

© И.Н. Киева¹, Н.А. Рубцова¹, Е.Г. Новикова¹, В.А. Алимов²

Радиомический анализ МР-изображений в предоперационном стадировании рака эндометрия: обзор литературы

¹Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П.А. Герцена — филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Российская Федерация

²Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Московский многопрофильный научно-клинический центр имени С.П. Боткина» Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Российская Федерация

© Irina N. Kieva¹, Natalia A. Rubtsova¹, Elena G. Novikova¹, Vladimir A. Alimov²

Radiomic Analysis of MRI for Preoperative Staging of Endometrial Cancer: A Literature Review

¹P.A. Herzen Medical and Research Institute — branch of National Medical Research Radiological Centre, Ministry of Health of Russia, Moscow, the Russian Federation

²S.P. Botkin Moscow Multidisciplinary Research and Clinical Centre, Moscow, the Russian Federation

Магнитно-резонансная томография (МРТ) занимает ключевое место в диагностическом алгоритме рака эндометрия (РЭ), поскольку является наиболее информативным методом для оценки ключевого прогностического фактора — глубины инвазии в миометрий и местной распространенности опухолевого процесса, на основе чего осуществляется планирование лечения. Последний пересмотр системы стадирования РЭ (FIGO, 2023) основан на стратификации факторов риска, включающих, помимо распространенности и гистологического типа опухоли, данные о молекулярно-генетическом подтипе, лимфоваскулярной инвазии и микрометастазах в лимфатические узлы, устанавливаемых по результатам послеоперационного гистологического исследования. Возможность получения информации о факторах риска на дооперационном этапе может способствовать оптимизации выбора лечебной стратегии. В связи с этим в мире предпринимаются попытки разработать новые подходы к предоперационной диагностике РЭ, основанные на анализе диагностических изображений, выполняемых в рамках предоперационного стадирования. Большинство исследований включают оценку информативности радиомических признаков, извлеченных при текстурном анализе (ТА) из изображений, получаемых при МРТ у больных РЭ. Данный обзор представляет разбор опубликованных научных исследований, посвященных применению радиомического и радиогеномного анализа МР-изображений в диагностике РЭ и демонстрирует перспективные результаты данных направлений в определении таких факторов прогноза, как гистологический тип опухоли, глубина инвазии в миометрий, лимфоваскулярная инвазия, метастатическое поражение лимфатических узлов и молекулярно-генетический подтип опухоли. Однако определить предсказательную значимость конкретных радиомических параметров в выявлении основных факторов прогноза РЭ на сегодняшний день не представляется возможным, что обусловлено существенной вариабельностью анализируемых текстурных признаков, использованием различных программных приложений для проведения ТА и отсутствием унифицированных подходов при выборе анализируемых МР-последовательностей. В связи с этим радиомический

Magnetic resonance imaging (MRI) is central to the diagnostic algorithm for endometrial cancer (EC) as the most informative modality for assessing key prognostic factors such as the depth of myometrial invasion and local tumor extent, which are critical for treatment planning. The latest revision of the FIGO staging system (2023) stratifies risk based on factors including local extent, histological type, molecular genetic subtype, lymphovascular space invasion (LVSI), and lymph node micrometastases, which are typically determined postoperatively. The ability to preoperatively ascertain these risk factors could help optimize treatment strategies. Consequently, there is a global effort to develop new diagnostic approaches for EC based on the analysis of imaging data acquired during standard preoperative staging. Most studies evaluate the diagnostic value of radiomic features extracted via texture analysis (TA) from MRI scans of EC patients. This review synthesizes published research on the application of radiomic and radiogenomic analysis of MRI in EC diagnosis, highlighting promising results for predicting tumor histology, myometrial invasion depth, LVSI, lymph node metastasis, and molecular genetic subtype. However, it is currently not possible to determine the predictive value of specific radiomic parameters for determining the main EC prognostic factors. This is due to significant variability in the analyzed texture features, the use of diverse software applications for TA, and a lack of standardized protocols for selecting MRI sequences. Therefore, while radiomics remains a key area of scientific inquiry, its integration into clinical practice requires further study to standardize analysis protocols and validate findings.

анализ остается в фокусе научного интереса и для внедрения в клиническую практику требует дальнейшего изучения с целью стандартизации алгоритмов его проведения и валидации данных.

Ключевые слова: рак эндометрия; текстурный анализ; радиомика; МРТ

Для цитирования: Киева И.Н., Рубцова Н.А., Новикова Е.Г., Алимов В.А. Радиомический анализ МР-изображений в предоперационном стадировании рака эндометрия: обзор литературы. *Вопросы онкологии*. 2026; 72(1): 00-00.-DOI: <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2026-72-1-OF-2481>

✉ Киева Ирина Николаевна, miamodiaz@gmail.com

Введение

В структуре общей заболеваемости злокачественными новообразованиями (ЗНО) в 2022 г. рак эндометрия (РЭ) в мире занял шестое ранговое место [1]. По данным Globacan, в 2022 г. в мире было выявлено 420 368 новых случаев РЭ [2]. В России в 2023 г. стандартизованный показатель заболеваемости РЭ составил 37,34 случая на 100 тыс. населения, при этом с 2013 по 2023 гг. среднегодовой темп прироста соответствовал 1,89 % [1].

Для стадирования РЭ используется классификация Международной федерации акушерства и гинекологии (FIGO), обновленная в 2023 г. Классификация FIGO претерпела значительные изменения, по сравнению с версией 2009 г., в которой учитывались только степень распространенности опухолевого процесса, включая глубину инвазии в миометрий, в строму шейки матки, переход на соседние органы и ткани, наличие лимфогенного и отдаленного метастазирования [3]. За прошедшее десятилетие были изучены факторы прогноза РЭ, в числе которых гистологические типы и степень дифференцировки опухоли, наличие микрометастазов в лимфатические узлы (ЛУ), данные о лимфоваскулярной инвазии и молекулярно-генетическом подтипе опухоли.

Несмотря на обновление подходов стадирования, для определения тактики хирургического лечения глубина инвазии РЭ в миометрий сохраняет ключевое значение [4]. В свою очередь, магнитно-резонансная томография (МРТ) остается методом выбора для оценки местной распространенности РЭ, обладая наибольшей информативностью в оценке глубины инвазии в миометрий, в связи с чем является обязательным компонентом диагностического алгоритма у больных РЭ, согласно российским и зарубежным клиническим рекомендациям [4, 5].

Такие ключевые факторы прогноза как гистологический тип и степень дифференцировки опухоли могут быть оценены на дооперационном этапе. Однако информативность гистологического материала, получаемого при раздельном диагностическом выскабливании, может быть ограниченной вследствие недостаточной

Keywords: endometrial cancer; texture analysis; radiomics; MRI

For Citation: Irina N. Kieva, Natalia A. Rubtsova, Elena G. Novikova, Vladimir A. Alimov. Radiomic analysis of MRI for preoperative staging of endometrial cancer: A literature review. *Voprosy Onkologii = Problems in Oncology*. 2026; 72(1): 00-00.-DOI: <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2026-72-1-OF-2481>

репрезентативности или малого количества ткани. Так, по данным Juliette Phelippeau с соавт., примерно в 20 % случаев данные предоперационной биопсии (как пайпель-биопсии, так и гистероскопии) не совпадают с окончательным послеоперационным гистологическим заключением [6]. При этом достоверная оценка лимфоваскулярной инвазии, включенной в систему стадирования РЭ в 2023 г., возможна исключительно при послеоперационном гистологическом исследовании [7]. В связи с этим предпринимаются попытки оптимизировать процесс дооперационной диагностики, особенно в группе пациенток молодого возраста, для которых, наряду с излечением, важным условием является сохранение детородного органа для реализации репродуктивной функции.

Таким образом, для применения персонализированного подхода при выборе тактики лечения РЭ существует потребность в точных и надежных методах предоперационной оценки комплекса прогностических факторов. В связи с этим проводятся исследования, посвященные поиску и разработке новых технологий, которые будут способствовать более точной диагностике РЭ. За последние годы опубликован ряд исследований, посвященных изучению возможностей радиомики как вспомогательного метода предоперационной оценки прогностических факторов при РЭ.

Ключевым компонентом радиомики является текстурный анализ (ТА), который обеспечивает количественную оценку неоднородности опухоли путем анализа распределения и взаимосвязи уровней пикселей или вокселей диагностических изображений, что позволяет извлекать новую информацию, недоступную человеческому глазу [8]. Важно отметить, что радиомический анализ является неинвазивным методом, который не требует дополнительных вмешательств [8].

На сегодняшний день опубликован ряд исследований, продемонстрировавших возможности использования радиомики для прогноза гистологического типа гиперпластического процесса эндометрия, лимфоваскулярной инвазии, инвазии в миометрий, метастатического поражения

ЛУ, для определения группы риска и прогноза выживаемости больных РЭ [9–22].

Помимо этого, в последние годы активно развивается радиогеномика — направление, изучающее взаимосвязь между радиомическими особенностями РЭ и молекулярно-генетическими параметрами [23]. Работы по радиогеномике представляют огромный интерес, поскольку отвечают современной тенденции к индивидуализации подходов лечения пациентов со злокачественными новообразованиями.

На момент подготовки данной статьи нами не было найдено ни одной русскоязычной научной публикации, посвященной изучению радиомического анализа РЭ, что подчеркивает своевременность и необходимость данного обзора.

Цель исследования — анализ научных исследований, посвященных применению радиомического анализа МР-изображений в диагностике РЭ.

Материалы и методы

Научные исследования, опубликованные в информационно-аналитических системах PubMed, Google Scholar, eLibrary за 2018–2024 гг., с использованием комбинации ключевых слов: «endometrial cancer» (рак эндометрия), «uterine tumor» (опухоль тела матки), «texture analysis» (текстурный анализ), «radiomics» (радиомика), MRI «МРТ».

Результаты исследования

В последние годы растет количество публикаций, посвященных применению радиомики для решения тех или иных диагностических задач в онкологии, в том числе при диагностике РЭ.

Исходя из анализа опубликованных статей, можно выделить следующие основные направления использования ТА в диагностике РЭ:

- прогноз гистологического типа опухоли;
- прогнозирование лимфоваскулярной инвазии;
- прогнозирование инвазии миометрия;
- прогнозирование метастазов в ЛУ;
- оценка молекулярно-генетического подтипа;
- определение группы риска и прогноза выживаемости.

Методология радиомического анализа

Радиомика представляет собой сложный многоэтапный процесс, включающий в себя предварительную обработку изображений, сегментацию, извлечение текстурных характеристик, статистический анализ и построение диагностических моделей для прогнозирования клинических результатов с последующей оценкой их эффективности (рис. 1).

Получаемые текстурные признаки принято разделять на признаки первого порядка (статистические характеристики гистограммы интенсивностей — среднее, медиана, асимметрия, эксцесс), признаки второго порядка (учитывающие пространственное распределение пикселей, например, матрицы GLCM и GLRLM), а также признаки высшего порядка, получаемые с помощью фильтрации и нелинейных преобразований изображений [24].

В табл. 1 представлена краткая информация об основных исследованиях, посвященных применению ТА в диагностике РЭ.

Извлекаемые текстурные параметры разнятся в зависимости от выбранной МР-последовательности. Подавляющее большинство авторов

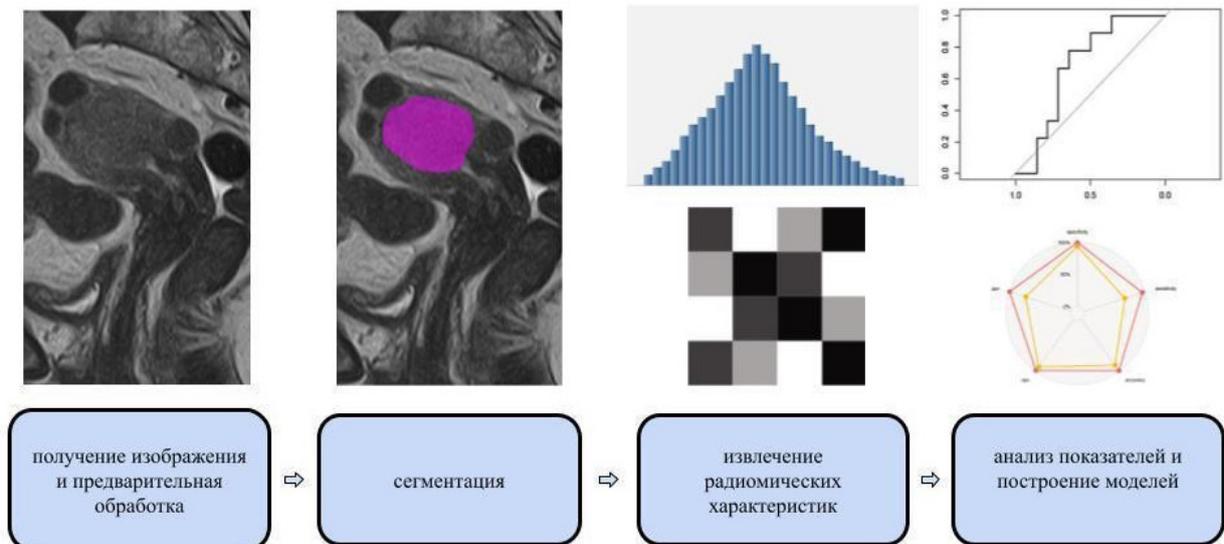


Рис. 1. Этапы выполнения радиомического анализа
Fig. 1. Workflow of a radiomics study

Таблица 1. Перечень основных исследований в области радиомикки магнитно-резонансной томографии при раке эндометрия

Первый автор, год	Количество пациентов (группа обучения/валидации)	МР-последовательности	МР-томографы	Предварительная обработка изображений	Фильтры	Текстурные признаки	Программное обеспечение	Результаты
Определение гистологического типа опухоли								
Tao Zheng, 2021	250/108	T2 FS-ВИ, ИКД, 3D-ISO VIBE: артериальная, венозная, отсроченная фазы	1 томограф, одинаковые параметры сканирования	-	-	1-го порядка, характеристики формы, 2-го порядка	ITK-SNAP для сегментации, Ruidiomics для извлечения ГП	AUC 0,925 в диагностике низко- и высокодифференцированного РЭ
XiaoJun Chen, 2022	158/78, 109	ИКД, ДВИ, T2-ВИ	3 томографа, разные параметры сканирования	изотропный воксел $3 \times 3 \times 3$ мм; нормализация уровня серого; фиксированная ширина бина 3	Вейвлет фильтры, фильтр Лапласа	1-го порядка, 2-го порядка, более высокого порядка	ITK-SNAP для сегментации, Ruidiomics для извлечения ГП	AUC 0,989 в дифференциальной диагностике РЭ и доброкачественных образований
Qiu Bi, 2022	371	ИКД, ДВИ, T2-ВИ	3 томографа, разные параметры сканирования	-	фильтр Лапласа	1-го порядка, 2-го порядка, более высокого порядка	3D Slicer 4.11.0 для сегментации, Ruidiomics для извлечения ГП	AUC 0,854 в дифференциальной диагностике РЭ IA стадии и доброкачественных образований
Определение лимфоваскулярной инвазии								
M. Bereby-Kahane, 2022	73	T2, ИКД	1 томограф, одинаковые параметры сканирования	-	Фильтр Лапласа	1-го порядка, более высокого порядка	TexRAD	AUC 0,59 в определении ЛВИ
Xue-Fei Liu, 2022	226 - группа обучения 113 - группа валидации	ИКД, ДВИ, T2, T1-ДКУ	5 томографов разных вендоров, разные параметры сканирования	Изотропный воксел $3 \times 3 \times 3$ мм; нормализация уровня серого	-	1-го порядка, 2-го порядка	MITK Workbench для сегментации, Ruidiomics для извлечения ГП	AUC 0,89 в предсказании ЛВИ
Yan Luo, 2020	101 - группа обучения 43 - группа валидации	T2, ДВИ, T1-ДКУ	1 томограф, одинаковые параметры сканирования	-	-	1-го порядка, 2-го порядка	3D Slicer для сегментации, Ruidiomics для извлечения ГП	AUC 0,82 в предсказании ЛВИ
Прогноз глубокой инвазии миометрия								
Нан., 2020	163	T2, ДВИ	3 томографа разных вендоров, разные параметры сканирования	Изотропный воксел $2 \times 2 \times 2$ мм	Вейвлет фильтры, фильтр Лапласа	1-го порядка, 2-го порядка, более высокого порядка	Deerwise для сегментации, Ruidiomics для извлечения ГП	AUC 0,76, 0,80 и 0,85 в предсказании глубокой инвазии миометрия
Be Cong Yan., 2021	104/105	T2, ДВИ, ИКД, T1-ДКУ	1 томограф, одинаковые параметры сканирования	Фиксированная ширина бина 1	-	1-го порядка, 2-го порядка	MITK Workbench для сегментации, Ruidiomics для извлечения ГП	AUC 0,96 в предсказании глубокой инвазии миометрия, AUC 0,98 у реттенологов при использовании диагностической модели
Прогноз метастатического поражения лимфоузлов								
Xiaojuan Xu, 2019	140/60	аксиальные T2 FS, сагитальные T2, 3D-Iso-LAVA-отсроченная фаза	2 томографа одного вендора, разные параметры сканирования	-	Вейвлет фильтры	1-го порядка, 2-го порядка, более высокого порядка	ITK-SNAP для сегментации, Python	AUC, 0,892 в предсказании метастазов в ЛУ

Первый автор, год	Количество пациентов (группа обучения/валидации)	МР-последовательности	МР-томографы	Предварительная обработка изображений	Фильтры	Текстурные признаки	Программное обеспечение	Результаты
Bi Song Yan, 2020	351/271	T2, T2 FS, ДВИ, ИКД, T1-ДКУ	5 томографов разных вендоров, разные параметры сканирования	Изотропный воксел $3 \times 3 \times 3$ мм; нормализация уровня серого; фиксированная ширина бина 1	-	1-го порядка, 2-го порядка	ITK-SNAP для сегментации, Pyradiomics для извлечения ТП	AUC 0,935 в предсказании метастазов в газодые ЛУ
Определение группы риска								
Veronica Celli, 2020	49/15	T2, ИКД	3 томографа разных вендоров, одинаковые параметры сканирования	-	-	1-го порядка, 2-го порядка	ITK-SNAP для сегментации, Pyradiomics для извлечения ТП	AUC 0,67 в предсказании ЛВИ, AUC 0,74 в предсказании группы низкого риска
Jingya Chen, 2021	102	T2	1 томограф, одинаковые параметры сканирования	-	-	1-го порядка, 2-го порядка	ITK-SNAP для сегментации, AI Kit-A, GE Healthcare для извлечения ТП	AUC 0,946 в предсказании группы низкого риска
Определение молекулярно-генетических подтипов РЭ								
Maura Miccò, 2022	96	T2	1 томограф, одинаковые параметры сканирования	Среднее значение пространственного разрешения $0,548 \times 0,548$ мм ²	Вейвлет фильтры, фильтр Лапласа	1-го порядка, 2-го порядка, более высокого порядка	ITKSNAP для сегментации, MODDICOM для извлечения ТП	AUC 0,85 в предсказании глубокой инвазии миоэметрии, AUC 0,92 в предсказании ЛВИ, AUC 0,84 в предсказании низкого риска
Zijing Lin, 2023	87/51	T2 FS, ДВИ, T1-ДКУ	8 томографов разных вендоров, разные параметры сканирования	Изотропный воксел $1 \times 1 \times 1$ мм ³	Вейвлет фильтры	1-го порядка, более высокого порядка	ITKSNAP для сегментации, Pyradiomics для извлечения ТП	AUC 0,885 в предсказании POLE-мутации

Table 1. List of key studies on MRI radiomics in endometrial cancer

First author, year	Number of patients (training/validation group)	MRI sequences	MRI scanners	Image preprocessing	Filters	Textural features	Software	Results
Prediction of histological type and grade								
Tao Zheng, 2021	250/108	T2 FS, ADC, 3D-ISO VIBE; arterial, venous, delayed phases	1 scanner; the same scanning parameters	-	-	1st order, shape characteristics, 2nd order	ITK-SNAP for segmentation, Pyradiomics for textural features extraction	AUC 0,925 in the diagnosis of high- and low-differentiated endometrial cancer
Xiaojuan Chen, 2022	158/78, 109	ADC, DWI, T2	3 scanners from different vendors, different scanning parameters	Isotropic voxel $3 \times 3 \times 3$ mm; normalizing the gray level; fixed bin width 3	Wavelet filters, Laplace filter	1st order, 2nd order, higher order	ITK-SNAP for segmentation, Pyradiomics for textural features extraction	AUC 0,989 in the differential diagnosis of endometrial cancer and benign lesions
Qiu Bi, 2022	371	ADC, DWI, T2	3 scanners from different vendors, different scanning parameters	-	Laplace filter	1st order, 2nd order, higher order	3D Slicer 4.11.0 for segmentation, Pyradiomics for textural features extraction	AUC 0,854 in the differential diagnosis of endometrial cancer and benign lesions

First author, year	Number of patients (training/validation group)	MRI sequences	MRI scanners	Image preprocessing	Filters	Textural features	Software	Results
Prediction of lymphovascular invasion								
M. Bereby-Kahane, 2022	73	T2, ADC	1 scanner, the same scanning parameters	-	Laplace filter	1st order, higher order	TexRAD	AUC 0,59 in the definition of lymphovascular invasion
Xue-Fei Liu, 2022	226 – study group 113 – control group	ADC, DWI, T2, T1-DCE	5 scanners from different vendors, different scanning parameters	Isotropic voxel $3 \times 3 \times 3$ mm; normalizing the gray level	-	1st order, 2nd order	MITK Workbench for segmentation, Pyradiomics for textural features extraction	AUC 0,89 in the definition of lymphovascular invasion
Yan Luo, 2020	101 – study group 43 – control group	T2, DWI, T1-DCE	1 scanner, the same scanning parameters	-	-	1st order, 2nd order	3D Slicer for segmentation, Pyradiomics for textural features extraction	AUC 0,82 in the definition of lymphovascular invasion
Prognosis of deep myometrial invasion								
Han., 2020	163	T2, DWI	3 scanners from different vendors, different scanning parameters	Isotropic voxel $2 \times 2 \times 2$ mm	Wavelet filters, Laplace filter	1st order, 2nd order, higher order	Deepwise for segmentation, Pyradiomics for textural features extraction	AUC 0,76, 0,80 and 0,85 in predicting deep myometrial invasion
Be Cong Yan., 2021	104/105	T2, DWI, ADC, T1-DCE	1 scanner, the same scanning parameters	Fixed bin width 1	-	1st order, 2nd order	MITK Workbench for segmentation, Pyradiomics for textural features extraction	AUC 0,96 in predicting deep myometrial invasion, AUC 0,98 AUC 0,98 for radiologists using the diagnostic model
Prognosis of lymph nodes metastases								
Xiaojuan Xu, 2019	140/60	Axial T2 FS, sagittal T2, 3D-Iso-LAVA, de-layed phase	2 scanners from the same vendors, different scanning parameters	-	Wavelet filters	1st order, 2nd order, higher order	ITK-SNAP for segmentation, Python	AUC, 0,892 in the prediction of lymph node metastases
Bi Cong Yan, 2020	351/271	T2, T2 FS, DWI, ADC, T1-DCE	5 scanners from different vendors, different scanning parameters	Isotropic voxel $3 \times 3 \times 3$ mm; normalizing the gray level; fixed bin width 1	-	1st order, 2nd order	ITK-SNAP for segmentation, Pyradiomics for textural features extraction	AUC 0,935 in the prediction of pelvic lymph node metastases
Prediction of the risk group								
Veronica Celli, 2020	49/15	T2, ADC,	3 scanners from different vendors, the same scanning parameters	-	-	1st order, 2nd order	ITK-SNAP for segmentation, Pyradiomics for textural features extraction	AUC 0,67 in the definition of lymphovascular invasion, AUC 0,74 in low-risk group prediction
Jingya Chen, 2021	102	T2	1 scanner, the same scanning parameters	-	-	1st order, 2nd order	ITK-SNAP for segmentation, AI Kit-A.K, GE Healthcare for textural features extraction	AUC 0,946 in low-risk group prediction
Prediction of molecular subtypes								
Maura Miccò, 2022	96	T2	1 scanner, the same scanning parameters	The average spatial resolution is $0,548 \times 0,548 \text{ mm}^2$ $0,548 \times 0,548 \text{ mm}^2$	Wavelet filters, Laplace filter	1st order, 2nd order, higher order	ITKSNAP for segmentation, MODDICOM for textural features extraction	AUC 0,85 in predicting deep myometrial invasion, AUC 0,92 in the definition of lymphovascular invasion, AUC 0,84 in low-risk group prediction
Zijing Lin, 2023	87/51	T2 FS, DWI, T1-DCE	8 scanners from different vendors, different scanning parameters	Isotropic voxel $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$	Wavelet filters	1st order, 2nd order, higher order	ITKSNAP for segmentation, Pyradiomics for textural features extraction	AUC 0,885 in POLE mutation prediction

выбирали для сегментации опухоли эндометрия и извлечения текстурных признаков T2-взвешенные изображения (T2-ВИ), диффузионно-взвешенные изображения (ДВИ), карты ИКД и T1-взвешенные изображения с динамическим контрастным усилением (T1-ВИ с ДКУ) [9–22].

Важно отметить, что ТА выполняется с использованием специализированного программного обеспечения. Согласно нашим наблюдениям, при проведении ТА МР-изображений РЭ для извлечения текстурных признаков авторами чаще всего использовались платформы TexRAD, Python, PyRadiomics [9–19, 22].

Текстурный анализ МР-изображений в определении гистологического типа опухоли

В актуальном пересмотре классификации FIGO 2023 г. выделяют неагрессивные типы РЭ (эндометриоидные аденокарциномы эндометрия low grade) и агрессивные типы (эндометриоидная аденокарцинома high grade (G3), а также серозные, светлоклеточные, недифференцированные, смешанные, мезонефроподобные, желудочно-кишечные карциномы муцинозного типа и карциносаркомы), которые имеют принципиально разные прогноз и тактику лечения [3]. Несмотря на важность точного определения гистологического типа и степени дифференцировки опухоли, результаты дооперационной биопсии могут быть вариабельны, поэтому были предприняты попытки изучения роли радиомики в определении гистологического типа опухоли [6].

Так, в ходе исследования Тао Zheng с соавт. (2021) были отобраны три радиомических параметра, полученные из карт ИКД и постконтрастных T1-ВИ, полученных в венозную фазу контрастирования, которые имеют высокую корреляцию со степенью злокачественности РЭ [9]. Согласно результатам данного исследования, наиболее высокую точность в предсказании степени дифференцировки опухоли показала комбинированная диагностическая модель на основе радиомических данных (LD_LGLE_Venous, Max2DDiam_ADC, LGLZE_ADC) и клинических факторов (индекс массы тела и уровень СА-125), AUC 0,925 (95 % доверительный интервал (ДИ), 0,898–0,951). Существенным ограничением исследования является то, что МР-изображения как для обучающей, так и для валидационной выборки были получены на одном и том же томографе.

Применение радиомики открывает новые возможности в дифференциальной диагностике РЭ от других гиперпластических процессов эндометрия. Xiaojun Chen с соавт. (2022) предложили

диагностическую модель для дифференцировки РЭ от таких доброкачественных образований как полипы эндометрия и субмукозные миомы, AUC 0,989 (95 % ДИ, 0,968–0,997) [20]. В ходе исследования в группе 158 пациенток, из карт ИКД, ДВИ, T2-ВИ, были извлечены 3 142 текстурных показателя, из которых с помощью критерия хи-квадрат и LASSO-регрессии были отобраны пять наиболее информативных текстурных признаков: четыре признака из карт ИКД (ADC-10P, ADC-Median, ADC-WaveletLLL-10P, ADC-Sphericity), один признак из ДВИ изображений (DWI-LoG1.5 mm-Mean). Последовательности с контрастным усилением не использовались.

В работе Qiu Bi с соавт. (2022) была получена прогностическая модель, способная с высокой точностью дифференцировать РЭ IA стадии от доброкачественных образований, AUC 0,854 [11]. В отличие от предыдущего исследования, помимо ИКД, ДВИ, T2-ВИ для получения радиомических параметров использовались также поздние фазы постконтрастных T1-ВИ, полученных при ДКУ. Всего было отобрано 18 текстурных признаков, наиболее значимыми из которых оказались: CE_flatness, T2_GLSZM_zone_perc, DWI_LOG_RMS ($\sigma = 6$ мм), ADC_LOG_median ($\sigma = 2$ мм).

Текстурный анализ МР-изображений при определении лимфоваскулярной инвазии

Современные исследования показывают, что наличие лимфоваскулярной инвазии ассоциировано с высоким риском рецидива и низкой выживаемостью пациентов с начальными стадиями РЭ, а также является фактором риска метастатического поражения тазовых ЛУ [25, 26]. Следовательно, необходимо проведение оптимального отбора пациентов с высоким риском прогрессирования заболевания, для которых показаны более радикальные хирургические вмешательства (включающие лимфодиссекцию), и одновременно предотвращение избыточного лечения пациентов с низким риском. С учетом того, что окончательное суждение о наличии лимфоваскулярной инвазии возможно лишь при гистологическом исследовании удаленного препарата, изучение возможностей ТА в решении данного вопроса особенно актуально.

В исследовательских работах Vereby-Kahane с соавт. (2022) и V. Celli с соавт. (2020) были получены диагностические модели с ограниченной диагностической эффективностью в определении лимфоваскулярной инвазии (AUC — 0,59 и AUC — 0,67 соответственно) [12, 19]. Умеренная эффективность данных моделей может быть связана с тем, что в обоих исследованиях для построения диагностической модели использо-

вались текстурные показатели, полученные на основе только T2-ВИ и карт ИКД.

Однако представлен ряд публикаций, в которых были разработаны радиомические модели, обладающие более высокой точностью прогнозирования лимфоваскулярной инвазии. Так, в ретроспективном мультицентровом исследовании Xue-Fei Liu с соавт. (2022) была разработана диагностическая модель, способная с высокой точностью определять лимфоваскулярную инвазию, AUC 0,89 (95 % ДИ 0,83–0,95) на основе 15 радиомических характеристик, которые извлекались по данным T1-ВИ с ДКУ, T2-ВИ, карт ИКД, а также клинических факторов, включающих возраст и уровень СА-125 [23]. В похожей работе Luo с соавт. (2020) была получена радиомическая модель, которая продемонстрировала высокую чувствительность 82,6 % и специфичность 72,9 % в прогнозировании лимфоваскулярной инвазии. Для её разработки использовались текстурные показатели формы, а также показатели второго порядка, основанные на HGLE и GLCM, а также данные о возрасте пациентов и степени дифференцировки опухоли [14]. Текстурные признаки извлекались из T2-ВИ, карт ИКД и постконтрастных T1-ВИ.

Текстурный анализ МР-изображений при прогнозе глубокой инвазии миометрия

Глубокая инвазия опухоли в миометрий ассоциирована с метастазами в тазовые и парааортальные ЛУ и является фактором риска рецидива заболевания [27]. По данным различных исследований, МРТ обладает высокой диагностической точностью в оценке глубины инвазии миометрия [28, 29]. Однако такие факторы, как наличие аденомиоза, деформация полости матки миоматозными узлами, низкая тканевая дифференцировка между опухолью и миометрием, расположение опухоли в области трубных углов могут привести к некорректной оценке глубины инфильтрации опухоли в миометрий [30]. В связи с этим актуальной задачей становится разработка инструмента, способного помогать рентгенологу в принятии решения относительно оценки глубины инвазии РЭ в миометрий.

Этой проблеме посвящено исследование Nan с соавт. (2020) [15]. Особенностью данной работы являлась сегментация не образования эндометрия, а всей матки, для извлечения текстурных параметров. В результате были построены диагностические модели на основе сагиттальных T2-ВИ, аксиальных ДВИ и их сочетания для прогнозирования инвазии миометрия (AUC — 0,76, 0,80 и 0,85 соответственно). Для построения моделей самыми значимыми оказались куртозис и текстурные признаки первого порядка. Авторы подчеркивают, что согласованность результатов сегментации тела матки, по

сравнению с сегментацией опухоли среди рентгенологов выше, в связи с тем, что матка имеет более четкие анатомические ориентиры. Кроме того, сегментация тела матки позволяет включать для анализа ткани, окружающие опухоль, что может дать дополнительную информацию.

В исследовании Cong Yan с соавт. (2021) была разработана диагностическая модель для оценки глубины инвазии миометрия у молодых пациенток (младше 45 лет) с ранними стадиями РЭ (I–II стадии), использование которой может помочь в отборе пациентов на хирургическое лечение с сохранением яичников [16]. Диагностическая модель, построенная на основе анализа МР-изображений 104 пациенток, включала 13 текстурных характеристик. Наибольший вклад в модель обеспечивали следующие параметры: CE_shape_flatness, T2_GLSZM_zone_percentage, DWI_sigma6_root_mean_squared, ADC_sigma2_median. Дополнительно в модель были включены уровень онкомаркера СА-125 и размеры новообразования. Эффективность разработанной модели в определении глубокой инвазии (AUC — 0,96) превысила диагностическую точность двух врачей-рентгенологов (AUC — 0,80, и 0,86), а ее применение и в качестве вспомогательного инструмента позволило повысить точность экспертной оценки рентгенологов до значений AUC 0,98.

Текстурный анализ МР-изображений в прогнозе метастатического поражения лимфатических узлов

Метастатическое поражение ЛУ признано значимым прогностическим фактором при РЭ [31] и оказывает влияние на тактику адъювантного лечения [5]. Инструментальные методы диагностики обладают низкой точностью в оценке лимфоузлов [32]. Лимфодиссекция, которая позволяет подтвердить или исключить метастатическое поражение ЛУ, ассоциирована с риском возникновения лимфедемы нижних конечностей, лимфоцеле таза, а также с общими послеоперационными осложнениями [33]. При этом, по данным крупного метаанализа, лимфаденэктомия не приводит к повышению выживаемости пациентов, у которых ЛУ оказались не измененными [33]. В настоящее время методика биопсии сторожевых ЛУ позволяет снизить количество лимфаденэктомий [34]. Однако точная предоперационная неинвазивная оценка ЛУ могла бы предоставить ценную информацию для планирования объема хирургического вмешательства.

Возможности радиомики как способа повышения диагностической точности в определении метастатически измененных ЛУ, по данным МРТ

органов таза, были показаны в работе Xiaojuan Xu с соавт. [17]. Выполнив ТА T2-ВИ с и без жироводавления, постконтрастных 3D-Iso-LAVA в отсроченную фазу, авторами были получены четыре диагностических модели. Наилучший результат в прогнозировании метастазов в ЛУ продемонстрировала диагностическая модель на основе клинических данных (CA-125, размер ЛУ) в сочетании с текстурными показателями (correlation, HGLE), с площадью под кривой AUC — 0,892.

В ходе крупного многоцентрового исследования Bi Cong Yan с соавт. (2020), включающего анализ МР-изображений 662 пациенток, была получена диагностическая модель, способная с более высокой точностью прогнозировать метастазы в тазовые ЛУ (AUC 0,935), при сравнении с врачами-рентгенологами (AUC 0,623 и 0,643) [18]. При этом значения AUC двух врачей-рентгенологов при использовании радиомической модели в качестве вспомогательного инструмента повысились до 0,814 и 0,842, что указывает на ее высокую клиническую ценность. Важно отметить, что в ходе исследования использовались данные, полученные с помощью томографов различных производителей. Для стандартизации изображений авторы применяли ряд преобразований, включая приведение изображения к изотропному вокселю ($3 \times 3 \times 3$ мм) и нормализацию уровня серого. Диагностическая модель была разработана на основе 37 текстурных признаков, полученных из T2-ВИ с и без жироводавления, ДВИ, карт ИКД, постконтрастных T1-ВИ.

Текстурный анализ МР-изображений при определении группы риска РЭ

В научных публикациях приводятся примеры успешного применения радиомики для предсказания группы риска пациентов. Так, Veronica Celli с соавт. (2020) разработали диагностическую модель, предсказывающую группу пациентов низкого риска (AUC 0,74) с использованием 12 радиомических признаков, полученных из T2-ВИ и карт ИКД [19].

В работе Jingya Chen с соавт. (2021) внимание исследователей было сосредоточено на РЭ I стадии [20]. Это объясняется тем, что именно для данной категории пациенток определение группы риска напрямую влияет на объем хирургического лечения. В данном исследовании продемонстрировано преимущество радиомической модели над комбинированной моделью на основе клинических данных и характеристик стандартного МР-исследования (AUC 0,946 против AUC 0,756). Наибольшую диагностическую точность в предсказании группы низкого риска

показала комбинированная модель на основе клинических характеристик и девять радиомических признаков, полученных на основе T2-ВИ (AUC 0,955 — в группе обучения, и 0,889 — в группе валидации). МР-изображения и в группе обучения, и в группе валидации были получены при сканировании на одном томографе, что является существенным ограничением данного исследования.

Радиогеномика при раке эндометрия

С учетом молекулярно-генетической классификации РЭ, выделяют две принципиально разные прогностические группы: группа с исключительно благоприятным прогнозом — POLEmut и группа с неблагоприятным прогнозом — p53abn [35]. Хотя определение молекулярного типа опухоли возможно при исследовании биопсийного материала, интерпретация результатов его анализа может быть затруднена из-за недостаточного количества или нерепрезентативности полученной ткани. Кроме того, широкому внедрению молекулярного тестирования в клиническую практику препятствуют высокая стоимость диагностических тестов и их ограниченная доступность в большинстве медицинских учреждений. В этих условиях особый интерес представляют радиомические модели, которые могут стать ценным инструментом для неинвазивной предварительной оценки молекулярного типа опухоли, особенно в условиях ограниченных возможностей для проведения полноценного молекулярно-генетического тестирования.

В исследовании Maura Miccò с соавт. (2022) была получена диагностическая модель, с высокой точностью способная предсказывать группу низкого риска (AUC 0,84 в обучающей подгруппе и AUC 0,76 в подгруппе валидации) [21]. В данном исследовании дополнительно ретроспективно был определен молекулярно-генетический подтип опухоли эндометрия, что позволило распределять пациентов на группы риска с учетом молекулярной классификации. Для получения радиомических характеристик использовались только T2-ВИ. Кроме того, в ходе этого же исследования были разработаны диагностические модели, с высокой эффективностью предсказывающие глубокую инвазию миометрия (AUC 0,92) и лимфоваскулярную инвазию (AUC 0,84).

Согласно молекулярной классификации, РЭ I–II стадии с мутацией POLE имеет благоприятный прогноз даже при наличии агрессивного гистологического типа и признаков лимфоваскулярной инвазии [3]. В исследовании Zijing Lin с соавт. (2023) была разработана прогностическая модель для предсказания статуса POLE мута-

ции (AUC 0,885) [35]. Большинство текстурных признаков было получено при применении вейвлет-фильтрации. Важно отметить, что в данной работе все МР-исследования были выполнены на томографах различных производителей с отличающимися параметрами сканирования, что может влиять на надежность и воспроизводимость результатов. Также к ограничениям данного исследования относится малая выборка пациентов, состоящая из 138 человек.

Обсуждение

Исследования, включенные в данный обзор, демонстрируют перспективность использования радиомики как инструмента, способного повышать эффективность предоперационной оценки РЭ. Среди достоинств радиомики следует отметить неинвазивность метода, наряду с возможностью получения дополнительной диагностической информации на основе данных предоперационной МРТ, которая, как правило, входит в алгоритм обследования всех больных РЭ. Важным преимуществом ТА является комплексная оценка опухолевой гетерогенности, что обеспечивает анализ всей массы новообразования, а не отдельных биопсийных фрагментов.

Однако отсутствие стандартизации подходов к проведению ТА затрудняет его внедрение в повседневную практику. Выполненный анализ источников литературы позволил установить существенные различия как в протоколах МР-исследований, используемых для ТА, так и в подходах к постпроцессинговой обработке изображений и в методах статистического анализа. Чаще всего авторы извлекали радиомические признаки из T2-ВИ, ДВИ и карт измеряемого коэффициента диффузии (ИКД), в ряде случаев использовали постконтрастные T1-ВИ, полученные в различные фазы ДКУ. Выбор этих последовательностей может быть обусловлен их способностью наиболее точно отображать визуальную гетерогенность опухоли и её границы.

В проанализированных исследованиях отмечается значительный разброс в количестве используемых текстурных признаков — от нескольких ключевых параметров до десятков переменных, отобранных для построения диагностических моделей. Выделение конкретных радиомических параметров для предсказания основных факторов прогноза РЭ на сегодняшний день не представляется возможным, что обусловлено существенной вариабельностью значимых текстурных признаков в разных исследованиях. Среди текстурных показателей в большинстве исследований по радиомике у больных РЭ используются показатели формы и первого порядка, основанные на гистограмме

распределения интенсивностей пикселей, а также показатели второго порядка, рассчитываемые с помощью матриц GLCM, GLRLM, NGTDM, GLSZM [9–16, 17–20]. В то же время в некоторых работах при построении прогностических моделей для дифференциальной диагностики РЭ и доброкачественных образований, предсказания глубокой инвазии миометрия, метастазов в ЛУ, лимфоваскулярной инвазии, дополнительно учитывались и признаки высшего порядка, полученные после применения преобразования Лапласа и вейвлет-фильтрации. [10–12, 15, 17, 21, 22]. Наибольшую диагностическую точность в предсказании лимфоваскулярной инвазии и глубокой инвазии миометрия продемонстрировали диагностические модели, разработанные на основе комбинации текстурных показателей и клинических факторов [13, 14, 16].

Одним из серьёзных препятствий для воспроизводимости результатов ТА являются различия в параметрах МР-изображений, полученных на томографах различных производителей и различной индукции магнитного поля [36]. Для стандартизации изображений некоторые авторы применяли различные методы их предварительной обработки. Чаще всего авторы использовали приведение изображения к изотропному вокселу и нормализацию уровня серого [10, 13, 18, 21, 22].

Кроме того, важной проблемой является сегментация изображений, являющаяся важнейшим этапом ТА, поскольку определяет область анализа изображения, из которой будут вычисляться текстурные показатели. Во всех рассмотренных исследованиях применялись методы ручной или полуавтоматической сегментации [9–22]. Несмотря на свою распространенность, эти подходы имеют существенные ограничения, поскольку требуют значительных временных затрат, отличаются высокой трудоемкостью и не позволяют полностью исключить субъективный фактор при анализе изображений [36]. В недавнее время были разработаны методы автоматической сегментации РЭ, которые лишены недостатков ручного метода [37, 38]. Однако на сегодняшний день автоматическая сегментация МР-изображений пока еще редко используется в ТА РЭ из-за технических сложностей и ограниченной доступности. Так, согласно систематическому обзору, посвященному оценке качества радиомических исследований при РЭ, только в 5,9 % исследований использовался полностью автоматический метод сегментации [39].

Во всех представленных исследованиях диагностическая модель разрабатывалась на обучающей подгруппе пациентов, а затем воспроизводимость результатов проверялась на подгруппе валидации. Однако большинство исследований

из данного обзора является одноцентровыми, таким образом, валидация моделей проводилась на пациентах из того же центра [10, 13, 14, 16–19, 22]. При этом в исследовании David A. Bluemke с соавт. (2019) подчеркивается необходимость использования данных группы пациентов из другого учреждения для окончательной оценки эффективности разработанной модели [40]. Это связано с тем, что модели склонны к переобучению, что означает, что они хорошо работают только для изображений, на которых они были обучены.

Для решения вышеперечисленных проблем международная организация IBSI (Инициатива по стандартизации биомаркеров изображений) представила рекомендации для ученых по проведению ТА изображений для получения воспроизводимых показателей. Для оценки качества радиомических моделей были разработаны шкалы RQS и METRICS [41, 42]. Соблюдение разработанных рекомендаций и строгих критериев качества может обеспечить повышение точности и воспроизводимости радиомических результатов, что в конечном итоге приведет к улучшению предоперационной оценки РЭ.

Заключение

Таким образом, несмотря на ограниченное число работ, посвященных использованию радиомики в диагностике РЭ, уже сейчас становится понятно, что это перспективный многообещающий метод. Радиомические модели, основанные на анализе МР-изображений, демонстрируют перспективные результаты в определении ключевых факторов прогноза РЭ, таких как гистологический тип, глубина инвазии в миометрий, лимфоваскулярная инвазия, метастатическое поражение ЛУ и молекулярно-генетический подтип. Однако на сегодняшний день выделить набор конкретных радиомических параметров с наибольшей прогностической ценностью в диагностике РЭ не представляется возможным, что обусловлено значительной вариабельностью анализируемых текстурных признаков. В связи с этим радиомический анализ остается областью активных научных исследований, а для его внедрения в клиническую практику требуется разработка стандартизированных алгоритмов его проведения и валидация полученных результатов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Финансирование

Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding

The study was performed without external funding.

Участие авторов

Киева И.Н. — обзор публикаций по теме статьи, написание текста, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы;

Рубцова Н.А. — концепция и дизайн исследования, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи;

Новикова Е.Г. — подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Алимов В.А. — утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' contributions

Kieva I.N.: Concept and design of the study, literature review, writing – original draft, writing – review and editing, preparation of the version to be published.

Rubtsova N.A.: Concept and design of the study, article review and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article, final approval of the manuscript;

Novikova E.G.: Article review and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article, final approval of the manuscript;

Alimov V.A.: Final approval of the manuscript.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О., et al. Злокачественные новообразования в России в 2023 году (заболеваемость и смертность) — М.: МНИОИ им. П.А. Герцена — филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России. 2024: 276. [Kaprin A.D., Starinsky V.V., Shakhzadova A.O., et al. Malignant neoplasms in Russia in 2023 (incidence and mortality). Moscow: P.A. Herzen Moscow State Medical Research Institute — branch of the Federal State Budgetary Institution ‘NMRC of Radiology’ of the Ministry of Health of Russia. 2024: 276 (In Rus)].
2. Bray F, Laversanne M., Sung H., et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin.* 2024; 74: 229-63.-DOI: <https://doi.org/10.3322/caac.21834>.
3. Berek J.S., Matias-Guiu X., Creutzberg C., et al. FIGO staging of endometrial cancer: 2023. *Int J Gynecol Obstet.* 2023; 162: 383-94.-DOI: <https://doi.org/10.1002/ijgo.14923>.
4. Concin N., Matias-Guiu X., Vergote I., et al. ESGO/ESTRO/ESP guidelines for the management of patients with endometrial carcinoma. *Int J Gynecol Cancer Off J Int Gynecol Cancer Soc.* 2021; 31: 12-39.-DOI: <https://doi.org/10.1136/ijgc-2020-002230>.
5. Нечушкина В.М., Коломиец Л.А., Кравец О.А., et al. Практические рекомендации по лекарственному лечению рака тела матки и сарком матки. *Злокачественные опухоли.* 2021; 11: 218-32.-DOI: <https://doi.org/10.18027/2224-5057-2021-11-3s2-14>. [Nechushkina V.M., Kolomiets L.A., Kravets O.A., et al. Prakticheskie rekomendatsii po lekarstvennomu lecheniyu raka tela matki i sarkom matki. *Zlokachestvennyye Opukholi = Malignant Tumors.* 2021; 11: 218-32.-DOI: <https://doi.org/10.18027/2224-5057-2021-11-3s2-14> (In Rus)].
6. Phelippeau J., Canlorbe G., Bendifallah S., et al. Preoperative diagnosis of tumor grade and type in endometrial cancer by pipelle sampling and hysteroscopy: Results of a

- French study. *Surg Oncol.* 2016; 25: 370-7.-DOI: <https://doi.org/10.1016/j.suronc.2016.08.004>.
7. McCluggage W.G. Pathologic staging of endometrial carcinomas: Selected areas of difficulty. *Adv Anat Pathol.* 2018; 25: 71-84.-DOI: <https://doi.org/10.1097/PAP.000000000000182>.
 8. Rizzo S., Botta F., Raimondi S., et al. Radiomics: the facts and the challenges of image analysis. *Eur Radiol Exp.* 2018; 2: 36.-DOI: <https://doi.org/10.1186/s41747-018-0068-z>.
 9. Zheng T., Yang L., Du J., et al. Combination analysis of a radiomics-based predictive model with clinical indicators for the preoperative assessment of histological grade in endometrial carcinoma. *Front Oncol.* 2021; 11: 582495.-DOI: <https://doi.org/10.3389/fonc.2021.582495>.
 10. Chen X., Wang X., Gan M., et al. MRI-based radiomics model for distinguishing endometrial carcinoma from benign mimics: A multicenter study. *Eur J Radiol.* 2022; 146: 110072.-DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2021.110072>.
 11. Bi Q., Wang Y., Deng Y., et al. Different multiparametric MRI-based radiomics models for differentiating stage IA endometrial cancer from benign endometrial lesions: A multicenter study. *Front Oncol.* 2022; 12: 939930.-DOI: <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.939930>.
 12. Bereby-Kahane M., Dautry R., Matzner-Lober E., et al. Prediction of tumor grade and lymphovascular space invasion in endometrial adenocarcinoma with MR imaging-based radiomic analysis. *Diagn Interv Imaging.* 2020; 101: 401-11.-DOI: <https://doi.org/10.1016/j.diii.2020.01.003>.
 13. Liu X.F., Yan B.C., Li Y., et al. Radiomics feature as a preoperative predictive of lymphovascular invasion in early-stage endometrial cancer: A multicenter study. *Frontiers in oncology.* 2022; 12: 966529.-DOI: <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.966529>.
 14. Luo Y., Mei D., Gong J., et al. Multiparametric MRI-based radiomics nomogram for predicting lymphovascular space invasion in endometrial carcinoma. *J Magn Reson Imaging JMRI.* 2020; 52: 1257-62.-DOI: <https://doi.org/10.1002/jmri.27142>.
 15. Han Y., Xu H., Ming Y., et al. Predicting myometrial invasion in endometrial cancer based on whole-uterine magnetic resonance radiomics. *J Cancer Res Ther.* 2020; 16: 1648-55.-DOI: https://doi.org/10.4103/jcrt.JCRT_1393_20.
 16. Yan B.C., Ma X.L., Li Y., et al. MRI-based radiomics nomogram for selecting ovarian preservation treatment in patients with early-stage endometrial cancer. *Front Oncol.* 2021; 11.-DOI: <https://doi.org/10.3389/fonc.2021.730281>.
 17. Xu X., Li H., Wang S., et al. Multiplanar MRI-based predictive model for preoperative assessment of lymph node metastasis in endometrial cancer. *Front Oncol.* 2019; 9.-DOI: <https://doi.org/10.3389/fonc.2019.01007>.
 18. Yan B.C., Li Y., Ma F.H., et al. Radiologists with MRI-based radiomics aids to predict the pelvic lymph node metastasis in endometrial cancer: a multicenter study. *Eur Radiol.* 2021; 31: 411-22.-DOI: <https://doi.org/10.1007/s00330-020-07099-8>.
 19. Celli V., Guerrieri M., Pernazza A., et al. MRI- and histologic-molecular-based radio-genomics nomogram for preoperative assessment of risk classes in endometrial cancer. *Cancers.* 2022; 14: 5881.-DOI: <https://doi.org/10.3390/cancers14235881>.
 20. Chen J., Gu H., Fan W., et al. MRI-based radiomic model for preoperative risk stratification in stage I endometrial cancer. *J Cancer.* 2021; 12: 726-34.-DOI: <https://doi.org/10.7150/jca.50872>.
 21. Miccò M., Gui B., Russo L., et al. Preoperative tumor texture analysis on MRI for high-risk disease prediction in endometrial cancer: A hypothesis-generating study. *J Pers Med.* 2022; 12: 1854.-DOI: <https://doi.org/10.3390/jpm12111854>.
 22. Lin Z., Gu W., Guo Q., et al. Multisequence MRI-based radiomics model for predicting POLE mutation status in patients with endometrial cancer. *Br J Radiol.* 2023; 96: 20221063.-DOI: <https://doi.org/10.1259/bjr.20221063>.
 23. Liu Z., Duan T., Zhang Y., et al. Radiogenomics: a key component of precision cancer medicine. *Br J Cancer.* 2023; 129: 741-53.-DOI: <https://doi.org/10.1038/s41416-023-02317-8>.
 24. Mayerhoefer M.E., Materka A., Langs G., et al. Introduction to radiomics. *J Nucl Med Off Publ Soc Nucl Med.* 2020; 61: 488-95.-DOI: <https://doi.org/10.2967/jnumed.118.222893>.
 25. Gumtornitip P., Poomtavorn Y., Tanprasertkul C. Predicting factors for pelvic lymph node metastasis in patients with apparently early-stage endometrial cancer. *Asian Pac J Cancer Prev APJCP.* 2022; 23: 617-22.-DOI: <https://doi.org/10.31557/APJCP.2022.23.2.617>.
 26. Guntupalli S.R., Zigelboim I., Kizer N.T., et al. Lymphovascular space invasion is an independent risk factor for nodal disease and poor outcomes in endometrioid endometrial cancer. *Gynecol Oncol.* 2012; 124: 31-5.-DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ygyno.2011.09.017>.
 27. Raffone A., Travaglini A., Raimondo D., et al. Prognostic value of myometrial invasion and TCGA groups of endometrial carcinoma. *Gynecol Oncol.* 2021; 162: 401-6.-DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ygyno.2021.05.029>.
 28. Luomaranta A., Leminen A., Loukovaara M. Magnetic resonance imaging in the assessment of high-risk features of endometrial carcinoma: a meta-analysis. *Int J Gynecol Cancer Off J Int Gynecol Cancer Soc.* 2015; 25: 837-42.-DOI: <https://doi.org/10.1097/IGC.000000000000194>.
 29. Raffone A., Travaglini A., Raimondo D., et al. Prognostic value of myometrial invasion and TCGA groups of endometrial carcinoma. *Gynecol Oncol.* 2021; 162: 401-6.-DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ygyno.2021.05.029>.
 30. Nougaret S., Horta M., Sala E., et al. Endometrial cancer MRI staging: Updated guidelines of the European Society of Urogenital Radiology. *Eur Radiol.* 2019; 29: 792-805.-DOI: <https://doi.org/10.1007/s00330-018-5515-y>.
 31. Brown A.P., Gaffney D.K., Dodson M.K., et al. Survival analysis of endometrial cancer patients with positive lymph nodes. *Int J Gynecol Cancer Off J Int Gynecol Cancer Soc.* 2013; 23: 861-8.-DOI: <https://doi.org/10.1097/IGC.0b013e3182915c3e>.
 32. Pinelli C., Artuso V., Bogani G., et al. Lymph node evaluation in endometrial cancer: how did it change over the last two decades? *Transl Cancer Res.* 2020; 9: 7778-84.-DOI: <https://doi.org/10.21037/tcr-20-2165>.
 33. Frost J.A., Webster K.E., Bryant A., et al. Lymphadenectomy for the management of endometrial cancer. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015; 2015: CD007585.-DOI: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD007585.pub3>.
 34. Sullivan S.A., Rossi E.C. Sentinel Lymph Node Biopsy in Endometrial Cancer: a New Standard of Care? *Curr Treat Options Oncol.* 2017; 18(10): 62.-DOI: <https://doi.org/10.1007/s11864-017-0503-z>.
 35. Arciuolo D., Travaglini A., Raffone A., et al. TCGA Molecular prognostic groups of endometrial carcinoma: Current knowledge and future perspectives. *Int J Mol Sci.* 2022; 23: 11684.-DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms231911684>.

36. Teng X., Wang Y., Nicol A.J., et al. Enhancing the clinical utility of radiomics: Addressing the challenges of repeatability and reproducibility in CT and MRI. *Diagnostics (Basel)*. 2024; 14(16): 1835.-DOI: <https://doi.org/10.3390/diagnostics14161835>.
37. Kurata Y., Nishio M., Kido A., et al. Automatic segmentation of the uterus on MRI using a convolutional neural network. *Comput Biol Med*. 2019; 114: 103438.-DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compbimed.2019.103438>.
38. Hodneland E., Dybvik J.A., Wagner-Larsen K.S., et al. Automated segmentation of endometrial cancer on MR images using deep learning. *Sci Rep*. 2021; 11: 179.-DOI <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80068-9>.
39. Russo L., Bottazzi S., Kocak B., et al. Evaluating the quality of radiomics-based studies for endometrial cancer using RQS and METRICS tools. *Eur Radiol*. 2025; 35: 202-14.-DOI <https://doi.org/10.1007/s00330-024-10947-6>.
40. Bluemke D.A., Moy L., Bredella M.A., et al. Assessing radiology research on artificial intelligence: A brief guide for authors, reviewers, and readers-from the radiology editorial board. *Radiology*. 2020; 294: 487-9.-DOI: <https://doi.org/10.1148/radiol.2019192515>.
41. Kocak B., Akinci D'Antonoli T., Mercaldo N., et al. METHodological RadiomICS Score (METRICS): a quality scoring tool for radiomics research endorsed by EuSoMI. *Insights Imaging*. 2024; 15: 8.-DOI: <https://doi.org/10.1186/s13244-023-01572-w>.
42. Lambin P., Leijenaar R.T.H., Deist T.M., et al. Radiomics: the bridge between medical imaging and personalized medicine. *Nat Rev Clin Oncol*. 2017; 14(12): 749-762.-DOI: <https://doi.org/10.1038/nrclinonc.2017.141>.
- Поступила в редакцию / Received / 28.08.2025
Прошла рецензирование / Reviewed / 10.09.2025
Принята к печати / Accepted for publication / 25.09.2025

Сведения об авторах / Author Information / ORCID

Ирина Николаевна Киева / Irina N. Kieva / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4060-5966>, eEibrary SPIN-code: 2279-9141.

Наталья Алефтиновна Рубцова / Natalia A. Rubtsova / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8378-4338>, eEibrary SPIN-code: 9712-9091.

Елена Григорьевна Новикова / Elena G. Novikova / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2768-5698>, eEibrary SPIN-code: 2143-9975.

Владимир Александрович Алимов / Vladimir A. Alimov / ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6423-3917>, eEibrary SPIN-code: 6262-0720.

