

УДК [616.716.8+617.52]-006.6-08:615.849.114-06:616.314

DOI 10.25587/2587-5590-2025-3-16-29

Обзор литературы

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДИСТАНЦИОННОЙ У-ТЕРАПИИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОЙ ОБЛАСТИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЗУБОВ

*В.Г. Галонский¹, М.Е. Казанцев¹, Э.С. Сурдо¹,**Т.В. Казанцева¹, А.Н. Егоров²*¹ФГБОУ ВО Красноярский государственный медицинский университет

имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого,

г. Красноярск, Российская Федерация

²ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»,

г. Якутск, Российская Федерация

*heavenly_lelion@mail.ru

Аннотация

В систематическом обзоре представлены сведения о развитии патологических процессов зубов после лучевой терапии злокачественных новообразований (ЗНО) челюстно-лицевой области (ЧЛО). Для анализа и оценки данных литературных источников использовались материалы ресурсов E-LIBRARY, PubMed, Google Scholar и Elsevier Science Direct. Изучены научные работы, посвящённые вопросам воздействия ионизирующего излучения на состояние зубов после лучевого лечения злокачественных новообразований челюстно-лицевой области. Представленные обобщённые результаты клинических и экспериментальных исследований показывают специфическое влияние дистанционной лучевой терапии ЗНО ЧЛО на особенности проявления патологии зубов, характеризующиеся интенсивным разрушением зубов в ближайшие и отдалённые сроки после лечения. Дистанционная лучевая терапия, являющаяся основным методом лечения ЗНО ЧЛО, способствует возникновению морфологических изменений тканей зубов. Изменения в твёрдых тканях и пульпе зуба имеют непосредственную взаимосвязь с проведением лучевой терапии при ЗНО ЧЛО. На сегодняшний день среди специалистов отсутствует единое мнение о патогенетических механизмах лучевой деструкции тканей зубов и пульпы. Некоторые авторы характеризуют данные постлучевые изменения органов и тканей полости рта как острый множественный кариес зубов, а некоторые исследователи относят данный патологический процесс к некариозным поражениям, которые развиваются после прорезывания зубов. У больных с ЗНО выявляется различный характер поражения твёрдых тканей зубов в зависимости от места приложения лучевого воздействия. После лучевого лечения в области головы и шеи наблюдается некроз эмали и дентина, осложняющийся кариесом и острым быстротекущим кариесом, а после лучевого лечения в области грудной клетки и тазовых органов бывают осложнения в виде острого и острейшего кариеса, а в отдельных клинических случаях – пришеечный некроз эмали зубов. В этой связи проблема изучения патогенеза лучевого повреждения зубов является актуальной для повышения эффективности реабилитации онкологических больных и формирования тактики выполнения комплексной медико-социальной реабилитации пациентов. Проблема состояния зубов после дистанционной у-терапии ЗНО ЧЛО остаётся неизученной в полной мере и требует проведения дальнейших исследований с целью определения тактики диспансерного наблюдения и особенностей применяемых лечебных, профилактических и реабилитационных стоматологических мероприятий.

Ключевые слова: злокачественные новообразования, челюстно-лицевая область, лучевая терапия, морфологические изменения, повреждения тканей зубов, некариозные поражения, воспаления пульпы зубов, электроодонтометрия, диспансеризация, профилактика

Финансирование. Работа выполнена по инициативе авторов без привлечения финансирования.

© Галонский В.Г., Казанцев М.Е., Сурдо Э.С. и др., 2025

© Galonsky VG, Kazantsev ME, Surdo ES et al, 2025

Для цитирования. Галонский В.Г., Казанцев М.Е., Сурдо Э.С., Казанцева Т.В., Егоров А.Н. Современный взгляд на патологию зубов после дистанционной γ -терапии злокачественных новообразований челюстно-лицевой области. *Вестник Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова. Vestnik of North-Eastern Federal University. Серия «Медицинские науки. Medical Sciences»*. 2025. <https://doi.org/10.25587/2587-5590-2025-3-16-29>

Literature review

MODERN ASPECTS OF THE NEGATIVE IMPACT OF REMOTE γ -THERAPY FOR MALIGNANT NEOPLASMS OF THE MAXILLOFACIAL REGION ON THE FORMATION OF PATHOLOGICAL PROCESSES IN TEETH

Vladislav G. Galonsky¹, Maksim E. Kazantsev¹, Elvira S. Surdo¹,

Tamara V. Kazantseva¹, Anton N. Egorov²

¹ Prof. V. F. Voyno-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk, Russian Federation

² M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

*heavenly_legion@mail.ru

Abstract

This systematic review presents data from literature sources on the development of pathological processes in teeth following radiotherapy for malignant neoplasms (MN) of the maxillofacial region (MFR). Materials from E-LIBRARY, PubMed, Google Scholar, and Elsevier Science Direct were used for analysis and evaluation. The sample consists of scientific papers devoted to the effects of ionizing radiation on the condition of teeth after radiation treatment for malignant neoplasms of the maxillofacial region. The generalized results of clinical and experimental studies presented in this review demonstrate the specific influence of remote radiotherapy for MN of the MFR on the characteristics of dental pathology manifestation, both in the short and long term after treatment completion, characterized by intensive tooth decay. Remote radiotherapy, being the main method of treatment for MN of the MFR, contributes to the occurrence of morphological changes in dental tissues. Changes in hard tissues and dental pulp are directly related to radiotherapy for MN of the MFR. However, there is currently no consensus among specialists regarding the pathogenetic mechanisms of radiation-induced destruction of dental tissues and pulp. Some authors characterize these post-radiation changes in the oral cavity as acute multiple caries, while others attribute this pathological process to non-carious lesions that develop after tooth eruption. Furthermore, patients with MN exhibit different patterns of hard dental tissue damage depending on the location of radiation exposure. After radiation treatment in the head and neck region, enamel and dentin necrosis complicated by caries and acute rapidly progressing caries are observed, while after radiation treatment in the chest and pelvic organs, acute and hyperacute caries are observed, and in some clinical cases, cervical enamel necrosis. In this regard, the problem of studying the pathogenesis of radiation-induced tooth damage is relevant for improving the effectiveness of rehabilitation of cancer patients and developing tactics for complex medical and social rehabilitation. The problem of dental condition after remote γ -therapy for MN of the MFR remains understudied and requires further research to determine the tactics of dispensary observation and the specifics of applied therapeutic, preventive, and rehabilitative dental measures.

Keywords: malignant neoplasms, maxillofacial region, radiotherapy, morphological changes, dental tissue damage, non-carious lesions, dental pulp inflammation, electroodontometry, dispensary observation, prevention

Funding. This work was carried out at the initiative of the authors without attracting funding

For citation. Galonsky V.G., Kazantsev M.E., Surdo E.S., Kazantseva T.V., Egorov A.N. Modern view on dental pathology after remote γ -therapy for malignant neoplasms of the maxillofacial region. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Medical Sciences*. 2025. <https://doi.org/10.25587/2587-5590-2025-3-16-29>

Введение

На сегодняшний день одним из ведущих методов лечения злокачественных новообразований в стоматологии является лучевая терапия в сочетании с хирургическим лечением, обуслав-

ливающая увеличение продолжительности и повышение качества жизни пациентов [8, 20, 24, 25, 28, 37]. Проведение рентгено- и химиотерапии ЗНО ЧЛЮ способствует возникновению различных осложнений, связанных с применением лучевого воздействия на органы и ткани полости рта. Одним из частых осложнений лучевой терапии в полости рта является интенсивное разрушение тканей и пульпы зубов [5, 7, 9, 10, 14, 17, 18, 27, 29, 39, 41, 44, 47].

Материалы и методы

Для анализа и оценки данных литературных источников использовались материалы ресурсов E-LIBRARY, PubMed, Google Scholar и Elsevier Science Direct. В выборку попали научные работы, посвящённые вопросам воздействия ионизирующего излучения на состояние зубов после лучевого лечения злокачественных новообразований челюстно-лицевой области.

Результаты и обсуждение

Патогенетическим механизмом химио- и лучевой терапии ЗНО в стоматологии является воздействие ионизирующего излучения на окружающие ткани, которое может сочетаться с нарушением иммунобиологической реактивности организма, выраженными нарушениями метаболического процесса, изменениями состава и свойств смешанной слюны, а также нарушением функциональных состояний органов и систем организма [3, 6, 13, 16, 21, 22, 32, 33, 45, 46]. Проведенный анализ источников характеризует наличие единичных исследований за последние полвека, посвященные профилактике лучевого воздействия на твердые ткани зубов у пациентов с ЗНО ЧЛЮ [1, 2, 15, 23]. Среди исследователей нет единого мнения о патогенетических механизмах лучевого воздействия на твердые ткани зубов [2, 6, 11, 13, 18, 19, 26, 36, 40, 42].

По данным Г.М. Барера и Г.И. Назарова (1965), характер и тяжесть повреждения тканей зубов и пульпы во многом зависит от объема поглощённой дозы при проведении лучевой терапии, где появление множественного кариозного поражения выявляется через 6 мес. или нескольких лет после облучения. У исследуемых больных отмечено множественное поражение зубов, более выраженное на стороне облучения. Предиктором и паттерном развития лучевого кариеса зубов являются появления рецессий корней с развитием гиперестезии различной степени выраженности. Это со временем приводит к появлениям коричневой пигментации, которая при зондировании становится резко болезненной, где отсутствует размягчение твердых тканей зубов и ЭОД особых изменений в пульпе зубе не выявляет, рентгенологические изменения в твердых тканях зубов не выявляются. Дальнейшее развитие «лучевого кариеса» характеризовалось появлением более темной пигментации и поверхностным размягчением обнажённых корней зубов. Болезненность на температурные раздражители становилась менее выраженной и возникала не всегда, электровозбудимость пульпы определялась на силу тока 2-6 мкА, рентгенологических изменений не выявляется. Тяжелая степень поражения твердых тканей зубов часто сопровождается выраженным разрушением твердых тканей, особенно в области шеек зубов, а также выявляются значительные разрушения эмалевой поверхности. У больных отсутствуют болезненные ощущения, а также реакция на электроодонтометрию. В этой стадии нередко наблюдалось безболезненное вскрытие полостей зубов без предшествовавшего острого воспаления пульпы зубов, а также отлом клинических коронок при приеме пищи [5].

Результаты клинического наблюдения Е.В. Боровского и И.Т. Сегень (1973) за 482 больными в сроки до 36 мес. после лучевой терапии позволили выявить прямую зависимость между величиной индекса КПУ, локализацией области облучения и суммарной его дозы. Рост повреждения твердых тканей зубов при облучении области головы и шеи происходил в период между 12 и 24 мес. более интенсивно, а при облучении области таза в более поздние сроки – 18-36 мес. менее интенсивно. Увеличение суммарной дозы облучения приводило к увеличению КПУ в более ранние сроки. Показатель КПУ увеличивался, несмотря на тщательную санацию полости рта. В начале заболевания больные жалуются на тупые или неприятные ощущения в области всех зубов. Спустя 1-2 мес. боли стихали, и только при различных механических раздражени-

ях отмечалась умеренная боль. Возникла повышенная чувствительность шеек зубов. Через 5-6 мес. после облучения области головы и шеи у шеек зубов появлялось большое количество мягкого налёта. При снятии его обнаруживалась меловая полоска эмали вокруг всего зуба. Гладкая вначале поверхность меловой эмали в дальнейшем становилась шероховатой. В дальнейшем наблюдалась пигментация, увеличение участков поражения, что приводило к образованию поверхностной пришеечной полоски, а затем более глубокой, захватывающей эмалево-дентинную границу. Указанные изменения обнаруживались на нижних зубах, особенно резцах и премолярах [7].

По данным Г.М. Барера (1983), на основании клинического изучения состояния полости рта у 310 больных после лучевой терапии обширность и тяжесть поражения зубов обусловлены совокупным воздействием непосредственно лучевой энергии и последующим продолжительным наличием неблагоприятных условий в полости рта, вызванных ионизирующим излучением (гипосаливация, снижение pH ротовой жидкости и ухудшение гигиены полости рта). Особенности клинических проявлений постлучевых поражений зубов характеризуется без изменения размера и анатомической формы коронок зубов, где определяется помутнение поверхности эмали, а также со временем появляются значительное количество микро- и макротрещин. Перкуторно определяется «коробочный» или глухой звук в области исследуемого зуба. От ранее описанных авторами о патологической стираемости зубов отличались более быстрыми и хаотичными стираниями жевательной поверхности и режущих краев зубов. Патологические процессы проявляются в виде размягчённой пигментированной эмалево-поверхности, имеющая многочисленные мелкие и крупные участки ее сколов. При дальнейшем распространении патологического процесса твердых тканей зубов определяются выраженные рецессии десны с последующим формированием и развитием клиновидных дефектов, которые также имеют размягченные стенки. Тем временем такие постлучевые поражения твердых тканей при ЗНО ЧЛЮ значительно нарушают структурную резистентность зубов, что обуславливает быстрое развитие осложнения кариеса зубов виде пульпита и периодонтита [2].

По данным Л.А. Ивановой (1989), патологические процессы в зубочелюстной системе, особенно в твердых тканях зубов и пульпы выявляются часто у пациентов с ЗНО ЧЛЮ в зависимости от места приложения лучевого воздействия и от величины суммарной очаговой дозы облучения. После лучевого лечения в области головы и шеи наблюдается некроз эмали и дентина, осложняющийся кариесом и острым (быстротекущим) кариесом, а после лучевого лечения в области грудной клетки и тазовых органов – острым и острейшим кариесом, в отдельных случаях пришеечным некрозом эмали зубов. Поражаемость зубов патологическим процессом зависит от продолжительности и дозы проведенного γ -лучевого лечения. В первый год после облучения головы и шеи острый и острейший кариес, в отдельных случаях пришеечный некроз эмали зубов составляют $44,5 \pm 2,1$, через 2-3 года – $66,4 \pm 1,7$, через 4-5 лет – $88,6 \pm 1,4$ %, а после облучения грудной клетки и тазовых органов в те же периоды наблюдалось соответственно – в $13,1 \pm 1,3$, $19,2 \pm 1,1$ и $30,6 \pm 2,2$ % случаев. На протяжении всего периода исследования отмечалось достоверное снижение показателей, характеризующих состояние местного иммунитета полости рта, более выраженное у больных с опухолями головы и шеи в первые 6 мес. после лучевой терапии. Динамика постлучевых поражений твердых тканей зубов зависела от исходного состояния неспецифической резистентности организма. При благоприятном его состоянии отмечались меньшая частота, более лёгкие формы и более поздние сроки поражения. При облучении головы и шеи поражаемость зубов при благоприятном исходном состоянии естественной противомикробной резистентности больных была ниже, чем при неблагоприятном, в 1-ый год в 2 раза, во 2-3-ий годы – в 8 раз, через 4-5 лет отличие не определялось. При облучении грудной клетки и тазовых органов в разные периоды исследования эта разница составляла 1,4-1,6 раз [12]. Спустя год после лучевого лечения $44,7 \pm 2,0$ % ранее интактных зубов оказывались поражёнными, спустя 4 года их число достигает значения $96,9 \pm 1,2$ %.

После облучения резко сократилось число полноценных пломб в ранее леченых зубах. Обычно такие пломбы выпадали, а кариозный процесс осложнялся. Характерна поражаемость всех поверхностей зубов с преимущественным охватом пришеечной области. После облучения грудной клетки и тазобедренной области постлучевые поражения в зубочелюстной системе твердых тканей зуба и пульпы развиваются по острому типу (молниеносного) кариеса. У пациентов с поверхностным кариесом в зубах имеется обычный морфологический вид, меловидные пятна локализовались у шеек зубов и были покрыты обильным налётом, после удаления которого обнаруживалась белесоватая или грязно-серая поверхность эмали. Зондирование и препарирование дна и стенок дефекта были безболезненными. При среднем кариесе дефект в эмали был меньше полости в дентине. Края эмали по периферии дефекта были хрупкие и прозрачные. Обращало на себя внимание отсутствие болезненности и податливости тканей дентина при удалении их экскаватором. В ответ на действие холодового раздражителя часто возникала болевая реакция с последствием. Электроодонтометрия пульпы зубов при среднем и глубоком кариесе находилась в диапазоне 10-25 мкА. Изучение клинко-морфологических особенностей патологии зубов после дистанционной лучевой терапии имеет большую значимость для повышения эффективности комплексной стоматологической диспансеризации и реабилитации больных с ЗНО ЧЛЮ. При этом первые годы после лучевой терапии возникало большое количество неосложненных форм кариеса зубов, а в последующем выявляются их осложнения в более выраженной клинической форме [14].

Наиболее чувствительной к воздействию излучения является сосудистая система. По данным В.А. Завьяловой и Л.А. Иванчиковой (1975), выраженные постлучевые изменения выявляются в структурах нервно-сосудистого пучка зуба в исследованных кроликах. При объеме облучения менее 300Р особые изменения пульпы зуба не выявляются, а при общей суммарной дозе до 3000Р интенсивность нарушений резко повышается, сопровождается наличием «светлых» клеток, связанных с повышением проницаемости сосудистых стенок, разрушением цитоплазматической мембраны эндотелиальных клеток, присоединением органоидов в межклеточные слои и просветах эндотелия сосудов. В некоторых клинических случаях выявляется полная деструкция капилляров пульпы зуба [12].

По данным Е.В. Боровского с соавт. (1976), на ранних стадиях развития лучевого поражения зубов в эксперименте не выявляются видимые клинко-морфологические нарушения поверхности эмали, поскольку в данный период начинается манифестация ультрамикроскопических изменений в твёрдых тканях зубов. Указанные изменения сопровождаются процессами деминерализации эмалевого слоя, где определяются выраженные нарушения реминерализирующей функции ротовой жидкости, приводящие к снижению структурной однородности твердых тканей зубов [6].

Экспериментальное исследование влияния суммарной дозы ионизирующего излучения на минеральный обмен в зубах при помощи радиоактивных изотопов P^{32} и Ca^{45} , выполненное А.А. Прохончуковым (1960) на 116 белых крысах, позволило выявить один из существенных патогенетических факторов, обуславливающих возникновение и развитие морфологических изменений твёрдых тканей зубов после лучевой терапии. Морфологические изменения твёрдых тканей зубов в виде меловидных пятен, эрозий, некроза эмали и дентина у облучённых животных, которые подтверждают тяжелые нарушения минерального обмена в тканях зубов, появившиеся задолго до формирования видимых морфологических деструктивных процессов. Проведенные исследования характеризуют наличие двух фаз нарушений минерального обмена в органах и тканях полости рта при хронической лучевой болезни, которые включают фазы активации и угнетения обмена. Фаза активации выявляется при невысоких и средних дозах лучевого воздействия в пределах 1800-2400 г, где происходит активация фосфорно-кальциевого обмена в твёрдых тканях зубов, а более высокие дозы до 3500 г приводят к значительным нарушениям минерального обмена (вторая фаза). Уровень включения P^{32} и Ca^{45} в зубы облучённых

животных снижался до 63,6-61,3 % по сравнению с контрольной группой. Это подтверждалось результатами патогистологических исследований. В молярах облучённых животных, получивших суммарные дозы рентгеновских лучей свыше 2000 г, наблюдалась резорбция солей кальция дентина зуба, а при воздействии более высоких доз (свыше 3000 г) наступали деструктивные изменения в виде некроза дентина зуба [21].

Л.А. Иванова (1989) считает, что при лучевой терапии злокачественных новообразований в области головы и шеи превалирует эффект непосредственного повреждающего действия на ткани зубов и окружающие органы полости рта, а именно на слюнные железы, систему микроциркуляции, факторы местного иммунитета и т.д. Продолжительность этого эффекта относительно короткая и ограничивается временем, в течение которого проводится лучевая терапия, наиболее характерным его выражением является лучевой некроз твёрдых тканей зубов. Однако эффект прямого повреждающего действия существенно зависит от исходного состояния неспецифической резистентности организма. При лучевой терапии злокачественных новообразований, отдалённых от головы и шеи локализации, превалируют явления непрямого действия ионизирующего излучения. Клинически они выражаются в преимущественном развитии кариеса зубов, течение которого решающим образом связано с исходным состоянием естественной резистентности организма и степенью её изменения во время лучевой терапии. Эффекты, связанные опосредованно с нарушением факторов неспецифической резистентности организма, включаются к концу лучевого лечения и продолжают действовать на протяжении длительного времени (не менее 14 лет) после его окончания. Автор отмечает роль местных факторов в патогенезе постлучевых поражений зубов в тесной взаимосвязи с состоянием естественной резистентности организма. Эта связь определяла ухудшение гигиенического состояния полости рта, что в сочетании со снижением уровня противомикробной защиты создавало благоприятный фон для развития и накопления зубного налёта и активизации кариесогенной микрофлоры. Из числа неблагоприятных факторов полости рта особо отмечается снижение количества слюны, изменение её pH и вязкости, ведущих к плохому самоочищению поверхности зубов, а в последующем к образованию обильного зубного налёта, представляющего собой, в основном, углеводно-протеиновый комплекс микробного происхождения. В норме в зубном налёте имеются иммуноглобулины «А» и «G», которые способны в определенной мере инактивировать действие микроорганизмов. При облучении в полости рта отмечается падение уровня этих иммуноглобулинов, что ведёт к усилению колонизации микроорганизмов на поверхности эмали и ещё большему образованию зубного налёта с преобладанием кариесогенных штаммов стрептококков. Сдвиг pH слюны в зубном налёте в кислую сторону способствует прогрессированию процессов деминерализации поверхностного слоя эмали и дальнейшему разрушению её органической матрицы [13].

Патогенетический механизм морфологических изменений в пульпе и дентине зуба связаны с нарушением репаративных процессов после лучевой терапии у пациентов с ЗНО ЧЛЮ, которые сопровождаются активизацией пролиферации клеток в зоне одонтобластов с последующим образованием остеодентина в околопульпарном дентине, за счет которого происходит физиологический процесс замещение приобретенных дефектов твердых тканей зубов [4]. В слое одонтобластов появляются мелкие светлые вакуоли, а в дентине развиваются участки деминерализации в виде расширения его дефекта. Формируются нарушения процессов реминерализации с образованием и активизацией деструктивных процессов в преддентине. Далее указанные изменения приводят к нарушениям кровоснабжения в тканях пульпы с последующим развитием выраженной гиперемии, где предстаз переходит на стаз и тромбообразование, в последующем обуславливающее кровоизлияние в параодонтобластической зоне. В дальнейшем процесс из коронковой пульпы переходит в корневую часть пульпы в виде такого патоморфологического признака, как диффузный склероз окружающих тканей, приводящий к деструктивным изменениям коронковой части и околопульпарного дентина [2, 3].

R. Reed с соавт. (2015) изучал наномеханические свойства эмали и дентина, а также химический состав до и после имитированной лучевой терапии рака полости рта. Срезы из семи некариозных третьих моляров были подвергнуты облучению фракциями 2 Гр. 5 дней в неделю в течение 7 недель, в общей сложности 70 Гр. Наноидентирование проводилось для оценки модуля Юнга, в то время как Рамановская микроспектроскопия использовалась для измерения соотношений белковых и минеральных фракций, соотношений кальций фосфорного молярного индекса. В целом за счет успешного применения аналоговых анализирующих методов для выявления различных последствий лучевой терапии больных с ЗНО ЧЛЮ необходимо совершенствование медико-профилактических и реабилитационных мероприятий [43].

C.C. Madrid с соавт. (2017) проанализировал макроскопические, микроскопические и ультраструктурные аспекты эмали у пациентов с раком головы и шеи, прошедших курс лучевой терапии с общими дозами от 50 до 70 Гр. По результатам эксперимента макроскопических различий между облучёнными и контрольными группами образцов моляров не наблюдалось. Анализ с помощью сканирующей электронной микроскопии выявил более очевидные межпризматические пространства в пришеечной и наружной бугорковой эмали облучённых образцов. Лучевая терапия головы и шеи снизила значения оптической задержки двойного лучепреломления в цервикальной эмали, а межпризматические пространства стали более заметными [38].

L.M.N. Gonçalves с соавт. (2014) оценивали *in vitro* влияние ионизирующего излучения на механические и микроморфологические свойства эмали и дентина постоянных зубов. Микроморфологический анализ эмали показал, что облучение не повлияло на стержневую структуру, но межпризматическая структура стала более выраженной. Микротвёрдость дентина снизилась после кумулятивных доз 10, 20, 30, 50 и 60 Гр ($p < 0,05$) по сравнению с необлучённым дентином в основном в средней части ткани. Микроморфологический анализ выявил трещины в структуре дентина, облитерированные дентинные каналы и фрагментацию коллагеновых волокон после кумулятивных доз 30 и 60 Гр. Морфологические изменения в структурах эмали и дентина усиливались с увеличением дозы облучения с более выраженной межпризматической частью, наличием трещин и облитерированных дентинных каналов, а также прогрессирующей фрагментацией коллагеновых волокон, что доказывает влияние гамма облучения на зубной субстрат и способствует повышению риска радиационного кариеса зубов [34].

K.M. Faria с соавт. (2014) изучали прямое воздействие радиации на микрососудистую систему, иннервацию и внеклеточный матрикс пульпы зуба у пациентов, прошедших лучевую терапию головы и шеи. Было проанализировано двадцать три образца зубной пульпы пациентов, завершивших лучевую терапию головы и шеи. Образцы были гистологически обработаны и окрашены гематоксилином-эозином для морфологической оценки микрососудов, иннервации и внеклеточного матрикса. Затем был проведён иммуногистохимический анализ белков, связанных с васкуляризацией («CD34» и гладкомышечный актин), иннервацией («S-100», «NCAM/CD56» и нейрофиламент) и внеклеточным матриксом (виментин) зубной пульпы. Морфологическое исследование выявило сохранение микрососудистого русла, нервных пучков и компонентов внеклеточного матрикса во всех исследованных образцах. Иммуногистохимический анализ подтвердил морфологические выводы и показал нормальный характер экспрессии исследуемых белков во всех образцах. Следовательно, прямое воздействие лучевой терапии не способно вызвать морфологические изменения в микроциркуляторном русле, иннервации и компонентах внеклеточного матрикса пульпы зуба у пациентов с раком головы и шеи [30].

J. Fonsêca с соавт. (2019) рассматривали вопрос реакции комплекса дентин-пульпа в зубах, пораженных гамма-облучением. Двадцать два кариозных зуба, удалённых у пациентов с раком головы и шеи, были разделены на контрольную (обычный кариес; $n=11$) и облучённую ($n=11$) группы и сформированы по парам по дентальной гомологии, клиническим моделям прогрессирования кариеса в соответствии с индексом послелучевой терапии («PRDI») и микроско-

пической глубиной кариозной инвазии. Гистопатологические характеристики, основанные на морфологической иерархии, клеточных популяциях зубной пульпы, кровеносных сосудах, нервных элементах, компонентах внеклеточного матрикса, воспалении, моделях кариозной инвазии и наличии реакционного дентина, оценивались с помощью оптической световой микроскопии и гистоморфометрии. Полученное значение показателя «PRDI» составили 3,2 для контрольной группы и 3,8 для облучённой группы. Паттерны деминерализации дентина также были схожи между группами, а средняя глубина деминерализации составила 1158,58 и 1056,89 мкм для контрольной и облучённой групп соответственно. Гистопатологические изменения пульпы и паттерны реакции дентина были схожи между группами и различались в зависимости от оценок «PRDI» и глубины кариозных поражений. Реакции дентина и пульпы хорошо сохранились в зубах после облучения. Потенциальная возможность облучения напрямую вызывает вредные эффекты на дентин и пульпу, а ухудшение реакции на прогрессирование кариеса является спорной [31].

S. Kataoka с соавт. (2016) проводил оценку долгосрочного воздействия ионизирующего излучения на жизнеспособность пульпы путём измерения уровней оксигенации пульпы ($\%SpO_2$) у пациентов с анамнезом лучевой терапии внутриротовых и орофарингеальных опухолей через 4-6 лет после лечения. В экспериментальной группе 1 ($n=90$, облучение) и контрольной группе 2 ($n=90$, облучение отсутствует) жизнеспособность пульпы оценивалась путем измерения $\%SpO_2$ с помощью пульсоксиметрии и чувствительности пульпы с помощью холодового термического тестирования. Все передние зубы без истории эндодонтической терапии участников в экспериментальной группе были измерены ($n=693$) независимо от квадранта и облучённой области. В контрольной группе было протестировано равное количество передних зубов. По результатам не было выявлено значительной разницы между уровнями $\%SpO_2$ в группе 1 (92,7 %, где стандартное отклонение составляло $\pm 1,83$) и в группе 2 (92,6 %; стандартное отклонение $\pm 1,80$). Все зубы в группах 1 и 2 показали положительную реакцию на тепловой тест. Протестированные зубы были признаны витальными. Обнаружено, что $\%SpO_2$ пульпы находится в пределах нормы через 4-6 лет после лучевой терапии. Это говорит о том, что лучевая терапия может не иметь долгосрочного влияния на жизнеспособность пульпы, а зарегистрированные краткосрочные изменения микроциркуляции пульпы из-за облучения могут быть временными [35].

T. Weissheimer и соавт. (2022) провели систематический обзор клинических исследований с целью выявления изменений в состоянии пульпы зуба при воздействии лучевой терапией рака головы и шеи, так как экспериментальные исследования по данному вопросу противоречивы. Систематический поиск статей был проведён в базах данных Medline/PubMed, Cochrane Library, Web of Science, Scopus, EMBASE и Open Grey. Этот обзор подтвердил, что радиотерапия при раке головы и шеи вызывает значительные изменения в реакциях зубной пульпы, но не вызывает некроз пульпы. Были подтверждены значительные ограничения в отношении контроля сопутствующих факторов, классификации вмешательств и измерения результатов, что свидетельствует о необходимости проведения хорошо спланированных и более полных исследований состояния пульпы зуба при проведении лучевой терапии [48].

Заключение

Дистанционная лучевая терапия ЗНО ЧЛЮ оказывает специфическое влияние на особенности проявления патологии зубов в ближайшие и отдалённые сроки после лечения. Показано повреждающее действие дистанционной γ -терапии на ткани челюстно-лицевой области, обуславливающее индивидуальные ответные реакции с различными клинико-морфологическими проявлениями патологии, характеризующиеся интенсивным разрушением зубов. Проблема состояния зубов после дистанционной γ -терапии ЗНО ЧЛЮ остаётся неизученной в полной мере и требует дальнейшего рассмотрения с целью определения тактики диспансерного наблюдения и особенностей применяемых лечебных стоматологических мероприятий.

Литература

1. Амадян М.Г., Шагоян А.Г., Хачкаванцян А.С. Применение антиоксидантов при терапии лучевых поражений. *Журн. эксперим. и клинич. медицины*. 1989;29(1):53-57.
2. Бардычев М.С., Цыб А.Ф. Местные лучевые поражения: руководство для врачей. Москва.: Медицина. 1985;240.
3. Барер Г.М., Комнова З.Д. Морфологические изменения в пульпе, дентине и цементе облученных «интактных» зубов. *Стоматология*. 1984;63(3):28-30.
4. Барер Г.М., Комнова З.Д. Патологические изменения пульпы и дентина зубов у экспериментальных животных под влиянием лучистой энергии. *Стоматология*. 1985;64(4):8-11.
5. Барер Г.М., Назаров Г.И. Повреждение зубов после лучевой терапии злокачественных опухолей челюстно-лицевой области. *Стоматология*. 1965;6:23-26.
6. Боровский Е.В., Сазонов Н.И., Лебедева Г.К. Влияние дистанционного гамма-облучения на твёрдые ткани зубов. *Стоматология*. 1976;2:1-4.
7. Боровский Е.В., Сегень И.Т. Состояние твёрдых тканей зубов в зависимости от дозы и локализации облучения. *Стоматология*. 1973;2:16-18.
8. Вajенин А.В. Радиационная онкология: организация, тактика, пути развития. Москва.: РАМН. 2003;236.
9. Втюрин Б.М., Бардычев М.С., Галонцева Г.Ф., Пличко В. И. Клиника, диагностика, профилактика и лечение лучевых повреждений полости рта. *Методические рекомендации Обнинск*. 1983;18.
10. Дмитриева Е.Ф., Нуриева Н.С. Влияние лучевой терапии на твёрдые ткани зубов у пациентов с раком орофарингеальной области. *Dental Magazin*. 2017;1(157):38-40.
11. Дмитриева Е.Ф., Нуриева Н.С. Лучевой кариес: клиническая картина, вопросы лечения. *Проблемы стоматологии*. 2014;2:9-12.
12. Завьялова В.А., Иванчикова Л.А. Ультраструктура капилляров пульпы зуба кролика после локального фракционного гамма облучения нижней челюсти. *Стоматология*. 1975;54(3):74-79.
13. Зырянов, Г.В., Аполлонова Л.А., Богомазов М.Я., Фролова Т.М. Особенности развития экспериментального верхушечного периодонтита на фоне иммунодефицита, вызванного облучением. *Стоматология*. 1992;(2):13-15.
14. Иванова Л.А. Профилактика постлучевых поражений зубов (методические рекомендации). Пермь. 1987;11.
15. Назаров Г.И. Изменение зубов и челюстей после локального гамма-облучения. *Мед. радиология*. 1975;8:75-76.
16. Инжина Е.В., Кочурова Е.В., Сеферян К.Г. Влияние противоопухолевого лечения на стоматологический статус пациентов со злокачественными новообразованиями орофарингеальной зоны. *Кубанский научный медицинский вестник*. 2017;24(5):111-119. [https:// doi.org/10.25207/1608-6228-2017-24-5-111-119](https://doi.org/10.25207/1608-6228-2017-24-5-111-119).
17. Назаров Г.И., Никитенко В.А. Лучевые изменения твёрдых тканей зубов на фоне их функциональной перегрузки. *Стоматология*. 1976;1:5-7.
18. Нуриева Н.С., Филимонова О.И. Лучевые поражения зубов. Тактика врача-стоматолога. *Медицинская наука и образование Урала*. 2011;12(1(65)): 184-185.
19. Обухов Ю.А., Жуковская Е.В., Карелин А.Ф. Лучевой кариес у пациентов, получающих терапию по поводу новообразований: обзор литературы и собственные клинические наблюдения. *Российский журнал детской гематологии и онкологии*. 2018;5(4):40-50. [https:// doi.org/10.17650/2311-1267-2018-5-4-40-50](https://doi.org/10.17650/2311-1267-2018-5-4-40-50).
20. Пачес А.И., Ольшанский В.О., Любаев В.Л., Туок Т.Х. Злокачественные опухоли полости рта, глотки и гортани. Москва.: Медицина. 1988;302.
21. Прохончуков А.А. Изменение минерального обмена в твёрдых тканях зуба при хронической лучевой болезни. *Медицинская радиология*. 1960;11: 41-45.
22. Прохончуков А.А., Паникаровский В.В. Морфологические изменения зубочелюстной системы после длительного воздействия малых доз рентгеновских лучей. *Стоматология*. 1969;2:38-41.
23. Тарусов Б.Н. Первичные процессы лучевого поражения. Москва. *Госатомиздат*. 1962;96.
24. Цыба А.Ф., Мардынскогo Ю.С. Терапевтическая радиология. *Руководство для врачей*. Москва: ООО «МК». 2010;552.

25. Федяев И.М., Байриков И.М., Белова Л.П., Шувалова Т.В. Злокачественные опухоли челюстно-лицевой области. Москва. Медицина. Изд-во НГМА. 2000;160.
26. Честных Е.В., Горева Л.А., Соколова К.С., Потапова М.Ю. Лучевой кариес и радиомукозит как осложнения лучевой терапии: клиника, лечение, профилактика (обзор литературы). *Верхневолжский медицинский журнал*. 2020;19(2):21-26.
27. Чочиа К.Н., Шимановская К.Б. Поражение зубов и некрозы нижней челюсти как осложнения лучевого лечения рака полости рта. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 1958;3:32-37.
28. Alfouzan A.F. Radiation therapy in head and neck cancer: *Saudi Med J*. 2021;42(3):247-254. <https://doi.org/10.15537/smj.2021.42.3.20210660>.
29. Brennan M.T., Treister N.S., Sollecito T.P. et al. Dental caries postradiotherapy in head and neck cancer: *JDR Clin. Trans. Res.* 2023;8(3):234-243. <https://doi.org/10.1177/23800844221086563>.
30. Faria K.M., Brandão T.B., Ribeiro A.C. P. et al. Micromorphology of the dental pulp is highly preserved in cancer patients who underwent head and neck radiotherapy: *J. Endod.* 2014;40(10):1553-9. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.07.006>.
31. Fonsêca J., Palmier N., Silva W. et al. Dentin-pulp complex reactions in conventional and radiation-related caries: *A comparative study. J. Clin. Exp. Dent.* 2019;11(3):236-243. <https://doi.org/10.4317/jced.55370>.
32. Galvão-Moreira L. V., Cruz M. C. F. N. Dental demineralization, radiation caries and oral microbiota in patients with head and neck cancer: *Oral Oncol.* 2015; 51(12):89-90. <https://doi.org/10.1016/j.oraloncology.2015.10.008>.
33. Gomes-Silva W., Morais-Faria K., Rivera C. et al. Impact of radiation on tooth loss in patients with head and neck cancer: a retrospective dosimetric-based study: *Oral. Surg. Oral. Med. Oral. Pathol. Oral. Radiol.* 2021;132(4):409-417. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2021.06.021>.
34. Gonçalves L.M.N., Palma-Dibb R. G., Paula-Silva F. W. G. et al. Radiation therapy alters microhardness and microstructure of enamel and dentin of permanent human teeth: *J. Dent.* 2014;42(8):986-92. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2014.05.011>.
35. Kataoka S., Setzer F., Gondim-Junior E. et al. Late effects of head and neck radiotherapy on pulp vitality assessed by pulse oximetry: *J. Endod.* 2016;42(6):886-9. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.02.016>.
36. Kielbassa A.M., Hinkelbein W., Hellwig E., Meyer-Lückel H. Radiation-related damage to dentition: *Lancet Oncol.* 2006;7(4):326-35. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(06\)70658-1](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(06)70658-1).
37. Lopez J., Tufaro A.P. Malignant maxillofacial bone tumors: *Curr. Opin. Otolaryngol. Head Neck Surg.* 2019;27(4):294-301. <https://doi.org/10.1097/MOO.0000000000000555>.
38. Madrid C.C., Paglioni, M.P. Line S.R. et al. Structural analysis of enamel in teeth from head-and-neck cancer patients who underwent radiotherapy: *Caries Res.* 2017;51(2):119-128. <https://doi.org/10.1159/000452866>.
39. Palmier N.R., Prado-Ribeiro A.C., Mariz B. A. L. A. et al. The impact of radiation caries on morbidity and mortality outcomes of head and neck squamous cell carcinoma patients: *Spec. Care Dentist.* 2024;44(1):184-195. <https://doi.org/10.1111/scd.12843>.
40. Palmier N.R., Migliorati C.A., Prado-Ribeiro A.C. et al. Radiation-related caries: current diagnostic, prognostic, and management paradigms: *Oral. Surg. Oral. Med. Oral. Pathol. Oral. Radiol.* 2020;130(1):52-62. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2020.04.003>.
41. Pedrosa C.M., Migliorati C.A., Epstein J.B. et al. Over 300 radiation caries papers: reflections from the rearview mirror: *Front Oral Health.* 2022;14(3):961594. <https://doi.org/10.3389/froh.2022.961594>.
42. Rahman S., Maillou P., Barker D., Donachie M. Radiotherapy and the oral environment the effects of radiotherapy on the hard and soft tissues of the mouth and its management: *Eur. J. Prosthodont. Restor. Dent.* 2013;21(2):80-7.
43. Reed R., Xu C., Liu Y. et al. Radiotherapy effect on nano-mechanical properties and chemical composition of enamel and dentine: *Arch. Oral. Biol.* 2015;60(5):690-7. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2015.02.020>.
44. Sonis S. A biological approach to mucositis: *J. Support. Oncol.* 2004;2(1):21-32.
45. Sonis S. Mucositis as a biological process: a new hypothesis for the development of chemotherapyinduced stomatotoxicity: *Oral. Oncology.* 1998;4(1):34-39.
46. Suri S., Raura N., Thomaset M.S. et al. Change in surface characteristics and permeability of human enamel after subjecting to radiation therapy: *Niger J. Clin Pract.* 2022;25(10):1687-1692. https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_151_22.

47. Vissink A., Jansma J., Spijkervet F.K.L. et al. Oral sequelae of head and neck radiotherapy: *Crit. Rev. Oral. Biol. Med.* 2003;14(3):199-212. <https://doi.org/1177/154411130301400305>.
48. Weissheimer T., Só B. B., Pradebon M. C. et al. Head and neck radiotherapy effects on the dental pulp vitality and response to sensitivity tests: A systematic review with meta-analysis: *Int. Endod J.* 2022;55(6):563-578. <https://doi.org/10.1111/iej.13726>.

References

1. Amadyan M.G., Shagoyan A.G., Khachkavantsyan A.S. The use of antioxidants in the treatment of radiation injuries. *Journal of Experimental and Clinical Medicine.* 1989;29(1):53–57 (in Russian).
2. Bardychev M.S., Tsyb A.F. *Local radiation injuries: A guide for physicians.* Moscow: Medicine. 1985;240 (in Russian).
3. Barer G.M., Komnova Z.D. Morphological changes in the pulp, dentin, and cementum of irradiated “intact” teeth. *Stomatology.* 1984;63(3):28–30 (in Russian).
4. Barer G.M., Komnova Z.D. Pathological changes in the pulp and dentin of teeth in experimental animals under the influence of radiant energy. *Stomatology.* 1985;64(4):8–11 (in Russian).
5. Barer G.M., Nazarov G.I. Tooth damage after radiation therapy for malignant tumors of the maxillofacial region. *Stomatology.* 1965;6:23–26 (in Russian).
6. Borovsky E.V., Sazonov N.I., Lebedeva G.K. The effect of remote gamma irradiation on the hard tissues of teeth. *Stomatology.* 1976;2:1–4 (in Russian).
7. Borovsky E.V., Segen I.T. The state of hard dental tissues depending on the dose and localization of irradiation. *Stomatology.* 1973;2:16–18 (in Russian).
8. Vazhenin A.V. *Radiation oncology: Organization, tactics, development paths.* Moscow: RAMS. 2003;236 (in Russian).
9. Vtyurin B.M., Bardychev M.S., Galontseva G.F., et al. Clinical presentation, diagnosis, prevention, and treatment of radiation injuries of the oral cavity. *Methodological recommendations.* Obninsk. 1983;18 (in Russian).
10. Dmitrieva E.F., Nurieva N.S. The effect of radiation therapy on hard dental tissues in patients with oropharyngeal cancer. *Dental Magazin.* 2017;1(157):38–40 (in Russian).
11. Dmitriev E.F., Nurieva N.S. Radiation caries: Clinical picture, treatment issues. *Problems of Stomatology.* 2014;2:9–12 (in Russian).
12. Zavyalova V.A., Ivanchikova L.A. Ultrastructure of pulp capillaries in rabbits after local fractional gamma irradiation of the mandible. *Stomatology.* 1975;54(3):74–79 (in Russian).
13. Zyryanov G.V., Apollonova L.A., Bogomazov M.Y., et al. Features of the development of experimental apical periodontitis against the background of immunodeficiency caused by irradiation. *Stomatology.* 1992;(2):13–15 (in Russian).
14. Ivanova L.A. *Prevention of post-radiation dental lesions* (Methodological recommendations). Perm. 1987;11 (in Russian).
15. Nazarov G.I. Changes in teeth and jaws after local gamma irradiation. *Medical Radiology.* 1975;8:75–76 (in Russian).
16. Inzhina E.V., Kochurova E.V., Seferyan K.G. The influence of antitumor treatment on the dental status of patients with malignant neoplasms of the oropharyngeal zone. *Kuban Scientific Medical Bulletin.* 2017;24(5):111–119 (in Russian). <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2017-24-5-111-119>.
17. Nazarov G.I., Nikitenko V.A. Radiation changes in hard dental tissues against the background of their functional overload. *Stomatology.* 1976;1:5-7 (in Russian).
18. Nurieva N.S., Filimonova O.I. Radiation lesions of teeth. Tactics of the dentist. *Medical Science and Education of the Urals.* 2011;12(1(65)):184-185 (in Russian).
19. Obukhov Y.A., Zhukovskaya E.V., Karelin A.F. Radiation caries in patients receiving therapy for neoplasms: Literature review and own clinical observations. *Russian Journal of Pediatric Hematology and Oncology.* 2018;5(4):40–50 (in Russian). <https://doi.org/10.17650/2311-1267-2018-5-4-40-50>.
20. Paches A.I., Olshansky V.O., Lyubaev V.L., et al. Malignant tumors of the oral cavity, pharynx, and larynx. Moscow: Medicine. 1988;302 (in Russian).
21. Prokhonchukov A.A. Changes in mineral metabolism in hard dental tissues in chronic radiation sickness. *Medical Radiology.* 1960;11:41–45 (in Russian).

22. Prokhonchukov A.A., Panikarovskiy, V.V. Morphological changes in the dentoalveolar system after prolonged exposure to low doses of x-rays. *Stomatology*. 1969;2:38–41 (in Russian).
23. Tarusov B.N. *Primary processes of radiation damage*. Moscow: Gosatomizdat. 1962;96 (in Russian).
24. Tsyb A.F., Mardinsky, Yu.S. (Eds.). *Therapeutic radiology*. Guide for physicians. Moscow: ООО “МК”. 2010;552 (in Russian).
25. Fedyaev I.M., Bayrikov I.M., Belova L.P., et al. Malignant tumors of the maxillofacial region. Moscow: Medicine. Nizhny Novgorod: NGMA Publishing House. 2000;160.
26. Chestnykh E.V., Goreva L.A., Sokolova K.S., et al. Radiation caries and radiomucositis as complications of radiation therapy: clinical presentation, treatment, prevention (literature review). *Verkhnevolzhsky Medical Journal*. 2020;19(2):21–26 (in Russian).
27. Chochia K.N., Shimanovskaya K.B. Tooth damage and necrosis of the mandible as complications of radiation treatment for oral cancer. *Bulletin of Roentgenology and Radiology*. 1958;3:32–37 (in Russian).
28. Alfouzan A.F. Radiation therapy in head and neck cancer: Saudi Med J. 2021;42(3):247–254. <https://doi.org/10.15537/smj.2021.42.3.20210660>.
29. Brennan M.T., Treister N.S., Sollecito T.P., et al. Dental caries postradiotherapy in head and neck cancer: *JDR Clin. Trans. Res.* 2023;8(3):234–243. <https://doi.org/10.1177/23800844221086563>.
30. Faria K.M., Brandão T.B., Ribeiro A.C. P. et al. Micromorphology of the dental pulp is highly preserved in cancer patients who underwent head and neck radiotherapy: *J. Endod.* 2014;40(10):1553–9. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.07.006>.
31. Fonsêca J., Palmier N., Silva W., et al. Dentin-pulp complex reactions in conventional and radiation-related caries: A comparative study. *J. Clin. Exp. Dent.* 2019;11(3):236–243. <https://doi.org/10.4317/jced.55370>.
32. Galvão-Moreira L.V., Cruz M.C.F.N. Dental demineralization, radiation caries and oral microbiota in patients with head and neck cancer: *Oral Oncol.* 2015; 51(12):89-90. <https://doi.org/10.1016/j.oraloncology.2015.10.008>.
33. Gomes-Silva W., Morais-Faria K., Rivera C., et al. Impact of radiation on tooth loss in patients with head and neck cancer: a retrospective dosimetric-based study: *Oral. Surg. Oral. Med. Oral. Pathol. Oral. Radiol.* 2021;132(4):409–417. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2021.06.021>.
34. Gonçalves L.M.N., Palma-Dibb R. G., Paula-Silva F. W. G., et al. Radiation therapy alters microhardness and microstructure of enamel and dentin of permanent human teeth: *J. Dent.* 2014;42(8):986–92. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2014.05.011>.
35. Kataoka S., Setzer F., Gondim-Junior E., et al. Late effects of head and neck radiotherapy on pulp vitality assessed by pulse oximetry: *J. Endod.* 2016;42(6):886–9. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.02.016>.
36. Kielbassa A.M., Hinkelbein W., Hellwig E., Meyer-Lückel H. Radiation-related damage to dentition: *Lancet Oncol.* 2006;7(4):326-35. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(06\)70658-1](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(06)70658-1).
37. Lopez J., Tufaro A.P. Malignant maxillofacial bone tumors: Curr. Opin. Otolaryngol. *Head Neck Surg.* 2019;27(4):294-301. <https://doi.org/10.1097/MOO.0000000000000555>.
38. Madrid C.C., Paglioni, M.P. Line S.R., et al. Structural analysis of enamel in teeth from head-and-neck cancer patients who underwent radiotherapy: *Caries Res.* 2017;51(2):119–128. <https://doi.org/10.1159/000452866>.
39. Palmier N.R., Prado-Ribeiro A.C., Mariz B. A. L. A., et al. The impact of radiation caries on morbidity and mortality outcomes of head and neck squamous cell carcinoma patients: *Spec. Care Dentist.* 2024;44(1):184–195. <https://doi.org/10.1111/scd.12843>.
40. Palmier N.R., Migliorati C.A., Prado-Ribeiro A.C. et al. Radiation-related caries: current diagnostic, prognostic, and management paradigms: *Oral. Surg. Oral. Med. Oral. Pathol. Oral. Radiol.* 2020;130(1):52–62. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2020.04.003>.
41. Pedrosa C.M., Migliorati C.A., Epstein J.B., et al. Over 300 radiation caries papers: reflections from the rearview mirror: *Front Oral Health.* 2022;14(3):961594. <https://doi.org/10.3389/froh.2022.961594>.
42. Rahman S., Maillou P., Barker D., et al. Radiotherapy and the oral environment the effects of radiotherapy on the hard and soft tissues of the mouth and its management: *Eur. J. Prosthodont. Restor. Dent.* 2013;21(2):80–7.
43. Reed R., Xu C., Liu Y., et al. Radiotherapy effect on nano-mechanical properties and chemical composition of enamel and dentine: *Arch. Oral. Biol.* 2015;60(5):690–7. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2015.02.020>.
44. Sonis S. A biological approach to mucositis: *J. Support. Oncol.* 2004;2(1):21–32.
45. Sonis S. Mucositis as a biological process: a new hypothesis for the development of chemotherapyinduced stomatotoxicity: *Oral. Oncology.* 19984;34(1):34–39.

46. Suri S., Raura N., Thomaset M.S., et al. Change in surface characteristics and permeability of human enamel after subjecting to radiation therapy: Niger J. *Clin Pract.* 2022;25(10):1687–1692. https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_151_22.

47. Vissink A., Jansma J., Spijkervet F.K.L., et al. Oral sequelae of head and neck radiotherapy: Crit. Rev. Oral. Biol. Med. 2003;14(3):199–212. <https://doi.org/1177/154411130301400305>.

48. Weissheimer T., Só B.B., Pradebon M.C., et al. Head and neck radio-therapy effects on the dental pulp vitality and response to sensitivity tests: A systematic review with meta-analysis: *Int. Endod J.* 2022;55(6):563–578. <https://doi.org/10.1111/iej.13726>.

Об авторах

ГАЛОНСКИЙ Владислав Геннадьевич, доктор медицинских наук, профессор кафедры стоматологии детского возраста и ортодонтии, ведущий научный сотрудник, Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого. Адрес: Российская Федерация, 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, 1. orcid.org/0000-0002-4795-1722, gvg73@bk.ru.

КАЗАНЦЕВ Максим Евгеньевич, врач-стоматолог, заведующий отделением челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии КГБУЗ «КМКБСМП им. Н.С. Карповича». Адрес: Российская Федерация, 660062, г. Красноярск, ул. Курчатова, 17. orcid.org/0009-0007-7214-5646, doktor_maks@inbox.ru

СУРДО Эльвира Сергеевна, кандидат медицинских наук, ассистент кафедры стоматологии детского возраста и ортодонтии, Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого. Адрес: Российская Федерация, 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, 1. orcid.org/0000-0003-2070-936X, elvira_surdo@mail.ru

КАЗАНЦЕВА Тамара Владимировна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры ортопедической стоматологии, Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого. Адрес: Российская Федерация, 660022, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, 1. orcid.org/0000-0002-3303-1394, kazancevatv1@mail.ru

ЕГОРОВ Антон Николаевич, врач-стоматолог, аспирант кафедры терапевтической, хирургической, ортопедической стоматологии и стоматологии детского возраста медицинского института ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова». orcid.org/0009-0001-9730-5104, Heavenly_legion@mail.ru

About the authors

GALONSKY Vladislav Gennadyevich, Dr. Sci. (Medicine), Professor, Department of Pediatric Dentistry and Orthodontics, Leading Researcher, Prof. V.F. Voyno-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University. 1 Partizana Zheleznyaka St., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation, orcid.org/0000-0002-4795-1722, gvg73@bk.ru

KAZANTSEV Maxim Evgenievich, Dentist, Head of the Department of Maxillofacial Surgery and Surgical Dentistry, N. S. Karpovich Krasnoyarsk Regional Clinical Hospital for Emergency Medicine. 17 Kurchatov St., Krasnoyarsk, 660062, Russian Federation, orcid.org/0009-0007-7214-5646, doktor_maks@inbox.ru

SURDO Elvira Sergeevna, Cand. Sci. (Medicine), Assistant Professor, Department of Pediatric Dentistry and Orthodontics, Prof. V. F. Voyno-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University. 1 Partizana Zheleznyaka St., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation, orcid.org/0000-0003-2070-936X, elvira_surdo@mail.ru

KAZANTSEVA Tamara Vladimirovna, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor, Department of Orthopedic Dentistry, Professor V.F. Voyno-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University named after. 1 Partizana Zheleznyaka St., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation, orcid.org/0000-0002-3303-1394, kazancevatv1@mail.ru

EGOROV Anton Nikolaevich, Dentist, Postgraduate Student, Department of Therapeutic, Surgical, and Orthopedic Dentistry and Pediatric Dentistry, Institute of Medicine, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, orcid.org/0009-0001-9730-5104, Heavenly_legion@mail.ru

Вклад авторов

Галонский В.Г. – разработка концепции, методология, проведение исследования, создание черновика рукописи.

Казанцев М.Е. – разработка концепции, редактирование рукописи

Сурдо Э.С. – ресурсное обеспечение исследования, редактирование рукописи.

Казанцева Т.В. – разработка концепции, редактирование рукописи.

Егоров А.Н. – редактирование рукописи.

Authors' contribution

Galonsky V.G. – conceptualization, methodology, investigation, writing - original draft.

Kazantsev M.E. – conceptualization, writing - review & editing.

Surdo E.S. – resources, writing - review & editing.

Kazantseva T.V. – conceptualization, writing - review & editing.

Egorov A.N. – writing - review & editing.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию / Submitted 2.05.2025

Принята к публикации / Accepted 6.09.2025