

НЕИНВАЗИВНАЯ МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПАРЕНХИМЫ ПОЧКИ (ПИЛОТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

Сирота Е.С.¹, Гордуладзе Д.Н.¹, Рапопорт А.М.¹, Гридин В.Н.²,
Цариченко Д.Г.¹, Кузнецов И.А.², Бочкарёв П.В.², Аляев Ю.Г.¹

1 - ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), г. Москва, Россия

2 - ФГБУН, центр информационных технологий в проектировании Российской академии наук, г. Одинцово, Россия.

Цель исследования. Оценить возможности текстурного анализа 3D моделей патологического процесса в морфологической диагностике локализованных образований паренхимы почки.

Материалы и методы. В ретроспективное исследование включены 50 пациентов с выполненными лапароскопическими резекциями почки. Наблюдения разделены на 5 одинаковых групп. 3 группы составили больные со злокачественными опухолями: светлоклеточный почечно-клеточный рак (ПКР) G1, папиллярный ПКР 1 типа G1 и хромофобный ПКР. В 2 группы включены пациенты с доброкачественными образованиями: ангиомиолипома, онкоцитомы. Всем больным проведено 3D виртуальное планирование операций посредством программы 3D моделирования «Amiga». Текстурному анализу были подвергнуты 3D модели опухолей. В оценке гистограмм новообразований использовались 4 текстурных признака статистики первого порядка: среднее значение интенсивности пикселей уровня серого, среднеквадратичное отклонение интенсивности пикселей уровня серого, коэффициент асимметрии и эксцесса. 6 текстурных характеристик статистики второго порядка: автокорреляция, энтропия, однородность, энергия, контрастность, сумма квадратов.

Для определения вида морфологии образований и точности классификации были применены алгоритмы машинного обучения, где наилучший результат продемонстрировал алгоритм «Логистическая регрессия», в котором использовалась статистика первого и второго порядка в качестве входных параметров.

Результаты. Группа новообразований ангиомиолипомы: 80% точности при использовании параметра «автокорреляция» совместно с параметром «контрастность». Группа новообразований онкоцитомы: 70% точности при использовании параметров «энтропия» и «эксцесс». Аналогичный результат может быть получен при использовании параметров «эксцесс» и «контрастность». Группа папиллярного ПКР: 70% точности при использовании параметра «автокорреляция» совместно с суммой квадратов. Группа светлоклеточного ПКР: 50% точности при использовании параметра «среднее значение», либо параметра «среднее отклонение». Группа хромофобного ПКР: 70% точности при использовании параметров «автокорреляция», «контрастность», «энтропия» и «энергия».

Заключение. Использование текстурного анализа 3D моделей образований почки позволило морфологически верифицировать злокачественные опухоли паренхимы почки с точностью 50%; 70%; 80% (светлоклеточный ПКР; хромофобный ПКР; папиллярный ПКР) и доброкачественные новообразования с точностью 70%, 80% (онкоцитомы, ангиомиолипома).

Ключевые слова: рак почки, текстурный анализ, резекция почки, 3D моделирование, машинное обучение.

Контактный автор: Сирота Е.С., e-mail: essirota@mail.ru.

Для цитирования: Сирота Е.С., Гордуладзе Д.Н., Рапопорт А.М., Гридин В.Н., Цариченко Д.Г., Кузнецов И.А., Бочкарёв П.В., Аляев Ю.Г. Неинвазивная морфологическая диагностика ло-

Статья получена: 21.09.21

Статья принята: 02.12.21

NONINVASIVE MORPHOLOGICAL DIAGNOSTICS OF LOCALIZED RENAL PARENCHYMAL NEOPLASMS (PILOT STUDY)

Sirota E.S.¹, Gorduladze D.N.¹, Rapoport L.M.¹, Gridin V.N.²,
Tsarichenko D.G.¹, Kuznetsov I.A.², Bochkarev P.V.², Alyaev Y.G.¹

1 - Institute of Urology and Reproductive Health, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University. Moscow, Russia.

2 - Design Information Technologies Center Russian Academy of Sciences. Odintsovo, Russia.

Purpose. To evaluate utility of 3D model texture analysis of the pathological process for morphological diagnostics of localized renal parenchymal neoplasms.

Material and methods. Retrospective research was performed, including 50 patients with executed laparoscopic renal resections. All cases were divided into 5 similar groups. 3 groups were consisted of patients with malignant tumors: clear cell renal cell carcinoma (RCC) G1, papillary RCC type 1 G1 and chromophobe RCC. 2 groups included patients with benign neoplasms: angiomyolipoma and oncocytoma. All patients underwent 3D virtual surgery planning using the 3D modeling program "Amira". 3D models of tumors were undergone to textural analysis. For assessment of tumor histograms were used 4 features of 1st order statistics: mean of gray level intensity, standard deviation of gray level intensity, skewness and kurtosis. 6 textural characteristics of 2nd order statistics: autocorrelation, entropy, uniformity, energy, contrast and sum of squares. Machine learning algorithms were used to determine morphological types of neoplasms and calculate classification accuracy. The best result was demonstrated by the "Logistic Regression" algorithm, which used first- and second-order statistics as input parameters.

Results. Group of angiomyolipoma had 80% accuracy using autocorrelation and contrast parameters. Group of oncocytoma had 70% accuracy using entropy and kurtosis parameters or entropy and contrast parameters. Group of papillary RCC had 70% accuracy using autocorrelation and sum of squares parameters. Group of clear cell RCC had 50% accuracy using mean of gray level intensity or standard deviation parameter. Chromophobe RCC had 70% accuracy using autocorrelation, contrast, entropy and energy parameters.

Conclusion. The use of textural analysis of 3D models of kidney formations made it possible to morphologically verify malignant tumors of the kidney parenchyma with an accuracy of 50%; 70%; 80% (light cell RCC; chromophobic RCC; papillary RCC) and benign neoplasms with an accuracy of 70%; 80% (oncocytoma, angiomyolipoma).

Keywords: renal cancer, texture analysis, renal resection, 3D modeling, machine learning.

Corresponding author: Sirota E.S., e-mail: essirota@mail.ru.

For citation: Sirota E.S., Gorduladze D.N., Rapoport L.M., Gridin V.N., Tsarichenko D.G., Kuznetsov I.A., Bochkarev P.V., Alyaev Y.G. Noninvasive morphological diagnostics of localized renal parenchymal neoplasms (pilot study). REJR 2021; 11(4):94-104. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-4-94-104.

Received: 21.09.21

Accepted: 02.12.21

Почечно-клеточный рак (ПКР) составляет 2% среди всех первично выявленных случаев злокачественных новообразований в мире [1]. Заболеваемость ПКР за последние 20 лет сохраняет тенденцию к росту, однако, отмечается миграция стадий с превалированием наблюдений на стадии (ст.) T1 и уменьшением числа пациентов на ст. T3-4 [1-2].

Рост наблюдений ПКР ст. T1 связана с использованием современных методов лучевой диагностики и достигла предела. Дальнейшее улучшение ранней диагностики ПКР возможно лишь за счет разработки онкомаркеров [2].

Рекомендуемой лечебной тактикой у пациентов ПКР на ст. T1 является хирургическое лечение в объёме органосохраняющих или органосохраняющих операций (ОСО) с использованием различных хирургических доступов [3-5].

По данным ряда мировых исследователей у 30% больных с выполненными ОСО по результатам гистологического исследования окончательно верифицируется доброкачественный характер опухоли [6]. Кроме того, >30% пациентов ПКР, оперируемых на ст. T1, имеют низкий биологический потенциал злокачественности со степенью клеточной ядерной анаплазии G1-2 [7].

В связи с этим возникает необходимость получения информации о морфологии образований паренхимы почки для более персонализированного подхода в определении тактики лечения.

Мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) брюшной полости с целью определения морфологической природы образований паренхимы почки обладает 70-80% специфичностью и 20% точностью в верификации ПКР, однако посредством МСКТ невозможно определить тип гистопатологии [8].

Морфологическое подтверждение злокачественного характера образований паренхимы почки перед выполнением хирургического лечения в настоящее время не является обязательным. Проведение чрескожной биопсии (ЧБ) рекомендовано пациентам при планировании активного наблюдения, выполнении аблативных методов лечения, в наблюдениях с множественными образованиями паренхимы почки, а также для определения объёма лекарственной терапии при диссеминированном ПКР у пациентов без хирургического лечения [3-5].

Чрескожная биопсия, несмотря на высокую чувствительность 96,3% и специфич-

ность 96,0% в диагностике морфологии ПКР, может сопровождаться рядом осложнений с частотой от 0,4-4,9%, причина которых заключается в инвазивности процедуры забора материала [9].

В связи с вышеизложенными факторами, имеется необходимость разработки методики неинвазивной морфологической диагностики.

Текстурный анализ (ТА) данных лучевых методов визуализации позволяет объективно оценить фенотип изображения локализованного образования паренхимы почки. Для анализа изображения используются методики интеллектуальной оценки данных посредством компьютерных программ с применением статистики (первого, второго и высших порядков), моделей (создание модели, характерной для определенного изображения), метода преобразования (начертательная геометрия общего положения геометрической фигуры относительно плоскости проекции к частному) [10]. На данный момент в мировой практике проведён ряд исследований, оценивающих возможности ТА 3D моделей образований паренхимы почки, но их количество очень мало, а результаты противоречивы [11-12].

Цель исследования.

Оценка возможности текстурного анализа 3D моделей патологического процесса в морфологической диагностике локализованных образований паренхимы почки.

Материалы и методы.

В ретроспективное исследование были включены результаты лапароскопических ОСО 50 пациентов с локализованными образованиями паренхимы почки с стадией T1a. Средний возраст пациентов составил 55,90 лет ($\pm 9,30$ лет). Мужчин было 25(50%), женщин-25(50%). Средний объём опухоли в анализируемой группе больных составил 18,92 мм³ ($\pm 14,88$ мм³). Все пациенты были разделены на 5 групп по 10 наблюдений в зависимости от морфологической формы новообразований паренхимы почки. Злокачественные раки составили первые 3 группы в зависимости от гистологической формы: светлоклеточный ПКР G1, папиллярный ПКР 1 типа G1, хромофобный ПКР, а в оставшиеся 2 группы были включены пациенты с доброкачественными опухолями: ангиомиолипома, онкоцитомы. Всем больным перед операцией выполнена МСКТ, исследования выполнялись на мультиспиральных компьютерных томографах Toshiba Aquilion One 640 или Toshiba Aquilion multi 320 (Япония). Выборка пациентов в исследовании была однородной по показателям индекса массы тела, средний

индекс массы тела составил 27,43(±7,9 кг/м²). 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 в сек.

- Среднее значение интенсивности уровня серого цвета.
 - Среднеквадратичное отклонение интенсивности уровня серого цвета.
 - Асимметрия – отражает насколько симметрично распределение гистограммы интенсивности уровня серого цвета.
 - Эксцесс – описывает, является ли статистическое распределение интенсивности более распределенным или более концентрированным вокруг среднего значения.
- Статистика второго порядка извлекается из матрицы, построенной на межпиксельной корреляции исходного изображения:
- Автокорреляция – меры измерения

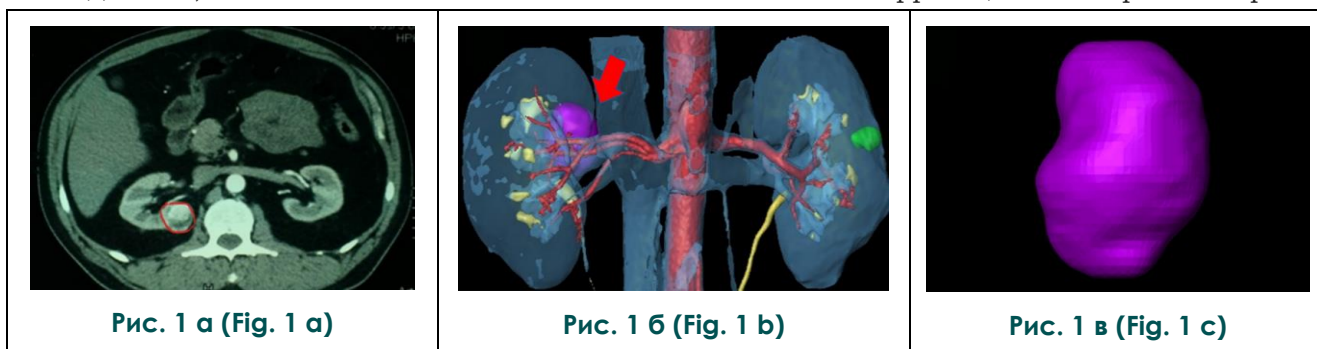


Рис. 1. Больной Л., 46 лет. МСКТ с контрастированием, паренхиматозная фаза, аксиальная реконструкция.

- а - образование правой почки, ручное выделение образования (контур красный цвет);
- б - 3D моделирование вид спереди, опухоль правой почки (красная стрелка);
- в - выделенная 3D модель образования.

Fig. 1. Patient L, 46 year. MSCT with contrast, parenchymal phase, axial view.

- а - tumor of the right kidney, manually defined irregular ROI (red line);
- б - 3D modeling, front view, right kidney tumor (red line);
- с - dedicated 3D model of tumor.

На основании выполненной МСКТ было проведено 3D моделирование и виртуальное осуществление операций при помощи программы 3D моделирования Amiga компании VSG версии 5.4.5 (лицензия ASTND.44644), по ранее описанной методике [13]. Сегментация изображений проводилась вручную врачом лучевой диагностики, каждая опухоль была заранее оконтурена и извлечена из 3D моделей МСКТ для дальнейшего текстурного анализа (рис. 1).

Из полученных 3D моделей образований выполнен анализ текстурных характеристик. Были рассчитаны показатели статистики первого и второго порядка. Параметры статистики первого порядка извлекались непосредственно из исходного изображения, включали следующие характеристики:

интенсивности сигнала пиксела относительно цвета.

- Энтропия – описывает случайность областей относительно их соседей.
- Однородность – является мерой количества локальной однородности, присутствующей в изображении. Более высокое значение однородности связано с более плотной или более толстой структурой.
- Энергия – показывает, есть ли преобладание уровней серого цвета. Наименьшее значение энергии достигается, когда нет доминирующих уровней серого цвета, т.е. изображение однородно.
- Контрастность – представляет собой меру идентичности пикселей к их соседям по уровню интенсивности сигнала.
- Сумма квадратов – сумма квадратич-

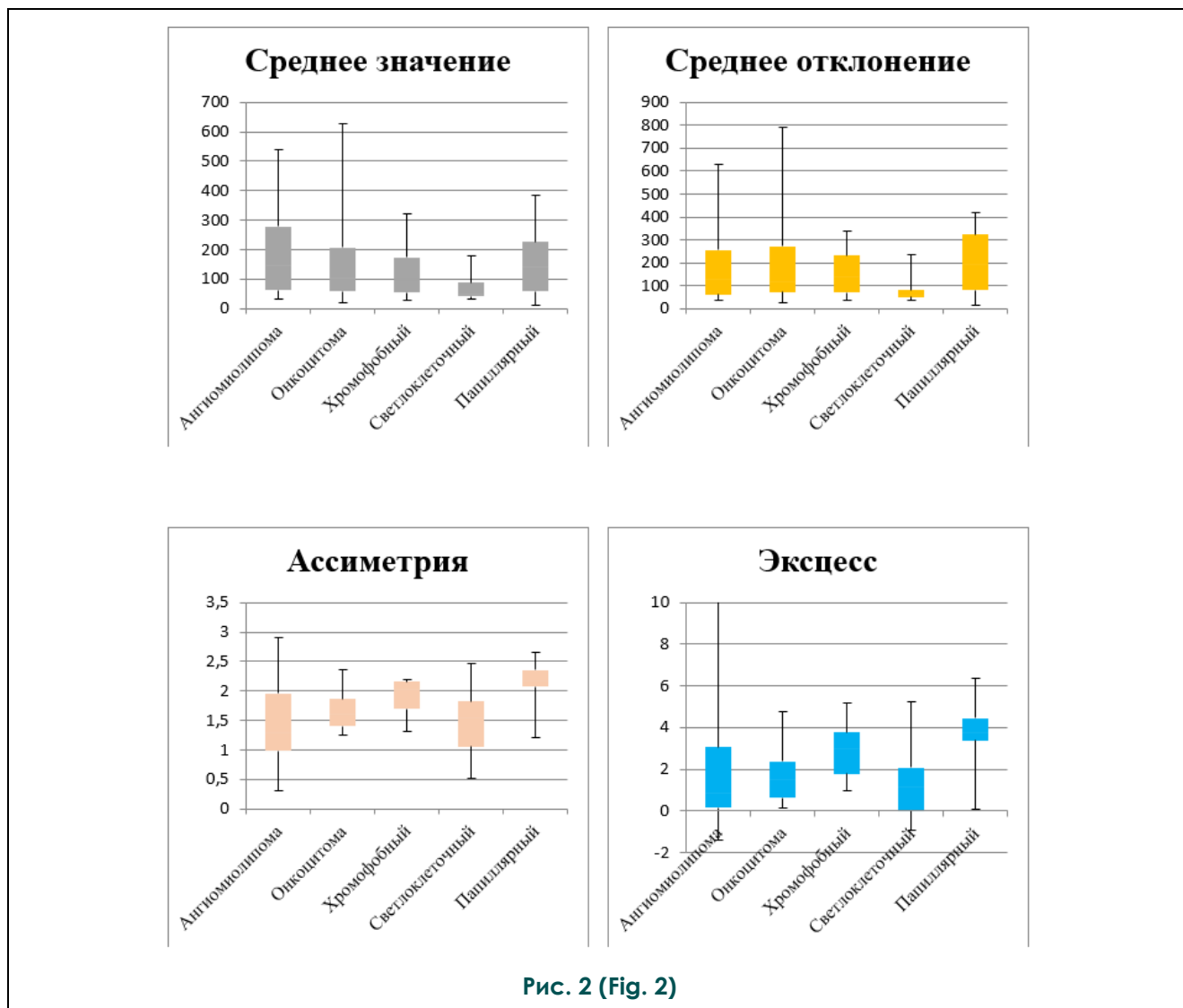


Рис. 2 (Fig. 2)

Рис. 2. Диаграмма.

Статистика первого порядка для исследуемых групп.

Fig. 2. Diagram.

1st order statistics for examined groups.

ного отклонения интенсивности уровня серого цвета.

Для определения вида морфологии образований и точности классификации был применен алгоритм машинного обучения «Логистическая регрессия», в котором использовалась статистика первого и второго порядка в качестве набора входных параметров. Перечень значимых параметров статистик первого и второго порядка были отобраны на основе проведенного исследования при выполнении классификации типа морфологии, а также выполненной комбинации рассматриваемых параметров.

Результаты исследования.

Текстурные признаки представлены вектором набора пикселей с характеристикой уровня серости от 0 до 255, оценивающую плотность объекта в 3D модели опухоли. Количество пикселей, содержащихся в образовании, варьировалось от 17 тысяч до 5 миллионов. Ниже представлены результаты значений и графическое изображение текстурных признаков статистики первого порядка (рис. 2) и второго порядка (рис. 3) для каждой из 5 групп наблюдений:

о Ангиомиолиптома

- Среднее значение от 538,17 до 30,89
- Среднеквадратичное отклонение

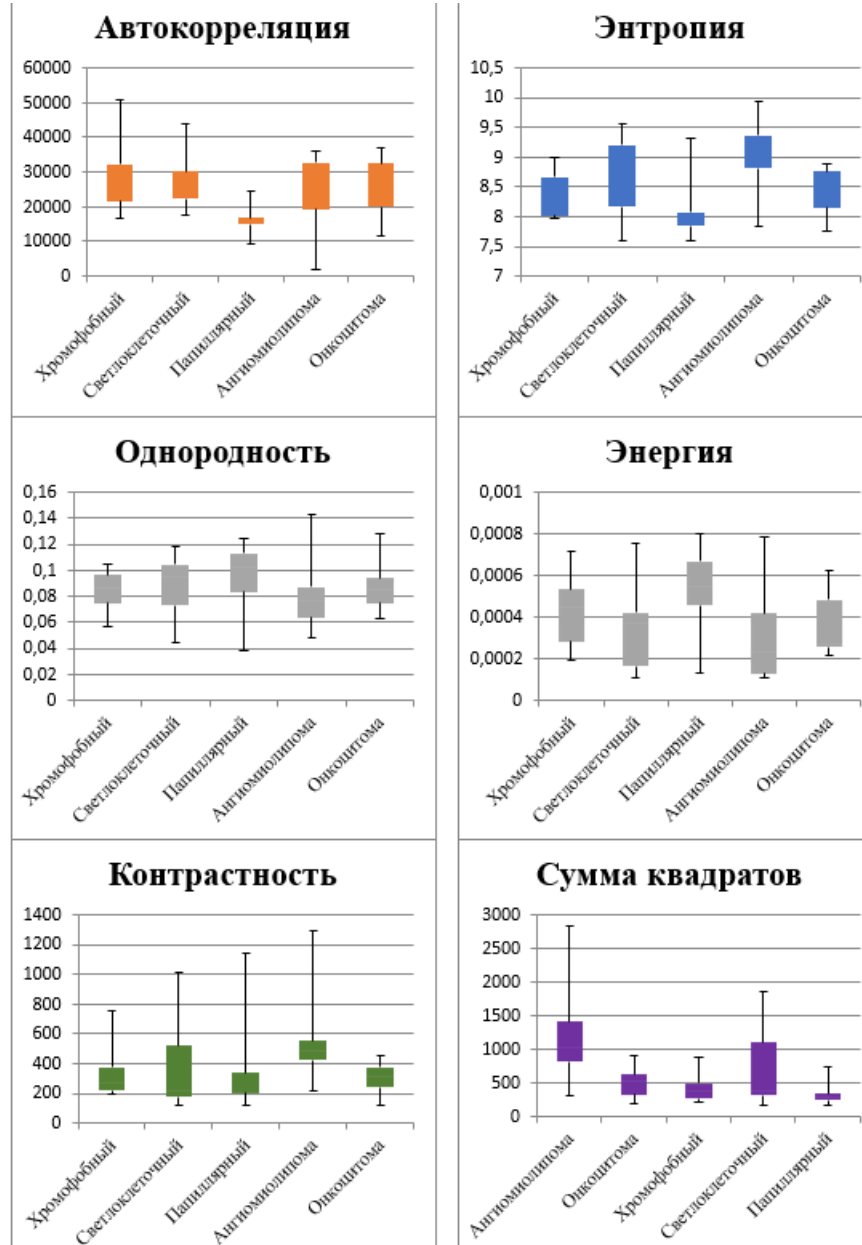


Рис. 3 (Fig. 3)

Рис. 3. Диаграмма.

Статистика второго порядка для исследуемых групп.

Fig. 3. Diagram.

2nd order statistics for examined groups.

- от 628,75 до 34,75
 - Асимметрия от 2,90 до 0,32
 - Эксцесс от 21,29 до -1,40
 - Автокорреляция от 36319,00 до 2124,43
 - Энтропия от 9,97 до 7,86
 - Однородность от 0,14 до 0,05
 - Энергия от 0,0008 до 0,0001
 - Контрастность от 1374,27 до 229,29
 - Сумма квадратов от 2828,38 до 306,97
- о Онкоцитоме*
- Среднее значение от 625,95 до 18,86
 - Среднеквадратичное отклонение от 788,74 до 26,42
 - Асимметрия от 2,37 до 1,25
 - Эксцесс от 4,77 до 0,17
 - Автокорреляция от 37145,72 до 11569,94
 - Энтропия от 8,92 до 7,79
 - Однородность от 0,12 до 0,06
 - Энергия от 0,0006 до 0,0002
 - Контрастность от 478,28 до 123,33
 - Сумма квадратов от 917,47 до 205,22
- о Хромофобный ПКР*
- Среднее значение от 323,45 до 29,21
 - Среднеквадратичное отклонение от 340,08 до 39,01
 - Асимметрия от 2,20 до 1,31
 - Эксцесс от 5,20 до 0,98
 - Автокорреляция от 51159,16 до 16985,15
 - Энтропия от 9,02 до 7,99
 - Однородность от 0,10 до 0,06
 - Энергия от 0,0007 до 0,0002
 - Контрастность от 782,54 до 210,19
 - Сумма квадратов от 884,05 до 216,18
- о Папиллярный ПКР*
- Среднее значение от 383,58 до 10,86
 - Среднеквадратичное отклонение от 421,36 до 14,92
 - Асимметрия от 2,65 до 1,20
 - Эксцесс от 6,36 до 0,10
 - Автокорреляция от 24566,32 до 9313,53
 - Энтропия от 9,33 до 7,61
 - Однородность от 0,12 до 0,04
 - Энергия от 0,0008 до 0,0001
 - Контрастность от 1181,43 до

- 130,63
 - Сумма квадратов от 739,88 до 164,41
- о Светлоклеточный ПКР*
- Среднее значение от 179,73 до 33,36
 - Среднеквадратичное отклонение от 236,94 до 39,20
 - Асимметрия от 2,47 до 0,51
 - Эксцесс от 5,23 до -0,90
 - Автокорреляция от 44277,59 до 18016,46
 - Энтропия от 9,59 до 7,63
 - Однородность от 0,11 до 0,04
 - Энергия от 0,0007 до 0,0001
 - Контрастность от 1061,91 до 132,90
 - Сумма квадратов от 1866,24 до 179,93

Полученные характеристики текстурных признаков использовались для создания моделей при помощи алгоритмов машинного обучения, направленных на поиск скрытых закономерностей в определении морфологической принадлежности образований паренхимы почки. Для демонстрации принципов работы алгоритмов машинного обучения был дополнительно реализован алгоритм «Дерево решений», позволяющий представить в наглядном виде схему для нахождения злокачественных и доброкачественных новообразований (рис. 4).

На основании используемых алгоритмов машинного обучения сформированы модели, включающие сочетание различных 10 текстурных признаков первого и второго порядков. В моделях были проанализированы 10 наблюдений из каждой группы по морфологической принадлежности. Точность диагностики для каждой группы варьировала от 50 до 80%:

- группа новообразований ангиомиолипомы: 80% точности при использовании параметра «автокорреляция» совместно с параметром «контрастность»;
- группа новообразований онкоцитомы: 70% точности при использовании параметров «энтропия» и «эксцесс». Аналогичный результат может быть получен при использовании параметров «эксцесс» и «контрастность».
- группа папиллярного ПКР: 80% точности при использовании параметров «автокорреляция» и «сумма квадратов»;
- группа светлоклеточного ПКР: 50% точности при использовании параметра «среднее значение», либо параметра «среднее отклонение»;

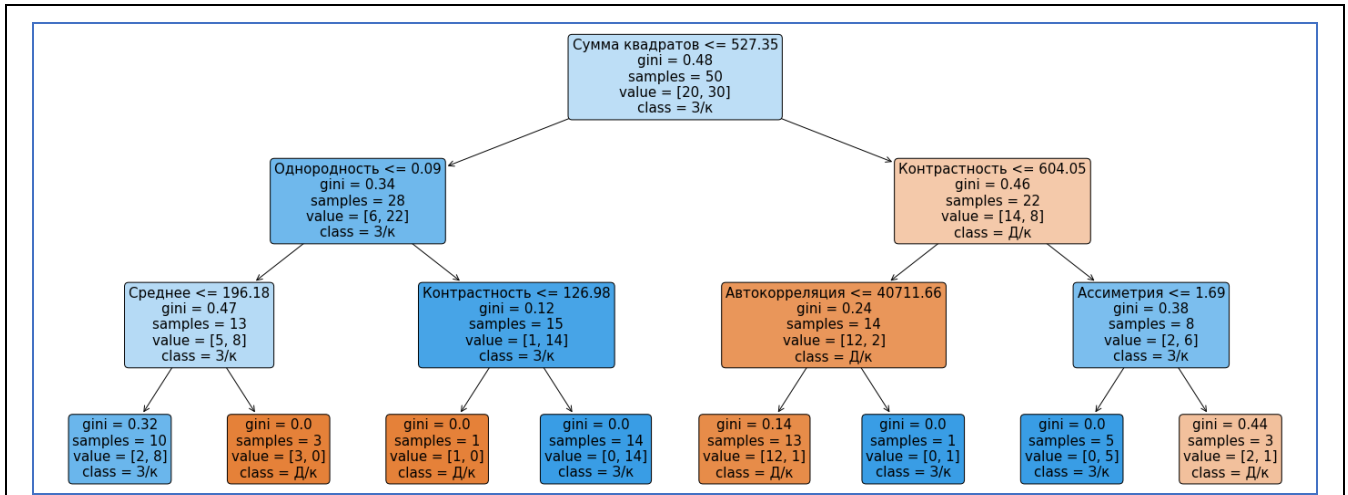


Рис. 4 (Fig. 4)

Рис. 4. Пример алгоритма «Дерево решений» для определения злокачественных и доброкачественных новообразований.

Fig. 4. An example of the "Decision Tree" algorithm for determination of malignant and benign neoplasms.

- группа хромофобного ПКР: 70% точности при использовании параметров «автокорреляция», «контрастность», «энтропия» и «энергия».

Обсуждение.

При анализе современных методов лучевой диагностики используется визуальная оценка врачом лучевой диагностики. В своём заключении специалист использует небольшой объём объективно измеряемых параметров: размер патологического образования, топографо-анатомические взаимоотношения, количественные характеристики зоны интереса (ROI), среднее значение параметра, например, единица Хаунсфилда (HU) на МСКТ, интенсивность сигнала (SI) на МРТ или стандартизированное значение поглощения (SUV) на ПЭТ, но эти параметры не отражают пространственное распределение данных характеристик. Глаз человека распознаёт текстуру лучевой визуализации как сложный узор, состоящий из пространственно организованных, повторяющихся картин, которые имеют характерный, каким-то образом однородный, внешний вид. Локальные узоры внутри целого изображения имеют определенную яркость, размер цвета, шероховатость, направленность, случайность, гладкость, грануляцию и так далее. Полная оценка количественных характеристик современных методов лучевой диагностики глазом человека невозможна.

ТА изображения предоставляет намного больше информации о структуре и функциональных характеристиках биологических

объектов, поэтому, анализ текстурных картин является важным вопросом в обработке и понимании полученного изображения. По результатам нашего исследования точность морфологической верификации локализованных образований паренхимы почки в группах наблюдений с доброкачественными новообразованиями составила 70-80%. Полученные нами результаты отличаются от результатов работы Varghese с соавт., где точность дифференциальной диагностики групп пациентов с онкоцитомой и ангиомиолипомой от злокачественных новообразований составила 83-95% [11]. Однако в исследовании Varghese с соавт., учитывалась 31 текстурная характеристика из изображений в 2D и 3D формате, тем самым количество данных текстуры в 3 раза больше, чем в нашей работе [11]. В нашем исследовании учитывались текстурные признаки, включающие в себя 4 характеристики анализа гистограмм серого цвета и 6 показателей расположения вокселей серого цвета в пространстве на основании построения матриц Харалика [14]. Данный факт, вероятнее всего, имеет прямую зависимость в том, что увеличение включаемых в интеллектуальный анализ признаков текстуры может повышать точность дифференциальной диагностики доброкачественных и злокачественных новообразований. Точность диагностики злокачественных образований в нашей работе была наибольшей для наблюдений с папиллярным ПКР 1 типа и составил 80%, а наименьшей для группы светлоклеточного ПКР-50%. Од-

нако, если рассматривать отдельные характеристики текстурного анализа, наибольший показатель энтропии был отмечен в группе больных со светлоклеточным ПКР- $9,59 \pm 7,63$. Показатель энтропии отражает хаотичность или сложность изображения: чем меньше изображение подчинено какому-то порядку, тем выше показатель энтропии. Признак энтропии определяет степень гетерогенности новообразования и косвенно может говорить о биологическом потенциале опухоли.

С нашим предположением полностью согласуется ряд работ о дифференциальной диагностике новообразований паренхимы почки [11,15-17]. Так, в исследовании Leng с соавт., было установлено, что энтропия является основным объективным показателем гетерогенности наравне со стандартным отклонением и однородностью в дифференциальной диагностике светлоклеточного ПКР от папиллярного ПКР и ангиомиолипомы [17]. Для улучшения дифференциации злокачественных и доброкачественных новообразований можно увеличить количество текстурных признаков, путём анализа снимков с контрастным усилением в различных фазах. В работе Yар с соавт., проводится сравнение эффективности радиомических моделей на основе характеристик, извлечённых из МСКТ в различных фазах исследования. Наилучший результат был получен у моделей, построенных на основе всех 4 фаз (AUC – 0,75), по сравнению с моделями анализа без контрастного МСКТ (AUC – 0,70), кортикомедулярной (AUC – 0,70), нефрографической (AUC – 0,67) или экскреторной (AUC – 0,69) фазами [19]. Для дальнейшего увеличения эффективности текстурного анализа можно использовать анализ не двумерных (2D) изображений, как в большинстве исследований в мире, а объёмных (3D) изображений, что и стало главной особенностью нашего исследования. По нашему мнению, учет всех фаз МСКТ в 3D моделях позволяет получать полную информацию о текстуре новообразований. Наши предположения полностью согласуются с результатами исследования Yang с соавт., дифференциальной диагностике хромофобного ПКР и обеднённой жиром ангиомиолипомы. Авторы использовали ТА, были извлечены 177 и 183 текстурных признаков из 2D и 3D модели соответственно [18]. При сравнительном ROC анализе моделей, построенных посредством логистической ре-

грессии, было установлено, что 3D аналитическая модель превосходит 2D модель AUC 0,95 vs 0,81, чувствительность (SEN) 93,7% vs 87,5%, специфичность (SPE) 79,1% vs 66,6%, точность (ACC) 87,5% vs 78,5% в дифференцировке хромофобного ПКР от ангиомиолипомы [18].

В ходе выполненного пилотного исследования, по нашему мнению, на результат работы по использованию ТА в неинвазивной морфологической верификации образований паренхимы почки влияют несколько факторов: 1) выбор метода лучевой диагностики; 2) количество извлекаемых текстурных признаков; 3) принципы построения аналитических моделей; 4) алгоритмы машинного обучения. К сожалению, в небольшом количестве имеющихся работ возникают различные результаты, но во всех отмечается эффективность радиомики и ТА. В нашем исследовании, кроме положительных сторон, необходимо отметить и некоторые недостатки. Первый недостаток – ретроспективный характер работы. Другим недостатком является одноцентровой характер исследования, к тому же выполненный нами анализ был основан на небольшой выборке наблюдений.

Для устранения существующих минусов работы требуется выполнение проспективного многоцентрового исследования с большим количеством наблюдений с оценкой большего количества текстурных признаков с возможным учетом характеристик формы образований, а также демографических и клинических данных пациентов.

Заключение.

Использование ТА 3D моделей образований почки позволило морфологически верифицировать злокачественные опухоли паренхимы почки с точностью 50%; 70%; 80% (светлоклеточный ПКР; хромофобный ПКР; папиллярный ПКР) и доброкачественные новообразования с точностью 70%; 80% (онкоцитомы, ангиомиолипома).

Источник финансирования и конфликт интересов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 18-29-26013мк.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Список литературы:

1. Аксель Е.М., Матвеев В.Б. Статистика злокачественных новообразований мочевых и мужских половых органов в России и странах бывшего СССР. Онкоурология.

2019; 15 (2): 15-24. <https://doi.org/10.17650/1726-9776-2019-15-2-15-24>

2. Patel H.D., Gupta M., Joice G.A., Srivastava A., Alam R.,

- Allaf M.E. u др. *Clinical Stage Migration and Survival for Renal Cell Carcinoma in the United States*. *Eur Urol Oncol*. 2019; 2 (4): 343-348. doi: 10.1016/j.euo.2018.08.023.
3. Campbell S., Uzzo R.G., Allaf M.E., Bass E.B., Cadeddu J.A., Chang A., u др. *Renal Mass and Localized Renal Cancer: AUA Guideline*. *J Urol*. 2017; 198 (3): 520-529. doi: 10.1016/j.juro.2017.04.
4. Ljungberg B., Bensalah K., Canfield S., Dabestani S., Hofmann F., Hora M. u др. *EAU guidelines on renal cell carcinoma: 2014 update*. *EurUrol*. 2015; 67 (5): 913-24. doi: 10.1016/j.eururo.2015.01.005.
5. Аляев Ю.Г., Глыбочко П.В., Пушкарь Д.Ю. *Российские клинические рекомендации по урологии*. 2016. М., ГЭОТАР-Медиа. 496 с.
6. Kim J.H., Li S., Khandwala Y., Chung K.J., Park H.K., Chung B.I. *Association of Prevalence of Benign Pathologic Findings After Partial Nephrectomy With Preoperative Imaging Patterns in the United States From 2007 to 2014*. *JAMA Surg*. 2019; 154 (3): 225-231. doi: 10.1001/jamasurg.2018.4602.
7. Patel H.D., Semerjian A., Gupta M., Pavlovich C.P., Johnson M.H., Gorin M.A. u др. *Surgical removal of renal tumors with low metastatic potential based on clinical radiographic size: A systematic review of the literature*. *Urol Oncol*. 2019; 37 (8): 519-524. doi: 10.1016/j.urolonc.2019.05.013. Epub 2019 Jun 13.
8. Dechet C.B., Zincke H., Sebo T.J., King B.F., LeRoy A.J., Farrow G.M. u др. *Prospective analysis of computerized tomography and needle biopsy with permanent sectioning to determine the nature of solid renal masses in adults*. *J Urol*. 2003; 169 (1): 71-4. doi: 10.1097/01.ju.0000042211.18318.ba.
9. Patel H.D., Johnson M.H., Pierorazio P.M., Sozio S.M., Sharma R., Iyoha E. u др. *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. doi: 10.1016/j.juro.2015.11.029. Epub 2016 Feb 18.
10. Davnall F., Yip C.S., Ljungqvist G., Selmi M., Ng F., Sanghera B. u др. *Assessment of tumor heterogeneity: an emerging imaging tool for clinical practice? Insights Imaging*. 2012; 3 (6): 573-89. doi: 10.1007/s13244-012-0196-6.
11. Varghese B.A., Chen F., Hwang D.H., Cen S.Y., Desai B., Gill I.S. u др. *Differentiation of Predominantly Solid Enhancing Lipid-Poor Renal Cell Masses by Use of Contrast-Enhanced CT: Evaluating the Role of Texture in Tumor Subtyping*. *AJR Am J Roentgenol*. 2018; 211 (6): W288-W296. doi: 10.2214/AJR.18.19551. Epub 2018 Sep 21
12. Nie P., Yang G., Wang Z., Yan L., Miao W., Hao D. u др. *A CT-based radiomics nomogram for differentiation of renal angiomyolipoma without visible fat from homogeneous clear cell renal cell carcinoma*. *EurRadiol*. 2020; 30 (2): 1274-1284. doi: 10.1007/s00330-019-06427-x. Epub 2019 Sep 10.
13. Аляев Ю.Г., Сирота Е.С., Безруков Е.А. *Компьютер-ассистированные лапароскопические операции при хирургическом лечении рака почки*. *Урология*. 2018; 3: 30-38.
14. Haralick R. M., Shanmugam K. and Dinstein I. *Textural Features for Image Classification* *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 1973; 6: 610-621. doi: 10.1109/TSMC.1973.4309314.
15. Duan C., Li N., Niu L., Wang G., Zhao J., Liu F. u др. *CT texture analysis for the differentiation of papillary renal cell carcinoma subtypes*. *Abdom Radiol (NY)*. 2020; 45 (11): 3860-3868. doi: 10.1007/s00261-020-02588-2.
16. Feng Z., Shen Q., Li Y., Hu Z. *CT texture analysis: a potential tool for predicting the Fuhrman grade of clear-cell renal carcinoma*. *Cancer Imaging*. 2019; 19 (1): 6. doi: 10.1186/s40644-019-0195-7.
17. Leng S., Takahashi N., Gomez Cardona D., Kitajima K., McCollough B., Li Z. u др. *Subjective and objective heterogeneity scores for differentiating small renal masses using contrast-enhanced CT*. *Abdom Radiol (NY)*. 2017; 42 (5): 1485-1492. doi: 10.1007/s00261-016-1014-2.
18. Yang G., Gong A., Nie P., Yan L., Miao W., Zhao Y. u др. *Contrast-Enhanced CT Texture Analysis for Distinguishing Fat-Poor Renal Angiomyolipoma From Chromophobe Renal Cell Carcinoma*. *Mol Imaging*. 2019; 18: 1536012119883161. doi: 10.1177/1536012119883161.
19. Yap F.Y., Varghese B.A., Cen S.Y., Hwang D.H., Lei X., Desai B. u др. *Shape and texture-based radiomics signature on CT effectively discriminates benign from malignant renal masses*. *Eur Radiol*. 2021; 31 (2): 1011-1021. doi: 10.1007/s00330-020-07158-0.
- Hofmann F., Hora M. u др. *EAU guidelines on renal cell carcinoma: 2014 update*. *EurUrol*. 2015; 67 (5): 913-24. doi: 10.1016/j.eururo.2015.01.005.
5. Alyaev Y.G., Glybochko P.V., Pushkar D.U. *Russian clinical guidelines for urology*. 2016, М., GEOTAR-Media. 496 p. (in Russian).
6. Kim J.H., Li S., Khandwala Y., Chung K.J., Park H.K., Chung B.I. *Association of Prevalence of Benign Pathologic Findings After Partial Nephrectomy With Preoperative Imaging Patterns in the United States From 2007 to 2014*. *JAMA Surg*. 2019; 154 (3): 225-231. doi: 10.1001/jamasurg.2018.4602.
7. Patel H.D., Semerjian A., Gupta M., Pavlovich C.P., Johnson M.H., Gorin M.A. u др. *Surgical removal of renal tumors with low metastatic potential based on clinical radiographic*

References:

1. Axel E.M., Matveev V.B. *Statistics of malignant tumors of urinary and male urogenital organs in Russia and the countries of the former USSR*. *Cancer Urology*. 2019; 15 (2): 15-24 (in Russian) <https://doi.org/10.17650/1726-9776-2019-15-2-15-24>
2. Patel H.D., Gupta M., Joice G.A., Srivastava A., Alam R., Allaf M.E. u др. *Clinical Stage Migration and Survival for Renal Cell Carcinoma in the United States*. *Eur Urol Oncol*. 2019; 2 (4): 343-348. doi: 10.1016/j.euo.2018.08.023.
3. Campbell S., Uzzo R.G., Allaf M.E., Bass E.B., Cadeddu J.A., Chang A., u др. *Renal Mass and Localized Renal Cancer: AUA Guideline*. *J Urol*. 2017; 198 (3): 520-529. doi: 10.1016/j.juro.2017.04.
4. Ljungberg B., Bensalah K., Canfield S., Dabestani S.,

- size: A systematic review of the literature. *Urol Oncol.* 2019; 37 (8): 519-524. doi: 10.1016/j.urolonc.2019.05.013. Epub 2019 Jun 13.
8. Dechet C.B., Zincke H., Sebo T.J., King B.F., LeRoy A.J., Farrow G.M. u ðp. Prospective analysis of computerized tomography and needle biopsy with permanent sectioning to determine the nature of solid renal masses in adults. *J Urol.* 2003; 169 (1): 71-4. doi: 10.1097/01.ju.0000042211.18318.ba.
9. Patel H.D., Johnson M.H., Pierorazio P.M., Sozio S.M., Sharma R., Iyoha E. u ðp. 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. doi: 10.1016/j.juro.2015.11.029. Epub 2016 Feb 18.
10. Davnall F., Yip C.S., Ljungqvist G., Selmi M., Ng F., Sanghera B. u ðp. Assessment of tumor heterogeneity: an emerging imaging tool for clinical practice? *Insights Imaging.* 2012; 3 (6): 573-89. doi: 10.1007/s13244-012-0196-6.
11. Varghese B.A., Chen F., Hwang D.H., Cen S.Y., Desai B., Gill I.S. u ðp. Differentiation of Predominantly Solid Enhancing Lipid-Poor Renal Cell Masses by Use of Contrast-Enhanced CT: Evaluating the Role of Texture in Tumor Subtyping. *AJR Am J Roentgenol.* 2018; 211 (6): W288-W296. doi: 10.2214/AJR.18.19551. Epub 2018 Sep 21
12. Nie P., Yang G., Wang Z., Yan L., Miao W., Hao D. u ðp. A CT-based radiomics nomogram for differentiation of renal angiomyolipoma without visible fat from homogeneous clear cell renal cell carcinoma. *EurRadiol.* 2020; 30 (2): 1274-1284. doi: 10.1007/s00330-019-06427-x. Epub 2019 Sep 10.
13. Alyaev Y.G., Sirota E.S., Bezrukov E.A., Sukhanov R.B. Computer-assisted laparoscopic surgery for renal carcinoma. *Urologiia.* 2018; (3): 30-38 (in Russian).
14. Haralick R. M., Shanmugam K. and Dinstein I. Textural Features for Image Classification *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics.* 1973; 6: 610-621. doi: 10.1109/TSMC.1973.4309314.
15. Duan C., Li N., Niu L., Wang G., Zhao J., Liu F. u ðp. CT texture analysis for the differentiation of papillary renal cell carcinoma subtypes. *Abdom Radiol (NY).* 2020; 45 (11): 3860-3868. doi: 10.1007/s00261-020-02588-2.
16. Feng Z., Shen Q., Li Y., Hu Z. CT texture analysis: a potential tool for predicting the Fuhrman grade of clear-cell renal carcinoma. *Cancer Imaging.* 2019; 19 (1): 6. doi: 10.1186/s40644-019-0195-7.
17. Leng S., Takahashi N., Gomez Cardona D., Kitajima K., McCollough B., Li Z. u ðp. Subjective and objective heterogeneity scores for differentiating small renal masses using contrast-enhanced CT. *Abdom Radiol (NY).* 2017; 42 (5): 1485-1492. doi: 10.1007/s00261-016-1014-2.
18. Yang G., Gong A., Nie P., Yan L., Miao W., Zhao Y. u ðp. Contrast-Enhanced CT Texture Analysis for Distinguishing Fat-Poor Renal Angiomyolipoma From Chromophobe Renal Cell Carcinoma. *Mol Imaging.* 2019; 18: 1536012119883161. doi: 10.1177/1536012119883161.
19. Yap F.Y., Varghese B.A., Cen S.Y., Hwang D.H., Lei X., Desai B. u ðp. Shape and texture-based radiomics signature on CT effectively discriminates benign from malignant renal masses. *Eur Radiol.* 2021; 31 (2): 1011-1021. doi: 10.1007/s00330-020-07158-0.