали с 1-го дня лучевой терапии и до окончания курса – 2 раза в неделю, 14 сеансов на аппарате ASA Srl (Италия). В контрольной группе лазерную терапию не проводили. Для оценки тяжести кожных реакций использовали 2 разные системы оценок – NCI-CTCAE v4.03 и RISRAS. Результаты оценивали в 1-й день лучевой терапии после суммарной очаговой дозы 40 Гр и в последний день облучения (60–70 Гр). При дозе 40 Гр не было никакой существенной разницы в проявлениях кожной токсичности между контрольной группой и группой лазерной терапии ( $p = 0,57$ ). К концу курса лучевой терапии в контрольной группе частота кожных реакций II степени составила 61 %, III степени – 17 % ( $p = 0,01$ ). Напротив, в группе пациентов, получавших лазерную терапию, дерматит II степени был отмечен всего лишь у 29 % больных, в то время как реакции III степени не было ни у одного больного. Таким образом, у значительно большего числа пациентов контрольной группы (77,8 %) была отмечена токсичность II–III степени по сравнению с группой, получавшей лазерную терапию (28,6 %) ( $p = 0,002$ ). Несмотря на небольшое число пациентов в исследовании, авторы пришли к выводу, что лазерная терапия значительно снижает тяжесть лучевого дерматита.

### Лучевой мукозит

Лучевой мукозит – болезненное и изнурительное состояние, характеризующееся повреждением слизистого барьера, проявляющееся в виде воспаления, эритемы и изъязвления слизистых оболочек, выстилающих пищеварительный тракт. Это одно из наиболее часто встречающихся посттерапевтических осложнений

лучевой и химиолучевой терапии. Частота его составляет ~60 % у пациентов, проходящих лучевую терапию, и 90–100 % – у больных, проходящих химиолучевое лечение. По данным разных авторов, около 19 % больных с мукозитами II–III степени нуждаются в госпитализации и интенсивной поддерживающей терапии из-за тяжести состояния [7]. Все это негативно влияет на качество жизни пациентов, приводит к вынужденным перерывам в лечении из-за вызванного эпителиитом эмоционального и физического стресса. Более того, многие факторы могут усугубить как распространенность, так и тяжесть мукозита, связанного с лечением рака. К ним относят пожилой возраст (>65 лет), плохую гигиену полости рта, гипопункцию слюнных желез, плохую санацию полости рта, алиментарные нарушения и сопутствующие заболевания, такие как диабет.

В литературе представлены данные, убедительно показывающие эффективность лазерного излучения в лечении острого мукозита. Так, H.S. Antunes и соавт. по результатам проспективного рандомизированного исследования III фазы, включившего 94 пациента с плоскоклеточным раком головы и шеи, проходивших курс химиолучевого лечения на основе цисплатина, сообщили о 6-кратном снижении частоты острого мукозита III–IV степени по сравнению с контрольной группой (6,4 % против 40,5 %). Лазерную терапию проводили на аппарате InGaAlP с длиной волны 660 нм, мощностью 100 мВт, 1 Дж, 4 Дж/см<sup>2</sup>. Авторы отметили анальгезирующее действие и лучшую социальную адаптацию в группе лазерной терапии [13].

При сравнении этих данных с результатами работы A. Gouvêa de Lima и соавт. [19], которые были несколько хуже (у 22 % пациентов на фоне применения лазерного излучения развился мукозит III–IV степени), важно отметить, что в исследовании H.S. Antunes и соавт. [13] применялась в 10 раз более высокая мощность и энергия лазерного излучения (100 мВт и 1 Дж против 10 мВт и 0,1 Дж). Аналогично в исследованиях C.G. Carvalho и соавт. [20] и A.P. Gautam и соавт. [21] также использовали низкую мощность излучения, и частота мукозита III степени составила 60 и 29 % соответственно. Таким образом, мощность лазерного излучения имеет решающее влияние на эффективность лазерной терапии.

Вопросы о возможности влияния низкоинтенсивного лазерного излучения на рост или пролиферацию клеток опухоли обсуждаются на протяжении нескольких десятилетий. Еще в 60-е и 70-е годы прошлого столетия были проведены тысячи исследований в десятках стран мира, доказывающих безопасность применения низкоинтенсивного лазерного излучения в комплексном лечении и реабилитации онкологических больных [22–26]. Например, в ретроспективном анализе T.B. Brandão и соавт., включившем данные 152 пациентов с распространенным плоскоклеточным раком полости рта, получавших профилактическое лазерное облучение,

было установлено, что профилактическое использование низкоинтенсивного лазерного излучения не оказывало влияния на результаты лечения первичного рака, возникновение рецидива или вторых опухолей [27]. К сожалению, до сих пор данные литературы по этому вопросу противоречивы. С учетом этих фактов необходимо избегать облучения тканей в области опухоли во время сеанса лазерной терапии. В то же время в единственном исследовании бразильских авторов Н.С. Antunes и соавт. было высказано предположение о радиомодифицирующем действии лазерного излучения при использовании его до начала сеанса лучевой терапии. Были оценены результаты лечения 94 пациентов с раком ротоглотки, носоглотки и гортаноглотки, подвергавшихся традиционной химиолучевой терапии. Лазерную терапию проводили с использованием аппарата InGaAlP с длиной волны 660 нм, мощностью 100 мВт, 1 Дж, 4 Дж/см<sup>2</sup> до начала сеанса лучевой терапии. У пациентов, получавших низкоинтенсивное лазерное излучение, наблюдался статистически значимый лучший полный ответ на лечение (89,1 %) по сравнению с контрольной группой (67,4 %) ( $p = 0,013$ ). У пациентов, подвергшихся лазерной терапии, показатели безрецидивной выживаемости были выше, чем у пациентов контрольной группы (61,7 % против 40,4 %), и имели тенденцию к улучшению общей выживаемости (57,4 % против 40,4 %) [28].

В работе R.G. Soares и соавт. была проанализирована эффективность лазерной терапии с использованием различной длины волны: 1-я группа получала лазерную терапию с использованием длины волны 660 и 808 нм, 2-я группа — только с длиной волны 660 нм. Лечение проводили 2 раза в неделю. Сочетание красного и инфракрасного излучения в более высокой дозе (300 Дж/см<sup>2</sup>) снизило частоту и выраженность мукозита полости рта и необходимость назначения анальгетиков [29].

Периодичность и длительность проведения процедуры также имеют немаловажное значение. Так, на основании результатов исследования, проведенного на животных G.Y. Ng и соавт. [30], было сделано предположение, что увеличение количества сеансов лазерной терапии имеет решающее значение для улучшения восстановления тканей после травмы у животных, что было подтверждено в работе A. Simões и соавт. [31] с участием пациентов с опухолями головы и шеи, когда сеансы лазерной терапии выполняли 3 раза в неделю. Также в рандомизированном исследовании III фазы,

проведенном F. Legouté и соавт., 83 пациента с раком полости рта и орофарингеальной области III–IV стадии получали низкоинтенсивное лазерное излучение ежедневно после сеанса лучевой терапии при наличии мукозита  $\geq$  II степени. Пациенты хорошо переносили лечение, отмечались выраженный анальгезирующий и противовоспалительный эффекты [32].

### Заключение

Ранние и поздние осложнения, вызванные лучевой и химиолучевой терапией у пациентов с опухолями головы и шеи, представляют собой серьезную клиническую проблему. По данным разных авторов, выраженные ранние лучевые реакции являются предиктором поздних лучевых осложнений. Таким образом, профилактическое лечение во время и после курса лучевой и химиолучевой терапии может не только снизить риск развития острых лучевых реакций, но и повлиять на риск возникновения поздних осложнений.

Низкоэнергетическое лазерное излучение — безопасный, эффективный, неинвазивный и недорогой метод лечения и профилактики дерматита и мукозита. Однако анализ данных литературы показывает, что на сегодняшний день нет стандартизированных параметров методики использования лазерного излучения с целью излечения или уменьшения лучевых повреждений нормальных тканей. Одни авторы используют его после окончания лучевой терапии при уже развившихся лучевых повреждениях, другие — в процессе лучевой терапии перед каждым сеансом облучения. На наш взгляд, основой для обеспечения наиболее эффективной методики является строгое и максимально педантичное определение следующих параметров: длина волны, режим работы лазерного источника, мощность, время экспозиции, выбор методики, локализации расположения излучателя (лазерной головки), периодичность проведения процедуры. Все это требует дальнейшего изучения параметров применения низкоэнергетической лазерной терапии как для лечения лучевых осложнений у больных с опухолями головы и шеи, так и для профилактики частоты и выраженности ранних и поздних лучевых повреждений.

Таким образом, низкоинтенсивное лазерное излучение является перспективным и многообещающим методом лечения лучевых повреждений, который требует дополнительного изучения (из-за неоднородности имеющихся данных и отсутствия стандартизированного протокола) с помощью хорошо спланированных и длительных клинических исследований.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Дунаев А.В. Физико-технические основы низкоинтенсивной лазерной терапии. М.: Lambert Academic Publishing, 2012. 286 с. Dunaev A.V. Physico-technical fundamentals of low-intensity laser therapy. Moscow: Lambert Academic Publishing, 2012. 286 p. (In Russ.).
2. Basov N.G., Prokhorov A.M. Application of molecular beams to radiospectroscopic study of rotational molecules spectra. *J Exp Theor Phys* 1955;27:431–8.
3. Schawlow A., Townes C. Infrared and optical masers. *Phys Rev* 1958;112(6):1940–9. DOI: 10.1103/PhysRev.112.1940
4. Применение радиоэлектронных приборов в биологии и медицине. Сб. статей. АН УССР, Институт проблем онкологии. Киев: Nauk. dumka, 1976. 376 с. Application of radio-electronic devices in biology and medicine. Collection of articles. Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, Institute of Problems of Oncology. Kiev: Nauk. dumka, 1976. 376 p. (In Russ.).
5. Mester E., Ludány G., Sellyei M. et al. [Studies on the inhibiting and activating effects of laser beams (In German)]. *Langenbecks Arch Chir* 1968;322:1022–7. DOI: 10.1007/BF02453990
6. Buentzel J., Glatzel M., Frohldi D. et al. Late toxicities due to multimodal treatment of head and neck cancer (HNC). *Radiother Oncol* 2004;73(suppl 1):abst.716. DOI: 10.1016/j.oraloncology.2015.05.002
7. Sonis S.T. A biological approach to mucositis. *J Support Oncol* 2004;2(1):21–32; discussion 35–6.
8. Trotti A., Bellm L.A., Epstein J.B. et al. Mucositis incidence, severity and associated outcomes in patients with head and neck cancer receiving radiotherapy with or without chemotherapy: a systematic literature review. *Radiother Oncol* 2003;66(3):253–62. DOI: 10.1016/s0167-8140(02)00404-8
9. Elting L.S., Keefe D.M., Sonis S.T. et al. Patient-reported measurements of oral mucositis in head and neck cancer patients treated with radiotherapy with or without chemotherapy. *Cancer* 2008;113(10):2704–13. DOI: 10.1002/cncr.23898
10. Russi E.G., Raber-Durlacher J.E., Sonis S.T. Local and systemic pathogenesis and consequences of regimen-induced inflammatory responses in patients with head and neck cancer receiving chemoradiation. *Mediat Inflamm* 2014;2014:518261. DOI: 10.1155/2014/518261
11. Salvo N., Barnes E., van Draanen J. et al. Prophylaxis and management of acute radiation-induced skin reactions: a systematic review of the literature. *Curr Oncol* 2010;17(4):94–112. DOI: 10.3747/co.v17i4.493
12. Hymes S.R., Strom E.A., Fife C. Radiation dermatitis: clinical presentation, pathophysiology, and treatment 2006. *J Am Acad Dermatol* 2006;54(1):28–46. DOI: 10.1016/j.jaad.2005.08.054
13. Antunes H.S., Herchenhorn D., Small I.A. et al. Phase III trial of low-level laser therapy to prevent oral mucositis in head and neck cancer patients treated with concurrent chemoradiation. *Radiother Oncol* 2013;109(2):297–302. DOI: 10.1016/j.radonc.2013.08.010
14. Bernier J., Bonner J., Vermorken J.B. et al. Consensus guidelines for the management of radiation dermatitis and coexisting acne-like rash in patients receiving radiotherapy plus EGFR inhibitors for the treatment of squamous cell carcinoma of the head and neck. *Ann Oncol* 2008;19(1):142–9. DOI: 10.1093/annonc/mdm400
15. Gobbo M., Rico V., Marta G.N. et al. Photobiomodulation therapy for the prevention of acute radiation dermatitis: a systematic review and meta-analysis. *Support Care Cancer* 2023;31(4):227. DOI: 10.1007/s00520-023-07673-y
16. Zhang X., Li H., Li Q. et al. Application of red light phototherapy in the treatment of radioactive dermatitis in patients with head and neck cancer *World J Surg Oncol* 2018;16(1):222. DOI: 10.1186/s12957-018-1522-3
17. Park J.H., Byun H.J., Lee J.H. et al. Feasibility of photobiomodulation therapy for the prevention of radiodermatitis: a single-institution pilot study. *Lasers Med Sci* 2020;35(5):1119–27. DOI: 10.1007/s10103-019-02930-1
18. Robijns J., Lodewijckx J., Claes S. et al. Photobiomodulation therapy for the prevention of acute radiation dermatitis in head and neck cancer patients (DERMISHEAD trial). *Radiother Oncol* 2021;158:268–75. DOI: 10.1016/j.radonc.2021.03.002
19. Gouvêa de Lima A., Villar R.G., Castro G. Jr. et al. Oral mucositis prevention by low-level laser therapy in head and neck cancer patients undergoing concurrent chemoradiotherapy: a phase III randomized study. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2012;82(1):270–5. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2010.10.012
20. Carvalho C.G., Medeiros-Filho J.B., Ferreira M.C. Guide for health professionals addressing oral care for individuals in oncological treatment based on scientific evidence. *Support Care Cancer* 2018;26(8):2651–61. DOI: 10.1007/s00520-018-4111-7
21. Gautam A.P., Fernandes D.J., Vidyasagar M.S., Maiya G.A. Low level helium neon laser therapy for chemoradiotherapy induced oral mucositis in oral cancer patients – a randomized controlled trial. *Oral Oncol* 2012;48(9):893–7. DOI: 10.1016/j.oraloncology.2012.03.008
22. Зырянов Б.Н., Евтушенко В.А., Кицманюк З.Д. Низкоинтенсивная лазерная терапия в онкологии. Томск: Scientific and technical translations, 1998. 335 с. Zyryanov B.N., Yevtushenko V.A., Kitsmanyuk Z.D. Low-intensity laser therapy in oncology. Tomsk: Scientific and technical translations, 1998. 335 p. (In Russ.).
23. Jadaud E., Bensadoun R. Low-level laser therapy: a standard of supportive care for cancer therapy-induced oral mucositis in head and neck cancer patients? *Laser Ther* 2012;21(4):297–303. DOI: 10.5978/islm.12-RE-01
24. Law P.P.W., Cheing G.L.Y., Tsui A.Y.Y. Does transcutaneous electrical nerve stimulation improve the physical performance of people with knee osteoarthritis? *J Clin Rheumatol* 2004;10(6):295–9. DOI: 10.1097/01.rhu.0000147047.77460.b0
25. Santana-Blank L., Rodríguez-Santana E., Santana Rodríguez K.E. Concurrence of emerging developments in photobiomodulation and cancer. *Photomed Laser Surg* 2012;30(11):615–6. DOI: 10.1089/pho.2012.3374
26. Migliorati C., Hewson I., Lalla R.V. et al. Systematic review of laser and other light therapy for the management of oral mucositis in cancer patients. *Supportive Care Cancer* 2013;21(1):333–41. DOI: 10.1007/s00520-012-1605-6
27. Brandão T.B., Morais-Faria K., Ribeiro A.C.P. et al. Locally advanced oral squamous cell carcinoma patients treated with photobiomodulation for prevention of oral mucositis: retrospective outcomes and safety analyses. *Support Care Cancer* 2018;26(7):2417–23. DOI: 10.1007/s00520-018-4046-z
28. Antunes H.S., Herchenhorn D., Small I.A. et al. Long-term survival of a randomized phase III trial of head and neck cancer patients receiving concurrent chemoradiation therapy with or without low-level laser therapy (LLLT) to prevent oral mucositis. *Oral Oncol* 2017;71:11–5. DOI: 10.1016/j.oraloncology.2017.05.018
29. Soares R.G., Farias L.C., da Silva Menezes A.S. et al. Treatment of mucositis with combined 660- and 808-nm-wavelength low-level laser therapy reduced mucositis grade, pain, and use of analgesics: a parallel, single-blind, two-arm controlled study. *Lasers Med Sci* 2018;33(8):1813–9. DOI: 10.1007/s10103-018-2549-y
30. Ng G.Y., Fung D.T., Leung M.C., Guo X. Comparison of single and multiple applications of GaAlAs laser on rat medial collateral ligament repair. *Lasers Surg Med* 2004;34(3):285–9. DOI: 10.1002/lsm.20015

31. Simões A., Eduardo F.P., Luiz A.C. et al. Laser phototherapy as topical prophylaxis against head and neck cancer radiotherapy-induced oral mucositis: comparison between low and high/ low power lasers. *Lasers Surg Med* 2009;41(4):264–70. DOI: 10.1002/lsm.20758

32. Legouté F., Bensadoun R.-J., Seegers V. et al. Low-level laser therapy in treatment of chemoradiotherapy-induced mucositis in head and neck cancer: results of a randomised, triple blind, multicentre phase III trial. *Radiat Oncol* 2019;14(1):83. DOI: 10.1186/s13014-019-1292-2

#### Вклад авторов

С.Б. Алиева: анализ данных, написание текста статьи;

И.А. Задеренко: разработка дизайна исследования;

М.В. Черных, Д.И. Федосеенко: обзор публикаций по теме статьи.

#### Authors' contributions

S.B. Aliyeva: data analysis, article writing;

I.A. Zaderenko: research design development;

M.V. Chernykh, D.I. Fedoseenko: review of publications on the topic of the article.

#### ORCID авторов / ORCID of authors

С.Б. Алиева / S.B. Aliyeva: <https://orcid.org/0000-0002-6835-5567>

И.А. Задеренко / I.A. Zaderenko: <https://orcid.org/0000-0003-0183-4827>

М.В. Черных / M.V. Chernykh: <https://orcid.org/0000-0003-4944-4035>

Д.И. Федосеенко / D.I. Fedoseenko: <https://orcid.org/0000-0001-5231-9927>

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Финансирование.** Работа выполнена без спонсорской поддержки.

**Funding.** The work was performed without external funding.

Статья поступила: 29.04.2025. Принята к публикации: 27.05.2025. Опубликовано онлайн: 01.07.2025.

Article submitted: 29.04.2025. Accepted for publication: 27.05.2025. Published online: 01.07.2025.