

В.П. Неустроев¹, Ю.Д. Удалов², М.И. Муслимов³, Э.Н. Мингазова^{3,4,5}

ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОМИКИ В МРТ-ИССЛЕДОВАНИЯХ МЕТАСТАТИЧЕСКИХ ПОРАЖЕНИЙ ПЕЧЕНИ

¹ Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н.Н. Блохина Минздрава России, Москва

² Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

³ Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва

⁴ Национальный НИИ общественного здоровья имени Н.А. Семашко, Москва

⁵ Казанский государственный медицинский университет, Казань

Контактное лицо: Эльмира Нурисламовна Мингазова, e-mail: elmira_mingazova@mail.ru

РЕЗЮМЕ

В настоящее время радиомика как быстро развивающаяся технология получает все большее применение в решении диагностических, прогностических и предиктивных задач в исследованиях метастазов печени на базе изображений МРТ. Помимо эффективности в диагностике и классификации опухолей, радиомика демонстрирует особенно впечатляющие прогностические возможности в отношении злокачественных новообразований печени (ЗНО) печени как органа высокого риска. До появления радиомики для этих целей использовались молекулярно-генетические, биохимические и гистологические исследования. Радиомика ЗНО печени находится в начале своего развития, что предполагает наличие определенных трудностей и препятствий, на устранение которых направлено первоочередное внимание, в частности, в области разработки стандартов, необходимых для применения в клинической практике.

Ключевые слова: радиомика, МРТ-изображения, анализ текстуры, метастазирование, печень, прецизионная медицина

Для цитирования: Неустроев В.П., Удалов Ю.Д., Муслимов М.И., Мингазова Э.Н. Применение радиомики в МРТ-исследованиях метастатических поражений печени // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2025. Т. 70. № 5. С. 93–97. DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-5-93-97

V.P. Neustroev, Yu.D. Udalov, M.I. Muslimov, E.N. Mingazova

Use of Radiomics in MRI Studies of Metastatic Liver Lesions

¹ N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Moscow, Russia

² A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

³ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia

⁴ N.A. Semashko National Research Institute of Public Health, Moscow, Russia

⁵ Kazan State Medical University, Kazan, Russia

Contact person: E.N. Mingazova, e-mail: elmira_mingazova@mail.ru

ABSTRACT

Currently, radiomics, as a rapidly developing technology, is increasingly used to solve diagnostic, prognostic and predictive problems in studies on liver metastases based on MRI images. In addition to its effectiveness in diagnosing and classifying tumors, radiomics demonstrates particularly impressive prognostic capabilities for malignant liver tumors (MLT) of the liver as a high-risk organ. Before the advent of radiomics, molecular genetic, biochemical and histological studies were used for these purposes. Radiomics of liver MLT is in its early stages of development, which suggests the presence of certain difficulties and obstacles, the elimination of which is the primary focus, in particular, in the field of developing standards necessary for use in clinical practice.

Keywords: radiomics, magnetic resonance imaging, MRI, medical imaging, texture analysis, metastasis, liver, precision medicine

For citation: Neustroev VP, Udalov YuD, Muslimov MI, Mingazova EN. Use of Radiomics in MRI Studies of Metastatic Liver Lesions. Medical Radiology and Radiation Safety. 2025;70(5):93–97. (In Russian). DOI:10.33266/1024-6177-2025-70-5-93-97

Введение

Интенсивное развитие цифровых технологий, инновационных методов лучевых исследований и обработки информации транслируется в новый медико-диагностический инструментарий, открывающий клинической практике уникальные возможности исследования патологий человека. С появлением средств высокопро-

изводительных вычислений и программирования перспективы неинвазивной диагностики и оценки ответа патологического процесса на лечение связываются с компьютерным зрением в сочетании с искусственным интеллектом (ИИ). С начала 2010-х гг. для определения данной технологии в медицине введен термин «радиомика», который к настоящему времени практически

вытеснил термин «анализ текстуры», что указывает на широкое использование термина «радиомика» в научной литературе [1]. Медицинская визуализация в рамках радиомики приобретает новое качество вследствие возможности генерации детальной персонализированной модели визуализируемой патологии клинического объекта на основе глубокого анализа ранее не определяемых клинически ценных параметров радиологических изображений. Глубина анализа изображений и производительность процесса непрерывно увеличиваются по мере совершенствования аппаратуры, графических процессоров, сверточных нейронных сетей и глубокого обучения [2–9].

Малигнизующие очаговые и диффузные поражения печени являются достаточно распространенными в клинической практике патологиями гепатобилиарной зоны. Анализ радиологических изображений занимает центральное место в их диагностике и в процессе лечения. На данном этапе радиомика нацелена на расширение роли радиовизуализации в оценке заболеваний печени за пределами традиционного визуального анализа текстуры на изображениях для диагностических, прогностических и предиктивных задач [10].

Считается, что печень является органом, подверженным высокому риску вторичного рака. Метастазы в печени наблюдаются в 18–40 раз чаще, чем первичные опухоли печени [11]. У пациентов с колоректальной аденокарциномой синхронные метастазы (чаще всего в печени) обнаруживаются у 15–30 % и развиваются у 20–50 % пациентов с изначально локализованной опухолью [12].

В соответствии с функциональным статусом печень имеет сложную гистологию. Широкий набор клеток печени (эндотелиальные клетки синусоидов, клетки Купфера, звездчатые клетки, паренхиматозные гепатоциты, дендритные клетки, НК-клетки, моноциты, макрофаги, нейтрофилы) принимают участие в развитии метастазов в печени. Метастазирование проходит микрососудистую, преангиогенную и ангиогенную фазы роста [13]. Метастатические раковые клетки характеризуются повышенной склонностью к развитию лекарственной устойчивости в сравнении с клетками первичного рака [14]. Крупные и быстрорастущие метастазы обычно некротизируются, часто некроз носит коагуляционный характер и связан с гипоксией опухоли. Гипоксический некроз в основном затрагивает центр метастатического узла, в то время как кровообращение в его периферии сохраняется. При химиотерапевтическом воздействии на опухоль, как правило, возникает обычный или инфарктоподобный некроз [15–16]. Известно, что целый спектр печеночных патологий мимикрирует под метастазы [17–19].

Специфика первичной опухоли, динамика метастазов и других патологий печени обычно выявляются с методами УЗИ, МРТ, КТ, ПЭТ и определяются в процессе ручной обработки. Однако с позиций радиомики при традиционной медицинской визуализации большой объем информации с радиологических изображений не считывается, что особенно важно в ранней диагностике и клиническом прогнозе развития ЗНО печени. Контрастное изображение тканей при МРТ определяется в первую очередь с использованием плотности протонов, времени продольной релаксации (T_1) и времени поперечной релаксации (T_2 или T_2^*). Прочими источниками контрастного изображения являются перенос намагниченности, химический сдвиг и поток протонов. МРТ выявляет ЗНО печени на основе параметрических различий между пораженной и непораженной тканью пече-

ни, при этом различия обусловлены гистологическими особенностями (типы и плотность клеток и интерстициальных структур). Некроз, интерстициальный фиброз, жировая инфильтрация, кальцификация и депозитов металлов могут изменять эти параметры, тем самым влияя на интенсивность сигнала [20].

Очевидно, что именно при столь выраженной подверженности печени метастазированию, широкой вариации ее патологий и сложной гистопатологической картине, исключительно ценным, особенно в решении прогностических задач, является определение на изображениях биомаркеров как первичной опухоли, так и органа риска (в данном случае печени), морфологических фенотипов и детальной текстуры пораженных участков в целом.

В этой связи целью данной работы является изучение опыта применения радиомики в прогнозировании, идентификации и определении характеристик метастазов печени, полученного в зарубежных специализированных клинических центрах.

Материал и методы: библиографический, аналитический

Изучались материалы зарубежных интервенционных и обзорных исследований. По результатам поиска были отобраны основополагающие работы в области радиомики и доступные полнотекстовые публикации с развернутыми резюме, содержащие обзоры опыта машинной обработки изображений МРТ и результаты исследований применения радиомики в диагностике и прогнозе динамики метастазов в печени.

Результаты и обсуждение

Ряд опубликованных к настоящему времени обзоров литературы по диагностике и прогнозированию формирования метастазов печени с элементами радиомического анализа изображений, полученных методом МРТ, констатируют, что работы по радиомике печени, как и большинство работ в этой области, имеют апробационный, тестовый характер [21–25].

Большинство работ преимущественно освещает проблему метастазов печени вследствие рака прямой кишки и нацелены на объективную оценку, в первую очередь, надежности, эффективности и применимости данной технологии, опираясь на метрики, полученные в результате построения модели. В качестве конкретной цели указывают построение прогностических, предиктивных моделей и номограмм для выявления рака прямой кишки с прогнозированием синхронных и метастатических метастазов печени [26–34]. Также решаются специфические задачи: определение дельта-радиологических характеристик текстуры первичной опухоли и метастазов печени при стереотаксической абляционной лучевой терапии под контролем МРТ в реальном времени [35], оценка пригодности радиологических характеристик, полученных с помощью МРТ в прогнозировании выживаемости без прогрессирования локальной опухоли у пациентов, которым проводилась микроволновая абляция [36] или получающих таргетную биологическую терапию [37]; предоперационное прогнозирование гистопатологических особенностей роста метастазов [38]; генерация прогностической модели на основе характеристик МРТ и клинических данных для оценки выживаемости без прогрессирования, общей выживаемости и частоты объективных ответов у пациентов с раком поджелудочной железы и метастазами в печени, получавших химиотерапию [39]; отбор маркеров визуализации МРТ для неинвазивного прогнозирования гипоксии опухоли у пациентов с метастазами колоректального рака в пе-

чень [40]; прогнозирование послеоперационных метастазов в печени при протоковой аденокарциноме поджелудочной железы по многомерной модели на основе нескольких алгоритмов машинного обучения с использованием последовательностей МРТ с клиническими параметрами [41]; оценка воспроизводимости результатов радиологических исследований на нескольких последовательностях МРТ после сегментации метастазов колоректального рака в печени [42]; дифференциация метастазов и абсцессов в печени [43]; классификация опухолей печени на основе неконтрастных изображений МРТ с использованием текстурных особенностей, устойчивой гомологии и анализом полученных данных с помощью моделей машинного обучения [20].

Большинство исследований имеет ретроспективный характер и выполнено по базовой схеме, в той или иной степени подробно описываемой в разделах о методах и полностью соответствующей как руководствам по радиомике, так и аналитическим публикациям по оценке и критике результатов тестирования рассматриваемой технологии [1, 44–47]. Реализация радиомики в целом осуществляется посредством междисциплинарного взаимодействия радиологов и специалистов по обработке данных и визуализации.

Процесс состоит из последовательности базовых этапов: сегментации опухоли, предварительной обработки изображений, извлечения признаков, разработки модели и верификации. В рамках каждого этапа решаются задачи по коррекции, нормализации и оптимизации параметров. Извлеченные признаки отражают распределение интенсивности сигнала и локализацию пикселей в исследуемой области. Валидация, которая необходима для оценки работы модели на новых данных, выполняется итерацией на выборках из набора данных (кросс-валидация) или на внешней выборке.

Объем выборок (пациентов и локализаций), на которых ретроспективно выполнена радиомика метастазирования печени, колеблется в основном в пределах чисел второго–третьего порядка и, вероятно, определяется доступностью материала и его дальнейшей селекцией. В случае решения задач по дифференциации могут использоваться сравнительные выборки иных поражений печени (первичный рак, гемангиомы) и контрольные группы пациентов. Например, в оценке эффективности радиологических признаков для прогнозирования клинических исходов у пациентов с метастазами колоректального рака в печени когорты пациентов были составлены из 51 пациента со множественными метастазами (обучающая выборка) и 30 пациентов с одиночным метастазом (внешняя выборка) [28]. МРТ-изображения генерировались в режимах T_1 , $CE-T_1W$, T_2 , $HD T_2W$ и DW с расчетом ADC. Как правило, сегментация выполнялась с участием опытных врачей-радиологов во избежание риска неоднозначной интерпретации. В [40] отмечается, что гипоксия опухоли оценивалась двумя патологоанатомами на основании иммуногистохимического окрашивания HIF-1A в образцах тканей пациентов. В исследовании, посвященном дельта-радиомике для контроля и планирования стереотаксической лучевой терапии, в оконтуривании клинически определяемой первичной опухоли и органов риска принимал участие ряд специалистов, включая медицинского физика, лечащего врача, врача-радиолога, ординатора-радиолога, имевших клинический опыт и навыки настройки изображений на низкопольных МРТ-сканерах [35]. Область интереса в опухоли также сегментируется на изображениях T_2W с использованием программного обеспечения ИТК-SNAP [26, 39, 48].

Начальные количества приведенных в публикациях радиомических характеристик, состав которых зависит от целей исследования (признаки гистограммы, факторов формы, матрицы зависимости уровней серого, матрицы длины серий уровней серого, матрицы совместного появления уровней серого, матрицы размеров зон уровней серого и матрицы разницы соседних уровней серого) составили 328 [26] и 4032 признака [40], к каждому из которых для трансформации в возможную радиомную сигнатуру обязательно применялся корреляционный тест, уменьшавший избыточность данных, или набор фильтров.

Извлечение признаков, статистический анализ и моделирование выполнялись с использованием комбинации взаимодополняющих версий MatLab Image Processing Toolbox (обработка изображений), Signal Processing Toolbox (работа с сигналами в среде MatLab), Wavelet Toolbox (анализ и синтезирования сигналов и изображений), Statistics and Machine Learning Toolbox (анализ и моделирования данных с использованием статистики и машинного обучения) [20, 35], специализированных пакетов PyRadiomics (извлечение признаков из медицинских изображений на языке Python) [40], rms (построение и оценка регрессионных моделей на языке R) [26], Artificial Intelligence Kit V3.0.0.R (вычисление признаков) [35], Glmnet (на языке R) [39], SPSS, Python, R и SPSS (статанализ) [33]. При этом XGBoost (метод машинного обучения), LOOCV (метод кросс-валидации в обучении) LASSO (метод регрессионного анализа), многомерный анализ Кокса (регрессионная модель), алгоритм случайный лес (классификация алгоритмов, обучение), логистическая регрессия, анализ главных компонент и бутстрэппинг (метод проверки путем извлечения случайных выборок из исходных данных с заменой) фигурируют как наиболее часто используемые инструменты вычислений и машинного обучения, демонстрирующие оптимальную производительность [20, 26, 30, 33, 40, 48].

Для количественной оценки прогностической эффективности моделей, построенных на основе радиологических и клинических исходных характеристик и их комбинаций, использовались кривая рабочей характеристики приемника (от англ. receiver operating characteristic receiver operating characteristic (ROC)) с показателем площади под кривой операционного воздействия (от англ. area under the curve (AUC)). Кроме того, в ряде работ рассчитывались данные PR-AUC (от англ. area under the PR-curve-площадь под кривой полнота–точность), точность, чувствительность, специфичность, коэффициент F_1 , отрицательная и положительная прогностические ценности, а также воспроизводимость (посредством ICC (от англ. intraclass correlation coefficient)). Несмотря на высокие значения метрик, указывающих на эффективность обученных моделей, большинство авторов расценивают результаты выполненных ими радиомических работ по метастазированию и синхронному развитию локальных рецидивов и метастазов печени как предварительные или экспериментальные. В итоге делается заключение о высоком диагностическом потенциале ранее неизвлекаемой информации на изображениях, полученных методом МРТ, и появлении перспективных способов персонализации и классификации поражений печени, определения клинической стадии, прогноза инвазии солидного образования печени, ответов на терапию злокачественных новообразований (ЗНО) печени и выживаемости. При этом авторы исследований ссылаются на ограничения, присутствовавшие при выполнении работы, которые в основном можно компенсировать

при крупномасштабных многоцентровых исследований на больших выборках [24, 26–28, 30–33, 37, 39–43, 48, 49]. На ограничения и серьезные погрешности первых работ по радиомике указывают и авторы аналитических обзоров нескольких тысяч публикаций по применению радиомики в области онкологии. Прежде всего констатируется, что опубликованные работы страдают не вполне прозрачной отчетностью, отмечаются сложности с воспроизводимостью полученных результатов [45, 46]. Тем не менее, при всех издержках начального периода развития технологии, работы по радиомике при метастазах печени, в частности, демонстрируют особенно впечатляющие прогностические возможности в отношении органов-мишеней, которые в той или иной мере до появления радиомики обеспечивались молекулярно-генетическими, биохимическими, гистологическими исследованиями.

Таким образом, радиомика в ближайшей перспективе вряд ли перейдет в статус рутинных процедур в онкологии. При этом очевидно, что все аспекты технологии в целом апробированы, требуется лишь привести ее к стандартам, решить проблемы воспроизводимости и валидации, сформировать референсные базы циф-

ровых изображений адекватного качества, утвердить протоколы проведения радиомического анализа и пр. На решение этих проблем ориентирована методология METRICS для оценки качества исследований в области радиомики, разработанная международной группой экспертов на основе метода Дельфи, и реализованная в виде веб-приложения и репозитория для отзывов радиологов [45–47].

В настоящее время представляется необходимым создание условий и инфраструктуры для развития технологии радиомики на уровне региональных подразделений специализированной онкологической помощи. Считается, что тестовые работы в области радиомики возможно реализовать силами междисциплинарного коллектива численностью до пяти специалистов, располагающих материалом для ретроспективных исследований. Необходимый для радиомики инструментарий доступен как в виде программ с открытым исходным кодом, так и в виде коммерческого продукта, а опубликованные инструкции по радиомике наряду с исключительно подробными отчетами и критическими статьями являются хорошими руководствами для планирования и реализации работ по радиомике на материале ЗНО.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

- Shur JD, Doran SJ, Kumar S, et al. Radiomics in Oncology: A Practical Guide. *Radiographics*. 2021;41(6):1717-1732. doi:10.1148/rg.2021210037.
- Kumar V, Gu Y, Basu S, et al. Radiomics: the process and the challenges. *Magn Reson Imaging*. 2012;30(9):1234-1248. doi:10.1016/j.mri.2012.06.010.
- Lambin P, Leijenaar RTH, Deist TM, et al. Radiomics: the bridge between medical imaging and personalized medicine. *Nat Rev Clin Oncol*. 2017;14(12):749-762. doi:10.1038/nr-clinonc.2017.141.
- Parekh V, Jacobs MA. Radiomics: a new application from established techniques. *Expert Rev Precis Med Drug Dev*. 2016;1(2):207-226. doi:10.1080/23808993.2016.1164013.
- Rizzo S, Botta F, Raimondi S, et al. Radiomics: the facts and the challenges of image analysis. *Eur Radiol Exp*. 2018;2(1):36. Published 2018 Nov 14. doi:10.1186/s41747-018-0068-z.
- Alderson PO, Summers RM. The Evolving Status of Radiomics. *J Natl Cancer Inst*. 2020;112(9):869-870. doi:10.1093/jnci/djaa018.
- Ding H, Wu C, Liao N, et al. Radiomics in Oncology: A 10-Year Bibliometric Analysis. *Front Oncol*. 2021;11:689802. Published 2021 Sep 20. doi:10.3389/fonc.2021.689802.
- McCague C, Ramlee S, Reinius M, et al. Introduction to radiomics for a clinical audience. *Clin Radiol*. 2023;78(2):83-98. doi:10.1016/j.crad.2022.08.149.
- Maniaci A, Lavalle S, Gagliano C, et al. The Integration of Radiomics and Artificial Intelligence in Modern Medicine. *Life (Basel)*. 2024;14(10):1248. Published 2024 Oct 1. doi:10.3390/life14101248.
- Maino C, Vernuccio F, Cannella R, et al. Radiomics and liver: Where we are and where we are headed?. *Eur J Radiol*. 2024;171:111297. doi:10.1016/j.ejrad.2024.111297.
- Hacking C, Southi J, Fahrenhorst-Jones T, Silverstone L., et al. Hepatic metastases. Reference article. *Radiopaedia.org*. 2025; doi:10.53347/rID-6931.
- Cervantes A, Adam R, Roselló S, et al. Metastatic colorectal cancer: ESMO Clinical Practice Guideline for diagnosis, treatment and follow-up. *Ann Oncol*. 2023;34(1):10-32. doi:10.1016/j.annonc.2022.10.003.
- Tsilimigras DI, Brodt P, Clavien PA, et al. Liver metastases. *Nat Rev Dis Primers*. 2021;7(1):27. Published 2021 Apr 15. doi:10.1038/s41572-021-00261-6.
- Stoletov K, Beatty PH, Lewis JD. Novel therapeutic targets for cancer metastasis. *Expert Rev Anticancer Ther*. 2020;20(2):97-109. doi:10.1080/14737140.2020.1718496.
- Chang HH, Leeper WR, Chan G, Quan D, Driman DK. Infarct-like necrosis: a distinct form of necrosis seen in colorectal carcinoma liver metastases treated with perioperative chemotherapy. *Am J Surg Pathol*. 2012;36(4):570-576. doi:10.1097/PAS.0b013e31824057e7.
- Zimmermann A. Metastatic Liver Disease: Secondary Alterations of Hepatic Metastases. *Tumors and Tumor-Like Lesions of the Hepatobiliary Tract. General and surgical pathology*. Cham: Springer, 2017. P. 1947–1964. doi:10.1007/978-3-319-26956-6_109.
- Çakır M, Tüzün S, Savaş A, Tosalı Y. Two pseudotumor cases mimicking liver malignancy. *Turk J Surg*. 2015;33(3):212-216. Published 2015 Jul 2. doi:10.5152/UCD.2015.2912.
- Pohnan R, Ryska M, Hytych V, Matej R, Hrabal P, Pudil J. Echinococcosis mimicking liver malignancy: A case report. *Int J Surg Case Rep*. 2017;36:55-58. doi:10.1016/j.ijscr.2017.04.032.
- Khalil A, Taha A. Hepatic Sarcoid-Like Reaction Mimicking Liver Metastases in a 36-Year-Old Female With Rheumatoid Arthritis. *Cureus*. 2023;15(8):e43974. Published 2023 Aug 23. doi:10.7759/cureus.43974.
- Oyama A, Hiraoka Y, Obayashi I, et al. Hepatic tumor classification using texture and topology analysis of non-contrast-enhanced three-dimensional T1-weighted MR images with a radiomics approach. *Sci Rep*. 2019;9(1):8764. Published 2019 Jun 19. doi:10.1038/s41598-019-45283-z.
- Fiz F, Viganò L, Gennaro N, et al. Radiomics of Liver Metastases: A Systematic Review. *Cancers (Basel)*. 2020;12(10):2881. Published 2020 Oct 7. doi:10.3390/cancers12102881.
- Li S, Li Z, Huang X, et al. CT, MRI, and radiomics studies of liver metastasis histopathological growth patterns: an up-to-date review. *Abdom Radiol (NY)*. 2022;47(10):3494-3506. doi:10.1007/s00261-022-03616-z.
- Granata V, Fusco R, Setola SV, et al. Colorectal liver metastases patients prognostic assessment: prospects and limits of radiomics and radiogenomics. *Infect Agent Cancer*. 2023;18(1):18. Published 2023 Mar 16. doi:10.1186/s13027-023-00495-x.
- Baishya NK, Baishya K, Baishya K, Sarma R, Ray S. MRI Radiomics in Imaging of Focal Hepatic Lesions: A Narrative Review. *Cureus*. 2024;16(6):e62570. Published 2024 Jun 17. doi:10.7759/cureus.62570.
- Haghshomar M, Rodrigues D, Kalyan A, Velichko Y, Borhani A. Leveraging radiomics and AI for precision diagnosis and prognostication of liver malignancies. *Front Oncol*. 2024;14:1362737. Published 2024 May 8. doi:10.3389/fonc.2024.1362737.
- Shu Z, Fang S, Ding Z, et al. MRI-based Radiomics nomogram to detect primary rectal cancer with synchronous liver

- metastases. *Sci Rep.* 2019;9(1):3374. Published 2019 Mar 4. doi:10.1038/s41598-019-39651-y.
27. Hu SX, Yang K, Wang XR, et al. *Sichuan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban.* 2021;52(2):311-318. doi:10.12182/20210360202.
 28. Granata V, Fusco R, De Muzio F, et al. Contrast MR-Based Radiomics and Machine Learning Analysis to Assess Clinical Outcomes following Liver Resection in Colorectal Liver Metastases: A Preliminary Study. *Cancers (Basel).* 2022;14(5):1110. Published 2022 Feb 22. doi:10.3390/cancers14051110.
 29. Granata V, Fusco R, De Muzio F, et al. Radiomics and machine learning analysis by computed tomography and magnetic resonance imaging in colorectal liver metastases prognostic assessment. *Radiol Med.* 2023;128(11):1310-1332. doi:10.1007/s11547-023-01710-w.
 30. Huang Y, Zhou S, Luo Y, et al. Development and validation of a radiomics model of magnetic resonance for predicting liver metastasis in resectable pancreatic ductal adenocarcinoma patients. *Radiat Oncol.* 2023;18(1):79. Published 2023 May 10. doi:10.1186/s13014-023-02273-w.
 31. Li ZF, Kang LQ, Liu FH, et al. Radiomics based on preoperative rectal cancer MRI to predict the metachronous liver metastasis. *Abdom Radiol (NY).* 2023;48(3):833-843. doi:10.1007/s00261-022-03773-1.
 32. Chen Y, Lu T, Zhang Y, Li H, Xu J, Li M. Baseline hepatobiliary MRI for predicting chemotherapeutic response and prognosis in initially unresectable colorectal cancer liver metastases. *Abdom Radiol (NY).* 2024;49(8):2585-2594. doi:10.1007/s00261-024-04492-5.
 33. Ma J, Nie X, Kong X, et al. MRI T₂WI-based radiomics combined with KRAS gene mutation constructed models for predicting liver metastasis in rectal cancer. *BMC Med Imaging.* 2024;24(1):262. Published 2024 Oct 4. doi:10.1186/s12880-024-01439-6.
 34. Wang X, Liu Z, Yin X, Yang C, Zhang J. A radiomics model fusing clinical features to predict microsatellite status preoperatively in colorectal cancer liver metastasis. *BMC Gastroenterol.* 2023;23(1):308. Published 2023 Sep 12. doi:10.1186/s12876-023-02922-0.
 35. Jin WH, Simpson GN, Dogan N, et al. MRI-based delta-radiomic features for prediction of local control in liver lesions treated with stereotactic body radiation therapy. *Sci Rep.* 2022;12(1):18631. Published 2022 Nov 3. doi:10.1038/s41598-022-22826-5.
 36. Della Corte A, Mori M, Calabrese F, et al. Preoperative MRI radiomic analysis for predicting local tumor progression in colorectal liver metastases before microwave ablation. *Int J Hyperthermia.* 2024;41(1):2349059. doi:10.1080/02656736.2024.2349059.
 37. Yoon S, Kim YJ, Jeon JS, Ahn SJ, Choi SJ. Radiomics and machine learning analysis of liver magnetic resonance imaging for prediction and early detection of tumor response in colorectal liver metastases. *Korean J Clin Oncol.* 2024;20(1):27-35. doi:10.14216/kjco.24005.
 38. Song C, Li W, Cui J, et al. Pre-operative prediction of histopathological growth patterns of colorectal cancer liver metastasis using MRI-based radiomic models. *Abdom Radiol (NY).* 2024;49(12):4239-4248. doi:10.1007/s00261-024-04290-z.
 39. Lu W, Wu G, Miao X, et al. The radiomics nomogram predicts the prognosis of pancreatic cancer patients with hepatic metastasis after chemioimmunotherapy. *Cancer Immunol Immunother.* 2024;73(5):87. Published 2024 Mar 30. doi:10.1007/s00262-024-03644-2
 40. Bodalal Z, Bogveradze N, Ter Beek LC, et al. Radiomic signatures from T2W and DWI MRI are predictive of tumour hypoxia in colorectal liver metastases. *Insights Imaging.* 2023;14(1):133. Published 2023 Jul 21. doi:10.1186/s13244-023-01474-x.
 41. Yuan Z, Shu Z, Peng J, et al. Prediction of postoperative liver metastasis in pancreatic ductal adenocarcinoma based on multiparametric magnetic resonance radiomics combined with serological markers: a cohort study of machine learning. *Abdom Radiol (NY).* 2024;49(1):117-130. doi:10.1007/s00261-023-04047-0.
 42. van der Reijd DJ, Chupetlovska K, van Dijk E, et al. Multi-sequence MRI radiomics of colorectal liver metastases: Which features are reproducible across readers?. *Eur J Radiol.* 2024;172:111346. doi:10.1016/j.ejrad.2024.111346.
 43. Park JH, Cho ES, Yoon J, et al. MRI radiomics model differentiates small hepatic metastases and abscesses in periampullary cancer patients. *Sci Rep.* 2024;14(1):23541. Published 2024 Oct 9. doi:10.1038/s41598-024-74311-w.
 44. Zwanenburg A, Vallières M, Abdalah MA, et al. The Image Biomarker Standardization Initiative: Standardized Quantitative Radiomics for High-Throughput Image-based Phenotyping. *Radiology.* 2020;295(2):328-338. doi:10.1148/radiol.2020191145.
 45. Kocak B, Baessler B, Bakas S, et al. CheckList for Evaluation of Radiomics research (CLEAR): a step-by-step reporting guideline for authors and reviewers endorsed by ESR and EuSoMII. *Insights Imaging.* 2023;14(1):75. Published 2023 May 4. doi:10.1186/s13244-023-01415-8.
 46. Kocak B, Yuzkan S, Mutlu S, Bulut E, Kavukoglu I. Publications poorly report the essential RadiOmics ParametERs (PROPER): A meta-research on quality of reporting. *Eur J Radiol.* 2023;167:111088. doi:10.1016/j.ejrad.2023.111088.
 47. Kocak B, Akinci D, Antonoli T, Mercaldo N, et al. METHodological RadiomICs Score (METRICS): a quality scoring tool for radiomics research endorsed by EuSoMII. *Insights Imaging.* 2024;15(1):8. Published 2024 Jan 17. doi:10.1186/s13244-023-01572-w.
 48. Long ZD, Yu X, Xing ZX, Wang R. Multiparameter magnetic resonance imaging-based radiomics model for the prediction of rectal cancer metachronous liver metastasis. *World J Gastrointest Oncol.* 2025;17(1):96598. doi:10.4251/wjgo.v17.i1.96598
 49. Shahveranova A, Balli HT, Aikimbaev K, Piskin FC, Sozutok S, Yucel SP. Prediction of Local Tumor Progression After Microwave Ablation in Colorectal Carcinoma Liver Metastases Patients by MRI Radiomics and Clinical Characteristics-Based Combined Model: Preliminary Results. *Cardiovasc Intervent Radiol.* 2023;46(6):713-725. doi:10.1007/s00270-023-03454-6.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 20.05.2025. **Принята к публикации:** 25.06.2025.

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

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 20.05.2025. **Accepted for publication:** 25.06.2025.