



Радиационно-индуцированные кожные реакции у пациентов с первичными кожными лимфомами

Н.В. Ильин¹, Ю.Н. Виноградова¹, Д.В. Заславский², М.И. Зелянина^{✉1}

¹ФГБУ «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А.М. Гранова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия;

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России, Санкт-Петербург

Аннотация

Обзор актуализирует проблему радиационно-индуцированных кожных реакций (РИКР), выделяет высокую частоту РИКР у пациентов с кожными лимфомами, подвергающихся лучевой терапии, и анализирует многочисленные патологические процессы, формирующиеся в коже при воздействии ионизирующего излучения. Обзор систематизирует внешние и внутренние факторы, влияющие на развитие РИКР, сравнивает методы диагностики, рассматривает меры предупреждения и лечения радиационного дерматита, а также описывает механизм действия препаратов для профилактики и лечения РИКР. РИКР остаются значительной проблемой при лучевой терапии, характеризуются высокой частотой, разнообразием клинических проявлений и влиянием на качество жизни пациентов. Рассмотрены механизмы, диагностика, профилактика и лечение РИКР.

Ключевые слова: радиационно-индуцированные кожные реакции, электронная лучевая терапия, тотальное облучение кожи, радиодерматит, Т-клеточные лимфомы кожи

Для цитирования: Ильин Н.В., Виноградова Ю.Н., Заславский Д.В., Зелянина М.И. Радиационно-индуцированные кожные реакции у пациентов с первичными кожными лимфомами. Современная Онкология. 2023;25(2):185–189. DOI: 10.26442/18151434.2023.2.202213

© ООО «КОНСИЛИУМ МЕДИКУМ», 2023 г.

REVIEW

Radiation induced skin reactions in primary cutaneous lymphoma patients: A review

Nikolay V. Ilyin¹, Yulia N. Vinogradova¹, Denis V. Zaslavskiy², Maria I. Zelianina^{✉1}

¹Granov Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies, Saint Petersburg, Russia;

²Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia

Abstract

This review highlights the issue of radiation-induced skin reactions (RISR), emphasizes the high frequency of RISR in patients with cutaneous lymphomas undergoing radiation therapy, and analyzes numerous pathological processes that occur in the skin as a result of ionizing radiation exposure. The review systematically examines external and internal factors influencing the development of RISR, compares diagnostic methods, discusses preventive measures and treatments for radiation dermatitis, and describes the mechanisms of action for drugs used in RISR prophylaxis and treatment. RISR remains a significant problem in radiation therapy, characterized by a high frequency, a wide range of clinical manifestations, and an impact on patients' quality of life. The mechanisms, diagnosis, prevention, and treatment of RISR are considered.

Keywords: radiation-induced skin reaction, radiotherapy, total skin irradiation, radiodermatitis, T-cell lymphomas

For citation: Ilyin NV, Vinogradova YuN, Zaslavskiy DV, Zelianina MI. Radiation induced skin reactions in primary cutaneous lymphoma patients: A review. Journal of Modern Oncology. 2023;25(2):185–189. DOI: 10.26442/18151434.2023.2.202213

Информация об авторах / Information about the authors

[✉]**Зелянина Мария Ивановна** – очный аспирант 1-го года обучения каф. онкологии ФГБУ «РНЦРХТ им. акад. А.М. Гранова». E-mail: m.zelianina@rambler.ru; ORCID: 0000-0002-0172-9763

Ильин Николай Васильевич – д-р мед. наук, проф., гл. науч. сотр. ФГБУ «РНЦРХТ им. акад. А.М. Гранова». E-mail: ilyin_prof@mail.ru; SPIN-код: 2242-2112

Виноградова Юлия Николаевна – д-р мед. наук, гл. науч. сотр., рук. отд. лучевых и комбинированных методов лечения ФГБУ «РНЦРХТ им. акад. А.М. Гранова». E-mail: winogradova68@mail.ru; SPIN-код: 8876-8936

Заславский Денис Владимирович – д-р мед. наук, проф., проф. ФГБОУ ВО СПбГПМУ, член Совета директоров Европейской академии дерматологии и венерологии (EADV). E-mail: venerology@gmail.com; SPIN-код: 5832-9510

[✉]**Maria I. Zelianina** – Graduate Student, Granov Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies. E-mail: m.zelianina@rambler.ru; ORCID: 0000-0002-0172-9763

Nikolay V. Ilyin – D. Sci. (Med.), Prof., Granov Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies. E-mail: ilyin_prof@mail.ru; SPIN code: 2242-2112

Yulia N. Vinogradova – D. Sci. (Med.), Granov Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies. E-mail: winogradova68@mail.ru; SPIN code: 8876-8936

Denis V. Zaslavskiy – D. Sci. (Med.), Prof., Saint Petersburg State Pediatric Medical University. E-mail: venerology@gmail.com; SPIN code: 5832-9510

Электронная лучевая терапия (ЛТ) представляет собой один из наиболее эффективных методов лечения первичных лимфопролиферативных заболеваний кожи. Благодаря проникновению электронов низкой энергии (4–9 МэВ) на относительно небольшую глубину при тотальном облучении кожи возможно преимущественное воздействие на воспалительный инфильтрат в кожном покрове с минимальным воздействием на глубже расположенные ткани. Исследования свидетельствуют о том, что частота полных клинических ответов без последующего рецидивирования основного заболевания после проведения ЛТ в форме монотерапии или в сочетании с химиотерапией превышает 93% [1].

Тем не менее воздействие ионизирующего излучения неизбежно вызывает сопутствующее поражение здоровых тканей, что обуславливает высокую частоту радиационно-индуцированных кожных реакций (РИКР) у пациентов, подвергающихся тотальному облучению кожи. Согласно данным исследования J Wei и соавт., опубликованного в 2019 г., около 90% пациентов, получавших данный метод лечения, отмечали появление стойкой эритемы, а более 30% больных испытывали влажную десквамацию [2].

Острые РИКР обычно развиваются в течение 90 дней после начала ЛТ, и степень тяжести клинических проявлений увеличивается в течение нескольких недель после окончания лечения. Клинически РИКР характеризуются широким спектром симптомов, включая эритему, отек, десквамацию, пигментацию, фиброз и изъязвление кожных слоев.

Особенности клинических проявлений РИКР

Клинические проявления РИКР определяются исходя из степени выраженности процессов на каждом этапе [3] (рис. 1), а те варьируют от минимальных дегенеративных изменений в эпидермальных зародышевых клетках до некроза.

С учетом неоднородности клинических проявлений радиодерматита для стандартизации определения степеней тяжести РИКР используются международные критерии Toxicity criteria of the Radiation Therapy Oncology Group (RTOG), the European Organization for Research and Treatment of Cancer (EORTC) и Национального института рака США (Common Terminology Criteria for Adverse Events v5.0-CTCAE V5.0) [4, 5]:

0 степень – отсутствие признаков поражения кожи.

I степень – слабая эритема или сухое шелушение. Травматизация, индуцированная ионизирующим излучением, на первом этапе проявляется транзитной эритемой, формирующейся в течение 24 ч после начала ЛТ и исчезающей в течение нескольких дней.

II степень – эритема от умеренной до сильно выраженной. Гиперпигментация и влажное шелушение (в основном ограниченное складками) и умеренный отек, формирующиеся в течение 2–4 нед терапии. Субъективно пациентов могут беспокоить боли легкой либо умеренной степени интенсивности.

III степень – влажное шелушение в областях, отличных от складок, кровотечение, вызванное незначительной травмой или истиранием, интенсивный болевой синдром и кож-

ный зуд. Изменения развиваются в течение 3–6 нед от начала терапии, если суммарная доза радиации достигает 20 Гр. При превышении 40 Гр формируется влажная десквамация.

IV степень – некроз кожи или изъязвление дермы, спонтанное кровотечение из пораженного участка. Показана трансплантация кожи.

V степень – летальный исход.

Биохимические особенности формирования РИКР

РИКР обусловлены биохимическими изменениями, возникающими под воздействием ионизирующего излучения. Повреждение тканей происходит двумя путями: прямым и опосредованным. Прямой механизм связан с повреждением ядерной и митохондриальной ДНК клеток, что подавляет их способность к делению и репликации. Опосредованный механизм связан с образованием активных форм кислорода, вызывающих вторичные механизмы повреждения и гибели клеток [6].

Кератиноциты, фибробласты и эндотелиоциты, активно пролиферирующие клетки кожи, особенно уязвимы для излучения. Радиационно-индуцированное повреждение эндотелиальных клеток приводит к ишемическому повреждению и склерозу сосудов, дисфункции фибробластов, вызывает дефектное отложение коллагена и последующий фиброз, а повреждение эпителиальных клеток подавляет образование грануляционной ткани [7, 8].

Ранний воспалительный ответ на воздействие ионизирующего излучения обусловлен каскадом провоспалительных цитокинов, хемокинов, рецепторной тирозинкиназы и молекул адгезии. В результате привлекаются эозинофилы и нейтрофилы, что приводит к формированию порочного круга повреждения тканей и потере эпидермисом барьерных свойств. Гибель клеток вызвана индукцией апоптоза или митотической недостаточности [9].

Гистопатологические особенности РИКР

L. Fajardo (2005 г.) описал гистопатологические изменения кожи, вызываемые ионизирующим излучением, включая:

- 1) ингибирование митоза и некроз клеток эпидермиса и сальных желез;
- 2) дегенеративно-воспалительные изменения сосудистой сети;
- 3) сосудистые реакции, вызывающие эритему и отек;
- 4) изменения желез и волосяных фолликулов, проявляющиеся сухостью и потерей волос;
- 5) десквамацию эпидермиса;
- 6) гиперпигментацию и редкую депигментацию, связанные с активацией меланоцитов и апоптозом соответственно;
- 7) процессы репарации, включая эпителизацию;
- 8) поздние изменения, такие как атрофия, склероз и поздний некроз [10].

Ионизирующее излучение повреждает придатки кожи, такие как потовые и сальные железы, волосяные фолликулы, базальную мембрану. Эти повреждения в свою оче-

Рис. 1. Степени тяжести РИКР и последовательность прогрессирования клинических симптомов.
Fig. 1. The severity of radiation-induced skin reaction (RISR) and the clinical symptoms progression sequence.

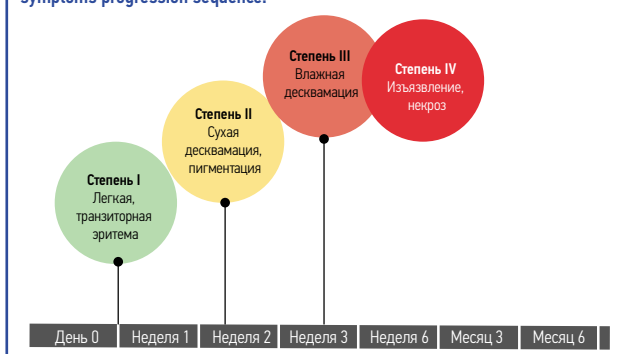
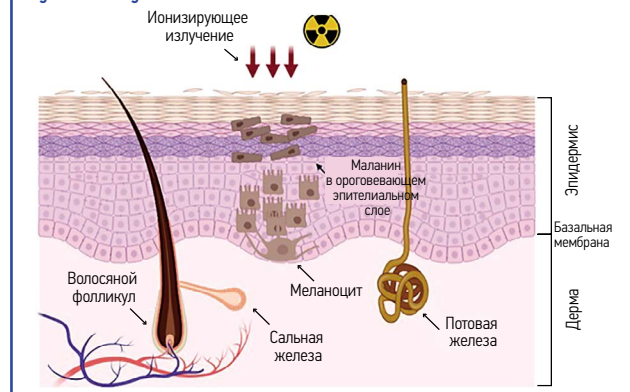


Рис. 2. Патологические механизмы РИКР.
Fig. 2. Pathological mechanisms of RISR.



редь приводят к утолщению эпидермиса, атрофии потовых и сальных желез. Радиация также может активировать меланоциты, тем самым способствуя образованию меланина и гиперпигментации (рис. 2).

Таким образом, в основе формирования РИКР лежат различные патологические процессы: образование хронического воспаления в тканях, повреждение генетического материала клеток, развитие метаболических изменений эндотелия по типу оксидативного стресса, реализация программы клеточного апоптоза [2, 11].

Предикторы и факторы риска развития РИКР

Факторы, влияющие на развитие и тяжесть РИКР, классифицируются как внутренние и внешние [12]. Внешние факторы включают радиационное воздействие (дозу, объем, фракцию облучения и др.) и анатомическую область, подвергающуюся ЛТ. Внутренние факторы делятся на модифицируемые (общее состояние здоровья, курение, алкоголь, питание и др.) и немодифицируемые (пол, фототип, радиочувствительность) [13] (табл. 1).

РИКР относятся к так называемым нестохастическим (дозозависимым) эффектам ионизирующего излучения. Суммарные очаговые дозы, при которых происходит развитие различных клинических проявлений РИКР, зависят от количественных характеристик ионизирующего излучения и фракционирования. Дозы формирования РИКР при одномоментном облучении кожи приведены в табл. 2.

Протоколы гиперфракционирования ЛТ способствуют минимизации частоты и степени тяжести лучевых реакций [14]. А. Mahadevan и соавт. (2021 г.) отметили развитие острых лучевых реакций при различных суммарных очаговых дозах излучения [15]. Лучевые реакции могут быть усилены химиотерапевтическими препаратами, поэтому лучевые методы обычно не применяются до завершения курса химиотерапии. Исследование SECRAV (2020 г.) показало повышенную частоту развития РИКР при синхронном проведении методик по сравнению с асинхронной группой (24 и 15% соответственно; $p < 0,0001$) [16].

У 6% пациентов после ионизирующего излучения и последующего введения химиотерапевтических препаратов развивается «радиационный отзв» – острая воспалительная реакция, ограниченная областью предыдущего облучения. Клинические проявления включают макулопапулезные высыпания, сухую десквамацию, зуд, отек и изъязвление пораженных участков. Реакции лекарственно специфичны и возникают через недели или месяцы после радиационного излучения и введения химиопрепаратов. «Радиационный отзв» чаще ассоциирован с традиционными химиотерапевтическими препаратами, однако отмечены случаи, связанные с применением ингибиторов EGFR, ингибиторов BRAF-тирозинкиназы и др. [17, 18].

Прогресс радиационной онкологии позволил сократить побочные эффекты ЛТ, в частности за счет использования мегавольтных линейных ускорителей, обеспечивающих сфокусированную эмиссию более точно откалиброванного излучения [19]. Изучение роли личностных характеристик и генетических факторов в развитии РИКР становится актуальным для индивидуализации терапевтического алгоритма [20].

Ряд исследований посвящен корреляциям между личностными характеристиками пациентов и степенью выраженности кожной реакции на ионизирующее излучение. Результаты С. Hamilton и соавт. (1996 г.) свидетельствуют о влиянии пола, возраста, сопутствующих патологий и инсоляции на ранние кожные реакции [21]. R. Abdlaty и соавт. предполагают, что воспалительная реакция в радиационном очаге не пропорциональна дозе излучения, учитывая факторы, такие как возраст, пол и ультрафиолетовое повреждение [22].

Метаанализ 2019 г. определил корреляционную связь между личностными факторами пациента и риском развития РИКР [23]. Обстоятельства, такие как курение, инфекции и дефицит питания, также влияют на степень индивидуального риска формирования радиационных кожных реакций и ухудшают прогноз течения РИКР.

Таблица 1. Структура предикторов формирования РИКР
Table 1. The predictors structure of RISR formation

Факторы радиационного воздействия	Генетические факторы	Индивидуальные факторы макроорганизма	РИКР
Вид излучения Доза Фракционирование Радиосенсибилизаторы Область воздействия Время воздействия	Пол Фототип Наследственные онкологические заболевания	Возраст Коморбидные состояния Лекарственные препараты Химиопрепараты Питание Курение/алкоголь Инсоляция	Эритема Сухая десквамация Влажная десквамация Отек Некроз Боль Зуд

Таблица 2. Дозозависимые РИКР
Table 2. Dose-dependent RISR

Клинические проявления	Доза облучения, Гр	Срок формирования
Транзиторная эритема	2	Несколько часов
Слабовыраженная эритема, потеря волос	6–10	7–10 дней
Выраженная эритема и гиперпигментация	12–20	2–3 нед
Сухая десквамация	20–25	3–4 нед
Влажная десквамация	30–40	4 нед и более
Изъязвление и некроз	>40	6 нед и более

Генетические факторы играют важную роль в прогнозировании реакций клеток на ЛТ и риске развития осложнений [24]. Идентификация биомаркеров радиочувствительности и геномных сигнатур способствует созданию прогностических тестов для определения риска неблагоприятных последствий радиационного лечения рака [25]. Состояния, связанные с мутациями в механизмах репарации ДНК, такие как синдром Луи-Бар, анемия Фанкони, синдром Блума и пигментная ксеродермия, предрасполагают к высокому риску РИКР [26]. Исследования генетических полиморфизмов в генах репарации ДНК и реакции на окислительный стресс показали корреляцию с более высоким риском острых кожных реакций после ЛТ, хотя данные ограничены и противоречивы.

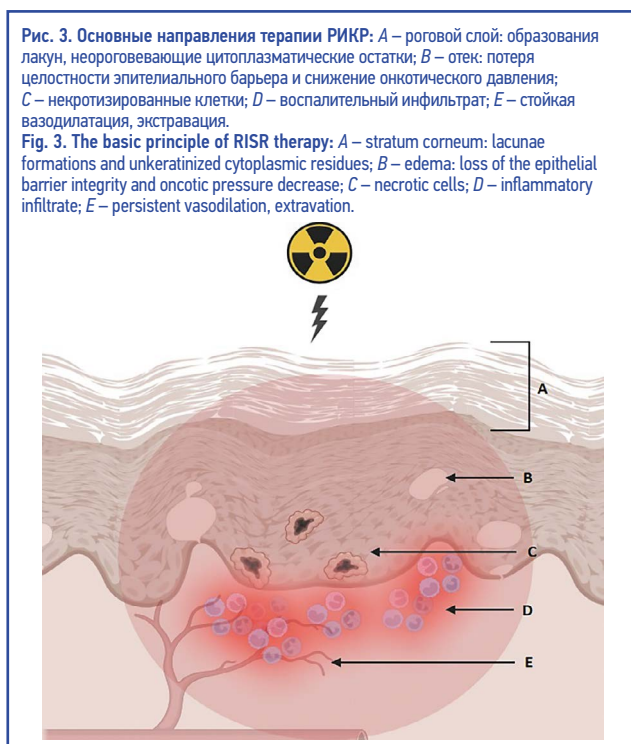
Прогнозирование развития лучевого дерматита и степени выраженности кожных реакций является актуальной задачей, но универсального метода оценки причинно-следственных связей развития РИКР пока не существует, особенно для пациентов с лимфомами кожи. Верификация степени тяжести радиодерматита возможна с использованием патоморфологических паттернов, выявляемых на различных стадиях формирования поражения у пациентов, получающих тотальное облучение кожи.

Диагностика РИКР

Диагностика РИКР основана на оценке эритемы с использованием оптических и неоптических методов. Визуальный осмотр, хотя субъективен, является «золотым стандартом» и часто используется в клинической практике [27]. Цветовые шкалы (шкала Тейлора, система Манселла) способствуют стандартизации оценки интенсивности оттенков [28].

Объективные методы, такие как спектроскопия диффузного отражения и цифровая фотография, используются для количественного определения выраженности эритемы [22]. Трехмодульные колориметры и ручные дерматоспектрометры облегчают анализ, хотя имеют ограничения, такие как требование прямого контакта с кожей и небольшая точность передачи спектральных различий цветовых диапазонов.

Микроскопическая визуализация повышает точность оценки воспалительных изменений, но является инвазивным методом [29]. Дерматоскопия и конфокальная сканирующая лазерная микроскопия представляют альтернативу, позволяя изучать детальную структуру кожи без биопсии.



Методы, такие как оптическая когерентная томография, ультразвуковое исследование и магнитно-резонансная томография, использовались для измерения диэлектрической проницаемости тканей и оценки степени тяжести эритемы [30–32]. Однако они не получили широкого распространения в клинической практике из-за большого размера оборудования, высокой стоимости и неудобства использования.

Гиперспектральная визуализация является перспективным альтернативным методом оптической визуализации, позволяющим собирать спектральные и пространственные данные об объекте наблюдения [33]. Этот метод количественно определяет изменение цвета кожи на основе содержания хромофоров (окси- и дезоксигемоглобина) в тканях и оценивает временную эволюцию кожного дерматита в реальных клинических условиях [34]. Разработка эффективной, портативной и удобной системы гиперспектральной визуализации для повседневной клинической практики остается актуальной задачей.

Профилактика и лечение РИКР

Профилактика РИКР включает минимизацию внешних раздражителей, соблюдение гигиены и предупреждение вторично-инфицирования. Универсальных алгоритмов и терапевтических стратегий для профилактики РИКР пока нет. Несколько рандомизированных контролируемых исследований оценивали эффективность различных методик, таких как комбинация протеолитических ферментов [35], препараты цинка [36], силиконовые пленкообразователи [37]. Однако другие препараты, такие как алоэ вера, Троламин, сукральфат и гиалуроновая кислота, не показали статистически значимых результатов в профилактике лучевого дерматита [38–41]. Большинство методик не нашли широкого применения в клинической практике.

Эффективность топических глюкокортикостероидов (ГКС) в профилактике лучевого дерматита неоднозначна. Некоторые исследования не выявили значимой разницы между топическими ГКС и плацебо [42], в то время как другие показали их эффективность. В двух рандомизированных исследованиях использование 0,1% метилпреднизолона и 0,1% бетаметазона оказалось более эффективным, чем смягчающие средства с декспантенолом [43, 44]. В связи с небольшими выборками и не полностью изученным механизмом действия ГКС результаты таких исследований не категоричны. Тем не менее топические ГКС могут быть использованы в качестве препаратов 1-й линии профилактики РИКР.

Лечение развившихся РИКР включает активную терапию местными и системными препаратами для купирования эритемы, десквамации и изъязвления кожи. Цели терапии на разных стадиях РИКР: при сухом шелушении – защита эпидермиса и сохранение целостности кожи; при влажном шелушении – защита стромы, поддержание влажной среды для репаративного процесса и снижение риска инфекции. При I степени лучевого дерматита применяются неспецифическое лечение и увлажняющие средства, при II и III степенях – гидрогелевые и гидроколлоидные повязки. Крупных рандомизированных исследований, подтверждающих эффективность этих методов, не проводилось. IV степень тяжести требует междисциплинарного подхода и хирургической обработки некротизированных тканей.

Лечебная тактика определяется главным образом тяжестью повреждения кожи (рис. 3).

Стандартами медицинской помощи больным радиационным лучевым дерматитом, разработанными ФМБА в 2015 г., предусмотрено использование лекарственных препаратов следующих групп [45].

1. Для РИКР легкой (I) степени тяжести – Лиоксазин-гель и Пантенолспрей местно, антигистаминные средства перорально. Для обезболивания – нестероидные противовоспалительные препараты.

2. Для РИКР средней, тяжелой и крайне тяжелой (II–IV) степеней тяжести с целью обезболивания применяются нестероидные противовоспалительные препараты, наркотические анальгетики, местные блокады.

3. В период до образования эрозий и язв с целью уменьшения выраженности воспалительной реакции применяют Лиоксазин-гель и Пантенолспрей местно, а ингибиторы протеаз и антигистаминные препараты – внутрь и парентерально. Также используются антибиотики широкого спектра действия (или в соответствии с чувствительностью высеянной микрофлоры) внутрь и парентерально, пентоксифиллин внутривенно капельно, антисептические растворы для наружного применения, Химопсин местно для очищения от фибриновых наложений, Метилурациловая мазь местно и Актовегин (крем и гель) местно для стимуляции регенерации.

Заключение

Формирование острых РИКР остается актуальной проблемой современной радиотерапии, требующей мультидисциплинарного подхода к их профилактике, ранней диагностики и лечению. Выработка алгоритма лечения РИКР повысит показатели клинической эффективности ЛТ и существенно улучшит качество жизни пациентов с первичными кожными лимфомами, получающих тотальное облучение кожи электронами.

Раскрытие интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Disclosure of interest. The authors declare that they have no competing interests.

Вклад авторов. Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. Все авторы в равной степени участвовали в подготовке публикации: разработка концепции статьи, получение и анализ фактических данных, написание и редактирование текста статьи, проверка и утверждение текста статьи.

Authors' contribution. The authors declare the compliance of their authorship according to the international ICMJE criteria. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Авторы декларируют отсутствие внешнего финансирования для проведения исследования и публикации статьи.

Funding source. The authors declare that there is no external funding for the exploration and analysis work.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- O'Malley JT, de Masson A, Lowry EL, et al. Radiotherapy eradicates malignant T cells and is associated with improved survival in early-stage mycosis fungoides. *Clin Cancer Res*. 2020;26(2):408-18.
- Wei J, Meng L, Hou X, et al. Radiation-induced skin reactions: mechanism and treatment. *Cancer Manag Res*. 2019;11:167-77.
- Chan RJ, Blades R, Jones L, et al. A single-blind, randomised controlled trial of StrataXRT® – A silicone-based film-forming gel dressing for prophylaxis and management of radiation dermatitis in patients with head and neck cancer. *Radiother Oncol*. 2019;139:72-8.
- Hoeller U, Tribius S, Kuhlmeier A, et al. Increasing the rate of late toxicity by changing the score? A comparison of RTOG/EORTC and LENT/SOMA scores. *Int J Radiation Oncol Biol Phys*. 2003;55(4):1013-18.
- Cancer Institute N. Common terminology criteria for adverse events (CTCAE) common terminology criteria for adverse events (CTCAE) v5.0. 2017. Available at: https://ctep.cancer.gov/protocoldevelopment/electronic_applications/docs/ctcae_v5_quick_reference_5x7.pdf. Accessed: 01.06.2023.
- Qi Z, Wissman RD. *Radiologic Physics: The Essentials*. Wolters Kluwer Health, Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore and Philadelphia, 2019.
- Yan W, Lu X, Huang R, et al. Correlated factors of acute oral mucosal and skin reaction induced by radiotherapy in hypopharyngeal carcinoma. *Research Square*. 2020. DOI:10.21203/rs.3.rs-20081/v1
- Hegedus F, Mathew LM, Schwartz RA. Radiation dermatitis: an overview. *Int J Dermatol*. 2017;56(9):909-14.
- Mapuskar KA, Flippo KH, Schoenfeld JD, et al. Mitochondrial superoxide increases age-associated susceptibility of human dermal fibroblasts to radiation and chemotherapy. *Cancer Res*. 2017;77(18):5054-67.
- Fajardo LF. The pathology of ionizing radiation as defined by morphologic patterns. *Acta Oncologica*. 2005;44(1):13-22.
- Bray FN, Simmons BJ, Wolfson AH, Nouri K. Acute and chronic cutaneous reactions to ionizing radiation therapy. *Dermatol Ther (Heidelb)*. 2016;6(2):185-206.
- Yang X, Ren H, Guo X, et al. Radiation-induced skin injury: pathogenesis, treatment, and management. *Aging (Albany NY)*. 2020;12(22):23379-93.
- Doi H, Matsumoto S, Odawara S, et al. Pravastatin reduces radiation-induced damage in normal tissues. *Exp Ther Med*. 2017;13(5):1765-72.
- Jacobson LK, Johnson MB, Dedhia RD, et al. Impaired wound healing after radiation therapy: A systematic review of pathogenesis and treatment. *JPRAS Open*. 2017;13:92-105.
- Mahadevan A, Moningi S, Grimm J, et al. Maximizing tumor control and limiting complications with stereotactic body radiation therapy for pancreatic cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2021;110(1):206-16.
- Fernando IN, Bowden SJ, Herring K, et al. Synchronous versus sequential chemoradiotherapy in patients with early stage breast cancer (SECRAB): A randomised, phase III, trial. *Radiother Oncol*. 2020;142:52-61.
- DiCarlo AL, Bandremer AC, Hollingsworth BA, et al. Cutaneous radiation injuries: models, assessment and treatments. *Radiat Res*. 2020;194(3):315-44.
- Quan Y, Sun M, Tan Z, et al. Organ-on-a-chip: the next generation platform for risk assessment of radiobiology. *RSC Advances*. 2020;10(65):39521-30.
- Bentzen SM, Overgaard J. Patient-to-patient variability in the expression of radiation-induced normal tissue injury. *Semin Radiat Oncol*. 1994;4(2):68-80.
- Kerns SL, Chuang KH, Hall W, et al. Radiation biology and oncology in the genomic era. *Br J Radiol*. 2018;91(1091):20170949.
- Hamilton CS, Denham JW, O'Brien M, et al. Underprediction of human skin erythema at low doses per fraction by the linear quadratic model. *Radiother Oncol*. 1996;40(1):23-30.
- Abdlaty R, Hayward J, Farrell T, et al. Skin erythema and pigmentation: a review of optical assessment techniques. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2021;33:102127.
- Huang R, Zhou Y, Hu S, et al. Radiotherapy exposure in cancer patients and subsequent risk of stroke: a systematic review and meta-analysis. *Front Neurol*. 2019;10:233.
- Vinnikov VA, Rubleva TV. Predictors of radiation-induced complications in radiation oncology based on cell survival tests after ex vivo exposure: literature review. *Ukrainian Journal of Radiology and Oncology*. 2021;29(1):89-118.
- Habash M, Bohorquez LC, Kyriakou E, et al. Clinical and functional assays of radiosensitivity and radiation-induced second cancer. *Cancers (Basel)*. 2017;9(11):147.
- Kawamura H, Kubo N, Sato H, et al. Quality of life in prostate cancer patients receiving particle radiotherapy: A review of the literature. *Int J Urol*. 2020;27(1):24-9.
- Held E, Lorentzen H, Agner T, et al. Comparison between visual score and erythema index (DermaSpectrometer) in evaluation of allergic patch tests. *Skin Res Technol*. 1998;4(4):188-91.
- Diffey BL, Farr PM. Quantitative aspects of ultraviolet erythema. *Clin Phys Physiol Meas*. 1991;12(4):311-25.
- Treesirichod A, Chansakulporn S, Wattanapan P. Correlation between skin color evaluation by skin color scale chart and narrowband reflectance spectrophotometer. *Indian J Dermatol*. 2014;59(4):339-42.
- Lomax ME, Folkes LK, O'Neill P. Biological consequences of radiation-induced DNA damage: relevance to radiotherapy. *Clin Oncol*. 2013;25(10):578-85.
- Lee JB. Commentary: Instrumentation in dermatology. *Clinics in Dermatology*. 2021;39(4):553-4.
- Pazdrowski J, Dańczak-Pazdrowska A, Polańska A, et al. An ultrasonographic monitoring of skin condition in patients receiving radiotherapy for head and neck cancers. *Skin Res Technol*. 2019;25(6):857-61.
- Monnier J, Tognetti L, Miyamoto M, et al. In vivo characterization of healthy human skin with a novel, non-invasive imaging technique: line-field confocal optical coherence tomography. *J Eur Acad Dermatol Venereol*. 2020;34(12):2914-21.
- Abdlaty R, Doerwald-Munoz L, Madooei A, et al. Hyperspectral imaging and classification for grading skin erythema. *Front Phys*. 2018;6:72. DOI:10.3389/fphy.2018.00072
- Gujral MS, Patnaik PM, Kaul R, et al. Efficacy of hydrolytic enzymes in preventing radiation therapy-induced side effects in patients with head and neck cancers. *Cancer Chemother Pharmacol*. 2001;47 Suppl.:S23-8.
- Lin LC, Que J, Lin LK, Lin FC. Zinc supplementation to improve mucositis and dermatitis in patients after radiotherapy for head-and-neck cancers: a double-blind, randomized study. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2006;65(3):745-50.
- Blades R. A cost-effectiveness analysis of a silicone film-forming gel versus 10% glycerine in patients with head and neck cancer. Queensland University of Technology, 2020.
- Ryan Wolf J, Gewandter JS, Bautista J, et al. Utility of topical agents for radiation dermatitis and pain: a randomized clinical trial. *Support Care Cancer*. 2020;28(7):3303-11.
- Menêses AG, Reis PEDD, Guerra ENS, et al. Use of trolamine to prevent and treat acute radiation dermatitis: a systematic review and meta-analysis. *Rev Lat Am Enfermagem*. 2018;26:e2929.
- Ferreira EB, Ciol MA, de Meneses AG, et al. Chamomile gel versus urea cream to prevent acute radiation dermatitis in head and neck cancer patients: Results from a preliminary clinical trial. *Integr Cancer Ther*. 2020;19:1534735420962174.
- Ahmadloo N, Kadkhodaei B, Omidvari Sh, et al. Lack of prophylactic effects of Aloe Vera gel on radiation induced dermatitis in breast cancer patients. *Asian Pac J Cancer Prev*. 2017;18(4):1139-43.
- Miller RC, Schwartz DJ, Sloan JA, et al. Mometasone furoate effect on acute skin toxicity in breast cancer patients receiving radiotherapy: a phase III double-blind, randomized trial from the North Central Cancer Treatment Group N06C4. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2011;79(5):1460-6.
- Potera ME, Lookingbill DP, Stryker JA. Prophylaxis of radiation dermatitis with a topical cortisone cream. *Radiology*. 1982;143(3):775-7.
- Liao Y, Feng G, Dai T, et al. Randomized, self-controlled, prospective assessment of the efficacy of mometasone furoate local application in reducing acute radiation dermatitis in patients with head and neck squamous cell carcinomas. *Medicine (Baltimore)*. 2019;98(52):e18230.
- Р ФМБА России 2.2.9.84-2015. Организация и проведение психофизиологических обследований работников организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты в области использования атомной энергии, при прохождении работниками медицинских осмотров в медицинских организациях ФМБА России. Методические рекомендации (утв. ФМБА России 29.12.2015) [R FMBA Rossii 2.2.9.84-2015. Organizatsiia i provedenie psikhofiziologicheskikh obsledovaniy rabotnikov organizatsii, ekspluatiruiushchikh osobo radiatsionno opasnye i iaderno opasnye proizvodstva i ob'ekty v oblasti ispol'zovaniia atomnoi energii, pri prokhozhdenii rabotnikami meditsinskikh osmotrov v meditsinskikh organizatsiakh FMBA Rossii. Metodicheskie rekomendatsii (utv. FMBA Rossii 29.12.2015) (in Russian)].

Статья поступила в редакцию /
The article received: 23.11.2022
Статья принята к печати /
The article approved for publication: 02.06.2023



OMNIDOCTOR.RU