

Возможности использования текстурных показателей, полученных при анализе данных КТ-исследований, для прогнозирования грейда светлоклеточного почечно-клеточного рака

© Карельская Н.А.*, Хромова С.В., Груздев И.С., Кондратьев Е.В.

ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского" Минздрава России; 117997 Москва, ул. Большая Серпуховская, д. 27, Российская Федерация

Для выбора наиболее правильной и эффективной тактики лечения у пациентов со светлоклеточным почечно-клеточным раком (скПКР) на дооперационном этапе выполняется многофазная компьютерная томография (КТ) с внутривенным контрастированием. Возможно, данные текстурного анализа, полученные в результате сегментации данных КТ, могут быть использованы для предсказания вероятности скПКР высокого грейда, что может потенциально корректировать тактику лечения.

Цель исследования: выполнить текстурный анализ данных дооперационной многофазной КТ у пациентов с верифицированным скПКР, выявить текстурные показатели, позволяющие прогнозировать грейд скПКР.

Материал и методы. Ретроспективно выполнен анализ данных 189 дооперационных КТ-исследований 164 пациентов, которым была выполнена резекция почки или нефрэктомия, и морфологически верифицирован скПКР по градирующей системе классификации WHO/ISUP. скПКР грейд 1-2 был верифицирован в 130 исследованиях, скПКР грейд 3-4 в 59. Для выполнения текстурного анализа использовались данные кортико-медуллярной, нефрографической и экскреторной фаз КТ-исследований, сегментация проводилась методами 2D и 3D. Исследование выполнялось ретроспективно.

Результаты. Наиболее информативными с точки зрения прогнозирования грейда скПКР были текстурные показатели, полученные при 3D-сегментации опухоли в кортико-медуллярную и экскреторную фазы КТ.

Наибольшее количество текстурных показателей, линейно ассоциированных с логарифмом шансов скПКР грейд 3-4, было получено при текстурном анализе данных 3D-сегментации опухоли в кортико-медуллярную и нефрографическую фазы КТ.

Наименьшее количество текстурных показателей, статистически значимо ассоциированных с грейдом скПКР, было получено при текстурном анализе данных 2D-сегментации в экскреторную фазу КТ.

При проведении многофакторного анализа текстурных показателей в качестве предикторов грейда скПКР наиболее эффективным способом оценки текстурных показателей был анализ результатов 3D-сегментации в экскреторную фазу с использованием в качестве предикторов первых 6 главных компонент, объясняющих 80% и более дисперсии значений текстурных показателей.

Наиболее высокими значениями псевдо-R² Найджелкерке (0,49) и AUC (0,87) характеризовалась многофакторная логистическая регрессионная модель с включением в качестве предикторов SHAPE_Sphericity и SHAPE_Compacity при 3D-сегментации в экскреторную фазу при использовании фильтра Reflect.

Модель с включением одного текстурного показателя - DISCRETIZED_TLG - при 2D-сегментации в экскреторную фазу при использовании фильтра Reflect характеризовалась несколько более низкими псевдо-R² Найджелкерке (0,44) и AUC (0,85).

С учетом полученных данных нами разработаны две многофакторные модели для предсказания вероятности грейда 3-4 скПКР, основанные на методах 3D- и 2D-сегментации опухоли на КТ-изображениях. Модель, использующая данные 3D-сегментации, характеризовалась прогностической точностью, чувствительностью и специфичностью 80, 79,7 и 80,2% соответственно и по дискриминативным превосходила модель, использующую данные 2D-сегментации.

Закключение. В ходе проведенной работы была доказана возможность использования текстурных показателей, полученных при анализе данных КТ-исследований с контрастным усилением, для прогнозирования грейда скПКР и разработана высокоточная диагностическая модель для прогнозирования грейда скПКР.

Ключевые слова: радиомика; текстурный анализ; светлоклеточный почечно-клеточный рак

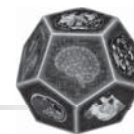
Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Карельская Н.А., Хромова С.В., Груздев И.С., Кондратьев Е.В. Возможности использования текстурных показателей, полученных при анализе данных КТ-исследований, для прогнозирования грейда светлоклеточного почечно-клеточного рака. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (3): xxx-xxx. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1645>

Поступила в редакцию: 07.04.2026.

Принята к печати: 07.08.2026.

Опубликована online: 29.09.2026.



Potential to use textural features extracted from CT images to predict the grade of clear cell renal cell cancer

© Natalya A. Karelskaya*, Stanislava V. Khromova, Ivan S. Gruzdev, Evgeny V. Kondratyev

A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation;
27, Bol'shaya Serpukhovskaya str., Moscow 117997, Russian Federation

In order to select the most appropriate and effective treatment tactics for patients with clear cell renal cancer (ccRC), a multi-phase computed tomography (CT) with intravenous contrast is performed during the preoperative stage. It is possible that textural analysis data obtained from segmentation of CT data can be used to predict the likelihood of high-grade ccRC, which could potentially adjust treatment tactics.

Purpose: to perform a textural analysis of the preoperative multiphase CT data in patients with verified ccRC, to identify texture features that allow predicting ccRC grade

Material and methods. Retrospective analysis of data from 189 pre-operative CT studies was performed on 164 patients who underwent renal resection or nephrectomy, and the ccRC was morphologically verified using the WHO/ISUP grade classification system. CcRC grade 1–2 was verified in 130 cases, ccRC grade 3–4 was verified in 59 cases. For the performance of textural analysis, data from the corticomedullary, nephrographic and excretory CT phases were used, segmentation was carried out with 2D and 3D methods. The study was conducted retrospectively.

Results. The most informative in ccRC grade predicting were the textural features obtained from 3D tumor segmentation in the corticomedullary and excretory CT phases.

The largest number of textural features linearly associated with the ccRC grade 3–4 odds logarithm was obtained from a textural analysis of 3D tumor segmentation data in the corticomedullary and nephrographic CT phases.

The smallest number of textural features statistically significantly associated with the ccRC grade was obtained from a textural analysis of 2D segmentation data in the excretory phase of CT.

In conducting a multi-factor analysis of texture features as predictors of the ccRC grade, the most effective way to obtain texture features was to analyze the results of 3D segmentation into the excretory phase using the first 6 main components as predictors, explaining the 80% and more dispersion of the values of textural features.

The highest values of Nagelkerke pseudo-R² (0.49) and AUC (0.87) were found in a multi-factor logistic regression model, which included SHAPE_Sphericity and SHAPE_Compacity as precursors to 3D segmentation in the excretory phase when using the Reflect filter.

The model with one textural indicator included – DISCRETIZED_TLG – in 2D segmentation into the excretory phase using a Reflect filter was characterized by slightly lower Nagelkerke pseudo-R² (0.44) and AUC (0.85).

Based on the data obtained, we have developed two multi-factor models for predicting the probability of a grade 3–4 ccRC, based on 3D and 2D methods of tumor segmentation in CT images. The model using 3D segmentation data was characterized by predictive accuracy, sensitivity and specificity of 80%, 79.7% and 80.2%, respectively. Discriminative characteristics of the model using 3D segmentation data have surpassed those of the model using 2D segmentation data.

Conclusion. In the course of our work, we proved that it is possible to use textural features obtained from the analysis of CT data with contrast enhancement to predict the ccRC grade and developed a high-precision diagnostic model for predicting ccRC grade.

Keywords: radiomics; textural analysis; clear cell renal cancer

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Karelskaya N.A., Khromova S.V., Gruzdev I.S., Kondratyev E.V. Potential to use textural features extracted from CT images to predict the grade of clear cell renal cell cancer. *Medical Visualization*. 2026; 30 (3): xxx–xxx. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1645>

Received: 07.04.2026.

Accepted for publication: 07.08.2026.

Published online: 29.09.2026.

Введение

Рак почки является 14-м по распространенности видом рака в мире: в 2022 г. было выявлено более 434 840 новых случаев заболевания и 155 953 случая смерти от рака почки [1]. Почечно-клеточный рак (ПКР) составляет до 3,5% всех злокачественных новообразований в Европе [2] и является наиболее распространенной солидной опухолью почки. В последние десятилетия растущая доступность неинвазивных лучевых методов диагностики привела к росту частоты случайного выявления образова-

ний почек, которые часто бывают малого размера, бессимптомными и клинически локализованными: до 50% всех выявленных образований почек менее 4 см [3–5]. Более того, до 30% опухолей почки являются доброкачественными при гистологическом исследовании материала, полученного при нефрэктомии или резекции почки [6, 7]. В этих случаях любое вмешательство может расцениваться как избыточное лечение [8]. В настоящее время компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ) являются высокоинформа-

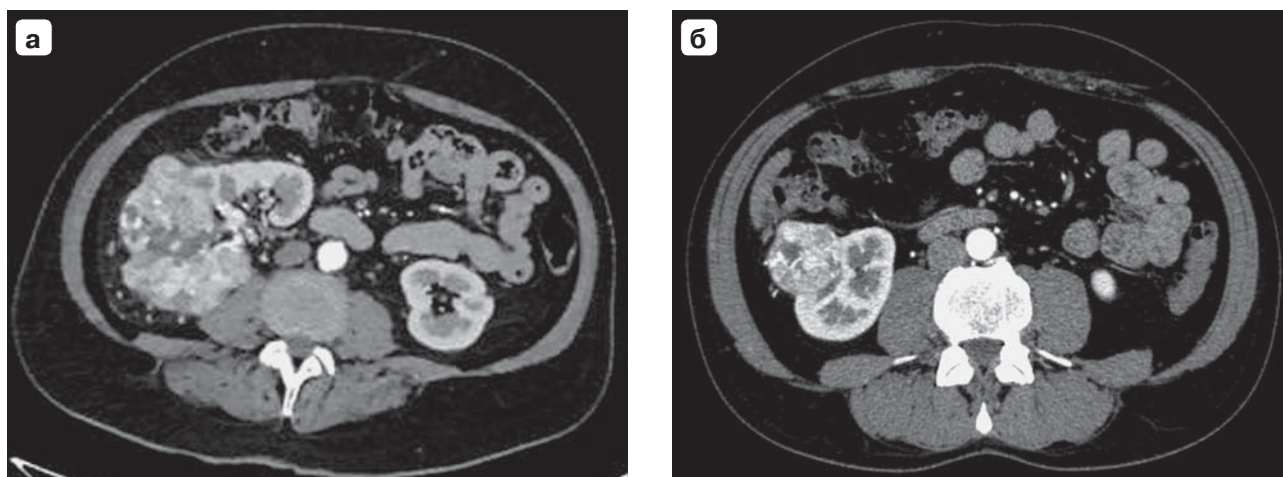
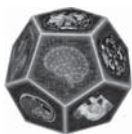


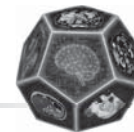
Рис. 1. Данные дооперационной КТ с контрастным усилением, кортико-медуллярная фаза, пациентов с верифицированным скПКР грейд 1-2 (а) и грейд 3-4 (б). Опухоли почки грейд 1-2 и грейд 3-4 имеют схожую структуру и характер контрастирования, при этом на (а) опухоль грейд 1-2 имеет больший размер и с большую степень локальной распространенности по сравнению с опухолью грейд 3-4 на рис. 1б.

Fig. 1. Preoperative CT data with contrast enhancement, corticomedullary phase, patients with verified clear cell renal cancer – ccRC grade 1-2 (a) and grade 3-4 (b). The kidney tumours of grade 1-2 and grade 3-4 have a similar structure and contrast enhancement pattern, shown in Fig. 1a grade 1-2 tumor is larger in size and has a higher degree of local extent compared to the grade 3-4 tumor shown in Fig. 1b.

тивными методами визуализации опухолей почки и оценки их структуры, но не всегда могут дать определенный ответ о предполагаемой гистологической принадлежности выявленной опухоли почки, правильно дифференцировать ПКР и доброкачественные опухоли, а также не позволяют достоверно оценить степень дифференцировки (грейд) злокачественных опухолей [9, 10]. На рис. 1 представлены данные КТ двух пациентов с светлоклеточным ПКР (скПКР) грейд 1-2 и 3-4, опухоли почки имеют схожую структуру и характер контрастирования. Взятие образцов ткани опухоли почки путем биопсии показало высокую диагностическую точность для ПКР, однако это инвазивная процедура, сопряженная с риском осложнений и не всегда выполнимая по причине особенностей локализации опухоли [11]. Также биопсия при опухоли почки имеет высокий уровень недиагностических результатов (приблизительно 15%) и ошибочных диагнозов (приблизительно 10%), что связано с типичной для наиболее распространенной ПКР гетерогенностью структуры опухоли [12, 13]. Среди специалистов растет интерес к использованию радиомики для прогнозирования гистологических вариантов опухолей различной локализации. Радиомика может стать дополнительным инструментом предоперационного обследования и определения дальнейшей тактики лечения онкологических заболеваний, позволит разработать надежные прогностические модели

[14, 15]. В частности, для образований почек радиомика, фиксируя особенности структуры опухоли, незаметные человеческому глазу, показала повышение диагностической, прогностической и предсказательной ценности традиционных методов лучевой диагностики [11, 16-19]. Прогнозирование грейда при скПКР потенциально может менять тактику лечения, помогает принять решение о выполнении органосохраняющего хирургического лечения, особенно при выявлении скПКР у пациентов с сопутствующей патологией контралатеральной почки, пациентов с единственной почкой [20]. Высокий грейд ПКР ассоциирован с высокой вероятностью венозной инвазии; если опухоль прилежит к синусу почки и при анализе результатов КТ данные о наличии признаков венозной инвазии сомнительные, то прогнозирование грейда позволит избежать потенциально нерадикальной парциальной нефрэктомии, раннего рецидива в синусе почки после парциальной нефрэктомии. Кроме того, высокий грейд ПКР ассоциирован с высокой вероятностью инвазии стенки нижней полой вены при опухолевом тромбозе нижней полой вены, прогнозирование грейда ПКР позволит планировать объем операции при опухолевом тромбозе нижней полой вены.

Цель исследования: оценить возможности текстового анализа в прогнозировании степени дифференцировки скПКР по данным компьютерной томографии.



Материал и методы

Ретроспективно нами были проанализированы данные 189 КТ-исследований 164 пациентов (у части пациентов исследования выполнялись повторно – у 16 пациентов дважды, у 3 пациентов трижды, у 1 пациента было выполнено 4 исследования), соответственно данные 189 исследований в дальнейшем сопоставлялись с данными морфологической верификации. По данным морфологических исследований у пациентов был верифицирован скПКР грейд 1–2 в 130 случаях, скПКР грейд 3–4 в 59 случаях. Критериями включения в исследование были: морфологическая верификация операционного материала (после нефрэктомии или резекции почки) по градирующей системе WHO/ISUP classification, принятой с 2016 г. [21], а также наличие данных предоперационной КТ с внутривенным контрастированием, выполненной по стандартному протоколу с получением нативной, кортико-медуллярной, нефрографической и экскреторной фаз, с толщиной среза не более 2 мм. КТ-исследования были выполнены в разных учреждениях и на томографах разных производителей. Повторные исследования выполнялись части пациентов в связи с необходимостью актуализации данных при вероятной или явной инвазии опухоли в синус почки, если представленное для анализа КТ-исследование было выполнено более 1 мес назад.

Для выполнения текстурного анализа использовались данные кортико-медуллярной, нефрографической и экскреторной фаз КТ-исследований, сегментация осуществлялась методами 2D и 3D, перед выполнением собственно текстурного анализа дополнительно проводилась повторная выборка данных и фильтрация данных с использованием фильтра Gaussian Laplacian и с условиями Reflect, Periodic, Edge. Толщина реконструированного среза более 2 мм, по нашим данным, препятствовала корректному ресемплингу данных и таким образом исключала возможность проведения текстурного анализа в рамках нашего исследования.

Исследование выполнялось ретроспективно, не требовало проведения дополнительных вмешательств и исследований, информированное добровольное согласие пациентов на проведение данного исследования не требовалось. Работа была одобрена локальным этическим комитетом, протокол №008-2022 от 14 октября 2022 г.

Методика КТ-исследования

В нашем Центре КТ с внутривенным контрастированием выполнялась по стандартному протоколу на компьютерном томографе Philips Ingenuity 64, использовались следующие параметры сканирования: толщина реконструированного среза 1,5 мм,

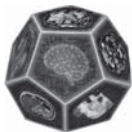
напряжение на рентгеновской трубке 100 кВ, интервал реконструкции 0,75 мм. Контрастный препарат с концентрацией йода 370 мг/мл вводился с помощью автоматического инжектора со скоростью 3,5 мл/с, с последующим введением физиологического раствора объемом 25 мл со скоростью 3,5 мл/с. Необходимый объем контрастного препарата рассчитывался по формуле 1 мл/кг массы тела пациента, но не более 100 мл. Контрастное исследование выполнялось по методике “bolus tracking” с порогом плотности 150 HU на нисходящей грудной аорте на уровне диафрагмы с запуском кортико-медуллярной фазы исследования на 10-й секунде, нефрографической фазы на 40-й секунде, экскреторной фазы исследования на 300-й секунде от момента достижения пороговой плотности крови в аорте 150 HU. КТ-исследования, выполненные в сторонних учреждениях, представленные в наш Центр для анализа на дооперационном этапе, также были выполнены с получением стандартных 4 фаз исследования. Толщина среза составляла от 0,75 до 2 мм, напряжение на рентгеновской трубке варьировало от 100 до 140 кВ. Методика выполнения исследований была аналогична нашей методике, которая также ранее применялась в работе И.С. Груздева и соавт. [22].

Текстурный анализ

Для вычисления текстурных показателей использовалось открытое бесплатное программное обеспечение LIFEx (version v7.1.0, www.lifexsoft.org) [23]. Исследователь с опытом абдоминальной визуализации 10 лет сегментировал опухоль почки в кортико-медуллярную, нефрографическую и экскреторную фазы. От сегментации опухоли почки в нативную фазу исследования было решено отказаться, так как большинство опухолей неотчетливо дифференцировались от неизменной паренхимы в нативную фазу, а использование инструмента переноса ROI в нашем исследовании затруднено ввиду варьирующего положения опухоли в разные фазы исследования за счет меняющейся глубины вдоха пациента. Для стандартизации всех исследований, выполненных как в нашем Центре, так и в сторонних учреждениях, до этапа сегментации опухоли почки выполнялась повторная выборка (Resampling, ресемплинг): данные КТ-исследований приводились к единой толщине среза 1 мм.

Формирование 2D ROI выполнялось исследователем на субъективно выбранном аксиальном срезе с наибольшей площадью опухоли, отступ от края опухоли не выполнялся.

Формирование 3D ROI выполнялось исследователем последовательно на аксиальных срезах с дальнейшей корректировкой на сагиттальных и коронарных



ных реконструкциях, сегментировался весь объем опухоли, также без отступа от края опухоли.

Во избежание включения в область интереса синусной или перинефральной жировой клетчатки, а также элементов повышенной плотности (конкрементов в чашечках или кальцинированных атеросклеротических бляшек в стенках сегментарных артерий) при формировании ROI исследователь устанавливал фильтр плотности с диапазоном 0–300 HU. Далее для устранения в ROI “выпавших” участков использовался инструмент заполнения (Close).

Следующим этапом с целью минимизации цифрового шума для выделенной ROI применялся Gaussian Laplacian фильтр с условиями Reflect, Periodic, Edge.

После сегментации опухоли и применения фильтров выполнялся расчет текстурных показателей для каждой фазы исследования.

Статистический анализ

Анализ и визуализация данных проводились с использованием среды для статистических вычислений R 4.4.1 (R Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия). Описательные статистики представлены в виде абсолютной и относительной частот для категориальных переменных и медианы (1-й и 3-й квартили) – для количественных переменных. Для сравнения групп в отношении количественных переменных использовался тест Манна-Уитни, для однофакторного анализа потенциальных количественных предикторов грейда опухоли – ROC-анализ (для оценки AUC с соответствующими 95% доверительным интервалом (ДИ)) и однофакторные логистические регрессионные модели с включением стандартизованных регрессоров, для контроля false discovery rate (FDR) при проведении множественного тестирования гипотез – поправка Беньямини-Хохберга (BH).

Для многомерного анализа предикторов использовался анализ главных компонент (PCA), переменные включались в анализ после стандартизации. Дискриминативные характеристики групп предикторов оценивались путем включения в логистические регрессионные модели первых главных компонент, объясняющих более 80% дисперсии независимых переменных.

Отбор предикторов в многофакторные логистические регрессионные модели осуществлялся с использованием L1-регуляризации (LASSO-регрессия после стандартизации независимых переменных), гиперпараметр λ определялся с использованием 10-блочной кросс-валидации при максимизации AUC (C-индекса). Отобранные предикторы включались в логистическую регрессионную модель без взаимодействий, коэффициенты которой оценива-

лись с использованием метода максимального правдоподобия. Оценка предсказательных характеристик модели осуществлялась с использованием непараметрического бутстрапа ($B = 1000$), в качестве метрик качества модели использовались псевдо- R^2 Найджелкерке, AUC и коэффициент D_{xy} Симмерса, кроме того, производились определение оптимального порогового значения для предсказанной вероятности с использованием J-статистики Юдена и оценка прогностической точности, чувствительности, специфичности и прогностические ценности положительного и отрицательного результата с соответствующими 95% ДИ.

Результаты исследования

Наиболее информативным с точки зрения прогнозирования грейда скПКР по данным КТ-исследований с внутривенным контрастным усилением были текстурные показатели, полученные при 3D-сегментации скПКР в кортико-медуллярную и экскреторную фазы контрастирования.

Наибольшее количество текстурных показателей, линейно ассоциированных (в отличие от анализа AUC, где важно существование монотонной ассоциации) с логарифмом шансов грейда 3–4, было получено при текстурном анализе данных 3D-сегментации скПКР в кортико-медуллярную и нефрографическую фазы.

Наименьшее количество текстурных показателей, статистически значимо ассоциированных с грейдом скПКР, было получено при текстурном анализе данных 2D-сегментации в экскреторную фазу контрастирования.

Наименьшее количество текстурных показателей, обладающих дискриминативными свойствами (на основании AUC) в отношении грейда скПКР, было получено при текстурном анализе данных 2D-сегментации в экскреторную фазу, особенно при использовании фильтра Reflect.

При проведении многофакторного анализа текстурных показателей в качестве предикторов грейда скПКР наиболее эффективным способом оценки текстурных показателей был анализ результатов 3D-сегментации в экскреторную фазу КТ с использованием в качестве предикторов первых 6 главных компонент, объясняющих 80% и более дисперсии значений текстурных показателей. Наиболее высокими значениями псевдо- R^2 Найджелкерке (0,49) и AUC (0,87) характеризовалась многофакторная логистическая регрессионная модель с включением в качестве предикторов SHAPE_Sphericity и SHAPE_Compacity при 3D-сегментации в экскреторную фазу при использовании фильтра Reflect (данные предикторы были отобраны с использованием L1-регуляризации). Модель с включением 1 текстур-

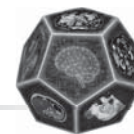


Таблица 1. Коэффициенты многофакторной модели прогнозирования вероятности грейда 3–4 светлоклеточного почечно-клеточного рака, созданной в результате текстурного анализа данных, полученных при 3D-сегментации данных многофазной КТ

Table 1. Multifactor model probability prediction grade 3–4 clear cell renal cell cancer resulting from the textural analysis of data obtained by 3D segmentation of multi-phase CT data

Предиктор / Predictor	β (SE)	ОШ	95%CI	p	VIF
Свободный член / Intercept	6.59 (3.52)	–	–	–	–
SHAPE_Sphericity	–12.4 (4.17)	0.0000004	0.0000000007; 0.012	0.003	1.16
SHAPE_Compacity	0.34 (0.07)	1.41	1.23; 1.64	<0.001	1.16

Примечание. Многофакторная модель разработана с использованием L1-штрафа для отбора предикторов, 10-блочной кросс-валидации и AUC в качестве целевой метрики качества.

Note. The multi-factor model is designed using a L1 fine to select precursors, 10-block cross-validation and AUC as a target quality metric.

ного показателя – DISCRETIZED_TLG – при 2D-сегментации в экскреторную фазу при использовании фильтра Reflect характеризовалась несколько более низкими псевдо- R^2 Найджелкерке (0,44) и AUC (0,85).

В табл. 1 представлена многофакторная модель, разработанная на основании анализа данных 3D-сегментации данных многофазной КТ при опухоли почки с использованием L1-штрафа для отбора предикторов, 10-блочной кросс-валидации и AUC в качестве целевой метрики качества. На основании коэффициентов модели была разработана прогностическая номограмма для определения вероятности скПКР грейд 3–4 (рис. 2). Полученная модель

характеризовалась значением псевдо- R^2 Найджелкерке, равным 0,49 (скорректированное значение – 0,47), коэффициентом D_{xy} Соммерса, равным 0,73 (скорректированное значение – 0,73), и AUC, равным 0,87 (95% ДИ 0,81; 0,92) (скорректированное значение – 0,86).

При использовании в качестве порогового значения предсказанной вероятности степени дифференцировки 3–4 28% полученная модель характеризовалась 80% прогностической точностью (95% ДИ 73,5; 85,5), 79,7% чувствительностью (95% ДИ 67,2; 89) и 80,2% специфичностью (95% ДИ 72,1; 86,7), прогностическое значение положительного результата составило 65,3% [95% ДИ: 53,1; 76,1], прогностическое

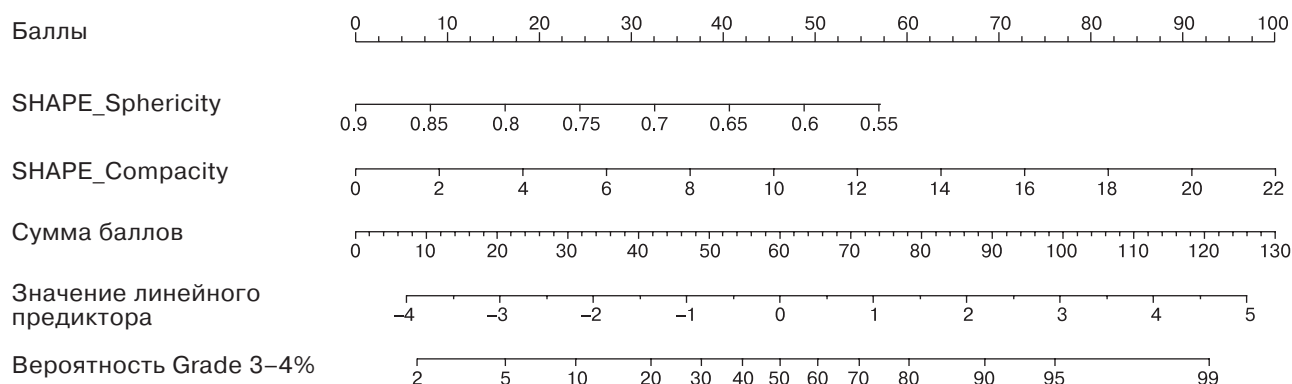


Рис. 2. Номограмма для прогнозирования вероятности грейда 3–4 для скПКР. Для оценки вероятности события необходимо определить балл, соответствующий значению предиктора, опустив нормаль на соответствующую шкалу, затем необходимо найти сумму баллов и, опустив нормаль на соответствующую шкалу, найти оценку значения линейного предиктора (логарифма шансов события) и вероятности.

Fig. 2. A nomogram to predict the probability of grade 3–4 clear cell renal cancer. To estimate the probability of an event, you need to determine a score that corresponds to the value of the predictor by taking the norm into the appropriate scale, then you need to sum up the scores and, after taking the norm into the appropriate scale, you need to find an estimate of the value of the linear predictor (logarithm of the chances of an event) and probabilities.

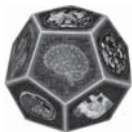


Таблица 2. Коэффициенты модели прогнозирования вероятности грейда 3–4 светлоклеточного почечно-клеточного рака, разработанной с использованием в качестве предиктора текстурного показателя DISCRETIZED_TLG при 2D-сегментации данных экскреторной фазы КТ и использовании Reflect-фильтра

Table 2. The probability prediction coefficients of a model of grade 3–4 clear cell renal cancer, developed using DISCRETIZED_TLG as a predictor for 2D segmentation of excretory CT phase data and use of Reflect filter

Предиктор / Predictor	β (SE)	ОШ	95% CI	p	VIF
Свободный член / Intercept	-2.34 (0.31)	–	–	–	
DISCRETIZED_TLG(mL)	0.0061 (0.001)	1.0062	1.0043; 1.0083	<0.001	

значение отрицательного результата – 89,4% [95% ДИ: 82,2; 94,4].

В табл. 2 представлена модель, разработанная с использованием в качестве предиктора текстурного показателя DISCRETIZED_TLG при 2D-сегментации данных КТ в экскреторную фазу и использовании Reflect-фильтра.

Полученная модель характеризовалась значением псевдо- R^2 Найджелкерке, равным 0,44 (скорректированное значение – 0,43), коэффициентом DXY Соммерса, равным 0,7 (скорректированное значение – 0,7), и AUC, равным 0,85 (0,79; 0,91) (скорректированное значение – 0,85). При использовании в качестве порогового значения предсказанной вероятности степени дифференцировки опухоли грейд 3–4 25% (что соответствует значению DISCRETIZED_TLG 204 mL) полученная модель

характеризовалась 78,9% прогностической точностью (95% ДИ 72,3; 84,6), 76,3% чувствительностью (95% ДИ 63,4; 86,4) и 80,2% специфичностью (95% ДИ 72,1; 86,7), прогностическое значение положительного результата составило 64,3% (95% ДИ 51,9; 75,4), прогностическое значение отрицательного результата – 87,8% (95% ДИ 80,4; 93,2). По дискриминативным характеристикам полученная модель уступает модели, полученной при использовании метода 3D сегментации (рис. 3).

Обсуждение

Наше исследование было ретроспективным, мы провели анализ данных КТ-исследований, выполненных как в нашем учреждении, причем на двух томографах, так и в сторонних учреждениях, что отражает реальное состояние проблемы, когда исследования выполняются на разных томографах, в целом стандартно, но с небольшой степенью вариабельности протоколов. Анализ выборки исследований, выполненных на одном томографе, с одним протоколом сканирования и введения контрастного препарата, безусловно, мог дать более высокие результаты, но мы исходили из реальных условий работы диагностического отделения нашего учреждения.

Высокий грейд скПКР ассоциирован с высокой вероятностью венозной инвазии; если опухоль прилежит к синусу почки без явных признаков венозной инвазии по данным КТ, то прогнозирование грейда скПКР позволит избежать потенциально нерадикальной парциальной нефрэктомии, раннего рецидива в синусе почки после парциальной нефрэктомии. Кроме того, высокий грейд скПКР ассоциирован с высокой вероятностью инвазии стенки нижней полой вены при опухолевом тромбозе нижней полой вены, и прогнозирование грейда скПКР позволит планировать объем операции при опухолевом тромбозе нижней полой вены. Определение вероятности опухолевой инвазии стенки нижней полой вены представляет собой отдельную сложную диагностическую задачу вследствие малой толщины стенки нижней полой вены, и прогнозирование грей-

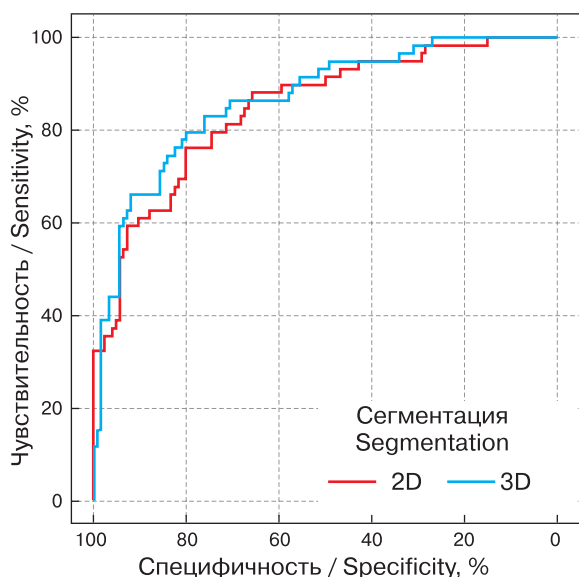
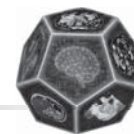


Рис. 3. ROC-кривые для предсказаний грейда 3, 4 скПКР, полученные с использованием моделей при 2D- и 3D-сегментации.

Fig. 3. ROC-curves for the predictions of the grade 3, 4 ccRC obtained using models in 2D and 3D segmentation.



да скПКР потенциально может прогнозировать наличие этой особенности опухолевого тромба.

В ходе проведения своих научных изысканий мы добились поставленной цели: разработали диагностическую модель, основанную на текстурных показателях, полученных при 3D-сегментации данных КТ, позволяющую прогнозировать вероятность скПКР высокого грейда (грейд 3–4) с прогностической точностью, чувствительностью и специфичностью 80, 79,7 и 80,2% соответственно. Полученная модель по своим дискриминативным характеристикам превосходила модель, разработанную исключительно на текстурных показателях, вычисленных при использовании метода 2D-сегментации.

Ранее нами был выполнен анализ воспроизводимости результатов методов 2D- и 3D-сегментации скПКР данных КТ-исследований [24], было установлено, что метод 3D-сегментации характеризовался более высокой воспроизводимостью, а также при этом методе сегментации было воспроизводимо большинство текстурных показателей первого порядка, поэтому модель, использующая показатели, полученные при текстурном анализе данных методом 3D-сегментации, была выбрана для разработки номограммы и дальнейшего использования.

К. Wu и соавт. по данным публикации 2021 г. [25] получили меньшее значение AUC для разработанной ими модели при прогнозировании грейда ПКР. Однако в их работе опухоли сегментировались не врачом-рентгенологом, а методами машинного обучения. Более высокие показатели возможно получить при обучении алгоритмов на большей выборке пациентов. В то же время методика К. Wu и соавт. является гораздо менее времязатратной, так как требует только загрузки исследования и необходимых клинических данных в систему. Учитывая обнадеживающие результаты, в будущем совершенствование алгоритмов машинного обучения может привести к разработке более точных диагностических моделей.

При сравнении с данными W. Yu и соавт. [26] характеристики нашей модели превышают общую чувствительность и специфичность исследований, включенных в метаанализ этими авторами (79 и 84% соответственно). Это может объясняться включением в нашу модель показателей, полученных при сегментации опухолей в экскреторную фазу исследования. Высокая вариабельность методик КТ-исследования в различных медицинских учреждениях является причиной варьирующих данных кортико-медуллярной и нефрографической фаз исследования, в то время как изображения, полученные в экскреторную фазу исследования, являются схожими, так как контрастность изображений в экскре-

торную фазу определяется дозой введенного контрастного вещества.

В настоящее время все более широко в диагностическую практику внедряются алгоритмы машинного обучения для получения дополнительных данных из рутинных диагностических изображений. A.J. Alhussaini и соавт. [27] для разработки диагностической модели при ПКР использовали алгоритмы машинного обучения на текстурных показателях, полученных методом полуавтоматической 3D-сегментации, как и в нашей работе. Хотя характеристики их модели сопоставимы с характеристиками нашей модели (AUC 77–90,3%), применение алгоритмов машинного обучения позволит упростить использование текстурных показателей в радиологической практике. В своих следующих работах мы планируем увеличение выборки и разработку диагностических моделей с применением алгоритма машинного обучения.

Заключение

В ходе проведенной работы мы доказали возможность использования текстурных показателей, полученных при анализе данных КТ-исследований с контрастным усилением, для прогнозирования грейда скПКР, и разработали высокоточную диагностическую модель для прогнозирования грейда скПКР. Мы планируем использование нашей модели в качестве системы поддержки принятия решений врачом-рентгенологом при прогнозировании грейда скПКР в нашем медицинском центре.

Участие авторов

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

Хромова С.В. – концепция и дизайн исследования, статистическая обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, проведение исследования, подготовка и редактирование текста, написание текста, участие в научном дизайне.

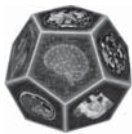
Груздев И.С. – концепция и дизайн исследования, редактирование текста.

Кондратьев Е.В. – концепция исследования, редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Karelskaya N.A. – concept and design of the study, text preparation and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article, participation in scientific design.

Khromova S.V. – concept and design of the study, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data,



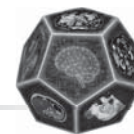
conducting research, text preparation and editing, writing text, participation in scientific design.

Gruzdev I.S. – concept and design of the study, text editing.

Kondratyev E.V. – concept of the study, text editing, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Global Cancer Observatory: Cancer Today; WHO International Agency for Research on Cancer: Lyon, France, 2022; Available online: <https://gco.iarc.fr/today> (accessed on 2 March 2026).
2. Ferlay J., Colombet M., Soerjomataram I. et al. Cancer incidence and mortality patterns in Europe: Estimates for 40 countries and 25 major cancers in 2018. *Eur. J. Cancer*. 2018; 103: 356–387. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2018.07.005>
3. Vartolomei L., Cotruș A., Stanciu C. et al. Quality of Life and Psychological Distress among Patients with Small Renal Masses. *J. Clin. Med*. 2022; 11 (14): 3944. <https://doi.org/10.3390/jcm11143944>
4. Hollingsworth J.M., Miller D.C., Daignault S., Hollenbeck B.K. Rising incidence of small renal masses: a need to reassess treatment effect. *J. Natl. Cancer Inst.* 2006; 98 (18): 1331–1334. <https://doi.org/10.1093/jnci/djj362>
5. Coy H., Hsieh K., Wu W. et al. Deep learning and radiomics: the utility of Google TensorFlow™ Inception in classifying clear cell renal cell carcinoma and oncocytoma on multiphasic CT. *Abdom. Radiol. (NY)*. 2019; 44 (6): 2009–2020. <https://doi.org/10.1007/s00261-019-01929-0>
6. Patel H.D., Johnson M.H., Pierorazio P.M. et al. Diagnostic Accuracy and Risks of Biopsy in the Diagnosis of a Renal Mass Suspicious for Localized Renal Cell Carcinoma: Systematic Review of the Literature. *J. Urol*. 2016; 195 (5): 1340–1347. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2015.11.029>
7. Di Lascio G., Sciarra A., Del Giudice F. et al. Which factors can influence post-operative renal function preservation after nephron-sparing surgery for kidney cancer: a critical review. *Cent. European J. Urol*. 2022; 75 (1): 14–27. <https://doi.org/10.5173/cej.2021.0256>
8. Sohlberg E.M., Metzner T.J., Leppert J.T. The Harms of Overdiagnosis and Overtreatment in Patients with Small Renal Masses: A Mini-review. *Eur. Urol. Focus*. 2019; 5(6): 943–945. <https://doi.org/10.1016/j.euf.2019.03.006>
9. Hindman N., Ngo L., Genega E.M. et al. Angiomyolipoma with minimal fat: can it be differentiated from clear cell renal cell carcinoma by using standard MR techniques? *Radiology*. 2012; 265 (2): 468–477. <https://doi.org/10.1148/radiol.12112087>
10. Sevcenco S., Heinz-Peer G., Ponhold L. et al. Utility and limitations of 3-Tesla diffusion-weighted magnetic resonance imaging for differentiation of renal tumors. *Eur. J. Radiol*. 2014; 83 (6): 909–913. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2014.02.026>
11. Roussel E., Capitanio U., Kutikov A. et al. Novel Imaging Methods for Renal Mass Characterization: A Collaborative Review. *Eur. Urol*. 2022; 81 (5): 476–488. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2022.01.040>
12. Ball M.W., Bezerra S.M., Gorin M.A. et al. Grade heterogeneity in small renal masses: potential implications for renal mass biopsy. *J. Urol*. 2015; 193 (1): 36–40. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2014.06.067>
13. Marconi L., Dabestani S., Lam T.B. et al. Systematic Review and Meta-analysis of Diagnostic Accuracy of Percutaneous Renal Tumour Biopsy. *Eur. Urol*. 2016; 69 (4): 660–673. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2016.04.027>
14. Kumar V., Gu Y., Basu S. et al. Radiomics: the process and the challenges. *Magn. Reson. Imaging*. 2012; 30 (9): 1234–1248. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2012.06.010>
15. Lambin P., Rios-Velazquez E., Leijenaar R. et al. Radiomics: extracting more information from medical images using advanced feature analysis. *Eur. J. Cancer*. 2012; 48 (4): 441–446. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2011.11.036>
16. Ursprung S., Beer L., Bruining A. et al. Radiomics of computed tomography and magnetic resonance imaging in renal cell carcinoma—a systematic review and meta-analysis. *Eur. Radiol*. 2020; 30 (6): 3558–3566. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-06666-3>
17. Suarez-Ibarrola R., Basulto-Martinez M., Heinze A. et al. Radiomics Applications in Renal Tumor Assessment: A Comprehensive Review of the Literature. *Cancers (Basel)*. 2020; 12 (6): 1387. <https://doi.org/10.3390/cancers12061387>
18. Campi R., Stewart G.D., Staehler M. et al. Novel Liquid Biomarkers and Innovative Imaging for Kidney Cancer Diagnosis: What Can Be Implemented in Our Practice Today? A Systematic Review of the Literature. *Eur. Urol. Oncol*. 2021; 4 (1): 22–41. <https://doi.org/10.1016/j.euo.2020.12.011>
19. Rallis K.S., Kleeman S.O., Grant M. et al. Radiomics for Renal Cell Carcinoma: Predicting Outcomes from Immunotherapy and Targeted Therapies—A Narrative Review. *Eur. Urol. Focus*. 2021; 7 (4): 717–721. <https://doi.org/10.1016/j.euf.2021.04.024>
20. Грицкевич А.А., Пьяникин С.С., Адырхаев З.А., Степанова Ю.А., Казеннов В.В., Зотиков А.Е., Теплов А.А., Ревшвили А.Ш. Резекция почки *ex vivo* в условиях фармако-холодовой ишемии с последующей ортотопической аутотрансплантацией. *Трансплантология*. 2016; 3: 27–36. Gritskevich A.A., P'yanikin S.S., Adyrkhaev Z.A. et al. Ex vivo kidney resection in pharmacological cold ischemia followed by orthotopic autotransplantation. *Transplantologiya*. 2016; 3: 27–36. (In Russian)
21. Moch H., Cubilla A.L., Humphrey P.A. et al. The 2016 WHO Classification of Tumours of the Urinary System and Male Genital Organs—Part A: Renal, Penile, and Testicular Tumours. *Eur. Urol*. 2016; 70 (1): 93–105. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2016.02.029>
22. Груздев И.С., Тихонова В.С., Замятина К.А., Калдаров А.Р., Кондратьев Е.В., Кармазановский Г.Г. Компьютерная томография в прогнозировании степени дифференцировки гиперваскулярных нейроэндокринных опухолей поджелудочной железы: текстовый анализ и характеристики контрастирования. *REJR*. 2021; 11 (4): 105–114. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2021-11-4-105-114>



- Gruzdev I.S., Tikhonova V.S., Zamyatina K.A. et al. Computed tomography in prediction of hypervascular pancreatic neuroendocrine tumors grade: texture analysis and contrast enhancement features. *Russian Electronic Journal of Radiology (REJR)*. 2021; 11 (4): 105–14. (In Russian)
23. Nioche C., Orlhac F., Boughdad S. et al. LIFEx: a free-ware for radiomic feature calculation in multimodality imaging to accelerate advances in the characterization of tumor heterogeneity (RRID: SCR_025284). *Cancer Research*. 2018; 78 (16): 4786–4789. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.can-18-0125>
 24. Хромова С.В., Кармазановский Г.Г., Карельская Н.А., Груздев И.С. Текстуриный анализ данных компьютерно-томографических исследований при светлоклеточном почечно-клеточном раке: воспроизводимость результатов методов 2D- и 3D-сегментации. *Альманах клинической медицины*. 2024; 52 (1): 25–34. <https://doi.org/10.18786/2072-0505-2024-52-007>
 25. 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; 32 (4): 2255–2265. <https://doi.org/10.1007/s00330-021-08353-3>
 26. Yu W., Liang G., Zeng L. et al. Accuracy of CT texture analysis for differentiating low-grade and high-grade renal cell carcinoma: systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*. 2021; 11 (12): e051470. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-051470>
 27. Alhussaini A.J., Steele J.D., Jawli A., Nabi G. Radiomics Machine Learning Analysis of Clear Cell Renal Cell Carcinoma for Tumour Grade Prediction Based on Intra-Tumoural Sub-Region Heterogeneity. *Cancers (Basel)*. 2024; 16 (8): 1454. <https://doi.org/10.3390/cancers16081454>

Для корреспонденции*: Карельская Наталья Александровна – e-mail: karelskaya.n@yandex.ru

Карельская Наталья Александровна – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения рентгенологических и магнитно-резонансных исследований ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского Минздрава России”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-8723-8916>

Хромова Станислава Владимировна – аспирант отделения рентгенологии и магнитно-резонансных исследований ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского Минздрава России”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-8083-4843>

Груздев Иван Сергеевич – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения рентгенологии и магнитно-резонансных исследований ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского Минздрава России”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-0781-9898>

Кондратьев Евгений Валерьевич – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения рентгенологии и магнитно-резонансных исследований ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского Минздрава России”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-7070-3391>

Contact*: Natalya A. Karelskaya – e-mail: karelskaya.n@yandex.ru

Natalya A. Karelskaya – Cand. of Sci. (Med.), senior researcher, Radiology Department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-8723-8916>

Stanislava V. Khromova – Graduate Student, Radiology Department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-8083-4843>

Ivan S. Gruzdev – Cand. of Sci. (Med.), senior researcher, Radiology Department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-0781-9898>

Evgeny V. Kondratyev – Cand. of Sci. (Med.), head of Radiology Department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-7070-3391>