**Радиомика и технологии искусственного интеллекта
Radiomics and artificial intelligence technologies**

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1622>



Радиомические маркеры прогноза и ответа опухолей головы и шеи при применении химиолучевой и системной противоопухолевой терапии

© Борискина К.П.*, Нечаев В.А., Носова М.В., Стативко О.А., Покатаев И.А.

ГБУЗ города Москвы "Городская клиническая больница имени С.С. Юдина" Департамента здравоохранения города Москвы; 115446 Москва, Коломенский проезд, д. 4, Российская Федерация

Цель исследования: провести анализ научной литературы по возможностям радиомики в прогнозировании ответа и исходов у пациентов с опухолями головы и шеи, получающих системную противоопухолевую и химиолучевую терапию.

Материал и методы. Проведен поиск научных публикаций в базах данных PubMed и eLibrary по ключевым словам, связанным с радиомикой, системной терапией и опухолями головы и шеи. Отобраны оригинальные статьи за последние 10 лет, соответствующие критериям включения. Из 56 найденных публикаций после исключения нерелевантных работ в обзор включено 13 исследований, выполненных на данных КТ, МРТ и ПЭТ/КТ. Анализировались методы построения радиомических моделей, типы используемых признаков, их прогностическая и предиктивная ценность.

Результаты. Научный обзор показал, что радиомические модели обладают значительным потенциалом для прогнозирования выживаемости и ответа на индукционную, паллиативную противоопухолевую, а также химиолучевую терапию. Комбинированные клиничко-радиомические модели часто демонстрировали более высокую эффективность в сравнении с только радиомическими или клиническими. Перспективно использование алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта для оптимизации прогностических моделей.

Закключение. Радиомика представляет собой эффективный инструмент для персонализации системной терапии опухолей головы и шеи, позволяющий уже сегодня повысить точность прогнозирования и оптимизировать выбор лечебной тактики и уверенно обещающий дальнейший прогресс в будущем. Для массового внедрения в клиническую практику необходимы стандартизация методов, валидация моделей на крупных когортах и устранение технической, алгоритмической и программной гетерогенности исследований.

Ключевые слова: радиомика; опухоли головы и шеи; системная терапия; прогноз; машинное обучение; дельта-радиомика; КТ; МРТ; ПЭТ/КТ

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Борискина К.П., Нечаев В.А., Носова М.В., Стативко О.А., Покатаев И.А. Радиомические маркеры прогноза и ответа опухолей головы и шеи при применении химиолучевой и системной противоопухолевой терапии. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (3): 136–143. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1622>

Поступила в редакцию: 19.12.2025.

Принята к печати: 29.06.2026.

Опубликована online: 29.09.2026.

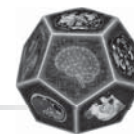
Prognostic and predictive radiomic markers in head and neck cancer patients receiving chemoradiotherapy and systemic therapy

© Ksenia P. Boriskina*, Valentin A. Nechaev, Margarita V. Nosova, Olesya A. Stativko, Ilya A. Pokataev

Yudin Moscow City Clinical Hospital; 4, Kolomenskiy proezd, Moscow 115446, Russian Federation

Objective: To analyze the scientific literature on the potential of radiomics for predicting treatment response and outcomes in patients with head and neck cancers receiving systemic anticancer therapy and chemoradiotherapy.

Materials and Methods. A literature search was conducted in the PubMed and eLIBRARY databases using keywords related to radiomics, systemic therapy and head and neck cancers. Original articles published over the past 10 years and



meeting the inclusion criteria were selected. Of the 56 publications initially identified, 13 studies were included in the final review after exclusion of irrelevant articles. These studies were based on CT, MRI, and PET/CT data. The analysis focused on radiomic model development methods, types of extracted features, and their prognostic and predictive value.

Results. The review demonstrated that radiomic models have substantial potential for predicting survival and treatment response to induction, palliative systemic therapy, as well as chemoradiotherapy. Combined clinical-radiomic models frequently were more effective compared with radiomic-only or clinical-only models. The use of machine learning and artificial intelligence algorithms was identified as a promising approach for optimizing prognostic models.

Conclusion. Radiomics represents a promising tool for personalizing systemic therapy in head and neck cancers, enabling improved prognostic accuracy and optimization of treatment strategies. Standardization of methodologies, validation of models in large cohorts, and reduction of technical heterogeneity across studies are required for successful clinical implementation.

Keywords: radiomics; head and neck cancer; systemic therapy; prognosis; machine learning; delta-radiomics; CT; MRI; PET/CT

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Boriskina K.P., Nechaev V.A., Nosova M.V., Stativko O.A., Pokataev I.A. Prognostic and predictive radiomic markers in head and neck cancer patients receiving chemoradiotherapy and systemic therapy. *Medical Visualization*. 2026; 30 (3): 136-143. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1622>

Received: 19.12.2025.

Accepted for publication: 29.06.2026.

Published online: 29.09.2026.

Список сокращений

ВБП – выживаемость без прогрессирования

Дельта-радиомика – направление радиомики, анализирующее изменение количественных признаков опухоли в разные временные точки (до, во время и после лечения) для предсказания ответа или токсичности

ИКД – истинный коэффициент диффузии

исследование baseline – первичное исследование перед началом лекарственной противоопухолевой терапии

КТ – компьютерная томография

MPT – магнитно-резонансная томография

ОВ – общая выживаемость

ПЭТ/КТ – позитронно-эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной томографией

AUC – Area Under the Curve (площадь под ROC-кривой; метрика качества и прогностической способности модели)

C-индекс – индекс конкордантности (мера согласованности предсказаний модели с реальными исходами, аналог AUC для анализа выживаемости)

DCR – disease control rate (частота контроля заболевания)

ENE – extranodal extension (экстранодальная инвазия; прорастание опухоли за капсулу лимфатического узла)

GLCM – Gray Level Co-occurrence Matrix (матрица совместной встречаемости уровней серого; текстурный признак)

GLDZM – Gray Level Distance Zone Matrix (матрица дистанций зон уровней серого; текстурный признак)

HPV – Human Papillomavirus (вирус папилломы человека)

iRECIST – Immunotherapy Response Evaluation Criteria in Solid Tumors (критерии оценки ответа солидных опухолей при иммунотерапии)

PD-L1 – Programmed Death-Ligand 1 (лиганд программируемой клеточной смерти 1; маркер для отбора на иммунотерапию)

Rad-score/R-score – Radiomics Risk Score, радиомическая шкала риска, интегральный показатель, рассчитанный на основе радиомических признаков

Random survival forest – алгоритм машинного обучения на основе случайного леса для анализа выживаемости

RECIST 1.1 – Response Evaluation Criteria in Solid Tumors (критерии оценки ответа солидных опухолей)

RUSCO – Russian Society of Clinical Oncology (Российское общество клинической онкологии)

SUV – Standardized Uptake Value (стандартизованное значение накопления РФП)

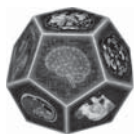
TPF – схема индукционной химиотерапии: доцетаксел + цисплатин + 5-фторурацил

XGBoost – Extreme Gradient Boosting (алгоритм машинного обучения на основе градиентного бустинга)

Введение

Опухоли головы и шеи занимают седьмое место по распространенности среди злокачественных новообразований с выявлением ежегодно около 890 000 новых случаев [1]. Среди опухолей данной локализации наиболее часто встречается плоскоклеточный рак полости рта, глотки и гортани с увеличением количества новых случаев за последние 10 лет [2, 3]. К особенностям данной нозологии можно отнести сложность анатомической структуры, комплексный подход к терапии и высокую вероятность осложнений в связи с частой коморбидностью пациентов [4].

По данным канцер-регистра в России в 2024 г. средний возраст пациентов с впервые выявленным раком глотки составил 61,1 года, а раком гортани – 64,2 года [5]. Тенденция к выявлению заболевания в более пожилом возрасте, безусловно, повышает риски наличия у пациентов сопутствующих заболеваний, осложняющих использование наиболее



эффективных лекарственных препаратов [6]. На момент установления диагноза более половины больных с локализацией опухоли в глотке и полости рта имеют местнораспространенный процесс, часто осложняющийся распадом и повышающий шанс наличия алиментарной недостаточности у пациентов [7, 8]. В сравнении с локальной стадией продолжительность жизни пациентов с распространенной опухолью в два раза ниже [7].

Лекарственная терапия применяется в лечении опухолей головы и шеи в качестве паллиативной при метастатическом процессе, неоадьювантной/индукционной при местнораспространенных формах, а также в качестве радиосенсибилизатора во время химиолучевой терапии [9]. Основные схемы химиотерапии для лечения опухолей данной локализации обладают высокой токсичностью, а выбор препаратов до сих пор вызывает дискуссии [6, 9].

При установлении диагноза рака головы и шеи проводятся КТ органов головы и шеи, грудной клетки, УЗИ лимфатических узлов и печени, эндоскопические методы исследования. Альтернативным томографическим методом может быть МРТ. ПЭТ/КТ применима при местнораспространенном плоскоклеточном раке с целью исключения отдаленного метастазирования, в случае отсутствия первичного очага и для оценки лимфатических узлов перед хирургическим лечением [9, 10].

Согласно Клиническим рекомендациям RUSSCO 2024 г., оценка ответа на индукционную, неоадьювантную и паллиативную лекарственную терапию по данным лучевых методов исследования осуществляется преимущественно на основании критериев RECIST1.1 или iRECIST. Однако учитывая частую геометрическую сложность первичного очага, наличие обширных зон некроза, малого размера пораженных лимфатических узлов, отсутствие всех трех зон сканирования при исследовании baseline в случае применения методов КТ и МРТ, вышеупомянутые критерии не являются оптимальными для оценки ответа в данной локализации [11].

Поиск дополнительных маркеров ответа и прогноза важен для повышения точности традиционных методов для возможных деэскалации или, напротив, усиления терапии, определения плана наблюдения после радикального лечения, облегчения диагностики рецидивов.

Радиомика позволяет исследовать большие объемы данных для извлечения из медицинских изображений количественных признаков, не видимых человеческому глазу. Это помогает выявлять новые предиктивные и прогностические маркеры для принятия решений в онкологической практике. Количество научных публикаций по радиомике в сфере рентгенологии, ядерной медицины и меди-

цинской визуализации с 2000 по 2021 г. увеличилось экспоненциально. В. Косак и соавт. при проведении библиометрического анализа в 2023 г. обнаружили более 5200 публикаций в данной области [12]. В последнее десятилетие в работах стали использоваться такие инструменты, как глубокое машинное обучение и искусственный интеллект, что позволило проводить анализ большого массива данных более эффективно. Популярной становится дельта-радиомика, анализирующая изменение объектов в разные временные точки, что может быть применимо для оценки изображений до и после лечения с целью предсказания ответа или нежелательных явлений терапии [13].

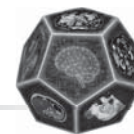
Радиомический анализ данных включает в себя предварительную обработку изображений, сегментацию опухоли из первичного томографического изображения, программно-вычислительное извлечение признаков, разработку модели и валидацию [14]. Радиомические признаки составляют три основные группы: морфологические (форма, размер), признаки первого порядка (параметры интенсивности) и признаки второго порядка (текстурные параметры) [15]. Интересна возможность сопоставления радиомических параметров и различных характеристик опухоли с выявлением клинически значимых корреляций, а также способность моделей предсказывать исходы заболеваний [16].

При опухолях головы и шеи радиомика может использоваться для диагностики и дифференциации типов опухолей, включая определение HPV-статуса, оценки молекулярных маркеров, стадирования, стратификации пациентов по риску рецидива, прогрессирования и общей выживаемости, мониторинга ответа на лечение, прогнозирования токсичности лучевой терапии [17–19].

Цель научного обзора: показать возможности радиомики в прогнозировании ответа и исходов у пациентов с опухолями головы и шеи, получающих системную противоопухолевую и химиолучевую терапию.

Материал и методы

Проведен поиск научных статей в базе данных PubMed с использованием поисковых терминов “radiomic*”, “image biomarker*”, “head and neck cancer”, “head and neck squamous cell carcinoma”, “HNSCC”, “oropharyngeal cancer”, “laryngeal cancer”, “hypopharyngeal cancer”, “systemic therapy”, “systemic treatment”, “chemotherapy”, “immunotherapy”, “targeted therapy”, “induction therapy”, “treatment response”, “therapy response”, “treatment outcome”, “response evaluation”, “treatment efficacy”, “prognosis”, “predict*”, “survival”, а также в базе данных elibrary – с использованием терминов “опухоли



головы и шеи”, “системная терапия”, “радиомика”. Отбирались оригинальные исследования, опубликованные за последние 10 лет. Критериями исключения являлись: применение только лучевой терапии (ЛТ), оценка токсичности лучевой терапии, хирургическое лечение, оценка патологического ответа, опухоли щитовидной железы и назофарингеальная карцинома, использование генеративного искусственного интеллекта, другие модальности, кроме КТ, ПЭТ, ПЭТ/КТ, МРТ, исследования не на английском и русском языках, исследования без открытого доступа (некоторые статьи были получены у авторов по запросу). Для научного обзора из 56 статей были отобраны 13 с наиболее полным представлением методик и полученных результатов радиомического исследования.

Радиомические маркеры прогноза при применении химиолучевой терапии

Химиолучевая терапия (ХЛТ) применяется для лечения местнораспространенных нерезектабельных опухолей головы и шеи, терапии местных рецидивов, а также в качестве адъювантной терапии при высоком риске прогрессирования резектабельной опухоли [10]. Высокодозный цисплатин, использующийся при ХЛТ, обладает достаточно высокой токсичностью, в связи с чем есть необходимость в поиске новых биомаркеров для деинтенсификации лечения [20].

G. Bruixola и соавт. построили клинические и комбинированную (клиническую + радиомическую) модели на основании анализа 171 КТ-исследования перед радикальной ХЛТ для предсказания выживаемости без прогрессирования (ВБП) и 5-летней ВБП пациентов с местнораспространенными опухолями головы и шеи. Наилучшая предсказательная способность была достигнута при использовании алгоритма Random survival forest с AUC 0,64 и индексом конкордантности (С-индекс) 0,66 на тестовой когорте [21]. Алгоритм XGBoost предсказывал 5-летнюю ВБП на основании 12 радиомических и 4 клинических параметров с AUC 0,74. Наиболее значимыми для 5-летней ВБП оказались текстурные признаки emphasis и entropy, отражающие гетерогенность опухоли, для ВБП – 2D-диаметр опухоли.

N.P. Brodin и соавт. исследовали данные ПЭТ/КТ 114 пациентов с местнораспространенным раком ротоглотки с целью предсказать ВБП и вероятность отдаленного метастазирования [22]. Из отобранных радиомических признаков только параметр wavelet_LHL_GLDZM_LILDE имел статистически значимую корреляцию с ВБП. Наибольшая эффективность при 5-фолдовой кросс-валидации была достигнута для комбинированной клинико-радиомической модели с AUC 0,73. Высокий Rad-score, возраст старше 65 лет

и HPV-негативный статус были ассоциированы с худшей выживаемостью пациентов.

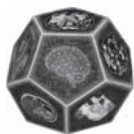
H. Bollen и соавт. определяли возможности радиомического анализа МР-изображений для прогнозирования локорегионарного контроля после проведения ЛТ/ХЛТ местнораспространенных опухолей ротоглотки [23]. Комбинированная клинико-радиомическая модель предсказывала локорегионарный контроль с С-индексом 0,72 на тренинговой и 0,56 на тестовой когорте. Значимыми предикторами были радиомический параметр Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM)-correlation, стадия заболевания и статус употребления алкоголя. При использовании дельта-радиомики С-индекс комбинированной модели достиг 0,74 на тренинговой и 0,63 на тестовой когорте.

Одна из работ продемонстрировала возможность радиомики для предсказания рецидива в регионарных лимфатических узлах на основании КТ до начала ЛТ/ХЛТ [24]. Всего было сегментировано 558 лимфатических узлов в тренинговой когорте и 467 – в тестовой. Из клинических факторов независимыми предикторами рецидива стали Т-категория, пол и общее состояние по ВОЗ, из радиомических – least-axis-length и gray level co-occurrence matrix based-correlation, отражающие размер и гетерогенность лимфатических узлов соответственно. Комбинированная модель показала большую эффективность в сравнении с клинической и радиомической с достижением С-индекса 0,80 в валидационной когорте.

Радиомические маркеры прогноза и ответа при применении индукционной терапии

Применение индукционной терапии при местнораспространенных опухолях головы и шеи является дискуссионным [9]. В реальной клинической практике проведение стандартной ХЛТ часто затруднено по причине возможности распада опухоли и неудовлетворительного соматического статуса пациентов [25]. При этом индукционная терапия снижает вероятность отдаленного метастазирования [26]. Стандартом индукционной терапии является схема TPF, однако в связи с высокой токсичностью оправдан поиск новых биомаркеров для отбора пациентов [27].

W. Lyu и соавт. исследовали радиомические МР-признаки у пациентов с HPV-позитивным раком ротоглотки как у наиболее благоприятной популяции пациентов с целью поиска биомаркеров для деинтенсификации лечения [28]. Пациенты разделялись на “хорошо и плохо ответивших” на лечение по принципу уменьшения суммы длинного диаметра первичной опухоли и коротких диаметров метаста-



тически измененных лимфатических узлов на 50%. Rad-score предсказал ответ на индукционную терапию с высокой эффективностью (AUC 0,89 для тренинговой когорты и AUC 0,71 для валидационной). Была прослежена корреляция Rad-score с МР-признаками: у пациентов с ответом более вероятно обнаруживались однородная интенсивность сигнала, четкие границы опухоли и экзофитный характер роста, менее вероятно – некроз и экстранодальный рост. На основании Rad-score и клинических факторов (TNM, ENE, большой стаж курения) были построены номограммы, разделившие пациентов на группы низкого и высокого риска со значимыми различиями в 3-летних общей выживаемости (ОВ) и ВБП.

М. Bologna и соавт. исследовали предиктивность ответа на индукционную терапию по МР-данным пациентов с синоназальным раком [29]. Объективным ответом на терапию считался полный и частичный ответ согласно критериям RECIST1.1, пациенты со стабилизацией и прогрессированием составляли группу “не ответивших”. Были построены моно- и мультимодальные радиомические модели с использованием T1-, T2-взвешенных изображений и ИКД-карт на основании нескольких машинных алгоритмов. Наиболее точно предсказывала ответ модель с включением данных из всех трех импульсных последовательностей с AUC 0,78.

Для предсказания прогноза пациентов после индукционной терапии активно исследуется дельта-радиомика. S.W. Su и соавт. на основании 59 КТ-исследований, выполненных до и после начала лечения рака гортаноглотки, построили радиомическую модель, предсказывающую ВПБ с AUC 0,77, предсказательная способность относительно ОВ не была доказана [30]. Авторы заключили, что пациенты с низким R-score составляют более благоприятную подгруппу и являются кандидатами для ХЛТ вместо тотальной ларингэктомии. S. Šediene и соавт. применили дельта-радиомику и машинное обучение для предсказания 3-летних ОВ и ВБП у пациентов с местнораспространенным раком головы и шеи на основании ПЭТ-КТ до и после индукционной терапии [31]. Модель дельта-радиомики оказалась более эффективной в сравнении с клинической и классической радиомической моделями. Наибольшую корреляцию с ОВ и временем до прогрессирования показали параметры GLCM_ContrastVariance, discretized_SUVstd и discretized_SUVskewness.

Кроме анализа первичного образования, имеются работы, включающие в себя исключительно оценку ответа лимфатических узлов. Так, M.H. Zhang и соавт. проанализировали КТ-исследования с 41 лимфатическим узлом для предсказания ответа опухоли на индукционную химиотаргетную тера-

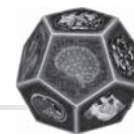
пию [32]. Таргетные лимфатические узлы подразделялись на “ответившие” и “не ответившие” по уменьшению объема на 66%. Для радиомической модели были отобраны три параметра: minimum pixel intensity и low gray level run emphasis ассоциировались с хорошим ответом, skewness – с плохим. Комбинированная модель, включающая радиомическую и клиническую (возраст, пол, T- и N-категории), показала наилучшую предсказательную способность с AUC 0,85 в тренинговой когорте и AUC 0,75 в тестовой когорте.

Применение радиомики при паллиативном лечении опухолей головы и шеи

Несмотря на появление новых препаратов, прогноз пациентов с метастатическим процессом и рецидивными опухолями остается неудовлетворительным со средней медианой ОВ 13 мес [33]. В настоящее время варианты лечения включают иммунотерапию, химиотаргетную терапию и химиотерапию. Выбор схемы лечения основывается на общем состоянии пациента, статусе PD-L1 (для иммунотерапии), истории предыдущих линий лечения [9]. Наиболее популярным направлением исследований в области радиомики у таких пациентов является поиск дополнительных предиктивных и прогностических маркеров для применения иммунотерапии [34].

Основными конечными точками исследования D.P. Zandberg и соавт. были предсказание ответа опухоли на основании RECIST 1.1 (disease control rate, DCR), ВБП, ОВ, а также оценка опухолевого микроокружения [35]. Практически у половины пациентов PD-L1 статус был неизвестен. Для каждого КТ-исследования производилась сегментация трех областей: первичная рецидивная опухоль, отдаленный метастаз и пораженный лимфатический узел. Радиомическая модель для предсказания ОВ строилась с помощью алгоритма машинного обучения XGBoost на основании 8 отобранных параметров. Была показана высокая эффективность модели в предсказании ОВ (AUC 0,74), ВБП (AUC 0,72) и DCR (AUC 0,71).

V.D.A. Corino и соавт. построили радиомическую модель для предсказания 10-месячной ОВ у пациентов, получавших иммунотерапию в рамках клинического исследования “Nivactor”, на основании КТ перед началом лечения [36]. PD-L1 статус был неизвестен примерно у трети пациентов и не участвовал в построении модели. Для анализа производилась сегментация наибольшего опухолевого очага. Модель обладала удовлетворительной эффективностью (AUC 0,67) и высокой точностью 0,82 (0,59–0,94) в тестовой когорте.



Y. Sim и соавт. извлекали радиомические признаки из T1-контрастных, T2-взвешенных изображений и ИКД-карт МР-исследований перед началом иммунотерапии для предсказания ОБ и ВБП [37]. На основании данных пациентов с известным PD-L1- статусом (59%) были построены клиническая и комбинированная клинко-радиомическая модели. Все три модели обладали схожей слабой эффективностью с варьированием iAUC в тренировочных когортах для предсказания ОБ от 0,59 в клинической модели до 0,7 в комбинированной модели, для предсказания ВБП – от 0,60 в радиомической модели до 0,66 в комбинированной модели. Дополнительно авторы заключили, что радиомические параметры, отражающие меньший размер, более округлые контуры и большую гомогенность опухоли, ассоциированы с лучшим прогнозом пациентов на иммунотерапии.

H. Lu и соавт. анализировали контрастные T1-взвешенные МР-изображения 31 пациента с рефрактерностью к препаратам платины для предсказания ОБ. PD-L1-статус был известен у 30 пациентов [38]. Наибольшая корреляция со статусом пациента “жив-умер” во временном интервале 9 мес была показана для радиомических параметров Grey-level co-occurrence matrix-associated texture. Радиомическая модель разделила пациентов на группы высокого, промежуточного и низкого риска при предсказании одногодичной смертности с тенденцией к достижению AUC 0,875.

Заключение

Радиомика обладает большим потенциалом в области предсказания прогноза и ответа опухолей головы и шеи на системную терапию. Анализ включенных исследований показывает, что радиомические модели, основанные на данных КТ, МРТ и ПЭТ/КТ, способны дополнять существующие клинические и морфологические критерии, а в ряде случаев – превосходить их по предсказательной мощности. Наиболее перспективными направлениями являются построение комбинированных клинко-радиомических моделей и использование дельта-радиомики для оценки динамики опухолевых изменений.

Радиомические параметры позволяют оценивать морфологические характеристики опухоли и лимфатических узлов, а также особенности опухолевого микроокружения, что может отражать биологическую агрессивность процесса и чувствительность к терапии. Полученные данные указывают на то, что радиомика как самостоятельный подход к анализу диагностических томографических изображений может стать ценным инструментом персонализации лечения – как для выбора режима химиолучевой

терапии и оптимизации индукционных подходов, так и для стратификации пациентов, потенциально отвечающих на иммунотерапию и таргетные препараты применительно к опухолям головы и шеи.

Тем не менее широкое внедрение радиомики в клиническую практику ограничено рядом факторов: гетерогенностью протоколов визуализации, различиями в сегментации, отсутствием стандартизированных подходов к извлечению и валидации признаков, а также малыми размерами выборок и использованием ретроспективных данных.

Дальнейшая стандартизация методологии и валидация моделей на больших когортах, особенно в практике отечественных учреждений, интенсивно развивающих радиомику как метод, являются ключевыми шагами для возможности использования данного инструмента в клинической практике и важнейшим направлением развития российской лучевой диагностики.

Участие авторов

Борискина К.П. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи.

Нечаев В.А. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи

Носова М.В. – обзор публикаций по теме статьи, подготовка и редактирование текста

Стативко О.А. – подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне

Покатаев И.А. – участие в научном дизайне, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

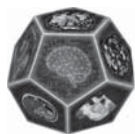
Boriskina K.P. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, review of publications, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, text preparation and editing, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Nechaev V.A. – concept and design of the study, conducting research, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing, approval of the final version of the article.

Nosova M.V. – review of publications, text preparation and editing, approval of the final version of the article.

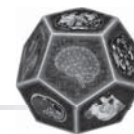
Stativko O.A. – text preparation and editing, approval of the final version of the article.

Pokataev I.A. – participation in scientific design, approval of the final version of the article.



Список литературы [References]

1. Barsouk A., Aluru J.S., Rawla P. et al. Epidemiology, Risk Factors, and Prevention of Head and Neck Squamous Cell Carcinoma. *Med. Sci. Basel Switz.* 2023; 11 (2): 42. <https://doi.org/10.3390/medsci11020042>
2. Johnson D.E., Burtneß B., Leemans C.R. et al. Head and neck squamous cell carcinoma. *Nat. Rev. Dis. Primer.* 2020; 6 (1): 92. <https://doi.org/10.1038/s41572-020-00224-3>
3. American Cancer Society. Cancer Facts & Figures 2025. Atlanta: American Cancer Society; 2025.
4. Machiels J.P., René Leemans C., Golusinski W. et al. Squamous cell carcinoma of the oral cavity, larynx, oropharynx and hypopharynx: EHNS-ESMO-ESTRO Clinical Practice Guidelines for diagnosis, treatment and follow-up†. *Ann. Oncol.* 2020; 31 (11): 1462-1475. <https://doi.org/10.1016/j.annonc.2020.07.011>
5. Каприн А.Д. Злокачественные новообразования в России в 2024 году (заболеваемость) / Под ред. А.Д. Каприн и др. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России, 2025. 178 с.
Kaprin A.D. Malignant neoplasms in Russia in 2024 (incidence) / Eds A.D. Kaprin et al. Moscow: P.A. Herzen Moscow Oncology Research Institute – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2025. 178 p. (In Russian)
6. Szturcz P., Haddad R.I., Posner M., Vermorken J.B. Navigating challenging patient factors in systemic therapy for head and neck cancer. *The Oncologist.* 2025; 30 (5): oyaf035. <https://doi.org/10.1093/oncolo/oyaf035>
7. SEER*Explorer: An interactive website for SEER cancer statistics [Internet]. Surveillance Research Program, National Cancer Institute; 2025 Jul 2. [cited 2025 Dec 14]. Available from: <https://seer.cancer.gov/statistics-network/explorer/>. Data source(s): SEER Incidence Data, November 2024 Submission (1975–2022), SEER 21 registries.
8. Ehrsson Y.T., Langius-Eklöf A., Laurell G. Nutritional surveillance and weight loss in head and neck cancer patients. *Support Care Cancer.* 2012; 20 (4): 757-765. <https://doi.org/10.1007/s00520-011-1146-4>
9. National Comprehensive Cancer Network. (2025). Head and neck cancer (version 5.2025). Retrieved from https://www.nccn.org/professionals/physician_gls/pdf/head-and-neck.pdf
10. Болотина Л.В., Владимиров Л.Ю., Деньгина Н.В., Кутукова С.И., Новик А.В., Романов И.С. Опухоли головы и шеи. *Malig. Tumours.* 2023; 13 (3s2-1): 100-119. <https://doi.org/10.18027/2224-5057-2023-13-3s2-1-100-119>
Bolotina L.V., Vladimirova L.Yu., Dengina N.V. et al. Head and neck tumors. *Malig. Tumours.* 2023; 13(3s2-1): 100-119. <https://doi.org/10.18027/2224-5057-2023-13-3s2-1-100-119> (In Russian)
11. Kale P., Datta S., Kalbande P. et al. Is it time to move from the Unidimensional RECIST 1.1 Response Assessment Criteria to a Volumetric Evaluation in the Present Era of Image-based Oncology? An Evaluation in Locally Advanced Head Neck Cancers Undergoing Treatment. *Clin. Oncol.* 2024; 36 (10): 615-623. <https://doi.org/10.1016/j.clon.2024.07.006>
12. Kocak B., Baessler B., Cuocolo R. et al. Trends and statistics of artificial intelligence and radiomics research in Radiology, Nuclear Medicine, and Medical Imaging: bibliometric analysis. *Eur. Radiol.* 2023; 33 (11): 7542-7555. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09772-0>
13. Nardone V., Reginelli A., Grassi R. et al. Delta radiomics: a systematic review. *Radiol. Med. (Torino).* 2021; 126 (12): 1571-1583. <https://doi.org/10.1007/s11547-021-01436-7>
14. Larue R.T.H.M., Defraene G., De Ruyscher D. et al. Quantitative radiomics studies for tissue characterization: a review of technology and methodological procedures. *Br. J. Radiol.* 2017; 90 (1070): 20160665. <https://doi.org/10.1259/bjr.20160665>
15. Shur J.D., Doran S.J., Kumar S. et al. Radiomics in Oncology: A Practical Guide. *RadioGraphics.* 2021; 41(6): 1717-1732. <https://doi.org/10.1148/rq.2021210037>
16. Vasilev Y.A., Nanova O.G., Blokhin I.A. et al. Priority radiomic parameters for computed tomography of head and neck malignancies: A systematic review. *Dig. Diagnostics.* 2024; 5 (2): 255-268. <https://doi.org/10.17816/DD623240>
17. Romeo V., Cuocolo R., Ricciardi C. et al. Prediction of Tumor Grade and Nodal Status in Oropharyngeal and Oral Cavity Squamous-cell Carcinoma Using a Radiomic Approach. *Anticancer Res.* 2020; 40 (1): 271-280. <https://doi.org/10.21873/anticancer.13949>
18. Chiesa-Estomba C.M., Mayo-Yanez M., Guntinas-Lichius O. et al. Radiomics in Hypopharyngeal Cancer Management: A State-of-the-Art Review. *Biomedicines.* 2023; 11 (3): 805. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11030805>
19. Marcu D.C., Grava C., Marcu L.G. Current Role of Delta Radiomics in Head and Neck Oncology. *Int. J. Mol. Sci.* 2023; 24 (3): 2214. <https://doi.org/10.3390/ijms24032214>
20. Rühle A., Weymann M., Behrens M. et al. Predicting cisplatin tolerability in older adults with head and neck cancer – Insights for improved chemoradiation outcomes. *Radiother. Oncol.* 2025; 204: 110697. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2024.110697>
21. Bruixola G., Dualde-Beltrán D., Jimenez-Pastor A. et al. CT-based clinical-radiomics model to predict progression and drive clinical applicability in locally advanced head and neck cancer. *Eur. Radiol.* 2024; 35 (7): 4277-4288. <https://doi.org/10.1007/s00330-024-11301-6>
22. Brodin N.P., Velten C., Lubin J. et al. A positron emission tomography radiomic signature for distant metastases risk in oropharyngeal cancer patients treated with definitive chemoradiotherapy. *Phys. Imaging Radiat. Oncol.* 2022; 21: 72-77. <https://doi.org/10.1016/j.phro.2022.02.005>
23. Bollen H., Dok R., De Keyser F. et al. Improving outcome prediction in oropharyngeal carcinoma through the integration of diffusion-weighted magnetic resonance imaging radiomics. *Phys. Imaging Radiat. Oncol.* 2025; 34: 100759. <https://doi.org/10.1016/j.phro.2025.100759>
24. Zhai T.T., Langendijk J.A., Van Dijk L.V. et al. Pre-treatment radiomic features predict individual lymph node failure for head and neck cancer patients. *Radiother. Oncol.* 2020; 146: 58-65. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2020.02.005>



25. Stativko O.A., Pokataev I.A., Kravtsov S.A. et al. First results of a multicenter, non-randomized, prospective phase II study of the efficacy and safety of induction therapy with pembrolizumab, cisplatin, and 5-fluorouracil in patients with unresectable squamous cell carcinoma of the oropharynx, hypopharynx and larynx. *J. Mod. Oncol.* 2025; 26 (4): 447–453. <https://doi.org/10.26442/18151434.2024.4.203019>
26. Hanna G.J., Haddad R.I., Lorch J.H. Induction chemotherapy for locoregionally advanced head and neck cancer: past, present, future? *The Oncologist.* 2013; 18 (3): 288–293. <https://doi.org/10.1634/theoncologist.2012-0286>
27. Janoray G., Pointreau Y., Garaud P. et al. Long-Term Results of a Multicenter Randomized Phase III Trial of Induction Chemotherapy With Cisplatin, 5-fluorouracil, ± Docetaxel for Larynx Preservation. *J. Natl. Cancer Inst.* 2016; 108 (4): djv368. <https://doi.org/10.1093/jnci/djv368>
28. Lyu W., Gong J., Zhu L. et al. MR radiomics unveils neoadjuvant chemo-responsiveness with insights into selective treatment de-intensification in HPV-positive oropharyngeal carcinoma. *Oral. Oncol.* 2024; 159: 107049. <https://doi.org/10.1016/j.oraloncology.2024.107049>
29. Bologna M., Calareso G., Resteghini C. et al. Relevance of apparent diffusion coefficient features for a radiomics-based prediction of response to induction chemotherapy in sinonasal cancer. *NMR Biomed.* 2022; 35 (4): e4265. <https://doi.org/10.1002/nbm.4265>
30. Su C.W., Lee J.C., Chang Y.F. et al. Delta-volume radiomics of induction chemotherapy to predict outcome of subsequent chemoradiotherapy for locally advanced hypopharyngeal cancer. *Tumori J.* 2022; 108 (5): 450–460. <https://doi.org/10.1177/03008916211039018>
31. Šedienė S., Kulakienė I., Urbonavičius B.G. et al. Development of a Model Based on Delta-Radiomic Features for the Optimization of Head and Neck Squamous Cell Carcinoma Patient Treatment. *Medicina (Mex.)* 2023; 59 (6): 1173. <https://doi.org/10.3390/medicina59061173>
32. Zhang M.H., Cao D., Ginat D.T. Radiomic Model Predicts Lymph Node Response to Induction Chemotherapy in Locally Advanced Head and Neck Cancer. *Diagn. Basel Switz.* 2021; 11 (4): 588. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11040588>
33. Harrington K.J., Burtress B., Greil R. et al. Pembrolizumab With or Without Chemotherapy in Recurrent or Metastatic Head and Neck Squamous Cell Carcinoma: Updated Results of the Phase III KEYNOTE-048 Study. *J. Clin. Oncol.* 2023; 41 (4): 790–802. <https://doi.org/10.1200/JCO.21.02508>
34. Rai P., Mahajan A. Radiomics in head and neck squamous cell carcinoma – a leap towards precision oncology. *J. Immunother. Cancer.* 2025; 13 (4): e011692. <https://doi.org/10.1136/jitc-2025-011692>
35. Zandberg D.P., Zenkin S., Ak M. et al. Evaluation of radiomics as a predictor of efficacy and the tumor immune microenvironment in anti-PD-1 MAB treated recurrent/metastatic squamous cell carcinoma of the head and neck patients. *Head Neck.* 2025; 47 (1): 129–138. <https://doi.org/10.1002/hed.27878>
36. Corino V.D.A., Bologna M., Calareso G. et al. A CT-Based Radiomic Signature Can Be Prognostic for 10-Months Overall Survival in Metastatic Tumors Treated with Nivolumab: An Exploratory Study. *Diagnostics.* 2021; 11 (6): 979. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11060979>
37. Sim Y., Sohn B., Kim S. et al. Radiomics and PD-L1 expression predict immunotherapy benefits in patients with head and neck squamous cell carcinoma. *Future Oncol.* 2024; 20 (36): 2869–2878. <https://doi.org/10.1080/14796694.2024.2342226>
38. Lu H., Shen C., Chiu Y. et al. Radiomic biomarkers for platinum-refractory head and neck cancer in the era of immunotherapy. *Oral. Dis.* 2024; 30 (7): 4220–4230. <https://doi.org/10.1111/odi.14854>

Для корреспонденции*: Борискина Ксения Петровна – e-mail: yakimovichkse@gmail.com

Борискина Ксения Петровна – врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики ГБУЗ города Москвы “ГКБ имени С.С. Юдина ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1950-2188>

Нечаев Валентин Александрович – канд. мед. наук, заведующий центром комплексной диагностики – врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики ГБУЗ города Москвы “ГКБ имени С.С. Юдина ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-6716-5593>

Носова Маргарита Владимировна – врач-химиотерапевт химиотерапевтического отделения №4 ЦАОП СВАО ГБУЗ города Москвы “ГКБ имени С.С. Юдина ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0009-0003-0622-2528>

Стативко Олеся Алексеевна – заведующая химиотерапевтическим отделением №4 ЦАОП СВАО ГБУЗ города Москвы “ГКБ имени С.С. Юдина ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0009-0002-1084-1551>

Покатаев Илья Анатольевич – доктор мед. наук, заместитель главного врача по медицинской части и научно-образовательной работе, руководитель службы химиотерапевтического лечения ГБУЗ города Москвы “ГКБ имени С.С. Юдина ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-9864-3837>

Contact*: Ksenia P. Boriskina – e-mail: yakimovichkse@gmail.com

Ksenia P. Boriskina – Radiologist of the radiation diagnostics department, Yudin Moscow City Clinical Hospital, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1950-2188>

Valentin A. Nechaev – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Comprehensive Diagnostics Center – Radiologist of the Radiation Diagnostics Department, Yudin Moscow City Clinical Hospital, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-6716-5593>

Margarita V. Nosova – Chemotherapist of chemotherapy department No. 4 Outpatient Oncology Care Center of the North-Eastern Administrative Okrug, Yudin Moscow City Clinical Hospital, Moscow. <https://orcid.org/0009-0003-0622-2528>

Olesya A. Stativko – Head of Chemotherapy Department No. 4 Outpatient Oncology Care Center of the North-Eastern Administrative Okrug, Yudin Moscow City Clinical Hospital, Moscow. <https://orcid.org/0009-0002-1084-1551>

Ilya A. Pokataev – Doct. of Sci. (Med.), Deputy Chief Physician for Medical Affairs and Scientific and Educational Work, Head of the Chemotherapy Treatment Service, Yudin Moscow City Clinical Hospital, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-9864-3837>