

ТЕКСТУРНЫЙ АНАЛИЗ МУЛЬТИПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МРТ В ДИАГНОСТИКЕ МЫШЕЧНО-ИНВАЗИВНЫХ И МЫШЕЧНО-НЕИНВАЗИВНЫХ ФОРМ РАКА МОЧЕВОГО ПУЗЫРЯ: ВОЗМОЖНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А.А. Коваленко^{1*}, О.В. Крючкова¹, В.С. Петровичев², З.А. Коваленко²

¹ ФГБУ «Центральная клиническая больница с поликлиникой» Управления делами Президента РФ, Москва

² ФГАУ НМИЦ «Лечебно-реабилитационный центр», Москва

THE RADIOMICS ANALYSIS OF MULTIPARAMETRIC MRI IN DIFFERENTIATION BETWEEN MUSCLE INVASIVE AND NON-MUSCLE INVASIVE BLADDER CANCER. POTENTIALS OF PRELIMINARY IMAGE PROCESSING

A.A. Kovalenko^{1*}, O.V. Kryuchkova¹, V.S. Petrovichev², Z.A. Kovalenko²

¹ Central Clinical Hospital with Out-Patient Unit of Department of Presidential Affairs, Moscow, Russia

² National Medical Research Center "Medical and Rehabilitation Center", Moscow, Russia

*E-mail: nastua_kovalenko@mail.ru

Аннотация

Введение. Актуальной проблемой лечения рака мочевого пузыря (РМП) остается недооценка мышечной инвазии и несоответствие дооперационного стадирования процесса с окончательной морфологической стадией заболевания. Более точно дифференцировать мышечно-инвазивные и мышечно-неинвазивные формы РМП, особенно в неоднозначных клинических случаях, может помочь радиомика – относительно новое направление неинвазивной диагностики, основанное на извлечении количественных характеристик из области интереса с последующим определением специфических диагностических и прогностических признаков. **Цель исследования** – определить диагностическую значимость текстурного анализа мультипараметрической магнитно-резонансной томографии (МРТ) в дифференцировке мышечно-инвазивных и мышечно-неинвазивных форм РМП; разработать диагностические модели, включающие текстурные показатели-предикторы, для дифференцировки мышечно-инвазивных и мышечно-неинвазивных форм РМП. **Материалы и методы.** В исследование было включено 39 пациентов с РМП (16 – с мышечно-инвазивным РМП, 23 – с мышечно-неинвазивным РМП), которым было выполнено хирургическое лечение в объеме трансуретральной резекции/цистэктомии. Всем пациентам была выполнена МРТ малого таза. Проведен анализ трех импульсных последовательностей – T2-ВИ, DWI и ADC. Расчет текстурных показателей осуществляли в условиях предварительной обработки изображений путем приведения последних к изотропному вокселю $1 \times 1 \times 1 \text{ мм}^3$ (RES). Сегментацию изображений проводили в 3D-режиме. **Результаты.** По итогам исследования построены три диагностические модели: 1 – модель на основе многофакторной логистической регрессии (MLR); 2 – модель на основе дерева решений (DT); 3 – модель на основе стекинга технологий машинного обучения (Stacking). Выявлены статистически значимо различающиеся текстурные показатели-предикторы (первого и второго порядков) дифференцировки мышечно-инвазивных и мышечно-неинвазивных форм РМП, при этом выделены по три показателя-предиктора на основе анализа данных T2-ВИ и DWI и два показателя-предиктора на основе анализа данных ADC-карт. Все построенные модели демонстрируют высокий диагностический потенциал и обладают следующими характеристиками: площадь под ROC-кривой – 93.7–100%, точность – 88.1–100%, чувствительность – 85.7–100%, специфичность – 90.5–100%. **Заключение.** Текстурный анализ МР-изображений позволяет выявить текстурные признаки-предикторы и с высокой точностью дифференцировать мышечно-инвазивные и мышечно-неинвазивные формы РМП, при этом решение данной задачи может быть достигнуто даже при анализе одной импульсной последовательности. Разработанные модели радиомики РМП могут внести вклад в повышение точности как до-, так и послеоперационного обследования, особенно в неоднозначных клинических случаях.

Ключевые слова: рак мочевого пузыря, магнитно-резонансная томография, лучевая диагностика, радиомика, текстурный анализ.

Abstract

Introduction. The relevant problem of bladder cancer (BC) management is underestimation of muscle invasion as well as discrepancy between preoperative staging of the process and the final morphological stage of the disease. Radiomics, a relatively new direction in noninvasive diagnostics which includes extraction of quantitative characteristics from the area of interest with subsequent determination of specific diagnostic and prognostic features, can help to differentiate more accurately muscle-invasive (MIBC) and muscle-noninvasive (NMIBC) forms of BC, especially in ambiguous clinical cases. **Purpose.** To assess the diagnostic significance of texture analysis of multiparametric magnetic resonance imaging (MRI) in differentiating muscle-invasive and muscle-noninvasive forms; to develop diagnostic models that include texture predictor indicators for differentiating MIBC and NMIBC forms. **Materials and methods:** 39 surgically treated patients with BC (16 – with MIBC, 23 – with NMIBC) were included in the study. They underwent transurethral resection/cystectomy. All patients had MRI examination of their pelvis. Three pulse sequences were analyzed: T2-WI, DWI and ADC. Texture indices were calculated under preliminary image processing by reducing the latter to an isotropic voxel of $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$ (RES). Image segmentation was performed in 3D mode. **Results.** Using the obtained findings, the authors constructed three diagnostic models: 1 – model on multivariate logistic regression

(MLR); 2 – model on decision tree (DT); 3 – model on stacking machine learning technologies (Stacking). Statistically significant different texture predictor indicators (of first and second orders) for differentiating muscle-invasive and muscle-noninvasive forms of bladder cancer were identified; besides, three predictor indicators were identified on T2-WI and DWI data and two predictor indicators – on ADC-map data. All constructed models demonstrate high diagnostic potentials and have the following characteristics: AUC – 93.7–100%, accuracy – 88.1–100%, sensitivity – 85.7–100%, specificity – 90.5–100%. **Conclusion.** The discussed texture analysis of MR images allows to identify texture predictor features and differentiate muscle-invasive and muscle-noninvasive forms of bladder cancer with high accuracy; moreover, solution to this problem can be achieved even by analyzing one pulse sequence. The developed models of bladder cancer radiomics can contribute to better accuracy of both pre- and postoperative examination, especially in ambiguous clinical cases.

Keywords: bladder cancer, magnetic resonance imaging, radiation diagnostics, radiomics, texture analysis.

Ссылка для цитирования: Коваленко А.А., Крючкова О.В., Петровичев В.С., Коваленко З.А. *Текстуриный анализ мультипараметрической МРТ в диагностике мышечно-инвазивных и мышечно-неинвазивных форм рака мочевого пузыря: возможности в условиях предварительной обработки изображений. Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2024; 4: 34–38.*

Рак мочевого пузыря (РМП) является второй по частоте онкологической формой среди заболеваний онкоурологического профиля. Ежегодно в мире регистрируется более 500 000 новых случаев заболеваний [1, 2].

Пятилетняя выживаемость при РМП широко варьирует в зависимости от распространенности процесса и составляет 95.8% в случае опухоли *in situ*, 69.5% при локализованной форме, 36.3% при местнораспространенной форме и всего 4.6% при метастатическом раке [2].

Выбор объема лечения и прогноз напрямую зависят от инвазии в мышечный слой и распространенности процесса за пределами стенки мочевого пузыря (МП). Единственным радикальным способом лечения мышечно-инвазивных форм РМП по настоящее время остается радикальная цистэктомия (РЭ) [3].

Степень злокачественности опухоли является важнейшим предиктором прогноза. Так, частота прогрессирования и рецидива заболевания при опухолях низкой степени злокачественности варьирует от 4 до 43%, тогда как при опухолях высокой степени злокачественности данные показатели достигают 58% [4]. Потому своевременная диагностика РМП остается актуальной проблемой в онкологии.

Согласно утвержденным мировым рекомендациям, трансуретральная резекция (ТУР) опухоли с последующим гистологическим исследованием является основным методом в оценке вовлеченности мышечного слоя и определении степени дифференцировки [4]. Недооценка мышечной инвазии ввиду трудностей и неудовлетворительного качества забора материала, а также высокоэнергетического повреждения тканей напрямую влияет на определение T-стадии процесса [5]. Актуальным остается несоответствие между клинической и окончательной морфологической стадией заболевания ввиду особенностей резекционного пособия, а частота подобных случаев достигает 20–30% [6]. В трети случаев анализ послеоперационного материала после РЭ демонстрирует, что образования, предположительно ограниченные МП, имеют экстравезикальное распространение. Так, частота остаточной опухоли после ТУР может достигать 50%, при этом в 10% повторных резекций повышается стадия процесса ввиду выявления мышечной инвазии [7].

На сегодняшний день широко признано преимущество магнитно-резонансной томографии (МРТ) в диагностике РМП, что сделало данный метод практически первичным в обследовании пациентов с подозрением на опухоль. В 2018 г. рядом авторитетных сообществ с целью стандартизации и объективизации оценки местной распространенности РМП была утверждена система оценки VIRADS (Vesical Imaging-Reporting and Data System) [8, 9]. В основе ее концепции лежит стандартизация выполнения мультипараметрической МРТ и унифицированность правил интерпретации изображений по балльной системе. В настоящее

время система VIRADS широко признана мировым сообществом и способствует лучшему взаимодействию между специалистами диагностического и клинического профилей. Использование мультипараметрической МРТ повышает выявляемость мышечно-инвазивных форм РМП до 85% [10]. Тем не менее применение системы VIRADS в практической работе врача-рентгенолога нередко вызывает значительные трудности и требует большой насмотренности для более независимой оценки изменений [11].

В последние годы возрастает количество исследований и публикаций, посвященных возможностям радиомики в диагностике РМП.

Радиомика – отрасль медицинской науки, целью которой является извлечение количественных характеристик из области интереса с последующим определением специфических диагностических и прогностических признаков [12].

Актуальность и перспективы интеграции радиомики в практическую работу доказаны результатами целого ряда исследований, посвященных анализу как магнитно-резонансных (МР), так и компьютерно-томографических (КТ)-изображений [12].

Анализ опубликованных работ позволяет выделить следующие направления для применения текстурного анализа в диагностике РМП:

- дифференцировка мышечно-инвазивных и мышечно-неинвазивных форм;
- дифференцировка по степени злокачественности;
- оценка прогноза рецидива и выживаемости.

Следует отметить, что рутинное применение текстурного анализа в клинической практике ограничено, что во многом связано с отсутствием единых унифицированных алгоритмов исследования. Актуальным остается изучение вариантов предварительной обработки медицинских изображений, методологии проведения сегментации и воспроизводимости текстурных показателей при различных условиях сканирования.

Цель исследования – определить диагностическую значимость текстурного анализа МР-изображений в дифференцировке мышечно-инвазивных и мышечно-неинвазивных форм РМП; разработать диагностические модели, включающие текстурные показатели-предикторы, для дифференцировки мышечно-инвазивных и мышечно-неинвазивных форм РМП.

Материалы и методы

В исследование на основе ретроспективного анализа отобраны пациенты с РМП, которым было выполнено хирургическое лечение в объеме трансуретральной резекции/цистэктомии в ФГБУ «ЦКБ с поликлиникой» УДП РФ и ФГАУ НМИЦ ЛРЦ Минздрава России за период с 2019 по 2021 г. Во всех случаях была выполнена морфологическая верификация новообразований.

Таблица 1

Клинико-демографические характеристики пациентов

Переменные	Пациенты с РМП	Группа неинвазивного РМП	Группа инвазивного РМП	p
Количество	n = 39	n = 23	n = 16	0.235
Мужчины	31 (79%)	20 (87%)	11 (69%)	
Женщины	8 (21%)	3 (13%)	5 (31%)	
Возраст	68.0 [60.0; 74.5]	68.0 [58.5; 74.5]	68.5 [63.0; 74.5]	0.753

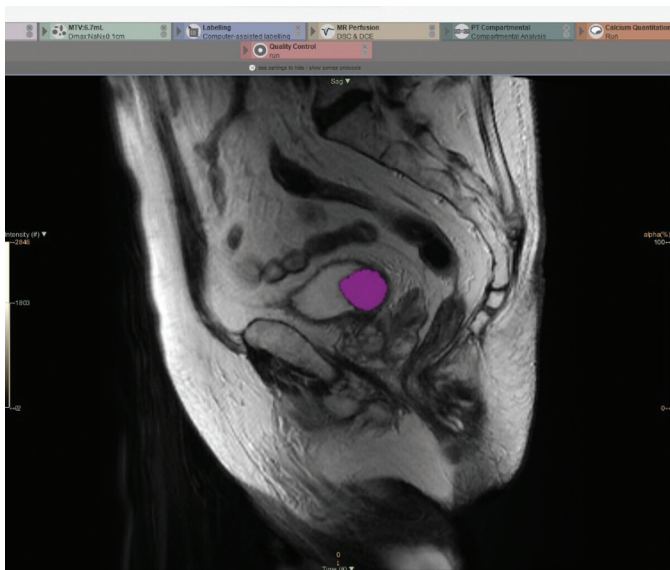


Рис. 1. Магнитно-резонансная томограмма: экзофитная опухоль мочевого пузыря, T2-ВИ, сагиттальная плоскость, сегментация всего объема образования (3D-ROI)

Критериями включения в исследование являлись:

- наличие дооперационно выполненной МРТ;
- наличие в исследовании трех импульсных последовательностей – T2-ВИ, DWI, ADC;
- удовлетворительное качество исследования с отсутствием артефактов в зоне интереса;
- наличие данных послеоперационного гистологического исследования.

Критерием исключения из исследования являлось проведение системного или регионарного лечения РМП.

Всего в исследование включено 39 пациентов, среди которых 16 пациентов с мышечно-инвазивным РМП и 23 пациента с мышечно-неинвазивным РМП (табл. 1).

Магнитно-резонансные исследования выполняли по стандартному протоколу на томографах фирм-производителей GE, Siemens с индукцией магнитного поля 1.5 и 3.

В исследовании всем пациентам был проведен текстурный анализ мультипараметрической МРТ органов малого таза.

Для извлечения текстурных показателей применяли программное обеспечение LIFeX (version 7.4.0, www.lifexsoft.org). Сегментацию изображений проводил в 3D-режиме один врач-рентгенолог с опытом абдоминальной визуализации три года. Выполняли текстурный анализ трех импульсных последовательностей – T2-ВИ, ДВИ и ADC-карт. В исследовании анализировали DWI-изображения с b-фактором 800/1000 с/мм². ADC-карты были построены автоматически (рис. 1).

Для всех изображений в качестве стандартизации была применена предварительная обработка, заключающаяся в применении заданного размера вокселя 1 × 1 × 1 мм³ (RES).

В качестве стартовой фазы для сегментации были выбраны T2-ВИ. В дальнейшем в ручном режиме была проведена синхронизация «маски» образования с оставшимися фазами исследования. После сегментации для каждой фазы исследования рассчитывали по 138 текстурных показателей.

Результаты

Сбор данных, их последующую коррекцию, систематизацию исходной информации и визуализацию полученных результатов осуществляли в электронных таблицах Excel (Microsoft Office 365, Microsoft, США). Статистический анализ проводили с использованием программной среды вычислений Python (v.3.11).

На первом этапе была выполнена стандартная статистика по всем переменным отчета. Выделенные группы по признаку мышечной инвазии статистически значимо ($p > 0.05$) не различались по возрасту и полу.

Вторым этапом выполняли построение прогностических моделей дифференцировки мышечно-инвазивных и мышечно-неинвазивных образований с помощью корреляционного анализа и логистической регрессии. Построение моделей осуществляли с разбиением базы на обучающую и тестовую выборки в отношении 70 : 30.

По итогу были построены три модели:

1. Модель на основе многофакторной логистической регрессии (MLR).
2. Модель на основе дерева решений (DT).
3. Модель на основе стекинга технологий машинного обучения (Stacking).

Оценку построенных прогностических моделей проводили по следующим метрикам: ROC-AUC, точность, чувствительность, специфичность, R2. Выбор наиболее точной модели проводили на основе тестирования их по тестовой выборке.

Выявлены: дискриминация мышечно-инвазивных и мышечно-неинвазивных форм РМП ($p < 0.05$) 133 текстурными параметрами (32 параметра на основе T2-ВИ, 49 – на основе DWI и 52 – на основе ADC); дискриминация мышечно-инвазивных и немusечно-инвазивных форм РМП ($p \leq 0.001$) 68 текстурными параметрами (17 параметров на основе T2-ВИ, 6 – на основе DWI и 45 – на основе ADC).

В табл. 2 представлены текстурные показатели-предикторы мышечной инвазии, полученные в результате многофакторного регрессионного анализа.

В табл. 3–6 представлены сравнительные метрики оценки качества прогностических моделей, построенных как изолированно на основе каждой из трех импульсных последовательностей (T2-ВИ, DWI, ADC), так и при их комбинированном анализе.

Обсуждение

В нашем исследовании были проанализированы три импульсные последовательности (T2-ВИ, DWI и ADC). Следует отметить, что максимальные значения b-фактора не были едины во всех исследованиях и составляли 800/1000 с/мм². В область интереса (ROI) не входили содержимое мочевого пузыря, сосудистая ножка опухоли и паравезикальная клетчатка. Мы использовали полуавтоматическую сегментацию всего объема опухоли (3D-ROI), при этом стартовой фазой служили T2-ВИ в сагиттальной плоскости. Известно, что диагностические характеристики моделей на основе полуавтоматической и ручной сегментации изображений сопоставимы, однако в случае с полуавтоматической сегментацией времени на ее выполнение требуется достоверно меньше [13].

По итогам исследования нами были выявлены статистически значимо различающиеся текстурные показатели-пре-

Таблица 2

Результаты многофакторного регрессионного анализа, построенные при оценке режима 3D-сегментации МР-изображений

Переменные	coef (B)	Exp (B)	p
T2-ВИ T2_INTENSITY-BASED_IntensityBasedCoefficientOfVariation(IBSI:7TET)[[]]	13.99	1190638.172 [14.529, 97577089307.567]	0.015*
T2_INTENSITY-HISTOGRAM_IntensityHistogramKurtosis(IBSI:C3I7)[Intensity]	2.046	7.737 [1.372, 43.603]	0.020*
T2_MORPHOLOGICAL_Compactness2(IBSI:BQWJ)[[]]	-12.169	0.0 [0.0, 0.017]	0.003*
DWI_GLCM_InverseDifference(IBSI:IB1Z)	23.298	13127826833.183 [124.8, 1.3798040940748654e + 18]	0.013*
DWI_INTENSITY-BASED_MinimumIntensity(IBSI:1GSF)[[]]	-0.015	0.985 [0.971, 1.0]	0.050*
DWI_MORPHOLOGICAL_MaxIntensityCoor(IBSI:No)[vx]_z	-0.061	0.941 [0.896, 0.989]	0.016*
const	2.929	18.709 [0.023, 15198.139]	0.392
ADC_GLCM_InverseVariance(IBSI:E8JP)	50.823	1.1807241705933171e + 22 [0.612, 2.2778711349957567e + 44]	0.052
ADC_INTENSITY-BASED_MedianIntensity(IBSI:Y12H)[[]]	-0.009	0.991 [0.984, 0.997]	0.006*
const	8.163	3508.697 [1.848, 6661100.618]	0.034*

* Различия статистически достоверны ($p \leq 0.05$).

Примечание. T2-ВИ – T2-взвешенные изображения, DWI – диффузионно-взвешенные изображения, ADC – карты измеряемого коэффициента диффузии, INTENSITY-BASED_IntensityBasedCoefficientOfVariation – значение интенсивности коэффициента вариации, INTENSITY-HISTOGRAM_IntensityHistogramKurtosis – куртозис (показатель гистограммы), MORPHOLOGICAL_Compactness – компактность, GLCM_InverseDifference – матрица совпадений уровня серого (обратный разностный момент), INTENSITY-BASED_MinimumIntensity – минимальное значение интенсивности области интереса, MORPHOLOGICAL_MaxIntensityCoor – максимальное значение интенсивности области интереса, GLCM_InverseVariance – матрица совпадений уровня серого (обратная дисперсия), INTENSITY-BASED_MedianIntensity – среднее значение интенсивности области интереса; различия считались статистически значимыми при $p < 0.05$.

Таблица 3

Метрики оценки качества прогностической модели на основе T2-ВИ, %

Мера оценки	МЛР	Дерево решений	Stacking
ROC-AUC	93.7 [87.0; 99.0]	100.0 [100.0; 100.0]	100.0 [100.0; 100.0]
Точность	88.1 [78.6; 95.2]	100.0 [100.0; 100.0]	100.0 [100.0; 100.0]
Чувствительность (1)	85.7 [73.7; 100.0]	100.0 [100.0; 100.0]	100.0 [100.0; 100.0]
Специфичность (0)	90.5 [77.8; 100.0]	100.0 [100.0; 100.0]	100.0 [100.0; 100.0]
ROC ± se	93.7 ± 0.0016	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
R ²	52.4 [14.3; 80.9]	100.0 [100.0; 100.0]	100.0 [100.0; 100.0]

Таблица 4

Метрики оценки качества прогностической модели на основе DWI, %

Мера оценки	МЛР	Дерево решений	Stacking
ROC-AUC	94.3 [87.5; 99.1]	99.3 [97.7; 100.0]	98.6 [95.7; 100.0]
Точность	88.1 [81.0; 95.2]	97.6 [92.9; 100.0]	97.6 [92.9; 100.0]
Чувствительность (1)	85.7 [72.2; 96.0]	95.2 [85.7; 100.0]	95.2 [85.7; 100.0]
Специфичность (0)	90.5 [78.9; 100.0]	100.0 [100.0; 100.0]	100.0 [100.0; 100.0]
ROC ± se	94.3 ± 0.0015	99.3 ± 0.0008	98.6 ± 0.0008
R ²	52.4 [17.0; 80.9]	90.5 [70.8; 100.0]	90.5 [70.8; 100.0]

Таблица 5

Метрики оценки качества прогностической модели на основе ADC, %

Мера оценки	МЛР	Дерево решений	Stacking
ROC-AUC	94.3 [87.3; 99.8]	97.6 [93.2; 100.0]	96.8 [90.9; 100.0]
Точность	88.1 [78.6; 95.2]	97.6 [92.9; 100.0]	95.2 [90.5; 100.0]
Чувствительность (1)	85.7 [72.7; 96.0]	100.0 [100.0; 100.0]	95.2 [86.7; 100.0]
Специфичность (0)	90.5 [78.3; 100.0]	95.2 [86.4; 100.0]	95.2 [86.4; 100.0]
ROC ± se	94.3 ± 0.0015	97.6 ± 0.0007	96.8 ± 0.001
R ²	52.4 [14.3; 80.8]	90.5 [71.2; 100.0]	81.0 [57.1; 100.0]

Таблица 6

Метрики оценки качества комбинированной прогностической модели

Мера оценки	МЛР	Дерево решений	Stacking
ROC-AUC	94.3 [88.2; 99.1]	97.6 [92.9; 100.0]	100.0 [100.0; 100.0]
Точность	90.5 [83.3; 97.6]	97.6 [92.9; 100.0]	97.6 [92.9; 100.0]
Чувствительность (1)	90.5 [79.2; 100.0]	100.0 [100.0; 100.0]	95.2 [86.7; 100.0]
Специфичность (0)	90.5 [77.8; 100.0]	95.2% [85.7; 100.0]	100.0 [100.0; 100.0]
ROC ± se	94.3 ± 0.0015	97.6 ± 0.0008	100.0 ± 0.0007
R ²	61.9 [29.3; 90.4]	90.5 [71.2; 100.0]	90.5 [71.4; 100.0]

дикторы дифференцировки мышечно-инвазивных и мышечно-неинвазивных форм РМП, при этом были выделены по три показателя-предиктора на основе анализа данных T2-ВИ и DWI и два показателя-предиктора на основе анализа данных ADC-карт. В отличие от работы X. Xu и соавт., в нашем исследовании в каждую предиктивную модель вошли текстурные показатели первого порядка (INTENSITY-BASED) [14]. В свою очередь, текстурные показатели второго порядка (GLCM) вошли лишь в предиктивные модели на основе DWI и ADC.

Согласно полученным нами данным, все модели, в частности построенные изолированно на каждую из фаз исследования, демонстрируют высокие показатели точности, чувствительности и специфичности в дифференцировке мышечно-инвазивных и мышечно-неинвазивных форм РМП. По нашему мнению, подобные результаты во многом могут быть обусловлены предварительной обработкой изображений с приведением каждой анализируемой фазы к изотропному вокселю ($1 \times 1 \times 1 \text{ мм}^3$).

Количество публикаций, посвященных возможностям применения текстурного анализа при РМП по данным МРТ и КТ, неуклонно возрастает, и на настоящий момент подобных исследований уже более 30 [15]. Актуальность поиска новой неинвазивной методики для оценки факта мышечной инвазии при РМП обусловлена рядом факторов. Во-первых, оценка мышечной стенки нередко затруднена из-за несоблюдения должных параметров сканирования: неверного прохождения плоскости среза относительно основания опухоли, большого поля обзора, некорректных параметров сбора постконтрастных изображений. Во-вторых, в ряде случаев мышечный слой в забранном при трансуретральной резекции образовании может быть не представлен, либо же его оценка может быть затруднена ввиду коагуляционных изменений. В настоящее время перспективны изучение вопросов стандартизации предварительной обработки изображений и условий сегментации, разработка комплексных диагностических моделей, а также сравнительная оценка диагностического потенциала МРТ и КТ [16, 17].

Проведенное исследование имело ряд ограничений: относительно небольшое количество пациентов в группах сравнения и ретроспективный дизайн исследования.

Заключение

Таким образом, текстурный анализ мультипараметрической МРТ позволяет выявить текстурные признаки-предикторы и с высокой точностью дифференцировать мышечно-инвазивные и мышечно-неинвазивные формы РМП, при этом решение данной задачи может быть достигнуто даже при анализе одной импульсной последовательности. Разработанные модели представляют большой интерес в контексте нового неинвазивного метода исследования и могут внести весомый вклад в повышение точности как до-, так и послеоперационного обследования в неоднозначных клинических случаях.

Литература

1. Sung H. et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries // *CA Cancer J. Clin.* – 2021. – V. 71. – No 3. – P. 209–249. DOI: 10.3322/caac.21660.
2. Saginala K. et al. Epidemiology of Bladder Cancer // *Med. Sci. (Basel).* – 2020. – V. 8. – No 1. – P. 15. DOI: 10.3390/medsci8010015.
3. *EAU Guidelines. Edn. presented at the EAU Annual Congress Milan 2023. ISBN 978-94-92671-19-6. URL: https://uroweb.org/guidelines.*

4. Soukup V. et al. Prognostic Performance and Reproducibility of the 1973 and 2004/2016 World Health Organization Grading Classification Systems in Non-muscle-invasive Bladder Cancer: A European Association of Urology Non-muscle Invasive Bladder Cancer Guidelines Panel Systematic Review // *Eur. Urol.* – 2017. – V. 72. – No. 5. – P. 801–813. DOI: 10.1016/j.eururo.2017.04.015
5. Ren J. et al. Preoperative CT-based radiomics for diagnosing muscle invasion of bladder cancer // *Egypt J. Radiol. Nucl. Med.* – 2023. – V. 54. – P. 131. DOI: 10.1186/s43055-023-01044-7.
6. Hammouda K. et al. A multiparametric MRI-based CAD system for accurate diagnosis of bladder cancer staging // *Comput. Med. Imaging. Graph.* – 2021. – V. 90. DOI: 10.1016/j.compmedimag.2021.101911.
7. Ark J.T. et al. Incidence and predictors of understaging in patients with clinical T1 urothelial carcinoma undergoing radical cystectomy // *BJU Int.* – 2014. – V. 113. – No 6. – P. 894–899. DOI: 10.1111/bju.12245.
8. Lai A.L. et al. VI-RADS in bladder cancer: Overview, pearls and pitfalls // *Eur. J. Radiol.* – 2023. – V. 160. DOI: 10.1016/j.ejrad.2022.110666.
9. Panebianco V. et al. Multiparametric Magnetic Resonance Imaging for Bladder Cancer: Development of VI-RADS (Vesical Imaging-Reporting And Data System) // *Eur. Urol.* – 2018. – V. 74. – No 3. – P. 294–306. DOI: 10.1016/j.eururo.2018.04.029.
10. Cornelissen S.W.E. et al. Diagnostic Accuracy of Multiparametric MRI for Local Staging of Bladder Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Urology.* – 2020. – V. 145. – P. 22–29. DOI: 10.1016/j.urology.2020.07.021.
11. Da Silva M.C. et al. The learning curve in bladder MRI using VI-RADS assessment score during an interactive dedicated training program // *Eur. Radiol.* – 2022. – V. 32. – No 11. – P. 7494–7503. DOI: 10.1007/s00330-022-08766-8.
12. Huang X. et al. The role of radiomics with machine learning in the prediction of muscle-invasive bladder cancer: a mini review // *Front. Oncol.* – 2022. – V. 12. DOI: 10.3389/fonc.2022.990176.
13. Ye Y. et al. Radiomics Prediction of Muscle Invasion in Bladder Cancer Using Semi-Automatic Lesion Segmentation of MRI Compared with Manual Segmentation // *Bioengineering (Basel).* – 2023. – V. 10. – No 12. DOI: 10.3390/bioengineering10121355.
14. Xu X. et al. Quantitative Identification of Nonmuscle-Invasive and Muscle-Invasive Bladder Carcinomas: A Multiparametric MRI Radiomics Analysis // *J. Magn. Reson. Imaging.* – 2019. – V. 49. – No 5. – P. 1489–1498. DOI: 10.1002/jmri.26327.
15. Li L. et al. Prediction of histopathologic grades of bladder cancer with radiomics based on MRI: Comparison with traditional MRI // *Urol. Oncol.* – 2024. DOI: 10.1016/j.urolonc.2024.02.008.
16. Zhang G. et al. CT-based radiomics to predict the pathological grade of bladder cancer // *Eur. Radiol.* – 2020. – V. 30. – No 12. – P. 6749–6756. DOI: 10.1007/s00330-020-06893-8.
17. Li L. et al. An MRI-based radiomics nomogram in predicting histologic grade of non-muscle-invasive bladder cancer // *Front. Oncol.* – 2023. – V. 13. DOI: 10.3389/fonc.2023.1025972.