

ТЕКСТУРНЫЙ АНАЛИЗ В ПРОГНОЗЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ ПАРЕНХИМЫ ПОЧКИ

3.1.6 - Онкология, лучевая терапия
(медицинские науки)
3.1.25 - Лучевая диагностика
(медицинские науки)

*Конышев А.В.¹, Глыбочко П.В.¹, Бутнару Д.В.¹, Аляев Ю.Г.¹, Сирота Е.С.¹, Черненький М.М.¹, Черненький И.М.¹, Фиев Д.Н.¹, Проскура А.В.¹, Аджиев А.Р.¹, Амрахов С.А.¹, Измайлова А.А.¹, Саркисьян И.П.¹, Гридин В.Н.², Бочкарёв П.В.², Кузнецов И.А.²

¹ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова МЗ РФ (Сеченовский Университет)

Институт урологии и репродуктивного здоровья человека

²ФГБУН Центр информационных технологий в проектировании Российской академии наук (ЦИТП)

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

- рак паренхимы почки
- 3D технологии
- текстурный анализ
- машинное обучение

АННОТАЦИЯ:

Цель: оценить возможности применения текстурного анализа (ТА) трехмерных построений опухоли у пациентов с локализованными новообразованиями паренхимы почки в прогнозе морфологии.

Материал и методы: в ретроспективный анализ включены результаты хирургического лечения 241 пациента с новообразованиями паренхимы почки. Во всех наблюдениях выполнены органосохраняющие операции (ОСО). В исследовании больные разделены на 5 групп в зависимости от морфологической принадлежности новообразования. Пациенты с доброкачественными опухолями две группы: онкоцитомы - 22 (9,1%), ангиомиолипома - 38 (15,7%). Три группы больных с почечноклеточным раком (ПКР): светлоклеточный вариант ПКР - 131 (54,3%), хромофобный вариант ПКР - 21 (8,7%) и папиллярный вариант ПКР 29 (12%). Степень клеточной анаплазии G в группах пациентов со светлоклеточным и папиллярным вариантом ПКР верифицирована как G1 в 49, G2 - 51, G3 - 26, G4 - 5 наблюдениях. В ручном режиме двумя опытными врачами лучевой диагностики сегментированы новообразования из построенных 3D моделей патологического процесса при помощи программы 3D моделирования «Amiga». Из 3D построений опухолей извлечены 300 текстурных признаков статистики первого и второго порядка и 3 характеристики формы новообразований. В разработке алгоритма классификатора прогноза морфологической принадлежности опухоли использовался алгоритм машинного обучения «Метод опорных векторов».

Результаты: в прогностическую модель морфологии кроме текстурных признаков и характеристик формы опухоли включались демографические и клинические данные пациентов. Точность прогноза в группах анализа по метрике F1 составила: ангиомиолипома 85%, онкоцитомы 82%, папиллярный вариант ПКР 86%, светлоклеточный вариант ПКР 72%, хромофобный вариант ПКР 80%.

Заключение: применение ТА 3D построений новообразований паренхимы почки выявило удовлетворительное качество моделей для большинства гистологических видов в прогнозе морфологической принадлежности новообразований паренхимы почки. Большое количество параметров статистики первого и второго порядка, а также параметров, полученных при анализе формы опухоли, позволяет отбирать комбинации наилучших параметров и строить модели прогнозирования для каждого типа морфологии отдельно.

Для цитирования. Конышев А.В., Глыбочко П.В., Бутнару Д.В., Аляев Ю.Г., Сирота Е.С., Черненький М.М., Черненький И.М., Фиев Д.Н., Проскура А.В., Аджиев А.Р., Амрахов С.А., Измайлова А.А., Саркисьян И.П., Гридин В.Н., Бочкарёв П.В., Кузнецов И.А. «ТЕКСТУРНЫЙ АНАЛИЗ В ПРОГНОЗЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ ПАРЕНХИМЫ ПОЧКИ». Ж. ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ И ИНТЕРВЕНЦИОННАЯ РАДИОЛОГИЯ. 2024; 18(2.1): 71–78.

TEXTURE ANALYSIS IN PREDICTING THE MORPHOLOGICAL NATURE OF LOCALIZED NEOPLASMS OF RENAL PARENCHYMA

*Konyshov A.V.¹, Glybochko P.V.¹, Butnaru D.V.¹, Alyaev Yu.G.¹, Sirota E.S.¹, Chernenkiy M.M.¹, Chernenkiy I.M.¹, Fiev D.N.¹, Proskura A.V.¹, Adjiev A.R.¹, Amrakhov S.A.¹, Izmaylova A.A.¹, Sarkisiyayn I.P.¹, Gridin V.N.², Bochkarev P.V.², Kuznetsov I.A.²

¹I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation Institute for Urology and Reproductive Health

²Design Information Technologies Center Russian Academy of Sciences

KEY-WORDS:

- renal parenchyma cancer
- 3D technology
- texture analysis
- machine learning

ABSTRACT:

Aim: was to evaluate possibilities of using texture analysis (TA) of three-dimensional tumor construction in patients with localized neoplasms of kidney parenchyma in morphological prognosis.

Material and methods: retrospective analysis included results of surgical treatment of 241 patients with renal parenchymal tumors. In all cases, organ-preserving operations (OPO) were performed. In the study, patients were divided into 5 groups depending on the morphological affiliation of the neoplasm. There were two groups of patients with benign tumors: oncocytoma - 22 (9,1%), angiomyolipoma - 38 (15,7%). Three groups of patients with renal cell carcinoma (RCC): clear cell variant of RCC - 131 (54,3%), chromophobe variant of RCC - 21 (8,7%) and papillary variant of RCC - 29 (12%). The degree of cellular anaplasia G in groups of patients with clear cell and papillary RCC was verified as G1 in 49, G2 - 51, G3 - 26, G4 - 5 observations. In manual mode, two experienced radiology doctors segmented neoplasms from constructed 3D models of pathological processes using the 3D modeling program «Amira». 300 texture features of first- and second-order statistics and 3 characteristics of tumor shape were extracted from 3D tumor constructions. In developing the classifier algorithm for predicting the morphological identity of the tumor, the machine learning algorithm «Support Vector Machine» was used.

Results: in addition to textural features and characteristics of tumor shape, the prognostic model of morphology included demographic and clinical data of patients. The prediction accuracy in the analysis groups according to the F1 metric was: angiomyolipoma 85%, oncocytoma 82%, papillary RCC 86%, clear cell RCC 72%, chromophobe RCC 80%.

Conclusion: the use of texture analysis of 3D constructions of renal parenchyma neoplasms revealed satisfactory quality of models for most histological types in predicting the morphological identity of renal parenchyma neoplasms. A large number of first- and second-order statistical parameters, as well as parameters obtained by analyzing the tumor shape, makes it possible to select combinations of the best parameters and build prediction models for each type of morphology separately.

Введение

В настоящее время в мире отмечается рост числа наблюдений с злокачественными новообразованиями паренхимы почки. В Российской Федерации в 2022 году было зарегистрировано 24,2 тыс. новых случаев заболевания ПКР, в США - 61,6 тыс., в Англии - 12,5 тыс., в Европе - 115,0 тыс. (3% среди всех злокачественных новообразований, 9-е ранговое место среди мужчин и 14-е место среди женщин) [1,2].

В последние десятилетия более 70% опухолей почки выявляются случайно при обследовании, что значительно больше по сравнению с 1960 годом, когда такие наблюдения составляли только 10% от общего числа пациентов с новообразованиями паренхимы почки [3].

Рост диагностики опухолей паренхимы почки напрямую связан с совершенствованием и большей доступностью современных методов лучевой визуализации: ультразвуковой диагностики, мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) и/или магнитно-резонансной томографии (МРТ) [4-5].

Сегодня наблюдается постепенное уменьшение среднего размера первично выявленных новообразований паренхимы почки; так если в 1989 году средний размер опухоли составлял 7,8 см, в 1998 году - 5,3 см, то сейчас менее чем 4 см [6]. Достоверно установлено, что чем меньше размер новообразования паренхимы почки, тем чаще морфологически верифицируется доброкачественная опухоль. Так согласно работе Franc с соавт., при размерах новообразования до 1 см - добро-

качественная морфология выявлена в 46% наблюдений, при размерах от 2 до 3 см - 22%, до 4 см - 20% соответственно [7]. При применении современных методов лучевой диагностики не всегда имеется возможность точно определить доброкачественный характер опухоли паренхимы почки, установить или спрогнозировать морфологический вид злокачественного новообразования почки [8,9].

Данные ограничения связаны с визуальным анализом изображений врачами-рентгенологами, и большая часть информации не может быть интерпретирована человеческим глазом.

В связи с этим в мире для прецизионной диагностики с 2012 года используется новая концепция под названием «Радиомика» (PM) [10]. В данной концепции применяется текстурный анализ (TA) DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) данных лучевых методов диагностики посредством компьютерных технологий в сопоставлении с морфологическими, генетическими и/или другими характеристиками новообразований [11-15].

В настоящее время в мире имеется небольшое число работ, отражающих использование TA 3D моделей патологического процесса в гистологическом прогнозе ПКР в связи, с чем целью нашей работы стала оценка возможности применения TA трехмерных построений опухоли у пациентов с локализованными новообразованиями паренхимы почки в прогнозе морфологии.

Материал и методы

В ретроспективное исследование включены результаты хирургического лечения 241 пациента с выполненными ОСО за период с 2018 по 2022 гг.

Все операции выполнены из лапароскопического доступа. Средний возраст пациентов составил $56,24 \pm 11,75$ лет. Мужчин было 127 (52,7%), женщин - 114 (47,3%). Все пациенты в исследовании разделены на 5 основных групп. Две группы составили пациенты с доброкачественными опухолями: ангиомиолипома 38 (15,7%) и онкоцитомы 22 (9,1%). Три группы - с злокачественным ПКР: светлоклеточный вариант ПКР - 131 (54,3%), хромофобный вариант ПКР - 21 (8,7%) и папиллярный вариант ПКР 29 (12%). Основные демографические, клинические и нефрометрические характеристики наблюдений в группах представлены в **таблице 1**.

Всем больным на этапе предоперационного обследования проводилась МСКТ, на компьютерных томографах Toshiba Aquilion One 640 или Toshiba Aquilion multi 320 (Япония). Протокол проведения исследования 3 Phase Kidneys - в положении пациента лежа на спине (параметры съемки: режим исследования спиральный, толщина среза 0,5 мм, напряжение 120 kV, сила тока 80 mA, скорость вращения трубки 0,5 сек, зона исследования: от купола диафрагмы до лобкового сочленения) с внутривенным контрастированием. Контрастные препараты - используемые для контрастирования с содержанием йода 300-370 мг/мл (омнипак, ультравист, визипак) в объеме 80-90 мл в среднем на одно исследование, со скоростью внутривенного введения 3,5-4 мл/сек.

На этапе планирования хирургического лечения во всех наблюдениях на основании DICOM данных МСКТ проведено 3D виртуальное планирование операций посредством программы 3D моделирования «Amira» по ранее описанному алгоритму [16].

Извлечение 3D моделей опухоли выполнялась в ручном режиме на 3D построениях патологического процесса двумя опытными врачами лучевой диагностики.

Сегментированные 3D модели опухоли оценивали по форме новообразований с математическим расчетом трех показателей по **формулам 1-3**:

Отклонение - отношение объема опухоли к объему описывающего эллипсоида (**формула 1**).

$$F_1 = \frac{V_t}{V_e} \quad (1)$$

где V_t - объем опухоли, V_e - объем описывающего эллипсоида.

Отношение диаметров 1 - отношение минимальной по длине полуоси эллипсоида к максимальной (**формула 2**).

$$F_2 = \frac{d_{\min}}{d_{\max}} \quad (2)$$

где d_{\min} - минимальная по длине полуось описывающего эллипсоида, d_{\max} - максимальная по длине полуось описывающего эллипсоида.

Отношение диаметров 2 - отношение промежуточной по длине полуоси эллипсоида к максимальной (**формула 3**).

$$F_3 = \frac{d_{\text{med}}}{d_{\max}} \quad (3)$$

где d_{med} - промежуточная по длине полуось описывающего эллипсоида, d_{\max} - максимальная по длине полуось описывающего эллипсоида.

Текстурный анализ выполнен при помощи программного обеспечения языков программирования высокого уровня Python и R. Получаемые статистические характеристики можно разделить на три уровня. Первый уровень статистики включает изучение интенсивности появлений пикселей и получения средней интенсивности уровня серого, стандартное отклонение или дисперсия пиксельной гистограммы, асимметрия, эксцесс, энтропия первого порядка. В статистике второго уровня учитываются пространственные отношения пикселей в изображении, и определяется как часто в изображении встречаются пары пикселей с определенными значениями в указанном пространственном диапазоне. Более высокий порядок затрагивает характеристики формы исследуемого изображения, а также сравнение различий и взаимосвязей между несколькими пикселями. Для исследования

Таблица 1. Распределение пациентов в исследовании по демографическим, клиническим и нефрометрическим характеристикам

	Ангиомиолипома	Онкоцитомы	Папиллярный ПКР	Светлоклет G1.	Светлоклет G2.	Светлоклет. G3.	Светлоклет. G4.	Хромофобный
Возраст, лет	49,76±10,78	62,95±9,57	56,17 ± 9,72	58,94 ± 11,3	54,67±11,78	57,12 ± 8,63	56 ± 11,34	55,86 ± 16,67
Пол, м/ж	4/34	13/9	14/15	27/22	34/17	20/6	3/2	12/9
Абсолютный объем, опухоли мм ³	49,82±144,9	23,21±59,2	26,48 ± 25,83	33,04±34,43	29,04±37,8	62,86±106,55	42,5 ± 58,95	26,19 ± 29,66
Индекс Чарлсон, баллы	1,21 ± 1,07	2,91 ± 1,72	1,93 ± 1,07	2,02 ± 1,45	1,67 ± 1,35	2,08 ± 1,44	2,6 ± 1,67	2,29 ± 1,74
Индекс массы тела, кг/м ²	26,4 ± 5,6	29,51±5,41	26,41 ± 3,75	29,84 ± 5,52	28,5 ± 5,41	29,5 ± 5,1	28,16 ± 5,68	29,6 ± 4,67
Индекс RENAL, балл	6,71 ± 1,58	7,05 ± 1,76	6,66 ± 1,95	7,41 ± 1,99	7,06 ± 2,17	7,92 ± 1,81	6,8 ± 1,79	7,24 ± 1,76
Индекс RADUA, балл	7,95 ± 1,63	8,32 ± 1,94	8,38 ± 1,72	8,31 ± 1,54	8,35 ± 2,13	8,92 ± 1,92	8 ± 1,87	8,33 ± 1,49
C-index, балл	3,3 ± 1,55	3,26 ± 1,92	3,1 ± 1,72	2,55 ± 1,15	2,93 ± 1,42	2,55 ± 1,27	3,64 ± 2,93	2,99 ± 1,63

формы новообразования используем метод эллипсоидов. В результате работы данного метода строится минимальный по объёму описывающий эллипсоид, выявляются различия изучаемого объекта от формы построенного эллипсоида, а также отношения его полуосей. Всего извлечено 300 характеристик текстуры, состоящих из статистик первого, второго и высшего порядков.

В разработке алгоритма классификатора прогноза морфологической принадлежности опухоли использовался алгоритм машинного обучения «Метод опорных векторов». Данный метод предназначен для поиска гиперплоскости, способной разделить признаковое пространство на полупространства, при этом он пригоден для работы как с линейными разделяющими функциями, так и с нелинейными. В случае линейной разделимости поиск разделяющей гиперплоскости выполняется с помощью «максимизации зазора» между двумя параллельными опорными векторами, построенными на основе ближайших точек из двух классов. Ключевая задача алгоритма - максимизировать расстояние между двумя опорными векторами. В случае линейной неразделимости имеющийся набор данных трансформируется в набор данных большей размерности с помощью дополнительного измерения, в рамках которого возможно выполнить линейное разделение. Дизайн исследования представлен на рисунке 1.

Результаты исследования

Группа опухоли ангиомиолипомы: 85% точности при использовании параметра «возраст», «пол», «оценка совместного распределения больших длин серий с более низкими значениями уровня серого значений GLRLM» (рис. 2).

Группа новообразований онкоцитомы: 82% точности при использовании параметров «первый дециль интенсивности серого», «второй дециль интенсивности серого», «локализация новообразований почки слева/справа», «20% усеченное среднее интенсивности серого», «5% усеченное среднее значение GLCM», «отношения площади поверхности к объему фигуры» (рис. 3).

Группа папиллярного варианта ПКР: 86% точности при

использовании параметра «мода интенсивности серого», «оценка левого фокуса Гауссовского распределения квадратов значений GLCM с нулевой диагональю», «оценка двухполярного многомерного Гауссовского распределения квадратов значений GLCM с нулевой диагональю», «индекс массы тела» (рис. 4).

Группа светлоклеточного варианта ПКР: 72% точности при использовании параметра «корреляция по энтропии значений GLCM», «эксцесс значений GLCM», «максимальный модуль отклонения среднего значения GLCM», «максимальный модуль отклонения медианы по значениям GLCM», «максимальное значение в значениях GLCM» (рис. 5).

Группа хромофобного варианта ПКР: 80% точности при использовании параметров «оценка двухфокусного многомерного Гауссовского распределения квадратов значений GLCM с нулевой диагональю», «обратная разность квадратов значений GLCM с нулевой диагональю (нормализованная)», «обратный момент разности квадратов значений GLCM с нулевой диагональю (нормализованный)», «обратная разность энергии значений GLCM», «оценка правого фокуса Гауссовского распределения квадратов значений GLCM с нулевой диагональю», «сумма энтропии значений GLCM» (рис. 6).

Обсуждение

В последнее время в мировой онкоурологической практике неуклонно отмечается рост выполняемых оперативных вмешательств при доброкачественных новообразованиях паренхимы почки. Кроме того, часть злокачественных ПКР имеет низкую степень агрессивности течения и малую скорость роста. Тем самым широко стоит вопрос о персонализации тактики лечения больных с новообразованиями паренхимы почки.

DICOM данные современных методов лучевой диагностики анализируются врачом-рентгенологом с описанием семантических признаков изображения. Специалист оценивает незначительное количество параметров: размер новообразования, топографо-анатомические взаимоотношения, градиент накопления контрастного вещества в различных фазах

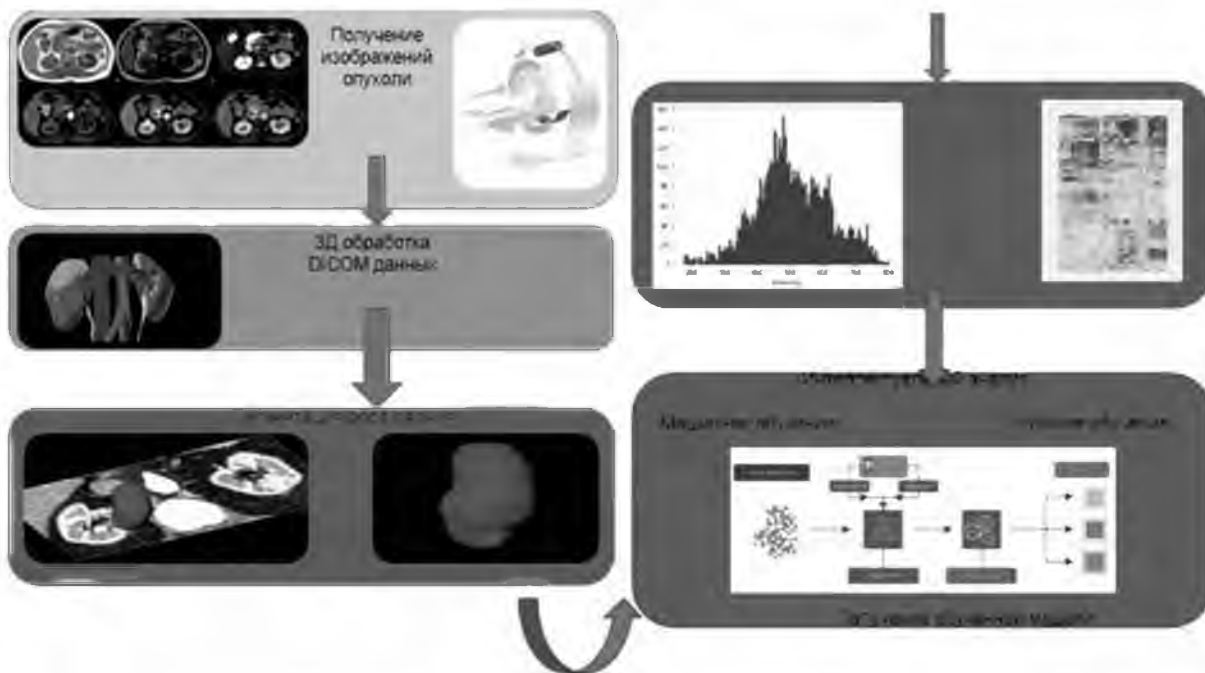


Рис. 1. Дизайн исследования.

		Predicted		
		0	1	Σ
Actual	0	46	4	50
	1	9	29	38
	Σ	55	33	88

Model Δ	AUC	CA	F1	Precision	Recall
SVM	0.852	0.852	0.851	0.855	0.852

Рис. 2. Точность прогноза ангиомиолиомы.

		Predicted		
		0	1	Σ
Actual	0	35	5	40
	1	7	20	27
	Σ	42	25	67

Model Δ	AUC	CA	F1	Precision	Recall
SVM	0.836	0.821	0.820	0.820	0.821

Рис. 3. Точность прогноза онкоцитомы.

		Predicted		
		0	1	Σ
Actual	0	46	4	50
	1	7	26	33
	Σ	53	30	83

Model Δ	AUC	CA	F1	Precision	Recall
SVM	0.903	0.867	0.866	0.867	0.867

Рис. 4. Точность прогноза папиллярного варианта ПКР.

		Predicted		
		0	1	Σ
Actual	0	75	47	122
	1	21	110	131
	Σ	96	157	253

Model Δ	AUC	CA	F1	Precision	Recall
SVM	0.792	0.731	0.727	0.740	0.731

Рис. 5. Точность прогноза светлоклеточного варианта ПКР.

		Predicted		
		0	1	Σ
Actual	0	37	3	40
	1	9	15	24
	Σ	46	18	64

Model Δ	AUC	CA	F1	Precision	Recall
SVM	0.719	0.812	0.806	0.815	0.812

Рис. 6. Точность прогноза хромофобного варианта ПКР.

исследования зоны интереса в единицах Хаунсфилда (HU) на МСКТ, интенсивность сигнала (SI) на МРТ или стандартизированное значение поглощения (SUV - Standardized Uptake Value) при позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ/КТ). Глаз человека при анализе DICOM данных МСКТ позволяет распознать интенсивность минимальной точки изображения пикселя по серому цвету. Однако изображения имеют ряд признаков различных порядков, определенную яркость, размер цвета, шероховатость, направленность, случайность, гладкость, грануляцию и прочие - оценка которых глазом вра-

ча-рентгенолога неполноценна, недостаточно точна и обременена человеческим фактором [17]. Визуальная оценка DICOM данных МСКТ позволяет установить гетерогенность изображения, но важным элементом анализа является определение степени гетерогенности опухоли. Достоверно установлено, что степень агрессивности течения различного варианта ПКР напрямую коррелирует со степенью гетерогенности визуализации [18].

Несмотря на значимые взаимосвязи между гистологическими вариантами ПКР и особенностями визуализации, результаты прогноза морфологии при оценке только качественных признаков не оптимальны. Одним из ограничений является небольшой размер новообразований <2см, при этом добавление количественных характеристик в анализ показывают достоверно более высокую точность предикации варианта опухоли [19].

В нашем исследовании точность прогноза морфологической природы новообразований паренхимы почки, в группах пациентов со злокачественными новообразованиями составила: 72%; 80% и 86,6% для светлоклеточного, хромофобного и папиллярного вариантов ПКР соответственно. В наблюдениях с доброкачественными опухолями паренхимы почки точность предикации гистологии в двух группах: 82% онкоцитома и 85% ангиомиолиома. Полученные результаты точности прогноза были достигнуты за счет включения в интеллектуальный анализ, кроме текстурных характеристик и геометрических расчетов формы опухоли, также клинических и демографических данных больных. Отличительной особенностью нашего исследования является выполнение ТА 3D моделей новообра-

зований паренхимы почки, сегментированные объёмные модели опухоли включали в себя все четыре фазы МСКТ. Полученные нами результаты подтверждаются в исследовании Garnier С. и соавтр., где авторы выполнили оценку прогностических моделей машинного обучения в дифференциальной диагностике доброкачественных и злокачественных новообразований паренхимы почки с включением клинических данных пациентов и без них, и установили, что мультимодальная модель (клинические, рентгенологические и радиомические показатели) показала наилучшую прогностическую производительность с чувствительностью 95%, точностью 87% и AUC (Area under curve - площадь под кривой) - 0,74 [20]. Противоположные результаты установлены в работе Budai В.К. и соавтр., - модель, обученная на алгоритме машинного обучения методе опорных векторов с использованием клинических данных, особенностей формы показала наибольшую производительность при использовании только кортикомедулярной фазы (AUC 0,87), объединение с нативной и выделительными фазами ухудшили прогностические характеристики. В исследовании использованы обобщенные общедоступные (база данных KITS19 - The official repository of the 2019 Kidney and Kidney Tumor Segmentation Challenge) радиомические характеристики опухолей, все результаты, обученные модели прошли внешнее тестирование, но необходимо отметить, что исследователи дифференцировали только две группы наблюдений светлоклеточный ПКР и несветлоклеточный вариант ПКР [21].

При анализе проведенных аналогичных исследований в мире в прогнозе морфологии новообразований в основном, для ТА используются DICOM данные в формате 2D, а также используются отобранные срезы без полного учета всего объема опухоли, одной или нескольких фаз МСКТ и/или режимов МРТ [22-25].

Так в исследовании Wang W. и соавтр., установлены значимые радиомические особенности среди трех вариантов ПКР (светлоклеточный, папиллярный, хромофобный), однако в анализ алгоритмов машинного обучения включены только 39 текстовых характеристик МРТ в режиме 2D, при этом точность прогноза всех трех морфологических вариантов ПКР составила до 71,4%, а после перекрестной проверки точность составила 66,2% [22].

В другой работе Yasar S. и соавтр., выполнен ТА кортикомедулярной фазы МСКТ с извлечением 58 характеристик, точность модели прогноза по показателю AUC составила до 0,695 для различения светлоклеточного и несветлоклеточного ПКР, кроме того исследователи установили значимые различия между ПКР низкой и высокой степени злокачественности [23].

В исследовании Chen M. и соавтр., выполнялась дифференциальная диагностика светлоклеточного от несветлоклеточного вариантов ПКР, особенностью работы является применение

комбинированной диагностической модели, состоящей из 3D объема новообразования, трех фаз МСКТ с учетом результатов оценки контрастного усиления и затухания в участке опухоли и аорты, точность предикации модели по показателю AUC составило 0,900 [24].

В работе Yu H. et al., показатели прогноза РМ в дифференциальной диагностике одного вида опухоли от других вариантов ПКР и онкоцитомы были установлены при использовании алгоритма машинного обучения опорных векторов показателем AUC составили от 0,85 до 0,92, максимальный показатель AUC 0,99 продемонстрировал алгоритм для дифференциации папиллярного ПКР от онкоцитомы. Однако авторы выполнили ТА только 10 срезов из средней части опухоли, формата 2D венозной фазы МСКТ, также в анализ не включены ангиомиолипому [25]. Эти результаты получены на небольшом объеме информации, при этом показаны превосходящие характеристики точности - что сильно разнится с многими работами и вызывает большой интерес к методике.

Положительными сторонами нашего исследования является выполнение ТА 3D моделей опухоли, выполненных на основании оценки всех четырех фаз МСКТ брюшной полости с контрастированием, использование в прогнозировании расширенного набора данных - клинических, демографических, формы опухоли.

Также, мы исследовали точность прогноза одновременно и злокачественных и доброкачественных образований с определением показателей для каждого вида опухоли.

Недостатками нашего исследования явилась небольшая выборка пациентов, малое количество наблюдений в отдельных группах новообразований, одноцентровой и ретроспективный характер исследования.

Целесообразно планирование и проведение многоцентровых проспективных исследований с большим количеством наблюдений, с целью расширения использования радиомики в медицине и повышения точности исследования, для широкого применения персонализированного подхода при выборе методов лечения пациентов с новообразованиями паренхимы почки.

Заключение

Применение ТА 3D построений новообразований паренхимы почки выявило удовлетворительное качество моделей для большинства гистологических видов в прогнозе морфологической принадлежности новообразований паренхимы почки. Большое количество параметров статистики первого и второго порядка, а также параметров, полученных при анализе формы опухоли, позволяет отбирать комбинации наилучших параметров и строить модели прогнозирования для каждого типа морфологии отдельно. ■

Список литературы/References

1. Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О. Состояние онкологической помощи населению России в 2022 году. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2022; 239.

Kaprin AD, Starinskii VV, Shakhzadova AO. Condition of oncological care for the population of Russia in 2022. Moscow: P.A. Hertsen MORI branch of the FSBI «NMMRC» of the Ministry of Health of Russia, 2022; 239 [In Russ].

2. Bukavina L, Bensalah K, Bray F, et al. Epidemiology of Renal Cell Carcinoma: 2022 Update. *Eur Urol.* 2022; 82(5): 529-542. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2022.08.019>

3. Ouzaid I. Kidney cancer. *Progres en Urologie - FMC.* 2017; 22(6): F43-F45.

<https://doi.org/10.1016/j.fpurol.2017.04.004>

4. Johnson DC, Vukina J, Smith AB, et al. Preoperatively misclassified, surgically removed benign renal masses: a systematic review of surgical series and United States population level burden estimate. *J. Urol.* 2015; 193(1): 30-35.

<https://doi.org/10.1016/j.juro.2014.07.102>

5. Hollingsworth JM, Miller DC, Daignault S, Hollenbeck BK. 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>

6. Decastro GJ, McKiernan JM. Epidemiology, clinical staging, and presentation of renal cell carcinoma. *Urol. Clin. North Am.* 2008; 35(4): 581-592.

<https://doi.org/10.1016/j.ucl.2008.07.005>

7. Frank I, Blute ML, Chevillie JC, et al. Solid renal tumors: an analysis of pathological features related to tumor size. *J. Urol.* 2003; 170(6): 2217-2220.

<https://doi.org/10.1097/01.ju.0000095475.12515.5e>

8. Kang SK, Zhang A, Pandharipande PV, et al. DWI for renal mass characterization: systematic review and meta-analysis of diagnostic test performance. *AJR Am J Roentgenol.* 2015; 205(2): 317-324.

<https://doi.org/10.2214/AJR.14.13930>

9. 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>

10. Liu Z, Wang S, Dong D, et al. The applications of radiomics in precision diagnosis and treatment of oncology: Opportunities and challenges. *Theranostics.* 2019; 9(5): 1303-1322.

<https://doi.org/10.7150/thno.30309>

11. Gill TS, Varghese BA, Hwang DH, et al. Juxtatumoral perinephric fat analysis in clear cell renal cell carcinoma. *Abdom. Radiol.* 2019; 44(4): 1470-1480.

<https://doi.org/10.1007/s00261-018-1848-x>

12. Kocak B, Yardimci AH, Bektas CT, 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; 107: 149-157.

<https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.08.014>

13. Varghese BA, Chen F, Hwang DH, et al. Differentiation of predominantly solid enhancing lipid-poor renal cell masses by use of contrast-enhanced CT: Evaluating the role of texture in tumor subtyping. *Am. J. Roentgenol.* 2018; 211(6): W288-W296.

<https://doi.org/10.2214/AJR.18.19551>

14. 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; 29(12): 6922-6929.

<https://doi.org/10.1007/s00330-019-06260-2>

15. Kocak B, Durmaz ES, Ates E, Ulsan MB. Radiogenomics in clear cell renal cell carcinoma: Machine learning-based high-dimensional quantitative CT texture analysis in predicting PBRM1 mutation status. *Am. J. Roentgenol.* 2019; 212(3): W55-W63.

<https://doi.org/10.2214/AJR.18.20443>

16. Аляев Ю.Г., Сирота Е.С., Проскура А.В. Цифровизация операций при опухолях почки. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2021; 10-35.

Alyayev YG, Sirota ES, Proskura AV Digitalization of operations for kidney tumors. Moscow: GEOTAR-Media, 2021; 10-35 [In Russ].

17. Сирота Е.С., Гордуладзе Д.Н., Рапопорт Л.М. и др. Неинвазивная морфологическая диагностика локализованных образований паренхимы почки (пилотное исследование). *REJR.* 2021; 11(4):94-104.

Sirota ES, Gorduladze DN, Rapoport LM, et al. Noninvasive morphological diagnosis of localized formations of renal parenchyma (pilot study). *REJR.* 2021; 11(4): 94-104 [In Russ].

<https://doi.org/10.21569/2222-7415-2021-11-4-94-104>

18. Jung SC, Cho JY, Kim SH. Subtype differentiation of small renal cell carcinomas on three-phase MDCT: usefulness of the measurement of degree and heterogeneity of enhancement. *Acta Radiologica.* 2012; 53(1): 112-118.

<https://doi.org/10.1258/ar.2011.110221>

19. Lee-Felker SA, Felker ER, Tan N, et al. Qualitative and Quantitative MDCT Features for Differentiating Clear Cell Renal Cell Carcinoma From Other Solid Renal Cortical Masses. *American Journal of Roentgenology.* 2014; 203(5): W516-W524.

<https://doi.org/10.2214/AJR.14.12460>

20. Garnier C, Ferrer L, Vargas J, et al. A CT-Based Clinical, Radiological and Radiomic Machine Learning Model for Predicting Malignancy of Solid Renal Tumors (UroCCR-75). *Diagnostics (Basel).* 2023; 13(15): 2548.

<https://doi.org/10.3390/diagnostics13152548>

21. Budai BK, Stollmayer R, Rónaszéki AD, et al. Radiomics analysis of contrast-enhanced CT scans can distinguish between clear cell and non-clear cell renal cell carcinoma in different imaging protocols. *Front. Med.* 2022; 9: 974485.

<https://doi.org/10.3389/fmed.2022.974485>

22. Wang W, Cao K, Jin S, et al. Differentiation of renal cell carcinoma subtypes through MRI-based radiomics analysis. *European Radiology.* 2020; 30(10): 5738-5747.

<https://doi.org/10.1007/s00330-020-06896-5>

23. Yaşar S, Voyvoda N, Voyvoda B, Özer T. Using texture analysis as a predictive factor of subtype, grade and stage of renal cell carcinoma. *Abdominal Radiology.* 2020; 45: 3821-3830.

<https://doi.org/10.1007/s00261-020-02495-6>

24. Chen M, Yin F, Yu Y, et al. CT-based multi-phase Radiomic models for differentiating clear cell renal cell carcinoma. *Cancer Imaging.* 2021; 21(1).

<https://doi.org/10.1186/s40644-021-00412-8>

25. Yu H, Scalera J, Khalid M, et al. Texture analysis as a radiomic marker for differentiating renal tumors. *Abdominal Radiology.* 2017; 42(10): 2470-2478.

<https://doi.org/10.1007/s00261-017-1144-1>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

КОНЫШЕВ АНТОН ВАЛЕРЬЕВИЧ - [ORCID: 0009-0006-0038-4341]

врач-уролог, соискатель,

Институт урологии и репродуктивного здоровья человека, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), 119435 Российская Федерация, г. Москва, ул. Пироговская, 2 стр. 1;

ГЛЫБОЧКО ПЕТР ВИТАЛЬЕВИЧ - [ORCID: 0000-0002-5541-2251]

д.м.н., профессор, академик РАН, ректор,

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), 119435 Российская Федерация, г. Москва, ул. Пироговская, 2 стр. 1;

БУТНАРУ ДЕНИС ВИКТОРОВИЧ - [ORCID: 0000-0003-2173-0566]

к.м.н., доцент, врач-уролог, заместитель директора по научной работе,

Институт урологии и репродуктивного здоровья человека, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), 119435 Российская Федерация, г. Москва, ул. Пироговская, 2 стр. 1;

АЛЯЕВ ЮРИЙ ГЕННАДЬЕВИЧ - [ORCID: 0000-0002-2937-0983]

д.м.н., профессор, член-корр. РАН,

Институт урологии и репродуктивного здоровья человека,

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет),

119435 Российская Федерация, г. Москва, ул. Пироговская, 2 стр. 1;

СИРОТА ЕВГЕНИЙ СЕРГЕЕВИЧ - [ORCID: 0000-0001-6419-0155]

д.м.н., врач-уролог, онколог, руководитель центра нейросетевых технологий,

Институт урологии и репродуктивного здоровья человека,

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет),

119435 Российская Федерация, г. Москва, ул. Пироговская, 2 стр. 1;

ЧЕРНЕНЬКИЙ МИХАИЛ МИХАЙЛОВИЧ - [ORCID: 0000-0002-4001-5317]

инженер-физик,

Институт урологии и репродуктивного здоровья человека,

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет),

119435 Российская Федерация, г. Москва, ул. Пироговская, 2 стр. 1;

ЧЕРНЕНЬКИЙ ИВАН МИХАЙЛОВИЧ - [ORCID: 0000-0001-5968-9883]

инженер-программист,

Институт урологии и репродуктивного здоровья человека,

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет),

119435 Российская Федерация, г. Москва, ул. Пироговская, 2 стр. 1;

ФИЕВ ДМИТРИЙ НИКОЛАЕВИЧ - [ORCID: 0000-0002-0401-8780]

д.м.н., врач-уролог, главный научный сотрудник,

Институт урологии и репродуктивного здоровья человека,

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет),

119435 Российская Федерация, г. Москва, ул. Пироговская, 2 стр. 1;

ПРОСКУРА АЛЕКСАНДРА ВЛАДИМИРОВНА - [ORCID: 0000-0003-0441-4799]

к.м.н., врач-уролог, врач-онколог, ассистент,

Институт урологии и репродуктивного здоровья человека,

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет),

119435 Российская Федерация, г. Москва, ул. Пироговская, 2 стр. 1;

АДЖИЕВ АЛИКЛЫЧ РАШИДОВИЧ - [ORCID: 0009-0004-1683-6475]

аспирант,

Института урологии и репродуктивного здоровья человека,

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет),

119435 Российская Федерация, г. Москва, ул. Пироговская, 2 стр. 1;

АМРАХОВ САБУХИ МАХИР-ОГЛЫ - [ORCID: 0009-0005-3012-9520]

врач-уролог, аспирант,

Институт урологии и репродуктивного здоровья человека,

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет),

119435 Российская Федерация, г. Москва, ул. Пироговская, 2 стр. 1;

ИЗМАЙЛОВА АНГЕЛИНА АДЕЛЬЕВНА - [ORCID: 0000-0003-0328-0944]

студентка 5 курса,

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет),

119435 Российская Федерация, г. Москва, ул. Пироговская, 2 стр. 1;

САРКИСЬЯН ИГОРЬ ПАВЛОВИЧ - [ORCID: 0000-0002-5364-8295]

студент 4 курса,

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет),

119435 Российская Федерация, г. Москва, ул. Пироговская, 2 стр. 1;

ГРИДИН ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ - [ORCID: 0000-0002-6361-9113]

д.т.н., профессор, научный руководитель,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Центр информационных технологий в проектировании (ЦИТП) РАН,

143000 Российская Федерация, Московская область,

г. Одинцово, ул. Маршала Жукова, 30а;

БОЧКАРЕВ ПЁТР ВЛАДИМИРОВИЧ - [ORCID: 0000-0002-5464-2733]

младший научный сотрудник,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Центр информационных технологий в проектировании (ЦИТП) РАН,

143000 Российская Федерация, Московская область,

г. Одинцово, ул. Маршала Жукова, 30а;

КУЗНЕЦОВ ИГОРЬ АЛЕКСАНДРОВИЧ - [ORCID: 0000-0001-6905-2464]

к.т.н., доцент, заведующий лабораторией,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Центр информационных технологий в проектировании (ЦИТП) РАН,

143000 Российская Федерация, Московская область,

г. Одинцово, ул. Маршала Жукова, 30а.

Конфликт интересов, информация о клинической базе и финансировании

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Исследование не имело спонсорской поддержки (собственные ресурсы). Работа выполнена на базе на базе Института Урологии и репродуктивного здоровья человека Сеченовского Университета.