

## ТЕКСТУРНЫЙ АНАЛИЗ КТ-ИЗОБРАЖЕНИЙ В ДИФФЕРЕНЦИРОВКЕ ОПУХОЛЕВЫХ И НЕОПУХОЛЕВЫХ КИСТОЗНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ: ВОЗМОЖНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ И РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕГМЕНТАЦИИ

<sup>1</sup>А. А. Коваленко<sup>✉\*</sup>, <sup>2</sup>В. С. Петровичев<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>О. В. Крючкова<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>З. А. Коваленко<sup>✉</sup>, <sup>1</sup>Д. П. Ананьев<sup>✉</sup>,  
<sup>1</sup>Д. А. Матвеев<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>Р. В. Петров<sup>✉</sup>

<sup>1</sup>Центральная клиническая больница с поликлиникой Управления делами Президента РФ, Москва, Россия

<sup>2</sup>Национальный медицинский исследовательский центр «Лечебно-реабилитационный центр», Москва, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** В настоящее время определение подтипа кистозного образования поджелудочной железы по-прежнему представляет значительные трудности. Возможности предоперационной инвазивной диагностики в большинстве случаев крайне затруднены по причине малоклеточности аспирата. Точная верификация характера изменений крайне важна для прогнозирования тактики ведения пациентов и планирования вмешательства.

**ЦЕЛЬ:** Определить диагностическую значимость текстурного анализа КТ-изображений в дифференцировке опухолевых и неопухолевых кистозных образований поджелудочной железы; сравнить результаты применения двух режимов (2D и 3D) сегментации КТ-изображений; разработать диагностическую модель, включающую текстурные показатели, для дифференцировки опухолевых и неопухолевых кистозных образований поджелудочной железы.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** В исследование было включено 15 пациентов с муцинозными цистаденомами, 15 пациентов с серозными цистаденомами и 10 пациентов с постнекротическими кистами, которым была выполнена резекция образований с последующей гистологической верификацией. Всем пациентам было выполнено мультифазное КТ с контрастным усилением. Расчет текстурных показателей осуществлялся во все фазы контрастного усиления (нативную, артериальную, венозную и отсроченную) в условиях предварительной обработки изображений путем приведения последних к изотропному вокселю 1×1×1 мм (RES) и ограничения по плотности от 0 до 200 HU. Сегментация изображений проводилась в двух режимах — 2D и 3D.

**Статистика:** Статистический анализ и визуализация полученных данных проводились с использованием среды для статистических вычислений R 4.3.2 (R Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия). Для оценки дискриминативной способности текстурных показателей в отношении типов новообразований использовались тест Манна–Уитни и AUC с соответствующим точным 95% доверительным интервалом (95% ДИ). При проведении анализа первых главных компонент переменные включались в анализ после стандартизации. Отбор предикторов в многофакторную модель осуществлялся с использованием L1 (LASSO) регуляризации. Оценка дискриминативных характеристик полученной модели производилась с использованием наблюдаемых и бутстреп оценок (B=1000) AUC Хэнда–Тилла (AUC для мультиномиальных моделей) и коэффициента корреляции ф Мэтьюса.

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** Применение 3D-сегментации является предпочтительным для дифференцировки опухолевых и неопухолевых кистозных образований ПЖ.

Разработанная диагностическая модель с использованием текстурных показателей (INTENSITY-HISTOGRAM\_Intensity-Histogram75<sup>th</sup> Percentile, MORPHOLOGICAL\_Volume, INTENSITY-BASED\_StandardDeviation) нативной и артериальной фаз сканирования при 2D-сегментации в качестве предикторов типа новообразования обладает следующими характеристиками: площадь под ROC-кривой — 0,89, чувствительность и специфичность в отношении постнекротических кист — 70 и 93,3%, в отношении муцинозных опухолей — 73,3 и 92%, в отношении серозных опухолей — 86,7 и 80%.

Разработанная диагностическая модель с использованием текстурных показателей (MORPHOLOGICAL\_SurfaceToVolume-Ratio, INTENSITY-BASED\_StandardDeviation, GLCM\_Correlation, GLSZM\_ZonePercentage) нативной, артериальной и отсроченной фаз сканирования при 3D-сегментации в качестве предикторов типа новообразования обладает следующими характеристиками: площадь под ROC-кривой — 0,96, чувствительность и специфичность в отношении постнекротических кист — 80 и 96,7%, в отношении муцинозных опухолей — 86,7 и 88%, в отношении серозных опухолей — 80 и 88%.

**ОБСУЖДЕНИЕ:** На момент проведения исследования нами не было найдено ни одной работы, в которой бы анализировались все фазы контрастного усиления. Обзор имеющихся публикаций показал, что в подавляющем большинстве случаев исследователи сегментировали лишь одну из фаз сканирования (артериальную/венозную) в 3D-режиме. В настоящее

время путем текстурного анализа исследователи преследуют решение двух основных задач — дифференцировка различных гистологических классов кист ПЖ и определение степени дифференцировки опухолевых кист. Открытым остается вопрос стандартизации предварительной обработки изображений и условий сегментации. В нашем исследовании были проанализированы четыре фазы контрастного усиления (нативная, артериальная, венозная и отсроченная) в различных параметрах сегментации. В отличие от ряда работ, в нашем исследовании в качестве предикторов дифференцировки не было отобрано ни одного показателя более высокого порядка. Также в нашем исследовании не выявлено статистически значимых текстурных показателей-предикторов для венозной фазы сканирования.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** Текстурный анализ КТ-изображений позволяет с высокой точностью дифференцировать опухолевые и неопухолевые кистозные образования поджелудочной железы на дооперационном этапе.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** поджелудочная железа, кистозная опухоль, радиомика, текстурный анализ, компьютерная томография

\* Для корреспонденции: Коваленко Анастасия Андреевна, e-mail: [nastua\\_kovalenko@mail.ru](mailto:nastua_kovalenko@mail.ru).

Для цитирования: Коваленко А.А., Петровичев В.С., Крючкова О.В., Коваленко З.А., Ананьев Д.П., Матвеев Д.А., Петров Р.В. Текстурный анализ КТ-изображений в дифференцировке опухолевых и неопухолевых кистозных образований поджелудочной железы: возможности в условиях предварительной обработки изображений и различных параметров сегментации // *Лучевая диагностика и терапия*. 2024. Т. 15, № 2. С. 53–64, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-53-64>.

## TEXTURE ANALYSIS OF CONTRAST ENHANCEMENT CT IN THE DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF TUMOR AND TUMOR-LIKE CYSTIC LESIONS OF THE PANCREAS: POSSIBILITIES IN TEXTURE PREPROCESSING AND VARIOUS SEGMENTATION PARAMETERS

<sup>1</sup>Anastasia A. Kovalenko<sup>\*</sup>, <sup>2</sup>Victor S. Petrovichev<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Oksana V. Kryuchkova<sup>®</sup>, <sup>2</sup>Zahar A. Kovalenko<sup>®</sup>,  
<sup>1</sup>Dmitry P. Ananьев<sup>®</sup>, <sup>1</sup>Dmitry A. Matveev<sup>®</sup>, <sup>2</sup>Roman V. Petrov<sup>®</sup>

<sup>1</sup>Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow, Russia

<sup>2</sup>National Medical Research Center «Medical and Rehabilitation Center», Moscow, Russia

**INTRODUCTION:** Until now, diagnosis the subtype of pancreas cystic lesion remains a major challenge. The accuracy of pre-operative invasive diagnosis procedures is still very difficult due to the low cellularity of the aspirate. Accuracy verification of nature lesion's is essential for predicting tactical planning and planning interventions.

**OBJECTIVE:** To determine the diagnostic significance of texture analysis of contrast enhancement CT in differentiation of tumor and tumor-like pancreatic cystic lesions; to compare results of application of two models (2D and 3D) segmentation of CT images; to develop a diagnostic model including texture features to differentiate tumor and tumor-like pancreatic cystic lesions.

**MATERIALS AND METHODS:** Clinical and CT data of 40 patients with pancreatic cystic lesions were collected for this study. Among these patients, 15 were pathologically diagnosed with serous cystadenoma, 15 were diagnosed with mucinous cystadenoma and 10 were diagnosed with pseudocyst. The radiomic features were extracted from four CT phases (native, arterial, venous and delayed). All images were normalized prior to the radiomics analysis, using spatial resampling with fixed voxel size of 1 mm<sup>3</sup> (RES) and density threshold from 0 to 200 HU. For each phase, one radiologist (3 year's experience in abdominal imaging) segmented the lesion contour on each slice (3D) and on the slice with maximum axial diameter (2D).

**Statistics:** The program R 4.3.2 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria) was used. The Mann-Whitney test and AUC with 95% confidence interval were used to assess the discriminative texture predictors for tumour types. Texture features were included in the analysis after standardization, and L1 (LASSO) regularization was used to select predictors. Finally, discriminative models were evaluated by bootstrap estimation and Matthews correlation coefficient.

**RESULTS:** Using 3D segmentation is preferable for differentiation of tumor and tumor-like pancreatic cystic lesions. A 2-D radiomics diagnostic model was included features (INTENSITY-HISTOGRAM\_IntensityHistogram75<sup>th</sup> Percentile, MORPHOLOGICAL\_Volume, INTENSITY-BASED\_StandardDeviation) from native and arterial phases. It was resulted in an average AUC 0.89, with an sensitivity and specificity 70 and 93.3% according to pseudocysts, 73.3 and 92% according to mucinous cystadenomas, 86.7 and 80% according to serous cystadenomas. A 3-D radiomics diagnostic model was included features (MORPHOLOGICAL\_SurfaceToVolumeRatio, INTENSITY-BASED\_StandardDeviation, GLCM\_Correlation, GLSZM\_ZonePercentage) from native, arterial and delayed phases. It was resulted in an average AUC 0.96, with an sensitivity and specificity 80 and 96.7% according to pseudocysts, 86.7 and 88% according to mucinous cystadenomas, 80 and 88% according to serous cystadenomas.

**DISCUSSION:** Currently, textural analysis is aimed at solve two main problems — differentiation of histological classes and grade of pancreatic cysts. The standardization of pre-processing and segmentation remains an unresolved issue. At the time of this study, we haven't found any papers analyzing all the phases of CT imaging. A review of publications revealed that in the majority of cases researchers analyzed only one phase (arterial/venous) by 3D-segmentation. In our study, four phases of CT (native, arterial, venous and delayed) were analyzed by two types of segmentaion. In order to reduce texture ranges and offset the segmentation errors, we investigate preprocessing steps such as density distributions (0–200 HU) and voxel resampling 1 mm<sup>3</sup>

(RES). In contrast to other papers, in our study there are no statistically significant textural features for the venous phase. Also, we don't identify higher-order textural features as a differentiation predictors.

**CONCLUSION:** Texture analysis of contrast enhancement CT have a favorable differential diagnostic performance for tumor and tumor-like cystic lesions of the pancreas.

**KEYWORDS:** pancreas, cystic tumor, radiomics, texture analysis, computed tomography

\* **For correspondence:** Anastasia A. Kovalenko, e-mail: nastua\_kovalenko@mail.ru.

**For citation:** Kovalenko A.A., Petrovichev V.S., Kryuchkova O.V., Kovalenko Z.A., Ananov D.P., Matveev D.A., Petrov R.V. Texture analysis of contrast enhancement CT in the differential diagnosis of tumor and tumor-like cystic lesions of the pancreas: possibilities in texture preprocessing and various segmentation parameters // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 2. P. 53–64, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-2-53-64>.

**Введение.** В связи с неуклонно возрастающей доступностью визуализационных методов исследований увеличивается и количество пациентов со случайно выявленными кистозными образованиями поджелудочной железы (ПЖ). По данным различных исследований распространенность кистозных образований ПЖ колеблется в диапазоне от 2 до 45% [1].

Кистозные образования ПЖ представлены вариативной группой опухолевых и неопухолевых изменений с различным потенциалом злокачественности [2, 3]. Своевременное и точное определение характера кистозного образования является важным для принятия решения о целесообразности выполнения и сроках оперативного вмешательства [4].

В литературе широко освещены результаты использования инструментальных методов диагностики в выявлении и уточнении характера кист ПЖ [5, 6]. По сей день наиболее информативными методами остаются КТ, МРТ и УЗИ, общая диагностическая точность которых варьирует от 75 до 85% [7]. Тем не менее анализ медицинских изображений кист ПЖ часто представляет определенные трудности ввиду схожей семиотической картины различных подтипов и неспецифических перекрестных морфологических паттернов [8]. Также до настоящего времени не утвержден единый стандартизованный подход к ведению пациентов с кистами ПЖ. Многочисленные руководства местами противоречивы как в отношении спектра нозологий, так и в отно-

телиальной выстилкой желудочно-кишечного тракта находит ограниченное применение [10, 17–19].

Все вышеизложенное диктует необходимость применения новых неинвазивных методик, позволяющих более прецизионно оценивать весь объем образования, стратифицировать нозологическую категорию и потенциальный риск. Радиомика — современный инструмент анализа медицинских изображений, основанный на определении количественных характеристик гетерогенности тканей [20]. Комбинированная оценка текстурных показателей и клинико-лабораторных критериев способствует более персонализированному анализу конкретного случая заболевания [21].

**Цель.** Определить диагностическую значимость текстурного анализа КТ-изображений в дифференцировке опухолевых и неопухолевых кистозных образований поджелудочной железы; сравнить результаты применения двух режимов (2D и 3D) сегментации КТ-изображений; разработать диагностическую модель, включающую текстурные показатели, для дифференцировки опухолевых и неопухолевых кистозных образований поджелудочной железы.

**Материалы и методы. Общая характеристика пациентов.** Одобрения этического комитета не требовалось. Информированное согласие получено от каждого пациента. Исследование проводилось ретроспективно. Всего в исследование включено 40 пациентов, среди которых 15 пациентов с муцинозными цистаденомами,

Таблица 1

## Клинико-демографические характеристики пациентов

Table 1

## Clinical and demographic characteristics of patients

Группа	Количество пациентов	Возраст, годы, среднее значение Ме (Q1; Q3)	Пол (М/Ж)	Локализация: головка/тело/хвост	Размер образования, см, среднее значение Ме (Q1; Q3)
Муцинозные цистаденомы	15	52 (25; 68)	1/14	1/3/11	8 (4; 12)
Серозные цистаденомы	15	55 (28; 73)	3/12	10/2/3	3 (2; 6)
Постнекротические кисты	10	43 (28; 65)	6/4	7/1/2	5 (1; 12)

шении диагностических критериев и тактического ведения пациентов [9–17]. Морфологическая верификация на дооперационном этапе ввиду малоклеточности аспирата и контаминации последнего эпи-

15 пациентов с серозными цистаденомами и 10 пациентов с постнекротическими кистами (табл. 1). Все пациенты были прооперированы в ФГАУ «НМИЦ ЛРЦ» Минздрава России за период с 2016 по 2023 г.

Ретроспективно проанализированы дооперационные КТ органов брюшной полости с внутривенным болюсным контрастированием, выполненные как в ФГАУ «НМИЦ ЛРЦ» Минздрава России, так в других медицинских организациях, по стандартному протоколу. Исследования были выполнены на томографах следующих производителей: GE, Siemens, Philips. Толщина среза варьировала от 1 до 5 мм.

КТ у больных, проходивших исследование в ФГАУ «НМИЦ ЛРЦ» Минздрава России, выполняли на томографе Discovery CT750HD (GE Healthcare) в спиральном режиме с толщиной томографических срезов 1,5 мм, питчем 1,0, напряжением рентгеновской трубки 100–120 кВ, силой тока 100–200 мА. Использовали неионное рентгеноконтрастное вещество (КВ) (Омнипак-350) из расчета 1 мл/кг массы тела, но не более 100 мл. Параметры протокола ска-

— наличие дооперационно выполненного МСКТ с внутривенным болюсным контрастированием;

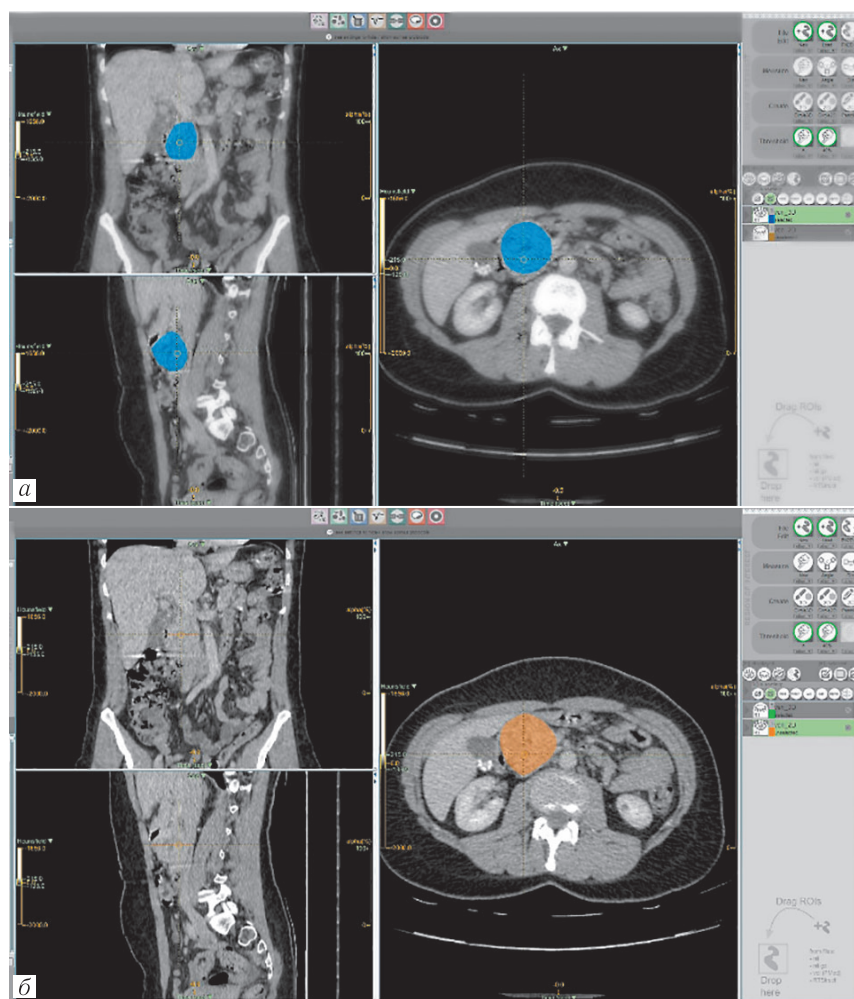
— наличие в исследовании всех четырех фаз контрастного усиления (нативной, артериальной, венозной, отсроченной);

— удовлетворительное качество исследования с отсутствием артефактов в зоне интереса;

— наличие данных послеоперационного гистологического исследования.

Критерием исключения являлось проведение системного или регионарного лечения.

**Методология текстурного анализа.** Для извлечения текстурных показателей применяли программное обеспечение LIFEx (version v7.4.0, [www.lifexsoft.org](http://www.lifexsoft.org)). Сегментация изображений проводилась одним врачом-рентгенологом с опытом абдоминальной визуализации 3 года.



**Рис. 1.** Компьютерная томограмма. Серозная цистаденома ПЖ, венозная фаза сканирования: *а* — сегментация всего объема образования (3D-ROI); *б* — сегментация образования на срезе, соответствующем наибольшему размеру образования (2D-ROI)

**Fig. 1.** CT-scan. Pancreatic serous cystadenoma, venous phase: *a* — 3D-ROI segmentation of the lesion; *b* — 2D-ROI segmentation with the largest diameter of the lesion

нирования были стандартные — скорость введения КВ 3,5 мл/с, средние задержки от начала введения КВ в артериальную фазу — 12–15 с, в венозную фазу — 40–70 с, в отсроченную фазу — 300 с.

Критериями включения в исследование являлись:

Сегментация образований проводилась в двух режимах — 3D и 2D (рис. 1). Для всех изображений была применена двухэтапная предварительная обработка, заключающаяся в применении заданного размера вокселя  $1 \times 1 \times 1$  мм (RES) и ограничении по плот-

ности от 0 до 200 HU. В качестве стартовой фазы для сегментации была выбрана венозная фаза ввиду наилучшей контрастности и визуализации границ образований, в особенности в отношении прилежащих сосудистых структур. В венозную фазу исследования в аксиальной плоскости выделялся весь объем опухоли (3D-ROI). 2D-сегментация (2D-ROI), в свою очередь, проводилась на аксиальном срезе с наибольшим размером образования. В дальнейшем в ручном режиме была проведена синхронизация «маски» образования с оставшимися фазами исследования.

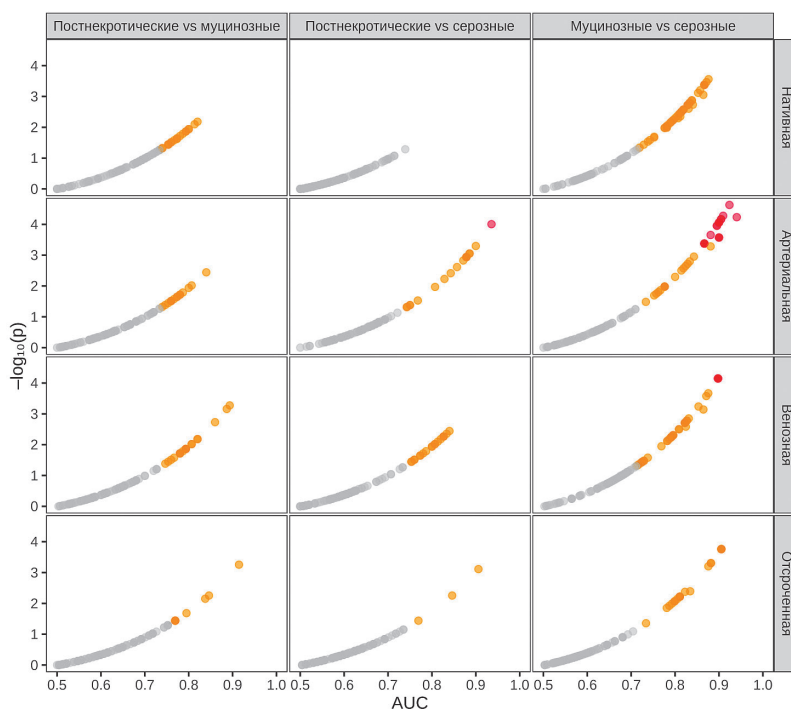
После сегментации для каждой фазы КТ-исследования и для каждого варианта сегментации рассчитывалось по 179 текстурных показателей.

**Статистика.** Статистический анализ и визуализация полученных данных проводились с использованием среды для статистических вычислений R 4.3.2 (R Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия).

Для оценки дискриминативной способности текстурных показателей в отношении типов новообразований использовались тест Манна–Уитни и AUC с соответствующим точным 95% доверительным интервалом (95% ДИ). Для контроля FDR при множественном тестировании гипотез использовалась поправка Беньямини–Хохберга (BH). При проведении анализа первых главных компонент переменные включались в анализ после стандартизации. Отбор предикторов в многофакторную модель осуществ-

лялось с использованием полученной модели производилась с использованием наблюдаемых и бутстреп оценок ( $B=1000$ ) AUC Хэнда–Тилла (AUC для мультиномиальных моделей) и коэффициента корреляции  $\phi$  Мэтьюса.

**Результаты.** При 2D-сегментации нами была выявлена дискриминация ( $p < 0,05$  и нижняя граница  $AUC > 0,5$ ) постнекротических кист и муцинозных опухолей 62 текстурными параметрами (18 параметров нативной фазы, 15 — артериальной, 21 — венозной и 8 — отсроченной), дискриминация постнекротических кист и серозных опухолей 41 параметром (19 параметров артериальной фазы, 19 — венозной и 3 — отсроченной) и дискриминация серозных и муцинозных опухолей 156 текстурными параметрами (52 параметров нативной фазы, 38 — артериальной, 43 — венозной и 23 — отсроченной). При 3D-сегментации нами выявлена дискриминация постнекротических кист и муцинозных опухолей 88 параметрами (47 параметров нативной фазы, 7 — артериальной, 12 — венозной и 22 — отсроченной), дискриминация постнекротических кист и серозных опухолей 39 параметром (5 параметров нативной фазы, 17 — артериальной, 15 — венозной и 2 — отсроченной) и дискриминация серозных и муцинозных опухолей 150 текстурными параметрами (26 параметров нативной фазы, 26 — артериальной, 41 — венозной и 57 — отсроченной) (рис. 2, 3).

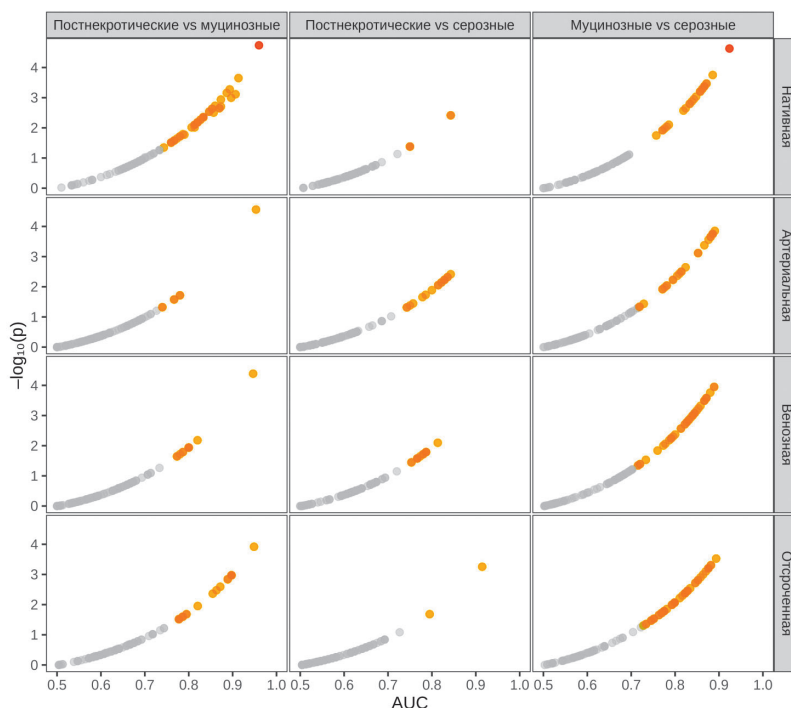


**Рис. 2.** Результаты однофакторного анализа, 3D-сегментация (красным цветом выделены текстурные параметры с  $p_{BH} < 0,05$  и нижней границей  $AUC > 0,5$ )

**Fig. 2.** Results of one-way analysis, 3D segmentation (texture parameters with  $p_{BH} < 0.05$  and lower limit  $AUC > 0.5$  are highlighted in red)

лялся с использованием L1 (LASSO) регуляризации. Отобранные предикторы включались в мультиномиальные лог-линейные модели. Оценка дискри-

В табл. 2 и на рис. 4 и 5 представлена характеристика разделения классов опухолей при использовании в качестве предиктора первой главной компоненты



**Рис. 3.** Результаты однофакторного анализа, 2D-сегментация (оранжевым цветом отмечены показатели при  $p < 0,05$ , красным — при  $p_{BH} < 0,05$ )  
**Fig. 3.** Results of one-way analysis, 2D segmentation (parameters with  $p < 0.05$  are highlighted in orange, parameters with  $p_{BH} < 0.05$  are highlighted in red)

Таблица 2

**Характеристика разделения классов опухолей (AUC [95% ДИ]) при использовании в качестве предиктора первой главной компоненты**

Table 2

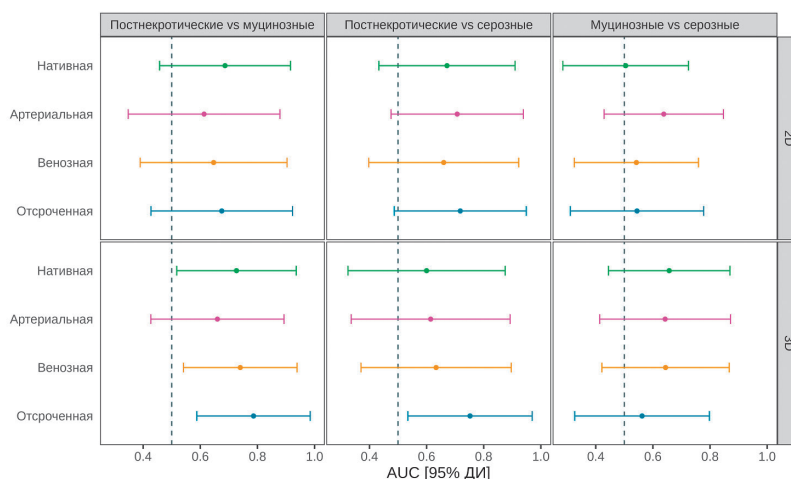
**Characteristics of tumor classes (AUC [95% CI]) when using the first principal component as a predictor**

Фаза	Доля дисперсии, объясняемой первой главной компонентой, %	Постнекротические vs муцинозные	Постнекротические vs серозные	Муцинозные vs серозные
<b>2D-сегментация</b>				
Нативная	75,6	0,69 [0,46; 0,92]	0,67 [0,43; 0,91]	0,5 [0,28; 0,72]
Артериальная	84	0,61 [0,35; 0,88]	0,71 [0,48; 0,94]	0,64 [0,43; 0,85]
Венозная	82,2	0,65 [0,39; 0,9]	0,66 [0,4; 0,92]	0,54 [0,32; 0,76]
Отсроченная	82	0,68 [0,43; 0,92]	0,72 [0,49; 0,95]	0,54 [0,31; 0,78]
Все фазы	74,9	0,66 [0,42; 0,9]	0,56 [0,29; 0,83]	0,57 [0,35; 0,8]
<b>3D-сегментация</b>				
Нативная	78	<b>0,73 [0,52; 0,94]</b>	0,6 [0,32; 0,88]	0,66 [0,44; 0,87]
Артериальная	79,8	0,66 [0,43; 0,89]	0,61 [0,34; 0,89]	0,64 [0,41; 0,87]
Венозная	80,4	<b>0,74 [0,54; 0,94]</b>	0,63 [0,37; 0,9]	0,64 [0,42; 0,87]
Отсроченная	81,5	<b>0,79 [0,59; 0,98]</b>	<b>0,75 [0,53; 0,97]</b>	0,56 [0,33; 0,8]
Все фазы	70,1	0,7 [0,49; 0,91]	0,57 [0,32; 0,81]	0,65 [0,45; 0,86]

текстурных показателей, полученных при использовании 2D- и 3D-сегментации в разные фазы контрастирования. Нами не было выявлено первых главных компонент, разделяющих группы новообразований (нижняя граница  $AUC > 0,5$ ) при 2D-сегментации. При 3D-сегментации была выявлена дискриминация постнекротических кист и муцинозных опухолей первой главной компонентой текстурных параметров в нативную, венозную и отсроченную фазу, а также постнекротических кист и серозных опухолей первой

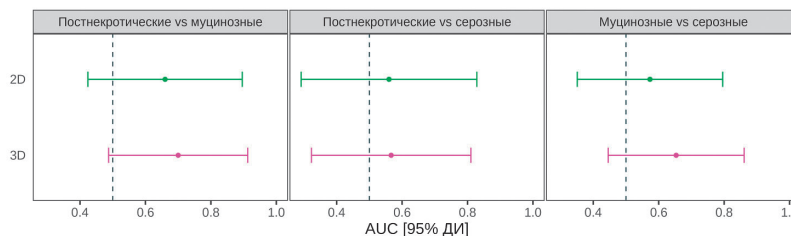
главной компонентой текстурных параметров в отсроченную фазу.

В табл. 3 представлены коэффициенты, полученные в модели с использованием текстурных показателей при 2D-сегментации в качестве предикторов типа новообразования. Наблюдаемая AUC Хэнда–Тилла для предсказаний, полученных с использованием модели составил 0,89 (бутстреп оценка — 0,79 [95% ДИ 0,72; 0,85]), наблюдаемый коэффициент корреляции  $\phi$  Мэттьюса составил 0,66 (бутстреп оценка —



**Рис. 4.** Характеристика дискриминации классов опухолей при использовании в качестве предиктора первой главной компоненты текстурных параметров

**Fig. 4.** Characteristics of tumor’s classes discrimination when using the first principal component of texture parameters as a predictor



**Рис. 5.** Характеристика дискриминации классов опухолей при использовании в качестве предиктора первой главной компоненты текстурных параметров, полученных при использовании 2D- и 3D-сегментации

**Fig. 5.** Characteristics of tumor’s classes discrimination when using the first principal component of texture parameters obtained in 2D/3D segmentation as a predictor

Таблица 3

Результаты логистической регрессионной модели, построенные при анализе режима 2D-сегментации КТ-изображений

Table 3

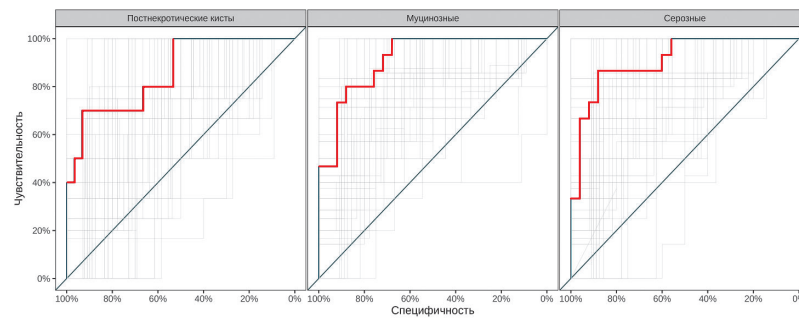
Results of the logistic regression model constructed by analyzing the 2D segmentation of CT images

Предиктор	Фаза	$\beta$	95% ДИ	p
<b>Муцинозные</b>				
Свободный член		4,240	4,236; 4,245	<0,001
INTENSITY-HISTOGRAM_IntensityHistogram75 <sup>th</sup> Percentile (IBSI:No)	Нативная	-0,138	-0,282; 0,005	0,059
MORPHOLOGICAL_Volume (IBSI:RNU0), mm <sup>3</sup>	Артериальная	-0,001	-0,003; 0,001	0,425
INTENSITY-BASED_Standard Deviation (IBSI:No)	Артериальная	-0,036	-0,299; 0,227	0,787
<b>Серозные</b>				
Свободный член		-3,235	-3,238; -3,232	<0,001
INTENSITY-HISTOGRAM_IntensityHistogram75 <sup>th</sup> Percentile (IBSI:No)	Нативная	-0,017	-0,147; 0,114	0,803
MORPHOLOGICAL_Volume (IBSI:RNU0), mm <sup>3</sup>	Артериальная	-0,001	-0,004; 0,001	0,248
INTENSITY-BASED_Standard Deviation (IBSI:No)	Артериальная	0,197	-0,02; 0,414	0,075

0,38 [95% ДИ 0,26; 0,5]). Чувствительность и специфичность модели при использовании порогового значения предсказанной вероятности полученного с использованием J-статистики Юдена в отношении постнекротических кист составила 70% [95% ДИ 34,8; 93,3] и 93,3% [95% ДИ 77,9; 99,2] соответственно, в отношении муцинозных опухолей —

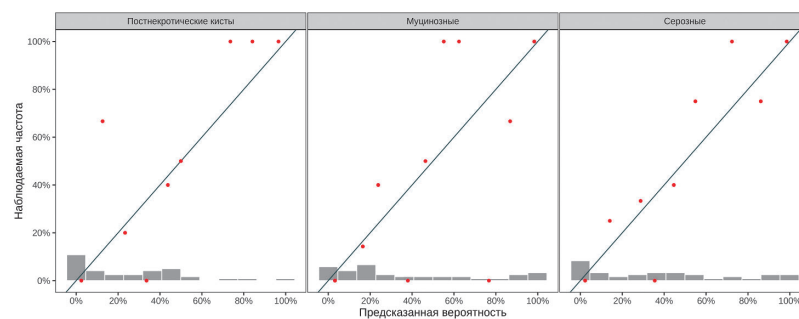
73,3% [95% ДИ 44,9; 92,2] и 92% [95% ДИ 74; 99], в отношении серозных опухолей — 86,7% [95% ДИ 59,5; 98,3] и 80% [95% ДИ 59,3; 93,2].

В табл. 4 представлены коэффициенты, полученные в модели с использованием текстурных показателей при 3D-сегментации в качестве предикторов типа новообразования. Наблюдаемый AUC Хэнда–Тилла



**Рис. 6.** ROC-кривые для предсказанных вероятностей модели с использованием текстурных показателей, полученных при 2D-сегментации в качестве предикторов. Красным цветом выделена ROC-кривая с использованием обучающей выборки, серым цветом — бутстреп оценки

**Fig. 6.** ROC-curves for predictive model using texture features from 2D segmentation as predictors. Red — training set, gray — bootstrap estimates



**Рис. 7.** Калибровка предсказанных вероятностей модели с использованием текстурных показателей, полученных при 2D-сегментации в качестве предикторов

**Fig. 7.** Calibration of predictive model probabilities using texture features from 2D segmentation as predictors

Таблица 4  
**Результаты логистической регрессионной модели, построенные при анализе режима 3D-сегментации КТ-изображений**

Table 4  
**Results of the logistic regression model constructed by analyzing the 3D segmentation of CT images**

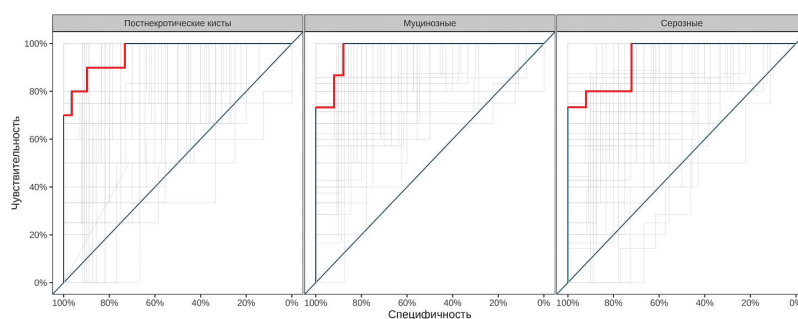
Предиктор	Фаза	$\beta$	95% ДИ	p
<b>Муцинозные</b>				
Свободный член		3,251	3,249; 3,252	<0,001
MORPHOLOGICAL_Surface To Volume Ratio (IBSI:2PR5) [mm]	Нативная	-11,533	-11,533; -11,532	<0,001
INTENSITY-BASED_Standard Deviation (IBSI:No)	Артериальная	0,101	0,075; 0,126	<0,001
GLCM_Correlation (IBSI:NI2N)	Отсроченная	6,455	6,454; 6,455	<0,001
GLSZM_ZonePercentage (IBSI:P30P)	Отсроченная	-2,082	-2,082; -2,081	<0,001
<b>Серозные</b>				
Свободный член		-3,057	-3,059; -3,054	<0,001
MORPHOLOGICAL_Surface To Volume Ratio (IBSI:2PR5) [mm]	Нативная	-1,803	-1,805; -1,801	<0,001
INTENSITY-BASED_Standard Deviation (IBSI:No)	Артериальная	0,307	0,255; 0,359	<0,001
GLCM_Correlation (IBSI:NI2N)	Отсроченная	5,791	5,79; 5,791	<0,001
GLSZM_ZonePercentage (IBSI:P30P)	Отсроченная	-5,351	-5,352; -5,349	<0,001

для предсказаний, полученных с использованием модели составил 0,96 (бутстреп оценка — 0,88 [95% ДИ 0,81; 0,92]), наблюдаемый коэффициент корреляции  $\phi$  Мэтьюса составил 0,73 (бутстреп оценка — 0,52 [95% ДИ 0,39; 0,62]). Чувствительность и специфичность модели в отношении постнекротических кист составила 80% [95% ДИ 44,4; 97,5] и 96,7%

[95% ДИ 82,8; 99,9] соответственно, в отношении муцинозных опухолей — 86,7% [95% ДИ 59,5; 98,3] и 88% [95% ДИ 68,8; 97,5], в отношении серозных опухолей — 80% [95% ДИ 51,9; 95,7] и 88% [95% ДИ 68,8; 97,5].

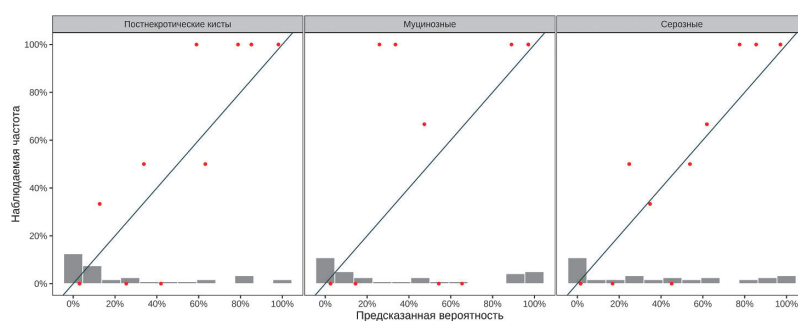
**Обсуждение.** Дооперационная дифференцировка подгрупп кистозных образований ПЖ нередко





**Рис. 8.** ROC-кривые для предсказанных вероятностей модели с использованием текстурных показателей, полученных при 3D-сегментации в качестве предикторов. Красным цветом выделена ROC-кривая с использованием обучающей выборки, серым цветом — бутстреп оценки

**Fig. 8.** ROC-curves for predictive model using texture features from 2D segmentation as predictors. Red — training set, gray — bootstrap estimates



**Рис. 9.** Калибровка предсказанных вероятностей модели с использованием текстурных показателей, полученных при 3D-сегментации в качестве предикторов

**Fig. 9.** Calibration of predictive model probabilities using texture features from 3D segmentation as predictors

составляет значительные трудности, в особенности это касается макрокистозных типов [8]. В большинстве своем как опухолевые, так и неопухолевые кисты ПЖ представлены округлой формой образованиями с вариабельной толщиной стенок, факультативным наличием перегородок и нередко ассоциированной панкреатической гипертензией [2, 22–24].

За последние годы неуклонно возрастает количество публикаций, посвященных возможностям применения текстурного анализа кистозных образований ПЖ, и на настоящий момент подобных исследований уже более 20. Актуальность и перспективы интеграции радиомики в рутинную практику доказаны результатами целого ряда исследований на основе анализа как КТ, так и МРТ — изображений. В настоящее время путем текстурного анализа исследователи преследуют решение двух основных задач — дифференцировка различных гистологических классов кист ПЖ и определение степени дифференцировки опухолевых кист [25–30].

Открытым остается вопрос стандартизации предварительной обработки изображений и условий сегментации. Анализ 3D-изображений позволяет полноценно оценить всю степень неоднородности опухоли, чего невозможно добиться в условиях 2D-сегментации [31]. Napania и соавт. (2016) наоборот постулируют о том, что большое количество извлеченных текстурных показателей может приводить к неверным результатам [25].

На момент проведения исследования нами не было найдено ни одной работы, в которой бы анализировались все фазы контрастного усиления. Обзор имеющихся публикаций показал, что в подавляющем большинстве случаев исследователи сегментировали лишь одну из фаз сканирования (артериальную/венозную) в 3D-режиме [25, 27, 28].

В нашем исследовании были проанализированы четыре фазы контрастного усиления (нативная, артериальная, венозная и отсроченная) в различных параметрах сегментации. В область интереса (ROI) не входили кальцинаты, сосуды, интактная паренхима ПЖ и окружающая парапанкреатическая клетчатка. С целью сужения спектра текстурных параметров и нивелирования ошибок сегментации нами было установлено ограничение по плотности зоны сегментации от 0 до 200 HU. Учитывая тот факт, что анализируемые исследования выполнялись в различных организациях и на различных томографах, а также опираясь на опыт и результаты опубликованных работ [32, 33], с целью стандартизации изображений последние были приведены к фиксированному размеру изотропного вокселя  $1 \text{ мм}^3$  (RES).

По итогам исследования нами были выявлены статистически значимо различающиеся текстурные показатели-предикторы дифференцировки трех типов кистозных образований поджелудочной железы. В итоговую предиктивную модель в условиях 2D-сегментации изображений вошли три текстурных

показателя первого порядка (INTENSITY-HISTOGRAM\_Intensity Histogram75<sup>th</sup> Percentile, MORPHOLOGICAL\_Volume, INTENSITY-BASED\_Standard Deviation). В свою очередь, в предиктивную модель в условиях 3D-сегментации вошли четыре текстурных показателя, как первого (MORPHOLOGICAL\_SurfaceToVolumeRatio, INTENSITY-BASED\_Standard Deviation), так и второго порядков (GLCM\_Correlation, GLSZM\_ZonePercentage).

В отличие от ряда работ [27, 34], в нашем исследовании в качестве предикторов дифференцировки не было отобрано ни одного показателя более высокого порядка. Также в нашем исследовании не выявлено статистически значимых текстурных показателей-предикторов для венозной фазы сканирования.

Настоящее исследование имеет ряд ограничений. Во-первых, имеет место относительно небольшая выборка пациентов, что во многом связано с ред-

костью анализируемых нозологий. Вторым ограничением является ретроспективный характер исследования. В-третьих, обработка изображений для текстурного анализа выполнялась одним врачом-рентгенологом. В-четвертых, не была проведена внешняя валидация имеющихся данных.

**Заключение.** Таким образом, настоящее исследование доказывает высокий потенциал текстурного анализа КТ-изображений в дифференцировке кистозных образований ПЖ. На основании полученных нами данных показано, что анализ всего объема образований (режим 3D-сегментации) представляет наибольший диагностический потенциал. Разработанные модели представляют большой интерес в контексте неинвазивного метода исследования и могут внести весомый вклад в повышение точности дооперационного обследования в неоднозначных клинических случаях.

#### Сведения об авторах:

*Коваленко Анастасия Андреевна* — врач-рентгенолог отделения рентгеновской диагностики и томографии федерального государственного бюджетного учреждения «Центральная клиническая больница с поликлиникой Управления делами Президента Российской Федерации»; 121359, Москва, ул. Маршала Тимошенко, д. 15; e-mail: nastua\_kovalenko@mail.ru; ORCID 0000-0001-8276-3594;

*Петровичев Виктор Сергеевич* — кандидат медицинских наук, заведующий отделением томографии федерального государственного автономного учреждения «Лечебно-реабилитационный центр» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 125367, Москва, Ивановское шоссе, д. 3; e-mail: petrovi4ev@gmail.com; ORCID 0000-0002-8391-2771;

*Крючкова Оксана Валентиновна* — кандидат медицинских наук, заведующая отделением рентгеновской диагностики и томографии федерального государственного бюджетного учреждения «Центральная клиническая больница с поликлиникой Управления делами Президента Российской Федерации»; 121359, Москва, ул. Маршала Тимошенко, д. 15; e-mail: ovk16@bk.ru; ORCID 0000-0001-6483-2074;

*Коваленко Захар Андреевич* — кандидат медицинских наук, заведующий отделением хирургической онкологии № 2 федерального государственного автономного учреждения «Лечебно-реабилитационный центр» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 125367, Москва, Ивановское шоссе, д. 3; e-mail: zahar\_kovalenko@mail.ru; ORCID 0000-0002-8314-9307;

*Ананьев Дмитрий Павлович* — кандидат медицинских наук, заместитель главного врача по медицинской части (по хирургии) федерального государственного бюджетного учреждения «Центральная клиническая больница с поликлиникой Управления делами Президента Российской Федерации»; 121359, Москва, ул. Маршала Тимошенко, д. 15; e-mail: ananyew2365@mail.ru; ORCID 0000-0002-0494-4098;

*Матвеев Дмитрий Андреевич* — заведующий отделением торакоабдоминальной онкологии федерального государственного бюджетного учреждения «Центральная клиническая больница с поликлиникой Управления делами Президента Российской Федерации»; 121359, Москва, ул. Маршала Тимошенко, д. 15; e-mail: matveevmitya@mail.ru; ORCID 0009-0005-7159-3039;

*Петров Роман Валерьевич* — врач-хирург отделения хирургической онкологии №2 федерального государственного автономного учреждения «Лечебно-реабилитационный центр» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 125367, Москва, Ивановское шоссе, д. 3; e-mail: petrov-r-v@yandex.ru; ORCID 0000-0003-3872-7363.

#### Information about authors:

*Anastasia A. Kovalenko* — radiologist of the Radiology department «Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation»; 121359, Moscow, ul. Marshala Timoshenko, 15; e-mail: nastua\_kovalenko@mail.ru; ORCID 0000-0001-8276-3594;

*Victor S. Petrovichev* — Cand. of Sci. (Med.), Head of the Radiology Department National Medical Research Center «Medical and Rehabilitation Center»; 125367, Moscow, 3, Ivan'kovskoe shosse; e-mail: petrovi4ev@gmail.com; ORCID 0000-0002-8391-2771;

*Oksana V. Kryuchkova* — Cand. of Sci. (Med.), Head of the Radiology Department «Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation»; 121359, Moscow, ul. Marshala Timoshenko, 15; e-mail: ovk16@bk.ru; ORCID 0000-0001-6483-2074;

*Zahar A. Kovalenko* — Cand. of Sci. (Med.), Surgeon, Head of Surgical Oncology Department National Medical Research Center «Medical and Rehabilitation Center»; 125367, Moscow, 3, Ivan'kovskoe shosse; e-mail: zahar\_kovalenko@mail.ru; ORCID 0000-0002-8314-9307;

*Dmitry P. Ananev* — Cand. of Sci. (Med.), Surgeon, Deputy Chief Physician for Surgery «Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation»; 121359, Moscow, ul. Marshala Timoshenko, 15; e-mail: ananyew2365@mail.ru; ORCID 0000-0002-0494-4098;

*Dmitry A. Matveev* — Surgeon, Head of Thoracoabdominal Oncology Department «Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation»; 121359, Moscow, ul. Marshala Timoshenko, 15; e-mail: matveevmitya@mail.ru; ORCID 0009-0005-7159-3039;

*Roman V. Petrov* — Surgeon of Surgical Oncology Department National Medical Research Center «Medical and Rehabilitation Center»; 125367, Moscow, 3, Ivan'kovskoe shosse; e-mail: petrov-r-v@yandex.ru; ORCID 000-0003-3872-7367.

**Вклад авторов:** все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — А.А.Коваленко; сбор и анализ данных — В.С.Петровиц, З.А.Коваленко, Д.П.Ананиев, Д.А.Матвеев, П.В.Петров; подготовка рукописи — А.А.Коваленко, В.С.Петровиц, З.А.Коваленко, Д.П.Ананиев, Д.А.Матвеев, П.В.Петров.

**Authors' contributions:** All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution AAK aided in the concept and plan of the study; VSP, ZAK, DPA, DAM, RVP provided collection and analysis of data; AAK, VSP, ZAK, DPA, DAM, RVP preparation of the manuscript.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Disclosure.** The authors declare no conflicts of interest.

**Соответствие принципам этики:** Одобрение этического комитета не требовалось. Информированное согласие получено от каждого пациента.

**Adherence to ethical standards:** The approval of the ethics committee was not required. Informed consent has been obtained from each patient.

Поступила/Received: 14.12.2023

Принята к печати/Accepted: 26.05.2024

Опубликована/Published: 29.06.2024

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Chu L.C., Park S., Soleimani S. et al. Classification of pancreatic cystic neoplasms using radiomic feature analysis is equivalent to an experienced academic radiologist: a step toward computer-augmented diagnostics for radiologists // *Abdom. Radiol. (NY)*. 2022. Vol. 47, No. 12. P. 4139–4150. doi: 10.1007/s00261-022-03663-6.
2. Ozaki K., Ikeno H., Kaizaki Y. et al. Pearls and pitfalls of imaging features of pancreatic cystic lesions: a case-based approach with imaging-pathologic correlation // *Jpn. J. Radiol.* 2021. Vol. 39, No. 2. P. 118–142. doi: 10.1007/s11604-020-01032-1.
3. Kloth C., Haggemüller B., Beck A et al. Diagnostic, Structured Classification and Therapeutic Approach in Cystic Pancreatic Lesions: Systematic Findings with Regard to the European Guidelines // *Diagnostics (Basel)*. 2023. Vol. 13, No. 3. P. 454. doi: 10.3390/diagnostics13030454.
4. De Pretis N., Mukewar S., Aryal-Khanal A., Bi Y., Takahashi N., Chari S. Pancreatic cysts: Diagnostic accuracy and risk of inappropriate resections // *Pancreatol.* 2017. Vol. 17, No. 2. P. 267–272. doi: 10.1016/j.pan.2017.01.002.
5. Liu H., Cui Y., Shao J., Shao Z., Su F., Li Y. The diagnostic role of CT, MRI/MRCP, PET/CT, EUS and DWI in the differentiation of benign and malignant IPMN: A meta-analysis // *Clin Imaging*. 2021. Vol. 72. P. 183–193. doi: 10.1016/j.clinimag.2020.11.018.
6. Zhu S., Wang W.T., Shang X.S. et al. Difference analysis in prevalence of incidental pancreatic cystic lesions between computed tomography and magnetic resonance imaging // *BMC Med. Imaging*. 2019. Vol. 19, No. 1. P. 43–52. doi: 10.1186/s12880-019-0341-5.
7. Udare A., Agarwal M., Alabousi M. et al. Diagnostic Accuracy of MRI for Differentiation of Benign and Malignant Pancreatic Cystic Lesions Compared to CT and Endoscopic Ultrasound: Systematic Review and Meta-analysis // *J. Magn. Reson. Imaging*. 2021. Vol. 54, No. 4. P. 1126–1137. doi: 10.1002/jmri.27606.
8. Ishigami K., Nishie A., Mochidome N. et al. Mucinous nonneoplastic cyst of the pancreas: CT and MRI appearances // *Abdom. Radiol (NY)*. 2017. Vol. 42, No. 12. P. 2827–2834. doi: 10.1007/s00261-017-1204-6.
9. Kovalenko A., Karmazanovsky G. Preconditions for radiomics-based approach in differential diagnosis of pancreatic cystic lesions: critical evaluation of meta-analyses and international guidelines // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2023. Vol. 14, No 3. P. 27–38. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2023-14-3-27-38>.
10. Tanaka M., Fernández-Del Castillo C., Kamisawa T. et al. Revisions of international consensus Fukuoka guidelines for the management of IPMN of the pancreas // *Pancreatol.* 2017. Vol. 17, No. 5. P. 738–753. doi: 10.1016/j.pan.2017.07.007.
11. Vege S.S., Ziring B., Jain R., Moayyedi P. Clinical Guidelines Committee; American Gastroenterology Association. American gastroenterological association institute guideline on the diagnosis and management of asymptomatic neoplastic pancreatic cysts // *Gastroenterology*. 2015. Vol. 148, No. 4. P. 819–822. doi: 10.1053/j.gastro.2015.01.015.
12. European Study Group on Cystic Tumours of the Pancreas. European evidence-based guidelines on pancreatic cystic neoplasms // *Gut*. 2018. Vol. 67, No. 5. P. 789–804. doi: 10.1136/gutjnl-2018-316027.
13. Megibow A.J., Baker M.E., Morgan D.E. et al. Management of Incidental Pancreatic Cysts: A White Paper of the ACR Incidental Findings Committee // *J. Am. Coll Radiol.* 2017. Vol. 14, No. 7. P. 911–923. doi: 10.1016/j.jacr.2017.03.010.
14. Dunn D.P., Brook O.R., Brook A. et al. Measurement of pancreatic cystic lesions on magnetic resonance imaging: efficacy of standards in reducing inter-observer variability // *Abdom. Radiol. (NY)*. 2016. Vol. 41, No. 3. P. 500–507. doi: 10.1007/s00261-015-0588-4.
15. Boos J., Brook A., Chingko C.M. et al. MDCT vs. MRI for incidental pancreatic cysts: measurement variability and impact on clinical management // *Abdom. Radiol. (NY)*. 2017. Vol. 42, No. 2, P. 521–530. doi: 10.1007/s00261-016-0883-8.
16. Takakura K., Torisu Y., Kinoshita Y. et al. An Appraisal of Current Guidelines for Managing Malignancy in Pancreatic Intraductal Papillary Mucinous Neoplasm // *JOP*. 2018. Vol. 19, No. 4. P. 178–182.
17. Elta G.H., Enestvedt B.K., Sauer B.G., Lennon A.M. ACG Clinical Guideline: Diagnosis and Management of Pancreatic Cysts // *Am. J. Gastroenterol.* 2018. Vol. 113, No. 4. P. 464–479. doi: 10.1038/ajg.2018.14.
18. Boot C. A review of pancreatic cyst fluid analysis in the differential diagnosis of pancreatic cyst lesions // *Ann Clin Biochem*. 2014. Vol. 51, No. 2. P. 151–166. doi: 10.1177/0004563213503819.
19. Abdelkader A., Hunt B., Hartley C.P., Panarelli N.C., Giordadze T. Cystic Lesions of the Pancreas: Differential Diagnosis and Cytologic-Histologic Correlation // *Arch Pathol Lab Med*. 2020. Vol. 144, No. 1. P. 47–61. doi: 10.5858/arpa.2019-0308-RA.
20. Rizzo S., Botta F., Raimondi S. et al. Radiomics: the facts and the challenges of image analysis // *Eur Radiol. Exp*. 2018; Vol. 2, No. 1. doi: 10.1186/s41747-018-0068-z.

21. Dalal V., Carmicheal J., Dhaliwal A., Jain M., Kaur S., Batra S.K. Radiomics in stratification of pancreatic cystic lesions: Machine learning in action // *Cancer Lett.* 2020. Vol. 469. P. 228–237. doi: 10.1016/j.canlet.2019.10.023.
22. Mamone G., Barresi L., Tropea A., Di Piazza A., Miraglia R. MRI of mucinous pancreatic cystic lesions: a new updated morphological approach for the differential diagnosis // *Updates Surg.* 2020. Vol. 72, No. 3. P. 617–637. doi: 10.1007/s13304-020-00800-y.
23. Habashi S., Draganov P.V. Pancreatic pseudocyst // *World J. Gastroenterol.* 2009. Vol. 15, No. 1. P. 38–47. doi: 10.3748/wjg.15.38.
24. Amico E.C., Alves J.R., de Araújo Lima Liguori A., Sousa R.L. Serous Pancreatic Cystadenoma with Compression of Wirsung's Duct // *J. Gastrointest. Surg.* 2019. Vol. 23, No. 1. P. 176–178. doi: 10.1007/s11605-018-3794-x.
25. Hanania A.N., Bantis L.E., Feng Z. et al. Quantitative imaging to evaluate malignant potential of IPMNs // *Oncotarget.* 2016. Vol. 7, No. 52. P. 85776–85784. doi: 10.18632/oncotarget.11769.
26. Yang J., Guo X., Ou X., Zhang W., Ma X. Discrimination of Pancreatic Serous Cystadenomas From Mucinous Cystadenomas With CT Textural Features: Based on Machine Learning // *Front Oncol.* 2019. Vol. 9, No. 494. doi: 10.3389/fonc.2019.00494.
27. Xie H., Ma S., Guo X., Zhang X., Wang X. Preoperative differentiation of pancreatic mucinous cystic neoplasm from macrocystic serous cystic adenoma using radiomics: Preliminary findings and comparison with radiological model // *Eur. J. Radiol.* 2020. Vol. 122. doi: 10.1016/j.ejrad.2019.108747.
28. Jeon S.K., Kim J.H., Yoo J. et al. Assessment of malignant potential in intraductal papillary mucinous neoplasms of the pancreas using MR findings and texture analysis // *Eur. Radiol.* 2021. Vol. 31, No. 5. P. 3394–3404. doi: 10.1007/s00330-020-07425-0.
29. Chu L.C., Park S., Soleimani S. et al. Classification of pancreatic cystic neoplasms using radiomic feature analysis is equivalent to an experienced academic radiologist: a step toward computer-augmented diagnostics for radiologists // *Abdom. Radiol. (NY)*. 2022. Vol. 47, No. 12. P. 4139–4150. doi: 10.1007/s00261-022-03663-6.
30. Ștefan P.A., Lupean R.A., Lebovici A. et al. Quantitative MRI of Pancreatic Cystic Lesions: A New Diagnostic Approach // *Healthcare (Basel)*. 2022. Vol. 10, No. 6. doi: 10.3390/healthcare10061039.
31. Rosenkrantz A. Histogram-based apparent diffusion coefficient analysis: an emerging tool for cervical cancer characterization // *AJR Am. J. Roentgenol.* 2013. Vol. 200, No. 2. P. 311–313. doi: 10.2214/AJR.12.9926.
32. Shen X., Yang F., Yang P. et al. A Contrast-Enhanced Computed Tomography Based Radiomics Approach for Preoperative Differentiation of Pancreatic Cystic Neoplasm Subtypes: A Feasibility Study // *Front Oncol.* 2020. Vol. 10. doi: 10.3389/fonc.2020.00248.
33. Dong Z., Chen X., Cheng Z. et al. Differential diagnosis of pancreatic cystic neoplasms through a radiomics-assisted system // *Front Oncol.* 2022. Vol. 12. doi: 10.3389/fonc.2022.941744.
34. Wei R., Lin K., Yan W. et al. Computer-Aided Diagnosis of Pancreas Serous Cystic Neoplasms: A Radiomics Method on Preoperative MDCT Images // *Technol. Cancer Res. Treat.* 2019. Vol. 18. doi: 10.1177/1533033818824339.

Открыта подписка на 2-е полугодие 2024 года.

Подписной индекс:

«Урал Пресс» (Пресса России) **014023**