

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОМИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ НОВООБРАЗОВАНИЙ ПЕЧЕНИ РАЗЛИЧНОЙ ЭТИОЛОГИИ ПО ДАННЫМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

Васильев Ю.А., Савкина Е.Ф., Борисов А.А., *Семенов С.С., Шихмурадов Д.У., Панкратов А.В., Астапенко Е.В., Казаринова В.Е., Пестренин Л.Д., Ерижоков Р.А., Омелянская О.В., Арзамасов К.М.

ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ» (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»)

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

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

- радиомика
- КТ
- гепатоцеллюлярный рак
- внутриспеченочная холангиокарцинома
- простые кисты печени
- гемангиомы печени

АННОТАЦИЯ:

Введение: новообразования печени, в том числе злокачественные, широко распространены в популяции и являются частой находкой при проведении КТ-исследований брюшной полости. Использование радиомических характеристик лучевых диагностических изображений является перспективным направлением для дифференциации новообразований печени до проведения биопсии.

Цель: оценить возможность радиомики для дифференциальной диагностики новообразований печени различной этиологии.

Материал и методы: в исследование были включены КТ-исследования 248 пациентов с новообразованиями печени. Всего были получены изображения 1109 новообразований печени: 590 - простые кисты, 233 - гемангиомы, 219 - гепатоцеллюлярный рак (ГЦР), 67 - внутриспеченочная холангиокарцинома (ХЦР). Новообразования были сегментированы на бесконтрастной и 3 постконтрастных фазах в программном обеспечении 3DSlicer. Для каждого новообразования были извлечены 428 показателей радиомики с помощью открытой библиотеки pyradiomics. С использованием извлеченных показателей были построены модели машинного обучения для дифференциальной диагностики различных новообразований печени.

Результаты: для дифференциации 4 типов новообразований была получена модель с показателями диагностической точности: precision - 0,77 [0,71;0,82], recall - 0,78 [0,72;0,83], accuracy - 0,86 [0,81;0,90], f1-score - 0,77 [0,71;0,82]. Для дифференциации доброкачественных и злокачественных новообразований была построена модель с метриками: precision - 0,84 [0,8;0,88], recall - 0,86 [0,82;0,89], accuracy - 0,92 [0,88;0,95], f1-score - 0,85 [0,81;0,89], ROC-AUC - 0,96 [0,93;0,98]. Модель дифференциации гепатоцеллюлярной и холангиокарцином показала метрики по определению ГЦР: precision - 0,86 [0,77;0,93], recall - 0,94 [0,87;0,98], f1-score - 0,90 [0,81;0,95], метрики определения ХЦР: precision - 0,71 [0,60;0,80], recall - 0,50 [0,39;0,61], f1-score - 0,59 [0,48;0,69]. Общая accuracy - 0,84 [0,75;0,91], ROC-AUC - 0,78 [0,64;0,91]. Модель дифференциации простых кист и гемангиом показала метрики по определению гемангиом: precision - 0,95 [0,92;0,97], recall - 0,87 [0,82;0,91], accuracy - 0,95 [0,92;0,97], f1-score - 0,91 [0,87;0,94], ROC-AUC - 0,97 [0,93;0,99]. Модель дифференциации ГЦР и гемангиом показала метрики по определению ГЦР: 0,90 [0,83;0,94], recall - 0,86 [0,79;0,91], accuracy - 0,89 [0,82;0,94], f1-score - 0,88 [0,82;0,93], ROC-AUC - 0,92 [0,88;0,97].

Выводы: разработанные нами модели демонстрируют высокие возможности радиомики для дифференциации новообразований печени и в дальнейшем могут быть использованы для выбора оптимальной тактики лечения и диагностики при обнаружении на КТ подозрительного новообразования печени до проведения биопсии.

Для цитирования. Васильев Ю.А., Савкина Е.Ф., Борисов А.А., Семенов С.С., Шихмурадов Д.У., Панкратов А.В., Астапенко Е.В., Казаринова В.Е., Пестренин Л.Д., Ерижоков Р.А., Омелянская О.В., Арзамасов К.М. «ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОМИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ НОВООБРАЗОВАНИЙ ПЕЧЕНИ РАЗЛИЧНОЙ ЭТИОЛОГИИ ПО ДАННЫМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ». Ж. ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ И ИНТЕРВЕНЦИОННАЯ РАДИОЛОГИЯ. 2024; 18(2.1): 79–86.

USE OF RADIOMIC FEATURES FOR CLASSIFICATION OF LIVER NEOPLASMS OF VARIOUS ETIOLOGY ACCORDING TO COMPUTED TOMOGRAPHY DATA

Vasilev U.A., Savkina E.F., Borisov A.A., *Semenov S.S., Shikhmuradov D.U., Pankratov A.V., Astapenko E.V., Kazarinova V.E., Pestrenin L.D., Yerizhokov R.A., Omelyanskaya O.V., Arzamasov K.M.

SBHI «Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department»

KEY-WORDS:

- radiomics
- CT
- hepatocellular carcinoma
- intrahepatic cholangiocarcinoma
- simple liver cysts
- liver hemangiomas

ABSTRACT:

Introduction: liver neoplasms, including malignant ones, are widespread in the population and are a common finding during CT examinations of the abdominal cavity. The use of radiomic features in radiology diagnostic images is a promising direction for differentiating liver neoplasms before biopsy.

Aim: was to evaluate capabilities of radiomics for the differential diagnosis of liver neoplasms of various etiologies.

Material and methods: the study included CT examinations of 248 patients with liver neoplasms. A total of 1109 liver neoplasms were imaged: 590 simple cysts, 233 hemangiomas, 219 hepatocellular carcinoma (HCC), and 67 intrahepatic cholangiocarcinoma (ICC). Lesions were segmented into non-contrast and 3 post-contrast phases in 3DSlicer software. For each neoplasm, 428 radiomic features were extracted using the open-source library pyradiomics. Using the extracted features, machine learning models were built for differential diagnosis of various liver neoplasms.

Results: to differentiate 4 types of neoplasms, a model was obtained with the following diagnostic accuracy indicators: precision - 0,77 [0,71;0,82], recall - 0,78 [0,72;0,83], accuracy - 0,86 [0,81;0,90], f1-score - 0,77 [0,71;0,82]. To differentiate between benign and malignant neoplasms, a model was built with the following metrics: precision - 0,84 [0,8;0,88], recall - 0,86 [0,82;0,89], accuracy - 0,92 [0,88;0,95], f1-score - 0,85 [0,81;0,89], ROC-AUC - 0,96 [0,93;0,98]. The model for differentiating HCC and ICC showed metrics for determining HCC: precision - 0,86 [0,77;0,93], recall - 0,94 [0,87;0,98], f1-score - 0,90 [0,81;0,95], metrics for determining ICC: precision - 0,71 [0,60;0,80], recall - 0,50 [0,39;0,61], f1-score - 0,59 [0,48;0,69]. Overall accuracy - 0,84 [0,75;0,91], ROC-AUC - 0,78 [0,64;0,91]. The model for differentiating simple cysts and hemangiomas showed metrics for determining hemangiomas: precision - 0,95 [0,92;0,97], recall - 0,87 [0,82;0,91], accuracy - 0,95 [0,92;0,97], f1-score - 0,91 [0,87;0,94], ROC-AUC - 0,97 [0,93;0,99]. The model for differentiating HCC and hemangiomas showed metrics for determining HCC: 0,90 [0,83;0,94], recall - 0,86 [0,79;0,91], accuracy - 0,89 [0,82;0,94], f1-score - 0,88 [0,82;0,93], ROC-AUC - 0,92 [0,88;0,97].

Conclusions: the models we developed demonstrate the high capabilities of radiomics for differentiating liver neoplasms and can subsequently be used to select the optimal treatment and diagnostic tactics when a suspicious liver neoplasm is detected on CT before a biopsy.

Введение

Новообразования печени широко представлены в человеческой популяции. Они являются распространенной находкой при проведении лучевых диагностических исследований и зачастую имеют доброкачественный характер [1]. Такие доброкачественные новообразования, как кавернозные гемангиомы встречаются при аутопсии у 7% людей [2], кисты печени у 5% [3], фокальная нодулярная гиперплазия (ФНГ) у 4% [4]. Другие доброкачественные изменения, например, аденомы, очаговый жировой гепатоз, абсцессы печени являются более редкими [3]. Распространенной проблемой являются злокачественные новообразования печени. Так, в 2020 году, количество диагностированных случаев рака печени превысило 900 тысяч, причем этот вид рака стал причиной смерти для более, чем 830 тысяч человек в мире [5]. Самыми распространенными формами рака печени являются гепатоцеллюлярный рак (ГЦР) (75%) и внутриспеченочная холангиокарцинома (ХЦР) (12%) [6]. Гепатоцеллюлярный рак обычно развивается на фоне цирроза печени вирусной или алкогольной этиологии и является основным типом первичного рака печени. Холангиокарцинома, в свою очередь, происходит из

клеток желчных протоков и обычно диагностируется в более поздней стадии, что усложняет лечение и снижает выживаемость пациентов. Помимо этого, печень является распространенным местом метастазирования. Метастазы в печень выявляются более чем у 5% онкобольных и по частоте встречаемости являются более распространенным, чем первичный рак печени [7].

В выявлении новообразований печени методы лучевой диагностики играют ведущую роль. Среди них компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ) органов брюшной полости (ОБП) являются основными методами обследования, позволяющими получить детальные изображения печени и обнаружить как доброкачественные, так и злокачественные новообразования. Кроме того, методы лучевой диагностики позволяют оценить размер, локализацию, структуру и характеристики новообразований, что играет ключевую роль в планировании дальнейшего лечения и прогнозировании результатов. Выбор конкретного метода зависит от ряда факторов, включая клинические показатели, доступность оборудования, стоимость исследования и

экспертизу медицинского персонала. В клинической практике преобладает использование КТ-исследований печени [8]. Новообразования печени могут вызывать сложности в диагностике у рентгенологов по данным КТ по причине сходства визуальных паттернов, небольших размеров некоторых новообразований, различий вариантов нормы, многообразием этиологии. Новообразования, обнаруженные при лучевой диагностике, часто требуют дополнительных инвазивных исследований, таких, как биопсия для окончательного подтверждения диагноза.

Таким образом, лучевые методы не только являются важным инструментом для обнаружения новообразований печени, но и играют ключевую роль в их дифференциации и дальнейшем управлении пациентами [9]. Все эти факторы подчеркивают важность исследования возможности использования дополнительных методов, таких как радиомический анализ, для улучшения точности и надежности диагностики.

Дифференциальная диагностика злокачественных и доброкачественных новообразований печени не всегда является простой задачей, особенно для новообразований небольших размеров, даже при проведении КТ и МРТ с внутривенным контрастным усилением [1]. Так чувствительность выявления ГРЦ в очагах менее 1 см при КТ с контрастным усилением составляет не более 50% [10]. Дифференциальная диагностика злокачественных новообразований печени только по данным методов визуализации также затруднительна. Более 50% ХЦР ошибочно классифицируются на диагностическом этапе как ГЦР [11].

Методом, способным повысить возможности диагностики новообразований печени, является радиомика - метод извлечения количественных показателей из медицинских изображений и дальнейшей классификацией данных с использованием этих показателей [12]. Исследователи успешно применяют радиомику для дифференциальной диагностики различных новообразований печени. Так Shuyi Ni и соавт. разработали модель дифференциальной диагностики ГЦР от гемангиом печени с AUC = 0,87 [10]. S Mahmoudi и соавт. успешно использовали радиомические показатели для дифференциации ХЦР и ГЦР [13]. Pei Nie и соавт. удалось создать модель на основе радиомических и клинических факторов, позволяющую различать ФНГ от ГЦР с AUC = 0,92 [14]. Также существуют эффективные модели, дифференцирующие гепатоцеллюлярную аденому [15], кисты [16], метастазы [17] и другие новообразования печени.

Помимо дифференциальной диагностики, методы радиомики применяются для прогнозирования рецидивов [18], эффективности лечения [19] и выживаемости [20] пациентов с новообразованиями печени.

Целью нашего исследования было оценить возможности применения радиомических показателей изображений компьютерной томографии органов брюшной полости для дифференциальной диагностики новообразований печени различной этиологии.

Материал и методы

В исследование были включены компьютерные томографии пациентов, проходивших обследование и лечение в 2022 году в медицинских организациях Департамента здравоохранения города Москвы с рентгенологически выявленными и гистологически подтвержденными новообразованиями печени 4 групп: простые кисты, гемангиомы, ГЦР, ХЦР.

Критериями включения были:

1. Наличие гистологически подтвержденного ГЦР, ХЦР, либо наличие у пациента, согласно заключению врача-рентгенолога, простых кист и гемангиом печени;
2. Наличие выполненного предоперационного КТ-исследования органов брюшной полости с внутривенным контрастированием.

Критериями исключения были:

1. Невозможность оценки изображений из-за неудовлетворительного качества, артефактов в зоне интереса;
2. Невозможность применения методов регистрации изображений в связи со значительным смещением пациента относительно стола томографа;
3. Отсутствие выполненного гистологического исследования.

В соответствии с указанными критериями, нами были отображены 248 КТ-исследований брюшной полости с внутривенным контрастированием. Если у пациента визуализировалось несколько новообразований печени, каждое из них рассматривалось отдельно. Всего были получены изображения 1109 новообразований печени: 590 простых кист, 233 гемангиом, 219 ГЦР и 67 ХЦР.

Сегментация областей интереса

Двумя рентгенологами с опытом абдоминальной визуализации 3 года и 5 лет, параллельно и независимо друг от друга, была выполнена 3D-сегментация областей интереса на нативной и постконтрастных артериальной, венозной и отсроченной фазах контрастирования исследования с использованием программного обеспечения 3DSlicer. Сегментация производилась в полуавтоматическом режиме: врач графически выделял область интереса в наиболее ему комфортной для визуализации фазе контрастирования, затем происходила автоматическая сегментация зоны интереса на других сериях изображений, с возможностью ручной корректировки полученных масок. Совмещение анатомических структур и областей интереса между данными разных серий изображений осуществлялась методами регистрации изображений с помощью библиотеки itk-elastix. Параметры регистрации выбирались следующими: преобразование представляло собой композицию смещения, аффинного преобразования и нелинейного преобразования на основе b-splines. В качестве метрики сходства использовалась взаимная информация, а в качестве оптимизатора - стохастический градиентный спуск.

Таким образом, в результате регистрации одна маска могла быть использована для изображений на других сериях.

Пример сегментации представлен на **рисунке 1**.

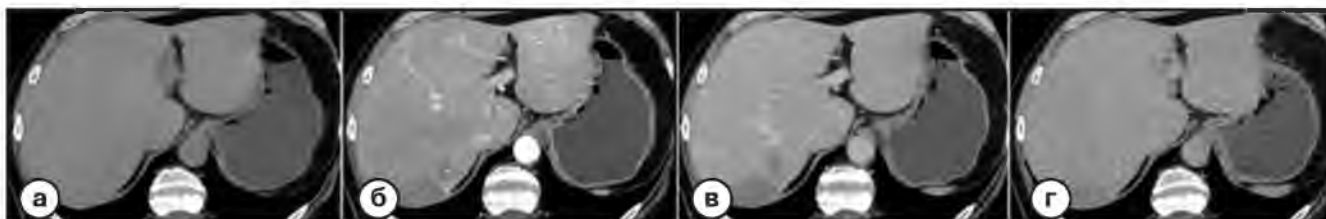


Рис. 1. Пример сегментации новообразования печени (гемангиомы) полуавтоматическим методом на нативной (а), артериальной (б), венозной (в), отсроченной фазах (г) исследования с применением методов регистрации изображений.

Для лучшей визуализации представлены только внешние контуры масок.

Извлечение показателей радиомики из областей интереса проводилось на языке программирования Python 3.10 при помощи библиотеки pyradiomics версии 3.1.0 без применения предварительной обработки изображений. Для каждого новообразования рассчитывалось 428 радиомических показателей, по 107 на каждую фазу контрастирования. Данные были случайным образом разделены на обучающую (70%) и тестовую (30%) выборки с учетом баланса классов. Для уменьшения признакового пространства использовались статистический критерий Манна-Уитни (для отбора значимо различающихся признаков), проводился корреляционный анализ с помощью критерия Пирсона (для исключения сильно коррелирующих признаков), а также оценивалась степень значимости признака мерой feature importances. Для построения моделей определения типа новообразований печени использовались различные методы машинного обучения. Подбор гиперпараметров модели производился с помощью кроссвалидации с количеством фолдов 5. Для выбора наиболее эффективных моделей использовались стандартные метрики машинного обучения: для моделей бинарной классификации precision (точность), recall (чувствительность/полнота), accuracy (правильность), f1-score (f1-мера) и вычислялась площадь под характеристической кривой ROC-AUC; для моделей многоклассовой классификации макроагрегированные precision, recall, accuracy, f1-score. 95% доверительные интервалы для метрик классификации рассчитывались методом Клоппера-Пирсона. Для расчета статистических критериев использовалась компьютерная программа для статистической обработки данных StatSoft Statistica v10.

Результаты

Нами были оценены возможности показателей радиомики по дифференциальной диагностике новообразований печени в следующих ситуациях:

- Дифференциация 4 типов новообразований (простые кисты, гемангиомы, ГЦР и ХЦР) одновременно;
- Дифференциация злокачественных и доброкачественных новообразований;
- Дифференциация ГЦР и ХЦР;
- Дифференциация кист и гемангиом;
- Дифференциация ГЦР и гемангиом.

Для каждой задачи статическими методами отбирались наиболее значимые признаки для включения в модель и прово-

дился подбор гиперпараметров различных алгоритмов машинного обучения (дерево решений, логистическая регрессия, случайный лес, градиентный бустинг) для получения моделей с максимальными диагностическими характеристиками. Сводные результаты нашего исследования представлены в **таблице 1**. ROC-кривые для лучших моделей представлены на **рисунке 2**.

Дифференциация 4 типов новообразований

Наилучшие показатели многоклассовой классификации удалось получить для модели случайного леса: макроагрегированные показатели precision - 0,77 [0,71;0,82], recall - 0,78 [0,72;0,83], accuracy - 0,86 [0,81;0,90], f1-score - 0,77 [0,71;0,82]. К сожалению, из-за выраженного дисбаланса классов полученная модель плохо справлялась с определением самого малочисленного класса – ХЦР, максимальная чувствительность, которой удалось добиться для этого класса - 60%. При этом метрики для всех остальных типов новообразований превышали 80%. В связи с этим мы решили провести попытки бинарной классификации различных групп новообразований.

Дифференциация злокачественных и доброкачественных новообразований

Для построения данной модели новообразования были сгруппированы по группам: группа 0 (доброкачественные) - кисты + гемангиомы, группа 1 (злокачественные) - ГКР + ХЦР. Наилучшие показатели для положительного класса удалось получить с помощью модели случайного леса: precision - 0,84 [0,8;0,88], recall - 0,86 [0,82;0,89], accuracy - 0,92 [0,88;0,95], f1-score - 0,85 [0,81;0,89], ROC-AUC - 0,96 [0,93;0,98]. Полученные метрики говорят о достаточно высокой способности определения злокачественной природы новообразований печени с помощью методов радиомики.

Дифференциация ГЦР и ХЦР

Для дифференциации двух типов злокачественных новообразований печени лучше всего себя проявила модель случайного леса. Эта модель имела высокие метрики качества по определению ГЦР: precision - 0,86 [0,77;0,93], recall - 0,94 [0,87;0,98], f1-score - 0,90 [0,81;0,95], однако метрики определения ХЦР были низкими: precision - 0,71 [0,60;0,80], recall - 0,50 [0,39;0,61], f1-score - 0,59 [0,48;0,69]. Получены метрики accuracy - 0,84 [0,75;0,91], ROC-AUC - 0,78 [0,64;0,91]. Наиболее значимые для модели показатели были извлечены в артериальную фазу, что дает нам направление для дальнейших исследований. Полученные нами результаты соотносятся с результатами зарубежных коллег, проводивших аналогичные исследования. Мы связываем такие метрики с недостаточным количеством внутривече-

Таблица 1. Сводная таблица метрик лучших моделей машинного обучения на тестовых выборках

Модель	Метрики				
	precision (95% ДИ)	recall (95% ДИ)	accuracy (95% ДИ)	F1-score (95% ДИ)	ROC-AUC (95% ДИ)
Дифференциация 4 типов новообразований	0,77 [0,71;0,82]	0,78 [0,72;0,83]	0,86 [0,81;0,90]	0,77 [0,71;0,82]	-
Дифференциация ЗНО и доброкачественных новообразований	0,84 [0,80;0,88]	0,86 [0,82;0,89]	0,92 [0,88;0,95]	0,85 [0,81;0,89]	0,96 [0,93;0,98]
Дифференциация ГЦР и ХЦР: ГЦР	0,86 [0,77;0,93]	0,94 [0,87;0,98]	0,84 [0,75;0,91]	0,90 [0,81;0,95]	0,78 [0,64;0,91]
Дифференциация ГЦР и ХЦР: ХЦР	0,71 [0,60;0,80]	0,50 [0,39;0,61]	0,84 [0,75;0,91]	0,59 [0,48;0,69]	0,78 [0,64;0,91]
Дифференциация кист и гемангиом	0,95 [0,92;0,97]	0,87 [0,82;0,91]	0,95 [0,92;0,97]	0,91 [0,87;0,94]	0,97 [0,93;0,99]
Дифференциация ГЦР и гемангиом	0,90 [0,83;0,94]	0,86 [0,79;0,91]	0,89 [0,82;0,94]	0,88 [0,82;0,93]	0,92 [0,88;0,97]

ночных ХЦР в обучающей выборке, в связи с их низкой распространенностью в популяции. Мы планируем продолжить сбор пациентов с данной патологией и попытки создать более эффективные модели дифференциальной диагностики.

Дифференциация кист и гемангиом

Для дифференциации доброкачественных новообразований

печени (группа 0 – кисты, группа 1 - гемангиомы) лучше всего себя показала модель случайного леса. Полученные моделью метрики для положительного класса: precision - 0,95 [0,92;0,97], recall - 0,87 [0,82;0,91], accuracy - 0,95 [0,92;0,97], f1-score - 0,91 [0,87;0,94], ROC-AUC - 0,97 [0,93;0,99]. Разработанная модель с высокой точностью справляется с поставленной задачей.

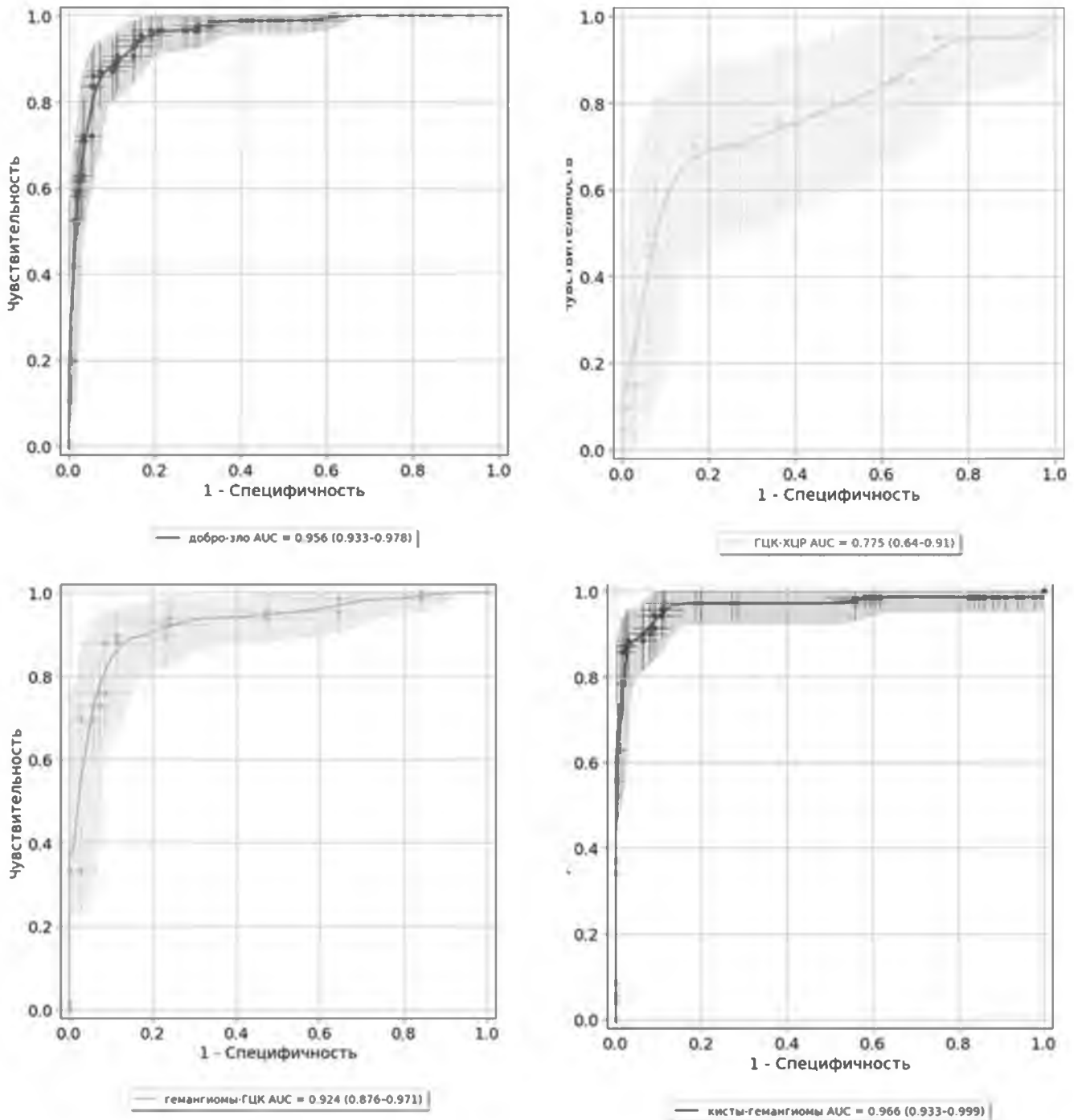


Рис. 2. ROC-кривые для моделей.

а - Дифференциации злокачественных и доброкачественных новообразований;

б - Дифференциации ГЦР и ХЦР;

в - Дифференциации ГЦР и гемангиом;

г - Дифференциации кист и гемангиом.

Дифференциация ГЦР и гемангиом

Как частный случай дифференциальной диагностики доброкачественных и злокачественных новообразований была выбрана дифференциация гемангиом - класс 0 и ГКЦ - класс 1. Согласно данным литературы, данные новообразования могут быть похожи по характеру контрастирования и плохо отделяемы при небольших размерах. Наилучшей моделью стала модель случайного леса. Метрики модели для положительного класса: precision - 0,90 [0,83;0,94], recall - 0,86 [0,79;0,91], accuracy - 0,89 [0,82;0,94], f1-score - 0,88 [0,82;0,93], ROC-AUC - 0,92 [0,88;0,97]. Полученные результаты говорят о высокой способности показателей радиомики по определению ГЦР на фоне гемангиом.

Обсуждение

К недостаткам нашей работы можно отнести небольшое количество уникальных пациентов с внутривеночным ХЦР, что не позволило получить более высокие метрики моделей машинного обучения. Однако полученные нами результаты соотносятся с результатами схожих исследований зарубежных коллег [21]. Стоит отметить, что наиболее эффективные модели дифференциации ГЦР и ХЦР в аналогичных исследованиях были получены с использованием клинических данных пациента помимо показателей радиомики, что не было выполнено в данном исследовании в связи с отсутствием доступа к медицинским картам пациентов [13,21]. Модели, разработанные для решения других задач, в том числе для дифференциации доброкачественных и злокачественных новообразований печени показали высокие метрики классификации и могут быть использованы в клинической практике. По значениям метрик диагностической точности наши модели сопоставимы с исследованиями зарубежных коллег [10,16,22]. Помимо оптимизации моде-

лей и подготовки набора данных с дополнительными клиническими результатами, а также решения дисбаланса классов, необходимо учитывать подходы к обеспечению качества исходных данных для радиомического анализа на всех этапах [23-24].

Выводы

Нами показаны высокие потенциальные возможности применения показателей радиомики для дифференциальной диагностики новообразований печени. Разработанные нами модели позволяют с высокой точностью дифференцировать различные типы новообразований печени, в том числе злокачественные новообразования печени от доброкачественных, что может способствовать выбору оптимальной тактики лечения и диагностики при использовании только данных КТ-исследований. Дифференциация внутривеночной холангиокарциномы и гепатоцеллюлярного рака с использованием радиомических характеристик изображения требует дальнейших исследований.

В дальнейшей перспективе нами планируется увеличение размера набора данных, в частности будет увеличено количество случаев с холангиокарциномами, добавлены новые классы, такие как фокальная нодулярная гиперплазия, увеличено количество случаев по основным патологиям.

Также нами ведется разработка автоматических алгоритмов сегментации новообразований на основе методов глубокого обучения для автоматизации процесса получения масок. Разработка таких алгоритмов позволит увеличить размер набора данных и, возможно, улучшить метрики классификаторов, а также уменьшит время, затрачиваемое врачами-рентгенологами на ручную разметку новообразований. ■

Список литературы/References

1. Reizine E, Mule S, Luciani A. Focal Benign Liver Lesions and Their Diagnostic Pitfalls. *Radiol Clin North Am.* 2022; 60(5): 755-773.
2. Ishak KG, Rabin L. Benign tumors of the liver. *Med Clin North Am.* 1975; 59(4): 995-1013.
3. Venkatesh SK, Chandan V, Roberts LR. Liver Masses: A Clinical, Radiological and Pathological Perspective For: Perspectives in Clinical Gastroenterology and Hepatology. *Clin Gastroenterol Hepatol.* 2014; 12(9): 1414.
4. Wenniger L, Terpstra V, Beuers U. Focal nodular hyperplasia and hepatic adenoma: epidemiology and pathology. *Dig Surg.* 2010; 27(1): 24-31.
5. Runggay H, Arnold M, Ferlay J, et al. Global burden of primary liver cancer in 2020 and predictions to 2040. *J Hepatol.* 2022; 77(6): 1598-1606.
6. Altekruse SF, Devesa SS, Dickie LA, et al. Histological classification of liver and intrahepatic bile duct cancers in SEER registries. *J Registry Manag.* 2011; 38(4): 201.
7. Horn SR, Stoltzfus KC, Lehrer EJ, et al. Epidemiology of liver metastases. *Cancer Epidemiol.* 2020; 67: 101760.
8. Щекотуров И.О., Бахтиозин Р.Ф., Серова Н.С., Шантаревиц М.Ю. Лучевые методы диагностики очаговых образований печени. *REJR.* 2018; 8(4): 194-207.
9. Shchekaturov IO, Bakhtiozin RF, Serova NS, Shantarevich MYu. Radiation methods of diagnosis of focal liver formations. *REJR.* 2018; 8(4): 194-207 [In Russ].
9. Jiang HY, Chen J, Xia CC, et al. Noninvasive imaging of hepatocellular carcinoma: From diagnosis to prognosis. *World J Gastroenterol.* 2018; 24(22): 2348.
10. Hu S, Lyu X, Li W, et al. Radiomics Analysis on Noncontrast CT for Distinguishing Hepatic Hemangioma (HH) and Hepatocellular Carcinoma (HCC). *Contrast Media Mol Imaging.* 2022; 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/7693631>
11. Liu X, Khalvati F, Namdar K, et al. Can machine learning radiomics provide pre-operative differentiation of combined hepatocellular cholangiocarcinoma from hepatocellular carcinoma and cholangiocarcinoma to inform optimal treatment planning? *Eur Radiol.* 2021; 31(1): 244-255.
12. Lambin P, Rios-Velazquez E, Leijenaar R, et al. Radiomics: Extracting more information from medical images using advanced feature analysis. *Eur J Cancer.* 2012; 48(4): 441-446.
13. Mahmoudi S, Bernatz S, Ackermann J, et al. Computed Tomography Radiomics to Differentiate Intrahepatic Cholangiocarcinoma and Hepatocellular Carcinoma. *Clin Oncol (R Coll Radiol).* 2023; 35(5): e312-e318.
14. Nie P, Yang G, Guo J, et al. A CT-based radiomics nomogram for differentiation of focal nodular hyperplasia from hepatocellular carcinoma in the non-cirrhotic liver. *Cancer Imaging.* 2020; 20(1). <https://doi.org/10.1186/S40644-020-00297-Z>
15. Nie P, Wang N, Pang J, et al. CT-Based Radiomics Nomogram: A Potential Tool for Differentiating Hepatocellular Adenoma From Hepatocellular Carcinoma in the Noncirrhotic Liver. *Acad Radiol.* 2021; 28(6): 799-807.
16. Zhao X, Liang P, Yong L, et al. Radiomics Study for Differentiating Focal Hepatic Lesions Based on Unenhanced CT Images. *Front Oncol.* 2022; 12: 650797.
17. Wang Y, Ma LY, Yin XP, Gao BL. Radiomics and Radi-

ogenomics in Evaluation of Colorectal Cancer Liver Metastasis. *Front Oncol.* 2021; 11.

<https://doi.org/10.3389/FONC.2021.689509>

18. Taghavi M, Staal F, Gomez MF, et al. CT-Based Radiomics Analysis Before Thermal Ablation to Predict Local Tumor Progression for Colorectal Liver Metastases. *Cardiovasc Intervent Radiol.* 2021; 44(6): 913-920.

19. Ren Q, Zhu P, Li C, et al. Pretreatment Computed Tomography-Based Machine Learning Models to Predict Outcomes in Hepatocellular Carcinoma Patients who Received Combined Treatment of Trans-Arterial Chemoembolization and Tyrosine Kinase Inhibitor. *Front Bioeng Biotechnol.* 2022; 10.

<https://doi.org/10.3389/FBIOE.2022.872044/FULL>

20. Stüber AT, Coors S, Schachtner B, et al. A Comprehensive Machine Learning Benchmark Study for Radiomics-Based Survival Analysis of CT Imaging Data in Patients With Hepatic Metastases of CRC. *Invest Radiol.* 2023; 58(12): 874.

21. Liu N, Wu Y, Tao Y, et al. Differentiation of Hepatocellular Carcinoma from Intrahepatic Cholangiocarcinoma through MRI Radiomics. *Cancers (Basel).* 2023; 15(22).

<https://doi.org/10.3390/CANCERS15225373>

22. Yin J, Qiu J-J, Qian W, et al. A radiomics signature to identify malignant and benign liver tumors on plain CT images. *J Xray Sci Technol.* 2020; 28(4): 683-694.

23. Хоружая А.Н., Ахмад Е.С., Семенов Д.С. Роль системы контроля качества лучевой диагностики онкологических заболеваний в радиомике. *Digital Diagnostics.* 2021; 2(2): 170-184.

Khoruzhaya AN, Ahkmad ES, Semenov DS The role of the quality control system for diagnostics of oncological diseases in radiomics. *Digital Diagnostics.* 2021; 2(2): 170-184 [In Russ].

24. Васильев Ю.А., Арзамасов К.М., Владимировский А.В. и др. Подготовка набора данных для обучения и тестирования программного обеспечения на основе технологии искусственного интеллекта. М.: Ridero: Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы. 2024; 140.

Vasilev UA, Arzamasov KM, Vladimirovsky AV, et al. Preparation of a data set for training and testing software based on artificial intelligence technology. М.: Ridero: State Budget-Funded Health Care Institution of the City of Moscow «Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department». 2024; 140 [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

ВАСИЛЬЕВ ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ - [ORCID: 0000-0002-5283-5961]

к.м.н., директор,

ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы» (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»),
127051 Российская Федерация, г. Москва, ул. Петровка, 24 стр. 1;

САВКИНА ЕКАТЕРИНА ФЕЛИКСОВНА - [ORCID: 0000-0001-9165-0719]

инженер отдела медицинской информатики,
радиомики и радиогеномики,

ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы» (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»),
127051 Российская Федерация, г. Москва, ул. Петровка, 24 стр. 1;

БОРИСОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ - [ORCID: 0000-0003-4036-5883]

младший научный сотрудник отдела медицинской информатики,
радиомики и радиогеномики,

ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы» (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»),
127051 Российская Федерация, г. Москва, ул. Петровка, 24 стр. 1;

СЕМЕНОВ СЕРАФИМ СЕРГЕЕВИЧ - [ORCID: 0000-0003-2585-0864]

врач-рентгенолог, младший научный сотрудник сектора разработки систем внедрения
медицинских интеллектуальных технологий,

ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы» (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»),
127051 Российская Федерация, г. Москва, ул. Петровка, 24 стр. 1;

ШИХМУРАДОВ ДАВИД УРУЖБЕКОВИЧ - [ORCID: 0000-0003-1597-5786]

врач-рентгенолог, младший научный сотрудник отдела медицинской информатики,
радиомики и радиогеномики,

ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы» (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»),
127051 Российская Федерация, г. Москва, ул. Петровка, 24 стр. 1;

ПАНКРАТОВ АНДРЕЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ - [ORCID: 0009-0008-4741-4530]

врач-рентгенолог, младший научный сотрудник отдела медицинской информатики,
радиомики и радиогеномики,

ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы» (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»),
127051 Российская Федерация, г. Москва, ул. Петровка, 24 стр. 1;

АСТАПЕНКО ЕЛЕНА ВАСИЛЬЕВНА - [ORCID: 0009-0006-6284-2088]

врач-рентгенолог, младший научный сотрудник отдела медицинской информатики,
радиомики и радиогеномики,

ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы» (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»),
127051 Российская Федерация, г. Москва, ул. Петровка, 24 стр. 1;

КАЗАРИНОВА ВЕРОНИКА ЕВГЕНЬЕВНА - [ORCID: 0009-0001-3568-8138]

техник отдела медицинской информатики,
радиомики и радиогеномики,

ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы» (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»),
127051 Российская Федерация, г. Москва, ул. Петровка, 24 стр. 1;

ПЕСТРЕНИН ЛЕВ ДМИТРИЕВИЧ - [ORCID: 0000-0002-1786-4329]

врач-организатор здравоохранения,
младший научный сотрудник отдела медицинской информатики,
радиомики и радиогеномики,

ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы» (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»),
127051 Российская Федерация, г. Москва, ул. Петровка, 24 стр. 1;

ЕРИЖОКОВ РУСТАМ АРСЕНЬЕВИЧ - [ORCID: 0009-0007-3636-2889]

врач-хирург,
младший научный сотрудник отдела медицинской информатики,
радиомики и радиогеномики,

ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы» (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»),
127051 Российская Федерация, г. Москва, ул. Петровка, 24 стр. 1;

ОМЕЛЯНСКАЯ ОЛЬГА ВАСИЛЬЕВНА - [ORCID: 0000-0002-0245-4431]

руководитель по управлению подразделениями Дирекции Наука,
ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы» (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»),
127051 Российская Федерация, г. Москва, ул. Петровка, 24 стр. 1;

АРЗАМАСОВ КИРИЛЛ МИХАЙЛОВИЧ - [ORCID: 0000-0001-7786-0349]

к.м.н., руководитель отдела медицинской информатики,
радиомики и радиогеномики,

ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы» (ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ»),
127051 Российская Федерация, г. Москва, ул. Петровка, 24 стр. 1.

Конфликт интересов, информация о клинической базе и финансировании

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИОКР «Разработка платформы повышения качества ИИ-Сервисов для медицинской диагностики» (№ ЕГИСУ: 123031400006-0) в соответствии с Приказом от 21.12.2022 г. № 1196 «Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счет средств бюджета города Москвы государственным бюджетным (автономным) учреждениям подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов» Департамента здравоохранения города Москвы.