

ОБЗОРЫ / REVIEWS

УДК 616.447-089.87

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-4-7-18>**ТЕКСТУРНЫЙ АНАЛИЗ КТ- И МР-ИЗОБРАЖЕНИЙ
В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ ПОЧЕЧНО-КЛЕТОЧНОГО РАКА:
ОБЗОР***Н. А. Карельская¹, И. С. Груздев^{1*}, В. Ю. Рагузина¹, Г. Г. Кармазановский¹*

Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А. В. Вишневского, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Почечно-клеточный рак (ПКР) — гетерогенная группа заболеваний. Наиболее распространенным типом ПКР является светлоклеточный ПКР. Биопсия опухоли является «золотым» стандартом верификации онкологического диагноза, однако при ПКР может давать неудовлетворительный результат вследствие характерной гетерогенности структуры ПКР. Неинвазивные методы диагностики — компьютерная томография и магнитно-резонансная томография — в сочетании с применением метода текстурного анализа потенциально могут дать большой объем информации о структуре опухоли почки и предположительной степени ее дифференцировки (грейде).

ЦЕЛЬ: Провести анализ публикаций, посвященных текстурному анализу при ПКР, возможностям и перспективам применения этого метода для увеличения информативности КТ- и МР-исследований.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: В нашем обзоре представлены данные, полученные из доступных источников PubMed, Scopus и Web of Science, опубликованных до марта 2022 года включительно, найденные с помощью ключевых слов: почечно-клеточный рак, КТ, МРТ, текстурный анализ, радиомика на русском и английском языках.

РЕЗУЛЬТАТЫ: В литературном обзоре описаны методики текстурного анализа: выбор области интереса, модальности и фазы исследования, диагностической задачи. По результатам опубликованных научных работ авторы приходят к выводу, что применение текстурного анализа позволяет с высокой чувствительностью, специфичностью и точностью предсказать грейд ПКР, а также проводить дифференциальную диагностику ПКР с другими образованиями почек, прежде всего ангиомиолипомами с низким содержанием жира.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Применение текстурного анализа согласно опубликованным материалам является крайне перспективным для неинвазивного прогнозирования грейда ПКР и его дифференциальной диагностики, однако различие методик и отсутствие стандартизации проведения текстурного анализа требует проведения дополнительных исследований.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: КТ, МРТ, текстурный анализ, почечно-клеточный рак

*Для корреспонденции: Груздев Иван Сергеевич, e-mail: gruzdev_van@mail.ru

Для цитирования: Карельская Н.А., Груздев И.С., Рагузина В.Ю., Кармазановский Г.Г. Текстурный анализ КТ- и МР-изображений в дифференциальной диагностике почечно-клеточного рака: обзор // *Лучевая диагностика и терапия*. 2023. Т. 14, № 4. С. 7–18, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-4-7-18>.

**TEXTURE ANALYSIS OF CT- AND MR-IMAGES IN THE DIFFERENTIAL
DIAGNOSIS OF RENAL CELL CARCINOMA: A REVIEW***Natalia A. Karelskaya¹, Ivan S. Gruzdev^{1*}, Vlada Yu. Raguzina¹, Grigory G. Karmazanovsky¹*

A. V. Vishnevsky National Medical Research Center for Surgery, Moscow, Russia

INTRODUCTION: Renal cell carcinoma (RCC) is a heterogeneous group of diseases. The most common type of RCC is clear cell RCC. Tumor biopsy is the «gold» standard for verifying the diagnosis, however, it can be unsatisfactory due to the characteristic heterogeneity of the RCC structure. Non-invasive diagnostic methods — computed tomography and magnetic resonance imaging — in combination with the use of texture analysis can potentially provide a large amount of information about the structure of the kidney tumor and the presumed degree of its differentiation (grade).

OBJECTIVE: To analyze publications devoted to texture analysis in RCC, the possibilities and prospects of using this method to increase the information content of CT and MR studies.

MATERIALS AND METHODS: Our review presents data obtained from available sources PubMed, Scopus and Web of Science, published up to March 2022 inclusive, found using the keywords: renal cell carcinoma, CT, MRI, texture analysis, radiomics in Russian and English.

RESULTS: The literature review describes the methods of texture analysis: selection of the region of interest, modality and contrast phase of the study, diagnostic aim. Based on the results of published scientific papers, the authors conclude that the use of texture analysis makes it possible to predict the grade of RCC with high sensitivity, specificity and accuracy, as well as to make a differential diagnosis of RCC with other kidney neoplasias, primarily lipid poor angiomyolipomas.

CONCLUSION: The use of texture analysis based on published materials is extremely promising for non-invasive prediction of RCC grade and its differential diagnosis, however, the difference in methods and the lack of standardization of texture analysis requires additional research.

KEYWORDS: CT, MRI, Texture analysis, renal cell carcinoma

*For correspondence: Ivan S. Gruzdev, e-mail: gruzdev_van@mail.ru.

For citation: Karelskaya N.A., Gruzdev I.S., Raguzina V.Yu., Karmazanovsky G.G. Texture analysis of CT- and MR-Images in the differential diagnosis of renal cell carcinoma: a review // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2023. Vol. 14, No. 4. P. 7–18, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-4-7-18>.

Введение. Почечно-клеточный рак (ПКР) — наиболее распространенная опухоль почки, имеет эпителиальное происхождение (аденокарцинома), развивается из эпителия проксимальных канальцев или собирательных трубочек. ПКР составляет 80–90% первичных опухолей почки (данные Всемирной организации здравоохранения [1]), наиболее распространенные гистологические варианты ПКР — светлоклеточный ПКР и папиллярный ПКР. Для светлоклеточного и папиллярного ПКР Всемирной организацией здравоохранения и Международной ассоциацией урологических патологов (ISUP) рекомендована четырехступенчатая градирующая система (грейд 1–4) — система определения степени злокачественности опухоли, основанная на ядерных признаках и наличии саркоматоидной/рабдоидной дифференцировки [1].

Макроскопически и по данным КТ-, МР-визуализации структура ПКР гетерогенная, переменная, с наличием солидного и кистозного компонентов, участков некроза и кровоизлияний. Мелкие опухоли и опухоли низких грейдов часто имеют солидную структуру и выраженную псевдокапсулу.

Прогнозирование степени агрессивности опухоли у пациентов ПКР с помощью методов визуализации представляет большой интерес, поскольку позволяет предположить прогноз заболевания, определить тактику лечения, обосновать использование динамического наблюдения у части пациентов из группы высокого риска с ПКР стадии cT1aN0M0 в качестве альтернативы хирургическому лечению (Российские клинические рекомендации, 2020).

Возможности методов КТ с внутривенным контрастным усилением и мультипараметрической МРТ в определении степени дифференцировки ПКР еще до конца не ясны. Лучевая семиотика ПКР при КТ- и МР-исследованиях относительно хорошо изучена;

в то же время новый метод анализа изображений — текстурный анализ, или радиомика, является очень перспективным с точки зрения получения принципиально новой, объективной, недоступной «невооруженному глазу» информации. Выбор фазы контрастного усиления из КТ-исследования или последовательности МР-исследования, наиболее перспективных с позиции текстурного анализа, обсуждается в мировой литературе в течение последних 7 лет. В нашем обзоре представлены данные, полученные из доступных источников PubMed, Scopus и Web of Science, опубликованных до марта 2022 г. включительно.

Цель. Определить возможности текстурного анализа при ПКР и перспективы применения этого метода для увеличения информативности КТ- и МР-исследований на основании анализа данных научных публикаций.

Материалы и методы. Проанализированы научные публикации, посвященные анализу данных КТ- и МР-исследований у пациентов с ПКР, авторы которых оценивали чувствительность и специфичность методов в дифференциальной диагностике опухолей почки, дооперационном определении степени дифференцировки (грейда) при ПКР. Около $\frac{2}{3}$ изученных публикаций посвящены оценке возможностей метода текстурного анализа при ПКР, из них большая часть посвящена текстурному анализу данных КТ-исследований при ПКР. Гораздо меньше публикаций посвящены возможностям текстурного анализа данных МР-исследований при ПКР. На настоящий момент только в одной статье проанализировано совместное использование текстурных данных КТ- и МР-исследований [2].

Результаты. Активное изучение возможностей текстурного анализа данных КТ- и МР-исследований при ПКР, началось в первой половине 2010-х

годов [3]. В период с 2016 по 2022 год количество публикаций, посвященных роли текстурного анализа при ПКР, ежегодно увеличивалось. Основными направлениями исследований стали дифференциальная диагностика ПКР и других опухолей почки и прогнозирование степени дифференцировки ПКР (грейда). Все авторы при статистической обработке результатов исследований придерживались деления ПКР на две группы — опухоли высокого грейда (Fuhrman 3–4, ISUP 3–4) и опухоли низкого грейда (Fuhrman 1–2, ISUP 1–2).

Текстурный анализ при ПКР. Традиционно выделяются следующие этапы текстурного анализа:

- 1) получение изображений, претекстурный этап анализа изображений: выявление образования, выбор фазы КТ-исследования или МР-последовательности, выбор методики сегментации (рисунок);
- 2) выделение ROI (сегментация);
- 3) расчет текстурных показателей;
- 4) анализ текстурных показателей и построение диагностических моделей (рисунок).

Проведению текстурного анализа предшествует этап получения изображений в формате DICOM. Для выполнения текстурного анализа используются данные КТ и МРТ, выполненных по рутинному протоко-

лу исследования почек, выбранному в медицинских учреждениях, не требуя дополнительного введения контрастного препарата или выполнения специализированных дополнительных МР-последовательностей. Применительно к исследованию почек с внутривенным контрастированием фазы контрастного усиления принято обозначать как нативную, кортикомедулярную, нефрографическую и экскреторную.

По данным анализа публикаций подавляющее большинство исследователей проводили текстурный анализ результатов КТ-исследований (27 из 36 проанализированных). Параметры КТ-исследований были следующие: толщина реконструированного среза варьировала от 1 до 8 мм, напряжение на рентгеновской трубке от 120 до 140 кВ, фазы сканирования включали нативную, кортикомедулярную, нефрографическую, экскреторную. В одном исследовании выполнялся анализ только нативной фазы [5]. Количество использованного контрастного вещества (КВ) варьировало от 70 до 150 мл, скорость введения контрастного вещества от 3 до 4,5 мл/с.

Меньшая часть исследователей проводили текстурный анализ данных МРТ (8 из 36 проанализированных). Параметры МР-исследований выраженно варьировали. Сила магнитного поля сканеров

Получение медицинских изображений для текстурного анализа (Image acquisition)

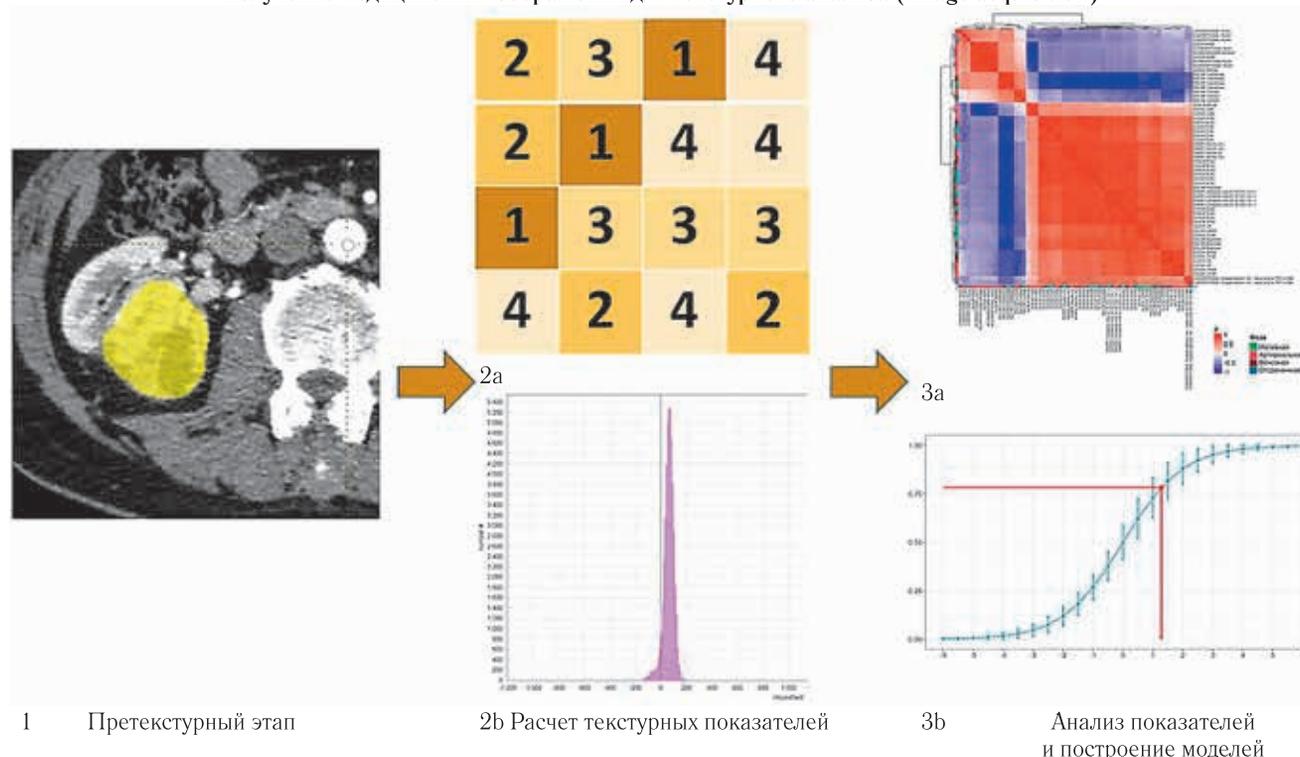


Рисунок. Схема этапов текстурного анализа: 1 — сегментация опухоли почки с помощью программы LIFEx; 2 — расчет текстурных показателей: 2a — схема матрицы показателей второго порядка, 2b — показатели первого порядка (гистограмма); 3 — анализ текстурных показателей: 3a — коррелограмма текстурных показателей, 3b — прототип диагностической модели с оценкой вероятности высокого грейда ПКР. Все представленные изображения являются собственными данными авторов [4]

Figure. Stages of texture analysis: 1 — Segmentation of a kidney tumor in the LIFEx application; 2 — calculation of texture features: 2a — diagram of the matrix of the second order features, 2b — the first order features (histogram); 3 — analysis of texture features: 3a — correlogram of texture features, 3b — prototype of a diagnostic model with an estimate of the probability of a high grade of RCC. All images shown are the authors' own data [4]

в подавляющем большинстве исследований была 1,5 тесла. Для текстурного анализа использовались преимущественно карты измеряемого коэффициента диффузии (ИКД), T2, T1FS изображения в нативную, кортикомедулярную, нефрографическую фазы исследования, толщина среза варьировала от 1,5 мм до 8 мм. Количество использованного контрастного вещества варьировало от 7,5 мл до 20 мл, скорость введения контрастного вещества от 1 до 3 мл/с.

Претекстурный этап анализа изображений.

Следующий этап анализа изображений принципиально одинаков для КТ- и МР-исследований, так называемый *претекстурный этап* — определение локализации и размера опухоли, оценка ее формы, четкости контуров и границы с неизменной паренхимой почки, оценка структуры, паттерна накопления КВ, выявление признаков инвазии в синус почки и просвет почечных вен. Определение всех этих рентгенологических характеристик ПКР относится к претекстурному этапу условно, поскольку неразрывно связано с формированием ROI и собственно текстурным анализом данных. Претекстурный этап анализа изображений в настоящее время является основным в дифференциальной диагностике опухолей почки, многие авторы изучили корреляцию рутинно оцениваемых КТ-характеристик ПКР, таких как наличие кальцинатов, средней плотности и параметров контрастирования, и грейда ПКР.

Так, размер ПКР коррелирует с грейдом ПКР по Fuhrman — чем больше размер опухоли, тем выше вероятность высокого грейда ПКР [6–8].

Такая характеристика, как локализация опухоли, также коррелирует с типом и грейдом ПКР, поскольку локализация опухоли в кортикальном или медулярном веществе почки неразрывно связана с ее гистологическим типом [9].

Четкость контуров ПКР — субъективная характеристика, во многом определяется такими факторами, как фаза контрастного усиления КТ или взвешенность МРТ, компактность болюса КВ, пространственное разрешение изображений и уровень цифрового шума, даже для исследований, выполненных в одинаковых условиях и с четким соблюдением установленного протокола.

Светлоклеточный ПКР довольно легко дифференцируется от других типов ПКР по данным КТ с внутривенным болюсным контрастным усилением при условии достаточно крупного размера опухоли, более 2 см. В типичных случаях этот тип ПКР характеризуется выраженной гетерогенностью структуры с наличием солидного и кистозного компонентов, интенсивным накоплением КВ солидным компонентом опухоли в кортикомедулярную фазу контрастного усиления. Однако если размер опухоли относительно небольшой, менее 1 см, такие опухоли чаще всего имеют гомогенную солидную структуру, а контрастирование опухоли и неизменного кор-

тикального слоя паренхимы почки очень схожее. Папиллярный тип ПКР по данным КТ-исследований обладает неспецифичными чертами, — для этого типа ПКР характерна относительно однородная структура, слабая степень васкуляризации (малый градиент накопления КВ). Таким образом, потенциально информативными для определения грейда по данным КТ-исследований могут быть плотность опухоли в нативную фазу, гетерогенность опухоли по фазам исследования, расположение и соотношение солидного и кистозного компонента, характеристики накопления КВ [10, 11]. Открытым остается вопрос, кортикальное или медулярное вещество почки целесообразно выбрать в качестве референсного для оценки характеристик контрастирования опухоли, тем более что разграничение кортикального и медулярного вещества можно с относительно высокой точностью выполнить только в кортикомедулярную фазу контрастного усиления.

Потенциально информативными для определения грейда ПКР по данным МР-исследований могут быть гетерогенность опухоли в разных взвешенностях, расположение и соотношение солидного и кистозного компонента, сигнальные характеристики, особенно степень ограничения диффузии в опухоли, а также характеристики накопления КВ [10, 12].

Универсальным критерием в определении грейда опухоли при любом методе визуализации могут служить признаки инвазивного роста (инвазия опухоли в синус и чашечно-лоханочную систему почки, опухоль тромб в почечной вене).

Однако ни одна из нетекстурных характеристик в настоящее время не признана медицинским сообществом универсальной и надежной для прогнозирования грейда ПКР.

Большинство авторов при оценке КТ-характеристик использовали данные КТ-исследований с внутривенным контрастированием (таблица). В результате анализа публикаций за указанный период установлено, что для претекстурного этапа оценки ПКР только в трех публикациях авторы использовали исключительно данные нативной КТ [5, 13, 14], все остальные авторы использовали либо только контрастные фазы КТ-исследования, либо и нативную, и контрастные фазы одновременно. Экскреторная фаза использовалась авторами для уточнения границ опухоли и вычисления параметров контрастирования ПКР.

Прогнозирование грейда ПКР на основании абсолютных и относительных показателей накопления КВ по данным КТ-исследований на первый взгляд кажется наиболее логичным и легко выполнимым с точки зрения временных затрат исследователя. Однако все авторы проанализированных нами публикаций сделали вывод, что изолированное определение степени накопления или вымывания КВ опухолью не обладает высокой специфичностью в отношении прогнозирования грейда ПКР. Вероятно,

Распределение количества статей, посвященных текстурному анализу КТ-изображений по выбору фаз контрастирования и типу ROI

Distribution of the number of publications devoted to CT images texture analysis by choice of phase of contrast enhancement and type of ROI

Показатель	Тип ROI			Фазы контрастирования		
	2D	3D	2D+3D	Н	КУ	Н + КУ
Количество статей	17	10	0	3	15	9
Итого		27			27	

Примечание. Н — нативная; КУ — контрастные фазы исследования; Н + КУ — нативная + контрастные фазы исследования.

Note. Н — native; КУ — contrast enhanced phases studies; Н + КУ — native + contrast enhanced phases studies.

именно типичная гетерогенность структуры ПКР определяет вариативность результатов: часть исследователей вычисляли степень накопления КВ исключительно солидным компонентом опухоли, не включая в ROI кистозный компонент, другие исследователи [14, 15], напротив, подчеркивают важность включения в ROI кистозного компонента опухоли. Кистозный компонент в светлоклеточном ПКР может быть проявлением кистозной трансформации и некроза, выраженность этих изменений определяется грейдом ПКР; в то же время микронекрозы, типичные для ПКР, вообще невозможно определить «невооруженным глазом» [16].

В 2017 г. Oh и соавт. в своей статье представили результаты анализа данных КТ 169 пациентов с 173 гистологически подтвержденным светлоклеточным ПКР, авторы публикации пришли к выводу, что наличие внутриопухолевого некроза — значимый и независимый предиктор биологически агрессивного светлоклеточного ПКР, независимо от размера опухоли [8].

Для участков кистозной структуры в ПКР крайне затруднено определение характера изменений, дифференцировка кистозной трансформации и некроза исключительно на основании четкости контуров представляется субъективной и ненадежной. Также варьирующие результаты исследований [8, 14–16] при определении предиктора грейда ПКР были обусловлены разными принципами формирования ROI и исключения из области ROI сосудов, контрастированных элементов собирательной системы почки, жировой клетчатки синуса почки, кальцинатов.

КТ-характеристики в определении грейда ПКР. В результате анализа публикаций за указанный период установлено, что для претекстурного этапа оценки ПКР в трех публикациях авторы использовали исключительно данные нативной КТ [5, 13, 14], все остальные авторы использовали нативную, кортикомедулярную, нефрографическую и экскреторную фазы КТ для определения структуры опухоли и вычисления параметров контрастирования ПКР. По нашему мнению, границы опухоли, взаимоотношение опухоли и элементов чашечно-лоханочной системы почки наиболее отчетливо дифференцируются в экскреторную фазу.

МР-характеристики в определении грейда ПКР.

Прогнозирование грейда ПКР методом анализа данных МРТ еще более малоизученная, комплексная задача с учетом того, что для анализа могут использоваться минимум 6 стандартных взвешенностей с широко варьирующими параметрами в зависимости от используемого томографа и настройки протоколов сканирования. Прогнозирование грейда методом анализа данных МРТ большинством авторов публикаций проводилось с использованием данных диффузионно-взвешенной МРТ и карт ИКД. Авторы научных публикаций анализировали возможность использования данных ДВИ, карт ИКД для прогнозирования грейда ПКР, дифференциальной диагностики опухолей почки [12, 17–20].

Так, в 2012 г. A. Goyal, R. Sharma и соавт. опубликовали результаты исследования, согласно которому данные диффузионно-взвешенной МРТ и карт ИКД при ПКР могут служить суррогатным маркером для прогнозирования грейда и гистологического подтипа ПКР. Светлоклеточный ПКР высокого грейда по Fuhrman (≥ 3) имеет более низкие значения показателя wash-in (накопления) и более низкие значения ИКД, чем ПКР низкого грейда [12].

В одной публикации авторы оценивали корреляцию данных T2-мэппинга и грейда ПКР [21] и выявили более высокие количественные T2-значения у опухолей более высокого грейда в сравнении с ПКР низкого грейда.

Возможности мультипараметрической МРТ в определении степени дифференцировки ПКР. Помимо изолированного анализа ценности отдельных взвешенностей МРТ, авторы нескольких публикаций проводили сочетанный анализ нетекстурных характеристик ПКР [7, 22, 23].

Часть авторов проводили сочетанный анализ нетекстурных характеристик ПКР на двух и более МР-взвешенностях. Так, в 2015 г. F. Cornelis, E. Tricaud и соавт. анализировали данные 80 пациентов с верифицированным светлоклеточным ПКР и сделали вывод, что мультипараметрическая МРТ может использоваться для точной дооперационной дифференциальной диагностики Fuhrman грейда светлоклеточного ПКР. Опухоли, верифицированные как светлоклеточный ПКР высокого грейда

по Fuhrman (≥ 3), согласно данным исследования были большего размера, имели более низкие показатели wash-in в паренхиматозную фазу контрастного усиления и более низкие значения ИКД, чем опухоли низкого грейда [7, 22].

В 2019 г. K. Moran, J. Abreu-Gomez и соавт. в своей публикации сообщили, что комбинация наличия микроскопического жира (оценивался индекс химического сдвига интенсивности сигнала), высокой степени wash-in в кортикомедулярную фазу и более высоких показателей десятого центиля ИКД является высокой точности показателем низкого грейда светлоклеточного ПКР T1a стадии [23].

В одной публикации авторы сообщают, что ими отмечено отсутствие статистически значимых различий по данным МРТ между ПКР низкого и высокого грейдов. Так, F. Cornelis, E. Tricaud и соавт. в своей публикации сообщают, что ими не выявлено зависимости между грейдом по Fuhrman и сигнальными характеристиками при папиллярном ПКР и хромофобном ПКР [7].

В результате проведенного анализа публикаций установлено, что подавляющее большинство исследователей в своих работах для прогнозирования грейда ПКР использовали данные КТ с контрастным усилением, данные диффузионно-взвешенной МРТ и МРТ T1FS с внутривенным контрастным усилением. В одной из публикаций авторы анализировали корреляцию данных КТ с контрастным усилением, МРТ (T2 FSE) и данных патогистологического исследования, грейда по ВОЗ у пациентов с ПКР, и выявили значительно варьирующую степень корреляции в зависимости от типа ПКР [2].

Единого мнения среди исследователей о ценности различных взвешенностей МРТ для прогнозирования грейда ПКР нет. По мнению большинства исследователей, достоверное определение степени дифференцировки ПКР «невооруженным глазом» или исключительно на основании измерений значений ИКД, оценки параметров накопления и вымывания КВ опухолью невозможно. В связи с этим возможным преимуществом текстурного анализа изображений при ПКР будет углубленная цифровая оценка степени контрастирования, гетерогенности, соотношения, взаимного расположения кистозного и солидного компонентов в ПКР.

Выделение области интереса (ROI). Следующий этап текстурного анализа — выделение области интереса (ROI) для дальнейшего получения текстурных характеристик. Существуют два принципиально разных подхода — выделение объема опухоли и выделение опухоли в выбранном срезе, как правило, на аксиальном срезе с наибольшим размером опухоли. При анализе данных литературы (42 публикации) установлено, что выделение объема опухоли проводилось авторами 18 публикаций, выделение опухоли в одном аксиальном срезе проводилось авторами 24 публикаций. В одном из исследований Yu и соавт. [15]

выделяли объем опухоли в 10 последовательных срезах на уровне наибольшего аксиального размера опухоли. В другом исследовании в область ROI не включались крайние аксиальные срезы [24]. В одном исследовании [5] авторы выбирали для выполнения 2D-текстурного анализа три аксиальных среза с помощью разметки на коронарных реконструкциях через границы четвертей опухоли.

Очевидное преимущество работы с 2D ROI — высокая скорость создания ROI и обработки данных, недостаток — субъективность выбора среза, в котором размер опухоли представляется исследователю наибольшим. Также недостатком метода 2D ROI является потенциальная нерепрезентативность данных, обусловленная варьирующей структурой опухоли от среза к срезу. В наибольшем сечении опухоли, как правило, выявляется наиболее выраженная гетерогенность структуры, в то время как в периферических отделах опухоли структура ее более однородная, солидная. Часть исследователей предлагает включать в область ROI только солидный компонент опухоли, другие, напротив, указывают на большое значение характеристик жидкостного компонента и предлагают на основании данных текстурного анализа дифференцировать области некроза и кистозной трансформации [25]. M. Tordjman, R. Mali в публикации 2020 года подчеркивают, что данные, полученные при селективном выделении и анализе солидных участков опухоли на картах ИКД, более информативны для дифференциальной диагностики, чем данные, полученные при неселективных измерениях с включением в ROI участков некроза, кистозной трансформации [26].

Преимущество метода выделения 3D ROI — включение в ROI всего объема опухоли, получение текстурных характеристик всего объема опухоли, однако закономерно также значимое увеличение времени, затраченного на формирование, корректировку ROI и обработку полученных данных, а также увеличение вероятности ошибочного включения в ROI прилежащей паренхимы почки, жировой клетчатки, элементов чашечно-лоханочной системы. С нашей точки зрения, 3D-метод формирования ROI является предпочтительным, так как при этом методе исключается субъективность выбора и полученные данные наиболее полно отражают структуру опухоли.

В случае текстурного анализа данных КТ выбор метода 2D или 3D ROI определяется в значительной степени соображениями ускорения сбора и анализа данных. Данные КТ, с учетом небольшой толщины среза, пригодны для получения ROI обоими методами, с высокой точностью позволяют выделить объем опухоли. Однако поскольку ПКР нередко достигает больших размеров, до 15 см, финальная корректировка границ ROI и последующая обработка данных при ПКР большого размера занимает значительное время.

Выбор способа выделения опухоли на МР-изображениях ограничивается тем, что толщина среза

1–1,5 мм, приемлемая для выделения объема опухоли без значимого риска ошибки, и получение изображений с изотропным вокселем, необходимые при применении 3D ROI, практически достижимы только при использовании T1-GRE последовательностей. Все T2-последовательности, диффузионно-взвешенные последовательности при рутинном сканировании имеют большую толщину среза, что исключает качественное дальнейшее выделение объема опухоли. Кроме того, данные МР-исследований, выполненные на разных томографах, значительно отличаются многочисленными техническими параметрами сканирования, что обуславливает относительно низкую воспроизводимость результатов текстурного анализа для разных томографов.

В одной из публикаций 2018 года авторы проводили сравнение результатов анализа количественных показателей и результатов текстурного анализа 2D- и 3D-данных, полученных при анализе МР-исследований у пациентов с папиллярным ПКР 1-го и 2-го типа. По результатам выполненного исследования анализ 3D-данных не имел преимуществ по сравнению с анализом 2D-данных, не повышал предсказательную точность анализа в определении типа папиллярного ПКР [27].

С учетом вышеизложенного, целесообразным представляется проведение сравнительного анализа результатов и воспроизводимости текстурного анализа для обоих способов выделения опухоли.

Также предметом дискуссии в настоящее время является определение границ ROI при выделении опухоли в срезе или при выделении объема опухоли, подавляющее большинство авторов считают целесообразным включение в ROI всей видимой опухоли (43% публикаций), часть авторов предлагают отступить от видимой границы опухоли 1 мм [6], или 2 мм [28], или 3 мм [29]. Некоторые авторы сообщают, что нецелесообразно включать в ROI каудальные и краниальные отделы опухоли вследствие высокой вероятности ошибки сегментации [30]. С одной стороны, отступ от края опухоли обеспечивает исключение из ROI нормальных анатомических структур, с другой — при отступе от края опухоли неизбежно теряется часть информации, особенно в случае расположения солидного компонента в виде тонкого слоя в периферическом отделе опухоли. В случае контакта опухоли с синусом почки выделение ROI с исключением элементов чашечно-лоханочной системы и сосудов становится крайне сложной задачей, в том числе вследствие сложной конфигурации опухоли, изменения визуализации сосудов, изменения объема чашек в зависимости от времени, фазы контрастного усиления. Мы считаем нецелесообразным исключение из области ROI периферической части опухоли, как предлагают ряд авторов, но считаем целесообразным использование метода выделения ROI с пороговыми значениями плотности/интенсивности с целью снижения вероятно-

сти включения ROI жировой клетчатки, элементов чашечно-лоханочной системы.

Последующие этапы анализа изображений при проведении текстурного анализа — получение характеристик первого, второго уровней — являются объектом интереса многочисленных групп ученых по всему миру. К настоящему времени не стандартизированы и не приняты в клинической практике методики выбора и препроцессинга медицинских изображений для текстурного анализа, а также названия текстурных показателей и способы их расчета [31, 32]. Примерно в половине публикаций авторы сообщают, что с целью улучшения воспроизводимости текстурных характеристик перед получением текстурных характеристик первого уровня необходимо выполнять различные виды препроцессинга, в частности, масштабирование (rescaling), шумоподавление (denoising), нормализация (normalization), передискретизация пикселей (pixel resampling), дискретизация (discretization) [30, 33–36]. Так, с целью стандартизации данных КТ-исследований перед проведением текстурного анализа КТ В. Косак и соавт. считают необходимым выполнение реконструкций всех данных с унифицированной толщиной среза — 2 мм [33].

Выбор фазы КТ или взвешенности МРТ. Точность, воспроизводимость результатов нетекстурного и текстурного анализа различаются в зависимости от выбранной фазы контрастного усиления при КТ или взвешенности при МРТ. Подавляющее большинство исследователей сообщают, что для проведения текстурного анализа при ПКР с целью определения грейда опухоли они выбрали кортикомедуллярную или нефрографическую фазы КТ, из взвешенностей МРТ — T2, T1 FS и ДВИ/ИКД. Очевидно, выбор был обусловлен тем, что в эти фазы контрастного усиления и в T2, T1 FS взвешенностях наиболее выражена визуальная гетерогенность структуры ПКР и четко определяется граница ПКР с неизменной почечной паренхимой. Выбор ДВИ/ИКД обусловлен тем, что в этой взвешенности различия сигнальных характеристик опухоли и паренхимы почки обусловлены не анатомическими, а функциональными причинами.

Только в одном исследовании по данным анализа 42 публикаций выполнялся текстурный анализ данных МР-изображений в режиме SWI [37].

Кортикомедуллярная фаза КТ, по данным литературы, является наиболее информативной для текстурного анализа, если речь идет о дифференциальной диагностике светлоклеточного ПКР и других опухолей почки [38].

С другой стороны, в 2016 г. М. G. Lubner, N. Stabo, E. J. Abel и соавт. сообщили в своей публикации, что в результате текстурного анализа данных 157 пациентов с крупными ПКР (7–10 см) был сделан вывод, что при оценке степени гетерогенности ПКР как показателя грейда и фактора, определяющего

прогноз заболевания, все фазы КТ-исследования сравнимы по своей точности [39].

Другие авторы сообщают, что число воспроизводимых текстурных характеристик, полученных при анализе изображений в кортикомедуллярную фазу, больше, чем в нативную фазу [33].

С другой стороны, S. Lai и соавт. акцентируют внимание на том, что не только кортикомедуллярная фаза КТ может быть основной для выполнения текстурного анализа при ПКР [40]. В публикации 2021 г. S. Lai и соавт. представили результаты своего исследования, в котором выполнялся текстурный анализ четырех стандартных фаз КТ 137 пациентов, включая нативное исследование; данные текстурного анализа нативной фазы КТ признаны авторами как наиболее информативные и перспективные для определения Fuhrman грейда при ПКР.

Сочетанный текстурный анализ данных мультифазной КТ, данных мультифазной КТ и МРТ потенциально более эффективен, чем анализ данных отдельных фаз КТ-исследований, что подтверждено исследователями [29, 30].

Текстурный анализ. С каждым годом количество публикаций, посвященных прогнозированию грейда ПКР с помощью метода текстурного анализа, увеличивается, резкий рост количества публикаций отмечен в 2019 г., что может объясняться повышением доступности метода и увеличением мощности вычислительных машин. Основными направлениями использования метода текстурного анализа при опухолях почки являются дифференциальная диагностика различных типов опухолей, дифференциальная диагностика опухолей и неопухолевых образований с целью дальнейшего машинного обучения и прогнозирование грейда ПКР на основании текстурных характеристик опухоли.

Все авторы для получения текстурных характеристик ПКР использовали данные дооперационных КТ-и/или МР-исследования были ретроспективными.

Текстурный анализ КТ-изображений при почечноклеточном раке. Для проведения текстурного анализа данные КТ с контрастным усилением (кортикомедуллярная, нефрографическая фазы) использовало большинство авторов публикаций [6, 9, 13, 16, 29, 36, 39, 48].

В зависимости от фазы КТ-исследования с контрастированием варьирует степень рентгенологической гетерогенности опухоли, которая является отправной точкой для текстурного анализа.

Среди публикаций, посвященных изучению ценности текстурных показателей анализа данных КТ-исследований для прогнозирования грейда ПКР, выделяется публикация X. Yi и соавт. [13]. Авторы утверждают, что по данным их исследования нативная фаза КТ наиболее информативная для выполнения текстурного анализа, так как фазы с контрастным усилением по мнению авторов недостаточно надежны вследствие варьирующих параметров

внутривенозного контрастирования. В другой публикации S. Lai и соавт. приводят данные своего исследования, показавшего, что текстурные характеристики, полученные при анализе данных нативной КТ, были более информативными, чем характеристики, полученные в другие фазы, при дифференциации ПКР низкого и высокого грейда по Fuhrman при моделировании машинного обучения [40].

Точность прогнозирования Fuhrman грейда ПКР по данным текстурного анализа более высокая при сочетании анализе трех фаз, чем при анализе каждой фазы в отдельности [29].

Авторы двух публикаций предлагают выполнять комбинированный анализ нетекстурных и текстурных показателей, полученных при анализе данных КТ, для достижения наилучшего результата прогнозирования грейда ПКР [9, 13].

Создатели моделей машинного обучения включают текстурные характеристики ПКР с высокой воспроизводимостью в дальнейшую обработку [6]. Модели с машинным обучением, учитывающие данные только текстурного анализа и комбинированные данные (не-текстурного анализа и текстурные характеристики), способны эффективно прогнозировать грейд светлоклеточного ПКР по Fuhrman [16].

Большинство исследователей сходятся во мнении, что наиболее перспективной для оценки текстурных характеристик ПКР, прогнозирования грейда ПКР является нефрографическая фаза динамического контрастного усиления КТ [6, 43], и ДВИ из всех взвешенностей МРТ [24, 30]. В то же время рутинная дифференциальная диагностика ПКР при анализе данных КТ в основном строится на сравнительном анализе структуры и характера накопления КВ опухолью во все фазы контрастного усиления, при анализе МР-исследований учитываются не только степень ограничения диффузии, но и сигнальные изменения во всех типах взвешенности.

Прогнозирование грейда ПКР неразрывно связано с прогнозированием вероятности рецидива ПКР. В работе Zhang и соавт. добавление данных текстурного анализа позволило повысить точность диагностической модели, построенной на клинических данных, для оценки риска рецидива ПКР [49].

Большое количество публикаций посвящены возможности проведения дифференциальной диагностики доброкачественных и злокачественных новообразований почки различных типов на основании анализа данных КТ-исследований, наибольшее внимание исследователей привлекают данные о типе накопления и вымывания КВ, признаки наличия кистозного и макрожирового компонента в новообразовании почки [50].

Текстурный анализ МР-изображений при почечноклеточном раке. Работ, посвященных применению текстурного анализа данных магнитно-резонансной томографии при ПКР, гораздо меньше, чем работ, посвященных результатам анализа дан-

ных КТ-исследований. Это может объясняться тем, что наиболее частым методом диагностики почечно-клеточного рака является компьютерная томография с внутривенным контрастированием, которая в большинстве случаев отвечает на все вопросы, поставленные перед клиницистом и лучевым диагнозом, поэтому дополнительное выполнение МРТ является нецелесообразным.

Большинство авторов изучали возможности текстурного анализа МРТ в определении грейда ПКР и дифференциальной диагностике с образованиями другой морфологии. Единства в выборе МР-последовательностей для определения грейда ПКР среди публикаций выявлено не было. Сui и соавт. выявили, что данные текстурного анализа МРТ уступают в точности в определении грейда ПКР данным КТ (73% против 79% соответственно) [30]. Наилучшие результаты показал анализ T1-ВИ и кортикомедулярной фазы КТ-исследований. В их работе при внутренней валидации использование данных всех МР-последовательностей или всех фаз исследования незначительно повышало точность в определении грейда в сравнении с использованием одной МР-последовательности или одной фазы КТ-исследования, в то время как при внешней валидации отмечался значительный прирост точности (10% для МРТ и 8% для КТ). Вопрос использования данных одной КТ-фазы/МР-последовательности или данных всего томографического исследования остается дискуссионным в виду затраты времени. Kieganis и соавт. для определения грейда ПКР использовали данные текстурного анализа ИКД и выявили, что ПКР высокого грейда обладают более высокими значениями коэффициента асимметрии, а так же показателя соосциггенс matrix correlation [24]. Sun и соавт. проводили текстурный анализ SWI, учитывая, что в ПКР низкого грейда выявляется меньше продуктов распада гемоглобина, однако точность SWI в определении грейда ПКР по их данным составила всего 80% [37]. В целом по данным научных публикаций, информативность текстурного анализа МРТ уступала КТ в определении грейда ПКР [24, 30, 37, 51].

Другие работы были посвящены дифференциальной диагностике подтипов почечно-клеточного рака и дифференциальному диагнозу между ПКР и ангиомиолипомой с низким содержанием жира. Wang и соавт. использовали данные текстурного анализа T2-ВИ, T1-FS в нативную и кортикомедулярные фазы исследования и выявили, что светлоклеточный рак обладает большей гетерогенностью в сравнении с хромофобным и папиллярноклеточным раками [52]. Тем не менее точность определения подтипа рака по данным текстурного анализа МР-изображений была низкой, даже при использовании комбинации данных, полученных из всех трех МР-последовательностей (71,4%). В работе Vendrami и соавт. дополнительное использование текстурных показателей не повысило точность диаг-

ностической модели в определении подтипов папиллярноклеточного рака, что, однако, может объясняться неправильным выбором МР-последовательностей для анализа, в работе использовались только данные VIBE (T1-FS) в венозную фазу исследования, HASTE (T2-ВИ) и T1 in phase [27]. Razik и соавт. получили хорошие результаты в использовании текстурного анализа в дифференциальной диагностике ПКР от ангиомиолипомы (AUC 0,891) и ПКР от онцитомы (AUC 0,935) по данным диффузионно взвешенных изображений [53]. Таким образом, текстурный анализ повышает точность МРТ в дифференциальной диагностике с другими образованиями.

Сочетанный текстурный анализ КТ- и МР-данных. Сочетанный анализ данных КТ и МРТ методом текстурного анализа с целью прогнозирования грейда ПКР проводили авторы одной публикации. Авторы сделали вывод, что комбинированный анализ текстурных характеристик данных мультипараметрической МРТ и мультифазной КТ потенциально более эффективный, чем анализ данных отдельных МР-последовательностей или отдельных фаз КТ-исследований [30], однако эта методика является весьма времязатратной.

Заключение. Данные КТ- и МР-исследований, рутинно выполняемых на этапе диагностики, могут использоваться для дифференциальной диагностики опухолей почки, прогнозирования грейда ПКР, прогнозирования рецидива ПКР с помощью нетекстурных методов анализа и текстурного анализа. Наиболее часто, по данным литературы, исследователи используют данные КТ с контрастным усилением (нефрографическая фаза динамического контрастного усиления), МРТ ДВИ, карты ИКД. Метод текстурного анализа является очень перспективным с точки зрения получения принципиально новой, объективной, недоступной «невооруженному глазу» информации. В настоящее время текстурный метод анализа не является широко распространенным и стандартизованным методом.

В настоящее время многофазное КТ-исследование с внутривенным контрастным усилением при ПКР широко распространено, выполняется стандартно и эффективно используется для выявления, дифференциальной диагностики опухолей почки, предоперационного планирования, оценки риска рецидива ПКР, а также может при условии предварительной реконструкции срезов толщиной 1–2 мм использоваться для проведения текстурного анализа с целью прогнозирования грейда ПКР и более прецизионной дифференциальной диагностики.

МР-исследования в настоящее время, к сожалению, по своим параметрам не стандартизованы, и, соответственно, воспроизводимость текстурных характеристик при проведении текстурного анализа данных, полученных на томографах разных производителей, ожидаемо низкая. С другой стороны, при

наличии достаточного количества исследований пациентов с ПКР, выполненных в одном учреждении, на одном томографе и по стандартному протоколу, эти данные могут использоваться для проведения текстурного анализа и дифференциальной диагностики образований почек на его основе.

Также предметом дискуссии является выбор фазы КТ, взвешенности и фазы МРТ, потенциально наиболее информативных для проведения текстурного анализа. В случае МРТ одни взвешенности (T2, T1FS) дают анатомические изображения, а ДВИ/ИКД дают функциональную информацию, не обладая анатомической информативностью. Потенциально сочетанный анализ текстурных

и нетекстурных характеристик, сочетанный анализ данных КТ и МРТ может служить полезным неинвазивным инструментом для прогнозирования грейда ПКР, прогнозирования вероятности рецидива ПКР и проведения дифференциальной диагностики опухолей почки с использованием недоступной «невооруженному глазу» информации.

Не существует единого мнения о способах выделения ROI, необходимости предварительной обработки данных перед собственно получением текстурных характеристик первого, второго порядка, однако в перспективе метод может выборочно или рутинно использоваться для решения важных клинических задач при планировании лечения пациентов с ПКР.

Сведения об авторах:

Карельская Наталья Александровна — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А. В. Вишневского» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, ул. Большая Серпуховская, д. 27; e-mail: karelskaya.n@yandex.ru; ORCID 0000-0001-8723-8916; SPIN-код 9921-1430;

Груздев Иван Сергеевич — научный сотрудник федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А. В. Вишневского» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, ул. Большая Серпуховская, д. 27; e-mail: gruzdev_van@mail.ru; ORCID 0000-0003-0781-9898; SPIN-код 3350-0832;

Рагузина Влада Юрьевна — младший научный сотрудник федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А. В. Вишневского» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, ул. Большая Серпуховская, д. 27; e-mail: vlada94@bk.ru; ORCID 0000-0002-1527-670X; SPIN-код 8150-7336;

Кармазановский Григорий Григорьевич — доктор медицинских наук, академик РАН, профессор, заведующий отделом лучевых методов диагностики и лечения федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии имени А. В. Вишневского» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, ул. Большая Серпуховская, д. 27; e-mail: karmazanovsky@yandex.ru; ORCID 0000-0002-9357-0998; SPIN-код 5964-2369.

Information about the authors:

Natalia A. Karelskaya — Cand. of Sci. (Med.), senior researcher of Radiology Department, A. V. Vishnevsky National Medical Research Centre of Surgery; 117997, Moscow, ul. Bol'shaya Serpukhovskaja, 27; e-mail: karelskaya.n@yandex.ru; ORCID 0000-0001-8723-8916; SPIN-code 9921-1430;

Ivan S. Gruzdev — researcher of Radiology Department, A. V. Vishnevsky National Medical Research Centre of Surgery; 117997, Moscow, ul. Bol'shaya Serpukhovskaja, 27; e-mail: vlada94@bk.ru; ORCID 0000-0003-0781-9898; SPIN-code 3350-0832;

Vlada Yu. Ragizina — junior researcher of Radiology Department, A. V. Vishnevsky National Medical Research Centre of Surgery; 117997, Moscow, ul. Bol'shaya Serpukhovskaja, 27; e-mail: gruzdev_van@mail.ru; ORCID 0000-0002-1527-670X; SPIN-code 8150-7336;

Grigory G. Karmazanovsky — Dr. of Sci. (Med.), Academician of the Russian Academy of Sciences, professor, Head of the Department of Radiological Methods of Diagnosis and Treatment, A. V. Vishnevsky National Medical Research Centre of Surgery; 117997, Moscow, ul. Bol'shaya Serpukhovskaja, 27; e-mail: karmazanovsky@yandex.ru; ORCID 0000-0002-9357-0998; SPIN-code 5964-2369.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — *Н. А. Карельская, В. Ю. Рагузина, Г. Г. Кармазановский*; сбор и математический анализ данных — *И. С. Груздев, В. Ю. Рагузина*; подготовка рукописи — *Н. А. Карельская, И. С. Груздев*.

Authors' contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conception, research, and preparation of the article, and read and approved the final version before publication). Special contribution: *NAK, VYuR, GGK* aided in the concept and plan of the study; *ISG, VYuR* provided collection and mathematical analysis of data; *NAK, ISG* preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure. The authors declares no conflict of interest.

Поступила/Received: 03.04.2023.

Принята к печати/Accepted: 29.11.2023.

Опубликована/Published: 29.12.2023.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Moch H., Cubilla A.L., Humphrey P.A. et al. Ulbright. The 2016 WHO Classification of Tumours of the Urinary System and Male Genital Organs — Part A: Renal, Penile, and Testicular Tumours // *Eur. Urol.* 2016. Vol. 70, No. 1. P. 93–105. doi: 10.1016/J.EURURO.2016.02.029.
- Halefoglu A.M., Ozagari A.A. Tumor grade estimation of clear cell and papillary renal cell carcinomas using contrast-enhanced MDCT and FSE T2 weighted MR imaging: radiology-pathology correlation // *Radiol. Med.* 2021. Vol. 126, No. 9. P. 1139–1148. doi: 10.1007/S11547-021-01350-Y.
- Miles K.A., Ganeshan B., Hayball M.P. CT texture analysis using the filtration-histogram method: what do the measurements mean? // *Cancer Imaging.* 2013. Vol. 13, No. 3. P. 400–406. doi: 10.1102/1470-7330.2013.9045.
- Nioche C., Orlhac F., Boughdad S. et al. Lifex: A freeware for radiomic feature calculation in multimodality imaging to accelerate advances in the characterization of tumor heterogeneity // *Cancer Res.* 2018. Vol. 78, No. 16. P. 4786–4789. doi: 10.1158/0008-5472.CAN-18-0125.
- Schieda N., Lim R.S., Krishna S. et al. Diagnostic Accuracy of Unenhanced CT Analysis to Differentiate Low-Grade From High-Grade Chromophobe Renal Cell Carcinoma // *AJR. Am. J. Roentgenol.* 2018. Vol. 210, No. 5. P. 1079–1087. doi: 10.2214/AJR.17.18874.
- Bektas C.T., Kocak B., Yardimci A.H. et al. Clear Cell Renal Cell Carcinoma: Machine Learning-Based Quantitative Computed Tomography Texture Analysis for Prediction of Fuhrman Nuclear Grade // *Eur. Radiol.* 2019. Vol. 29, No. 3. P. 1153–1163. doi: 10.1007/S00330-018-5698-2.

7. Cornelis F., Tricaud E., Lasserre A.S. et al. Multiparametric magnetic resonance imaging for the differentiation of low- and high-grade clear cell renal carcinoma // *Eur. Radiol.* 2015. Vol. 25, No. 1. P. 24–31. doi: 10.1007/S00330-014-3380-X.
8. Oh S., Sung D.J., Yang K.S. et al. Correlation of CT imaging features and tumor size with Fuhrman grade of clear cell renal cell carcinoma // *Acta Radiologica.* 2016. Vol. 58, No. 3. P. 376–384. doi: 10.1177/0284185116649795.
9. Sun R., Zhao S., Jiang H. et al. Imaging Tool for Predicting Renal Clear Cell Carcinoma Fuhrman Grade: Comparing R.E.N.A.L. Nephrometry Score and CT Texture Analysis // *Biomed. Res. Int.* 2021. Vol. 1. P. 1–11. doi: 10.1155/2021/1821876.
10. Muglia V.F., Prando A. Renal cell carcinoma: histological classification and correlation with imaging findings // *Radiol. Bras.* 2015. Vol. 48, No. 3. P. 166–174. doi: 10.1590/0100-3984.2013.1927.
11. Zhu Y.H., Wang X., Zhang J., Chen Y.H. et al. Low enhancement on multiphase contrast-enhanced CT images: an independent predictor of the presence of high tumor grade of clear cell renal cell carcinoma // *AJR. Am. J. Roentgenol.* 2014. Vol. 203, No. 3. P. W295–W300. doi: 10.2214/AJR.13.12297.
12. Goyal A., Sharma R., Bhalla A.S. et al. Diffusion-weighted MRI in renal cell carcinoma: A surrogate marker for predicting nuclear grade and histological subtype // *Acta radiol.* 2012. Vol. 53, No. 3. P. 349–358. doi: 10.1258/AR.2011.110415/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1258_AR.2011.110415-FIG2.JPEG.
13. Yi X., Xiao Q., Zeng F. et al. Computed Tomography Radiomics for Predicting Pathological Grade of Renal Cell Carcinoma // *Front. Oncol.* 2020. Vol. 10. P. 570396–570396. doi: 10.3389/FONC.2020.570396.
14. Kim N.Y., Lubner M.G., Nystrom J.T. et al. Utility of CT Texture Analysis in Differentiating Low-Attenuation Renal Cell Carcinoma From Cysts: A Bi-Institutional Retrospective Study // *American Journal of Roentgenology.* 2019. Vol. 213, No. 6. P. 1259–1266. doi: 10.2214/AJR.19.21182.
15. Yu H.S., Scalera J., Khalid M. et al. Texture analysis as a radiomic marker for differentiating renal tumors // *Abdom. Radiol.* 2017. Vol. 42, No. 10. P. 2470–2478. doi: 10.1007/S00261-017-1144-1/TABLES/4.
16. Ding J., Xing Z., Jiang Z. et al. CT-based radiomic model predicts high grade of clear cell renal cell carcinoma // *Eur. J. Radiol.* Vol. 103. P. 51–56. doi: 10.1016/J.EJRAD.2018.04.013.
17. Paschall A.K., Mirmomen S.M., Symons R. et al. Differentiating papillary type I RCC from clear cell RCC and oncocytoma: application of whole-lesion volumetric ADC measurement // *Abdom. Radiol. (New York).* 2018. Vol. 43, No. 9. P. 2424–2430. doi: 10.1007/S00261-017-1453-4.
18. Shen L., Zhou L., Liu X. et al. Comparison of biexponential and monoexponential DWI in evaluation of Fuhrman grading of clear cell renal cell carcinoma // *Diagnostic Interv. Radiol.* 2017. Vol. 23, No. 2, p. 100. doi: 10.5152/DIR.2016.15519.
19. Villavicencio C.P., McCarthy R.J., Miller F.H. Can diffusion-weighted magnetic resonance imaging of clear cell renal carcinoma predict low from high nuclear grade tumors // *Abdom. Radiol. (New York).* 2017. Vol. 42, No. 4. P. 1241–1249. doi: 10.1007/S00261-016-0981-7.
20. Mytsyk Y., Dutka I., Borys Y. et al. Renal cell carcinoma: applicability of the apparent coefficient of the diffusion-weighted estimated by MRI for improving their differential diagnosis, histologic subtyping, and differentiation grade // *Int. Urol. Nephrol.* 2017. Vol. 49, No. 2. P. 215–224. doi: 10.1007/S11255-016-1460-3.
21. Adams L.C., Bressen K.K., Jurmeister P. et al. Use of quantitative T2 mapping for the assessment of renal cell carcinomas: First results // *Cancer Imaging.* 2019. Vol. 19, No. 1. P. 1–11. doi: 10.1186/S40644-019-0222-8/FIGURES/5.
22. Zhang Y.D., Wu C.J., Wang Q. et al. Comparison of Utility of Histogram Apparent Diffusion Coefficient and R2* for Differentiation of Low-Grade From High-Grade Clear Cell Renal Cell Carcinoma // *AJR. Am. J. Roentgenol.* 2015. Vol. 205, No. 2. P. W193–W201. doi: 10.2214/AJR.14.13802.
23. Moran K., Abreu-Gomez J., Krishn S. et al. Can MRI be used to diagnose histologic grade in T1a (<4 cm) clear cell renal cell carcinomas? // *Abdom. Radiol. (New York).* 2019. Vol. 44, No. 8. P. 2841–2851. doi: 10.1007/S00261-019-02018-Y.
24. Kierans A.S., Rusinek H., Lee A. et al. Textural differences in apparent diffusion coefficient between low- and high-stage clear cell renal cell carcinoma // *AJR. Am. J. Roentgenol.* 2014. Vol. 203, No. 6. P. W637–W644. doi: 10.2214/AJR.14.12570.
25. Jiang Y., Li W., Huang C. et al. A Computed Tomography-Based Radiomics Nomogram to Preoperatively Predict Tumor Necrosis in Patients With Clear Cell Renal Cell Carcinoma // *Front. Oncol.* 2020. Vol. 10. P. 592. doi: 10.3389/FONC.2020.00592/BIBTEX.
26. Tordjman M., Mali R., Madelin G. et al. Diagnostic test accuracy of ADC values for identification of clear cell renal cell carcinoma: systematic review and meta-analysis // *Eur. Radiol.* 2020. Vol. 30, No. 7. P. 4023–4038. doi: 10.1007/S00330-020-06740-W.
27. Vendrami C.L., Velichko Y.S., Miller F.H. et al. Differentiation of Papillary Renal Cell Carcinoma Subtypes on MRI: Qualitative and Texture Analysis // *AJR. Am. J. Roentgenol.* 2018. Vol. 211, No. 6. P. 1234–1245. doi: 10.2214/AJR.17.19213.
28. Kocak B., Ates E., Durmaz E.S. et al. Influence of segmentation margin on machine learning–based high-dimensional quantitative CT texture analysis: a reproducibility study on renal clear cell carcinomas // *Eur. Radiol.* 2019. Vol. 29, No. 9. P. 4765–4775. doi: 10.1007/S00330-019-6003-8/TABLES/5.
29. Lin F., Cui E.M., Lei Y. et al. CT-based machine learning model to predict the Fuhrman nuclear grade of clear cell renal cell carcinoma // *Abdom. Radiol.* 2019. Vol. 44, No. 7. P. 2528–2534. doi: 10.1007/S00261-019-01992-7/TABLES/2.
30. Cui E., Li Z., Ma C. et al. Predicting the ISUP grade of clear cell renal cell carcinoma with multiparametric MR and multiphase CT radiomics // *Eur. Radiol.* 2020. Vol. 30, No. 5. P. 2912–2921. doi: 10.1007/S00330-019-06601-1/FIGURES/3.
31. Espinasse M., Pitre-Champagnat S., Charmettant B. et al. CT Texture Analysis Challenges: Influence of Acquisition and Reconstruction Parameters: A Comprehensive Review // *Diagnostics* 2020. Vol. 10, No. 5. P. 258. doi.org/10.3390/diagnostics10050258.
32. Buvat I., Orlhac F., Soussan M. Tumor Texture Analysis in PET: Where Do We Stand? // *J. Nucl. Med.* 2015. Vol. 56, No. 11. P. 1642–1644. doi: 10.2967/JNUMED.115.163469.
33. Kocak B., Yardimci A.H., Bektas C.T. et al. Textural differences between renal cell carcinoma subtypes: Machine learning-based quantitative computed tomography texture analysis with independent external validation // *Eur. J. Radiol.* 2018. Vol. 107. P. 149–157. doi: 10.1016/J.EJRAD.2018.08.014.
34. Lee H. S., Hong H., Jung D.C. et al. Differentiation of fat-poor angiomyolipoma from clear cell renal cell carcinoma in contrast-enhanced MDCT images using quantitative feature classification // *Med. Phys.* 2017. Vol. 44, No. 7. P. 3604–3614, doi: 10.1002/MP.12258.
35. Leng S., Takahashi N., Gomez Cardona D. et al. Subjective and objective heterogeneity scores for differentiating small renal masses using contrast-enhanced CT // *Abdom. Radiol.* 2017. Vol. 42, No. 5. P. 1485–1492. doi: 10.1007/S00261-016-1014-2/FIGURES/5.

36. Nazari M., Shiri I., Hajianfar G. et al. Noninvasive Fuhrman grading of clear cell renal cell carcinoma using computed tomography radiomic features and machine learning // *Radiol. Medica*. 2020. Vol. 125, No. 8. P. 754–762. doi: 10.1007/S11547-020-01169-Z/TABLES/4.
37. Sun J., Pan L., Zha T. et al. The role of MRI texture analysis based on susceptibility-weighted imaging in predicting Fuhrman grade of clear cell renal cell carcinoma // *Acta radiol*. 2021. Vol. 62, No. 8. P. 1104–1111. doi: 10.1177/0284185120951964/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177_0284185120951964-FIG2.JPEG.
38. Nguyen K., Schieda N., James N. et al. Effect of phase of enhancement on texture analysis in renal masses evaluated with non-contrast-enhanced, corticomedullary, and nephrographic phase-enhanced CT images // *Eur. Radiol*. 2021. Vol. 31, No. 3. P. 1676–1686. doi: 10.1007/S00330-020-07233-6/TABLES/5.
39. Lubner M.G., Stabo N., Abel E.J. et al. CT Textural Analysis of Large Primary Renal Cell Carcinomas: Pretreatment Tumor Heterogeneity Correlates With Histologic Findings and Clinical Outcomes // *Am. J. Roentgenol*. 2016. Vol. 207, No. 1. P. 96–105. doi: 10.2214/AJR.15.15451.
40. Lai S., Sun L., Wu J. et al. Multiphase Contrast-Enhanced CT-Based Machine Learning Models to Predict the Fuhrman Nuclear Grade of Clear Cell Renal Cell Carcinoma // *Cancer Manag. Res*. 2021. Vol. 13. P. 999. doi: 10.2147/CMAR.S290327.
41. Deng Y., Soule E., Samuel A. et al. CT texture analysis in the differentiation of major renal cell carcinoma subtypes and correlation with Fuhrman grade // *Eur. Radiol*. 2019. Vol. 29, No. 12. P. 6922–6929. doi: 10.1007/S00330-019-06260-2/FIGURES/4.
42. Feng Z., Shen Q., Li Y. et al. CT texture analysis: A potential tool for predicting the Fuhrman grade of clear-cell renal carcinoma // *Cancer Imaging*. 2019. Vol. 19, No. 1. P. 1–7. doi: 10.1186/S40644-019-0195-7/FIGURES/2.
43. Haji-Momenian S., Lin Z., Patel B. et al. Texture analysis and machine learning algorithms accurately predict histologic grade in small (<4 cm) clear cell renal cell carcinomas: a pilot study // *Abdom. Radiol*. 2020. Vol. 45, No. 3. P. 789–798. doi: 10.1007/S00261-019-02336-1/TABLES/3.
44. Scrima A.T., Lubner M.G., Abel E.J. et al. Texture analysis of small renal cell carcinomas at MDCT for predicting relevant histologic and protein biomarkers // *Abdom. Radiol*. 2019. Vol. 44, No. 6. P. 1999–2008. doi: 10.1007/S00261-018-1649-2/FIGURES/3.
45. Shu J., Tang Y., Cui J. et al. Clear cell renal cell carcinoma: CT-based radiomics features for the prediction of Fuhrman grade // *Eur. J. Radiol*. 2018. Vol. 109. P. 8–12. doi: 10.1016/J.EJRAD.2018.10.005.
46. Wu K., Wu P., Yang K. et al. A comprehensive texture feature analysis framework of renal cell carcinoma: pathological, prognostic, and genomic evaluation based on CT images // *Eur. Radiol*. 2022. Vol. 32, No. 4. P. 2255–2265. doi: 10.1007/S00330-021-08353-3/FIGURES/4.
47. Gao R., Qin H., Lin P. et al. Development and Validation of a Radiomic Nomogram for Predicting the Prognosis of Kidney Renal Clear Cell Carcinoma // *Front. Oncol*. 2021. Vol. 11. P. 2347. doi: 10.3389/FONC.2021.613668/BIBTEX.
48. Demirjian N.L., Varghese B.A., Cen S.Y. et al. CT-based radiomics stratification of tumor grade and TNM stage of clear cell renal cell carcinoma // *Eur. Radiol*. 2022. Vol. 32, No. 4. P. 2552–2563. doi: 10.1007/S00330-021-08344-4/TABLES/3.
49. Zhang H., Yin F., Chen M. et al. Development and Validation of a CT-Based Radiomics Nomogram for Predicting Postoperative Progression-Free Survival in Stage I-III Renal Cell Carcinoma // *Front. Oncol*. 2022. Vol. 11. doi: 10.3389/FONC.2021.742547.
50. Shehata M., Alksas A., Abouelkheir R.T. et al. A Comprehensive Computer-Assisted Diagnosis System for Early Assessment of Renal Cancer Tumors // *Sensors*. 2021. Vol. 21, No. 14. P. 4928. doi: 10.3390/S21144928.
51. Goyal A., Razik A., Kandasamy D. et al. Role of MR texture analysis in histological subtyping and grading of renal cell carcinoma: a preliminary study // *Abdom. Radiol*. 2019. Vol. 44, No. 10. P. 3336–3349. doi: 10.1007/S00261-019-02122-Z/FIGURES/4.
52. Wang W., Cao K.M., Jin S.M. et al. Differentiation of renal cell carcinoma subtypes through MRI-based radiomics analysis // *Eur. Radiol*. 2020. Vol. 30, No. 10. P. 5738–5747. doi: 10.1007/S00330-020-06896-5/FIGURES/2.
53. Razik A., Goyal A., Sharma R. et al. MR texture analysis in differentiating renal cell carcinoma from lipid-poor angiomyolipoma and oncocytoma // *Br. J. Radiol*. 2020. Vol. 93, No. 1114. doi: 10.1259/BJR.20200569.

Открыта подписка на 1-е полугодие 2024 года.

Подписной индекс:

«Урал Пресс» (Пресса России) 014023