



Использование радиомического анализа мультипараметрической МРТ для дифференциации ранних стадий рака шейки матки (стадии IB и IIA)

Абдуллаева Д.О., Ходжибеков М.Х.

Ташкентский государственный медицинский университет, г. Ташкент, Узбекистан

КОНТАКТЫ

+998 90 909 34 44

dono.abdullayeva@gmail.com

ЦЕЛЬ

Оценить возможности радиомики МРТ для построения классификационных моделей, позволяющих дифференцировать ранние стадии рака шейки матки (стадии IB и IIA).



МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ



Проведено ретроспективное исследование 100 пациенток с раком шейки матки, которым выполнена предоперационная МРТ в период с 06.2024 по 03.2025. Пациентки распределены методом стратифицированной случайной выборки на обучающую (n=70) и контрольную (n=30) группы. Радиомические признаки извлекались из VOI опухоли на T2-ВИ и ADC-картах с использованием 27 признаков первого порядка и текстурных признаков (GLCM, GLRLM, GLSZM, NGTDM). Применялись фильтры: wavelet, LoG. Отбор признаков: LASSO ($\alpha=0,01$) и метод mRMR.

Моделирование проводили с использованием SVM (линейное ядро) с балансировкой классов. Оценка проводилась 5-кратной кросс-валидацией на обучающей выборке и валидацией на независимой контрольной группе. Метрики: AUC, чувствительность, специфичность, точность, F1-score. Статистическая значимость оценивалась критерием Делонга ($p < 0,05$).

СХЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ



КРИТЕРИИ ВКЛЮЧЕНИЯ

- Гистологически подтвержденный рак шейки матки
- Стадии IB-IIA (FIGO 2018)
- Наличие предоперационной МРТ с полным протоколом
- Отсутствие неoadъювантной терапии

КРИТЕРИИ ИСКЛЮЧЕНИЯ

- Предшествующая лучевая терапия
- Неполный МРТ-протокол
- Артефакты, затрудняющие сегментацию

VOI — объем интереса; mRMR — minimum Redundancy Maximum Relevance.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ



Клинические и морфологические характеристики групп были сопоставимы по возрасту (медиана 45 [IQR 36–53] и 46 [36–55] лет, $p=0,68$), гистологическому типу (плоскоклеточный рак: 88% vs 83%, $p=0,53$) и степени дифференцировки ($p=0,61$). Распределение по стадиям: IB — 62%, IIA — 38% в обучающей и IB — 62%, IIA — 40% в контрольной группе ($p=0,84$). Средний размер опухоли составлял 31 ± 9 мм и 32 ± 10 мм соответственно ($p=0,74$).

После фильтрации и отбора признаков в финальную модель вошли 6 признаков: 3 с T2WI и 3 с ADC (волновой фильтр wavelet-HHL). На обучающей выборке 5-кратная кросс-валидация показала медианный AUC 0,915 (95% ДИ 0,884–0,984).

На независимой контрольной выборке модель продемонстрировала AUC 0,855 (95% ДИ 0,727–0,919), чувствительность 0,861 (95% ДИ 0,785–0,936), специфичность 0,823 (95% ДИ 0,701–0,918), точность 0,844 (95% ДИ 0,771–0,921), F1-score 0,848. Сравнение AUC модели с клинической моделью (возраст, размер опухоли, стадия по МРТ) показало статистически значимое преимущество радиомики: 0,855 (95% ДИ 0,727–0,919) vs 0,634 (95% ДИ 0,485–0,768), $p=0,018$ (критерий Делонга).

Анализ важности признаков (коэффициенты SVM) выявил наибольший вклад признаков текстуры ADC: wavelet-HHL_glszm_SZ-LGE (вес 0,34) и wavelet-HHL_glcm_Correlation (0,29); далее следуют признаки T2WI: wavelet-HHL_glcm_Contrast (0,17), wavelet-HHL_glszm_SZE (0,11), ADC оригинальный_firstorder_Mean (0,06), T2WI оригинальный_firstorder_Kurtosis (0,03). Калибровка модели удовлетворительная (калибровочная кривая близка к диагонали, интерцепт $-0,02$, наклон 1,08).

Пример МРТ-последовательностей у пациенток со стадиями IB и IIA

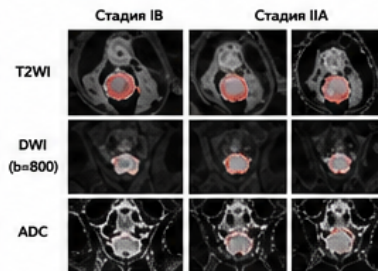


Рис. 1. Репрезентативные изображения МРТ (одна пациентка со стадией IB и одна со стадией IIA).

Топ-6 признаков по абсолютному значению коэффициентов в финальной модели

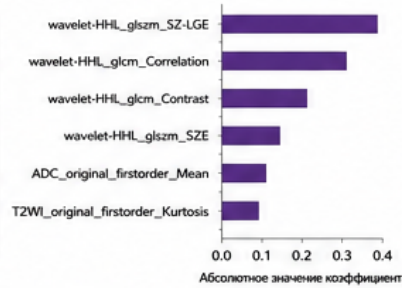


Рис. 2. Топ-6 признаков по абсолютной величине коэффициентов в финальной модели.

ROC-кривые радиомической модели и клинической модели

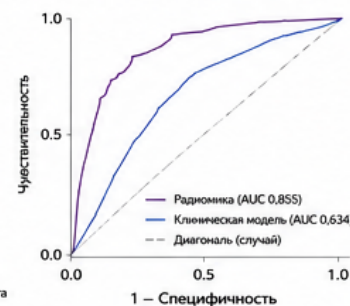


Рис. 3. Сравнение ROC-кривых на контрольной выборке.

Калибровочная кривая на контрольной выборке

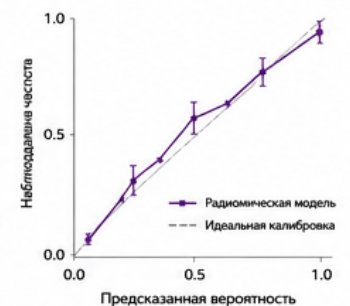


Рис. 4. Калибровка радиомической модели.

Показатели на контрольной выборке

Показатели	AUC (95% ДИ)	Чувствительность (95% ДИ)	Специфичность (95% ДИ)	Точность (95% ДИ)	F1-score (95% ДИ)	p (Delong)
	0,855 (0,727–0,919)	0,861 (0,785–0,936)	0,823 (0,701–0,918)	0,844 (0,771–0,921)	0,848 (0,771–0,921)	0,018

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ



Радиомический анализ МРТ позволяет независимо дифференцировать ранние стадии рака шейки матки IB и IIA с высокой точностью. Модель, построенная на шести признаках T2WI и ADC, превзошла клиническую модель и показала хорошую калибровку. Радиомика отражает внутритуморную гетерогенность и может дополнить стандартную МРТ-оценку, улучшая стратификацию риска и выбор тактики лечения. Ограничения: ретроспективный дизайн и ограниченный объем выборки. Перспективные многоцентровые исследования и внешняя валидация необходимы для внедрения в клиническую практику.