

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL RESEARCH

УДК 616-073.756.8:611.81

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-32-38>

РАДИОМИКА В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ ОЧАГОВЫХ ПОРАЖЕНИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

^{1,2,3}Н. В. Нуднов[✉], ¹Е. В. Бит-Юнан^{✉*}, ¹Э. С.-А. Шахвалиева[✉], ¹А. А. Борисов[✉], ¹П. Н. Султанова[✉],
¹М. Е. Иванников[✉], ¹Д. Г. Карелидзе[✉], ¹П. И. Бочкова[✉]¹Российский научный центр рентгенодиагностики, Москва, Россия²Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Россия³Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ: Глиобластомы и солитарные метастазы являются наиболее распространенными злокачественными новообразованиями головного мозга, характеризуются высокой смертностью и тяжелым инвалидизирующим действием на пациентов. Методом выбора при нейровизуализации глиобластом и метастазов является магнитно-резонансная томография с контрастным усилением. Однако дифференцировать их часто бывает сложно из-за близких рентгенологических характеристик на МРТ. Радиомика и машинное обучение могут дифференцировать первичное происхождение метастазов в головном мозге, идентифицировать патологические типы опухолей неинвазивно на диагностическом этапе.

ЦЕЛЬ: Применение текстурного анализа для дифференциальной диагностики глиобластом и метастазов различной этиологии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: В исследовании использовались 169 МРТ-исследований из базы данных РНЦДР, 11 из которых с визуализацией морфологически верифицированных глиобластом головного мозга, 55 метастазов рака легкого и 103 метастаза рака молочной железы. Сегментация областей интереса проводилась полуавтоматически в бесплатном программном обеспечении 3D-Slicer с функцией выгрузки показателей радиомики из областей интереса. Для каждого образования было рассчитано по 107 радиомических показателей из T1- и T2-последовательностей.

Статистика: Расчет статистических показателей производился в компьютерной программе для статистической обработки данных IBM SPSS Statistics 23. При статистической обработке данных для сокращения признакового пространства использовались статистический критерий Манна–Уитни для количественных показателей и корреляционный анализ с применением критерия Пирсона. Проведено сокращение признакового пространства и выбор предикторов мерой feature_importances на основе лесов решений. Построение моделей машинного обучения производилось на языке программирования Python 3.10 с использованием специализированных библиотек.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Для модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с T1-последовательности, наиболее эффективный результат показал случайный лес — ROC-AUC=0,815 [0,749; 0,874]. Для модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с T2-последовательности, наиболее эффективный результат показал случайный лес — ROC-AUC=0,817 [0,743; 0,873]. Для комплексной модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с T1- и T2-последовательностей, наиболее эффективный результат показал случайный лес — ROC-AUC=0,855 [0,789; 0,906].

ОБСУЖДЕНИЕ: Полученные нами классификационные модели и их метрики свидетельствуют о том, что радиомические признаки, извлеченные из T2-взвешенных МР-изображений, позволяют с более высокой чувствительностью дифференцировать метастазы рака молочной железы от метастазов рака легкого, чем признаки, извлеченные из T1-взвешенных МР-изображений. Также нами выявлено большое количество значимо отличающихся показателей при построении моделей для дифференциации глиобластом от метастазов, что демонстрирует перспективность данного направления. Планируется продолжить исследование с расширением выборок. Наши выводы также подтверждаются результатами исследований зарубежных коллег.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: Полученные нами модели обладают высокой точностью и чувствительностью к дифференциации метастазов различной этиологии и демонстрируют значительный потенциал в продолжении данного исследования с расширением выборок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: радиомика, МРТ, метастазы мозга, глиобластомы мозга, дифференциальная диагностика, контрастное усиление

* Для корреспонденции: Бит-Юнан Елизавета Владимировна, e-mail: lizamur69@mail.ru

© Авторы, 2024. Издательство ООО «Балтийский медицинский образовательный центр». Данная статья распространяется на условиях «открытого доступа», в соответствии с лицензией CCBY-NC-SA 4.0 («Attribution-NonCommercial-ShareAlike») / «Атрибуция-Некоммерчески-Сохранение Условий» 4.0), которая разрешает неограниченное некоммерческое использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии указания автора и источника. Чтобы ознакомиться с полными условиями данной лицензии на русском языке, посетите сайт: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ru>

Для цитирования: Нуднов Н.В., Бит-Юнан Е.В., Шахвалиева Э.С.-А., Борисов А.А., Султанова П.Н., Иванников М.Е., Карелидзе Д.Г., Бочкова П.И. Радиомика в дифференциальной диагностике очаговых поражений головного мозга: ретроспективное исследование // Лучевая диагностика и терапия. 2024. Т. 15, № 3. С. 32–38, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-32-38>.

RADIOMICS IN THE DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF FOCAL BRAIN LESIONS: A RETROSPECTIVE STUDY

^{1,2,3}Nikolai V. Nudnov[✉], ¹Elizaveta V. Bit-Yunan^{✉*}, ¹Elina S.-A. Shakhvalieva[✉], ¹Aleksander A. Borisov[✉],
¹Peri N. Sultanova[✉], ¹Mikhail E. Ivannikov[✉], ¹David G. Karelidze[✉], ¹Polina I. Bochkova[✉]

¹Russian Scientific Center of Roentgenoradiology, Moscow, Russia

²Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia

³Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

INTRODUCTION: Glioblastoma and solitary metastases are the most common malignant neoplasms of the brain, characterized by high mortality and severe disability in patients. The method of choice for neuroimaging glioblastomas and metastases is contrast-enhanced magnetic resonance imaging. However, differentiation between the two is often difficult due to similar radiological features on MRI. Radiomics and machine learning can differentiate the primary origin of brain metastases and identify pathological tumor types noninvasively.

OBJECTIVE: Application of texture analysis for differential diagnosis of glioblastomas and metastases of different etiologies.

MATERIALS AND METHODS: 169 MRI studies from the RSCRR database were used in the study, 11 of which visualized morphologically differentiated glioblastoma of the brain, 55 lung cancer metastases and 103 breast cancer metastases. Segmentation of the regions of interest was performed semi-automatically in the free 3D-Slicer software with the ability to upload radiomic features from the regions of interest. For each lesion, 107 radiomic features were calculated from T1 and T2 sequences.

Statistics: The calculation of statistical indicators was performed in a computer program for statistical data processing IBM SPSS Statistics 23. In statistical data processing, the Mann-Whitney statistical criterion for quantitative indicators and correlation analysis using the Pearson criterion were used to reduce the feature space. The reduction of the feature space and the selection of predictors by the feature_importances measure based on decision forests were carried out. Machine learning models were built in Python 3.10 using specialized libraries.

RESULTS: For the model based on radiomic features extracted from T1 sequence, random forest showed the most efficient result, ROC-AUC=0.815 [0.749; 0.874]. For the model based on the radiomic features extracted from the T2 sequence, random forest showed the most effective result, ROC-AUC=0.817 [0.743; 0.873]. For the complex model based on radiomic features extracted from T1 and T2 sequences, random forest showed the most efficient result, ROC-AUC=0.855 [0.789; 0.906].

DISCUSSION: The classification models and their metrics obtained by us indicate that the radiomic features extracted from T2 weighted MR images make it possible to differentiate breast cancer metastases from lung cancer metastases with higher sensitivity than the features extracted from T1 weighted MR images. We also identified a large number of significantly different indicators in the construction of models for the differentiation of glioblastomas from metastases, which demonstrates the prospects of this direction. It is planned to continue the study with the expansion of samples. Our conclusions are also confirmed by the research results of our foreign colleagues.

CONCLUSION: The models we have obtained are highly accurate and sensitive to the differentiation of metastases of various etiologies and demonstrate significant potential in continuing this study with an expansion of samples.

KEYWORDS: radiomics, MRI, brain metastases, glioblastoma, differential diagnosis, contrast enhancement

* For correspondence: Elizaveta V. Bit-Yunan, e-mail: lizamur69@mail.ru

For citation: Nudnov N.V., Bit-Yunan E.V., Shakhvalieva E.S.-A., Borisov A.A., Sultanova P.N., Ivannikov M.E., Karelidze D.G., Bochkova P.I. Radiomics in the differential diagnosis of focal brain lesions: a retrospective study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2024. Vol. 15, No. 3. P. 32–38, <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2024-15-3-32-38>.

Введение. Глиобластомы и солитарные метастазы являются наиболее распространенными злокачественными новообразованиями головного мозга. Очаговые поражения головного мозга, как первичные, так и вторичные, характеризуются высокой смертностью и тяжелым инвалидизирующим действием.

По данным Министерства здравоохранения наиболее распространенной в России первичной опухолью головного мозга является глиома, которая

встречается с частотой 10–13 случаев на 100 000 населения в год. Наиболее злокачественная и агрессивная ее форма — глиобластома — регистрируется с частотой 3,5 случая на 100 000 населения в год [1]. Из приведенных данных можно сделать вывод, что глиобластома — самая распространенная глиальная опухоль, составляет почти половину (45–50%) в структуре всех первичных злокачественных опухолей головного мозга.

Что касается метастазов, они составляют около 14 случаев на 100 000 населения в год и превосходят заболеваемость первичными опухолями мозга [2, 3].

Прогноз пациентов с этими поражениями крайне неблагоприятен: их медиана выживаемости ограничена месяцами даже для тех, кто находится на постоянной терапии [1].

Первичными опухолями, которые чаще метастазируют в головной мозг, являются опухоли легких ($\geq 50\%$), молочной железы (15–25%) и кожи (меланома) (5–20%) [1, 2, 4]. По статистике, метастазы в головном мозге обнаруживаются впервые на аутопсии у 25% онкологических больных при известном первичном очаге. Однако существует процент пациентов (2–14%), у которых, напротив, метастазы являются первым проявлением неизвестной первичной опухоли [2]. Эти пациенты подвергаются инвазивным процедурам и визуализационным исследованиям, но даже в таком случае не всегда первичный очаг может быть идентифицирован и происхождение метастазов остается недиагностированным вплоть до летального исхода [2, 3]. Методом выбора при нейровизуализации глиобластом и метастазов является магнитно-резонансная томография с контрастным усилением. Однако дифференцировать их часто бывает сложно из-за близких рентгенологических характеристик на МРТ, таких как центральный некроз, выраженный перитуморальный отек и схожий характер контрастирования.

Дифференциация глиобластом от метастазов, а также метастазов по их происхождению имеет большое клиническое значение для успешного ведения пациентов, поскольку тактика лечения и прогноз зависят от молекулярных характеристик первичных опухолей, особенно для таргетной и иммунотерапии [1, 3]. Гистопатологическое исследование по-прежнему остается стандартом верификации новообразований головного мозга, но имеет ряд противопоказаний и осложнений [1, 5]. К группе высокого риска при оперативном вмешательстве относятся пациенты с выраженным неврологическим дефицитом (гемиплегия, афатические расстройства), признаками повышенного внутричерепного давления, дислокацией структур головного мозга, а также нарушениями свертываемости крови. Кроме того, проведение вмешательства неприемлемо при локализации образования в одной из функциональных областей мозга, где любое, даже незначительное повреждение тканей, может иметь необратимые последствия для пациента.

Приведенные риски, а также гетерогенность и биологическое разнообразие образований головного мозга обозначили очевидную необходимость обнаружения первичной опухоли быстрым, надежным, а главное — неинвазивным способом, стимулировало развитие методов дифференциации с использованием визуализации и радиомики. Этот подход стал многообещающим методом не только в дифференциальном анализе различных типов опу-

холей и метастазов, но и в прогнозировании течения заболевания, а также ответа на терапию [1, 2].

Развитие радиомики и накопление опыта в использовании этого метода показало, что применение его в комбинации с традиционной МРТ является ценным методом повышения эффективности диагностики и прогнозирования ответа на лечение в онкологии [3]. Методы радиомики включают в себя многоуровневый рабочий процесс, направленный на получение, обработку и сегментацию изображений [2]. Однако ключевым этапом исследования является текстурный анализ — метод, который позволяет провести тонкую оценку распределения и взаимосвязей интенсивности уровней серого пикселей и/или вокселей. Вследствие этого текстурный анализ служит отличным инструментом для извлечения биомаркеров (количественных характеристик) визуализации из обычных медицинских изображений и может предоставить гораздо больше данных о гетерогенности образования, которые незаметны для человеческого глаза [2, 6, 7].

Методы текстурного анализа успешно применяются в исследованиях новообразований головного мозга с использованием МРТ в качестве основного метода визуализации [2, 8–10]. В частности, T1-взвешенная МРТ с контрастным усилением — основная последовательность в этих исследованиях, поскольку она используется для первоначального выявления новообразований головного мозга и содержит обширную диагностическую информацию.

В области нейроонкологии новые данные подтвердили, что радиомика и машинное обучение могут дифференцировать первичное происхождение метастазов в головном мозге, идентифицировать патологические типы опухолей, отличать псевдопрогрессию от истинной прогрессии и предсказывать рецидив, выживаемость и даже экспрессию генов лучше, чем методы, используемые в повседневной клинической практике [4, 11].

Цель. Применение текстурного анализа для дифференциальной диагностики глиобластом и метастазов различной этиологии.

Материалы и методы. Одобрение этического комитета не требовалось. Исследование является ретроспективным.

В исследовании использовались 169 МРТ-исследований из базы данных РНЦЦР, 11 из которых с визуализацией морфологически верифицированных глиобластом головного мозга, 55 метастазов рака легкого и 103 метастаза рака молочной железы. Сегментация областей интереса проводилась полуавтоматически врачами-рентгенологами на T1-последовательности с контрастным усилением и T2-последовательности в бесплатном программном обеспечении 3D-Slicer с функцией выгрузки показателей радиомики из областей интереса.

Для каждого образования было рассчитано по 107 радиомических показателей из T1- и T2-последовательностей (всего 214).

Данные были разделены на обучающую и тестовую выборки с процентным соотношением 70%:30%. Для сокращения признакового пространства использовались статистический критерий Манна–Уитни, корреляционный анализ с применением критерия Пирсона, а также проводилась оценка значимости каждого признака мерой feature_importances на основе лесов решений. Построение моделей машинного обучения производилось на языке программирования Python 3.10 с использованием специализированных библиотек. Подбор гиперпараметров модели производился с помощью кроссвалидации с количеством фолдов 5. Для выбора наиболее эффективных моделей использовались стандартные метрики машинного обучения: precision, recall, accuracy, f1-мера и площадь под характеристической кривой ROC-AUC. Для расчета 95% доверительных интервалов метрик классификации применялся метод Клоппера–Пирсона. Расчет статистических показателей производился в компьютерной программе для статистической обработки данных IBM SPSS Statistics 23.

Результаты. Для анализа выборка была разделена следующим образом: 11 глиобластом и 158 метастазов (рака легкого и рака молочной железы в сумме) и 55 метастазов рака легкого и 103 метастаза рака молочной железы.

Количество статистически значимо отличающихся показателей в анализируемых группах представлено в таблице.

Такое большое количество показателей может указывать на сильные различия в текстуре ткани разных видов образований на МРТ, которые могут быть не видны глазу врача-рентгенолога.

- радиомические признаки, извлеченные с T2-последовательности;
- радиомические признаки, извлеченные с T1-и T2-последовательностей.

Для каждой из выборок был произведен отбор наиболее значимых признаков и построены различные модели машинного обучения с выбором наиболее эффективных алгоритмов и их гиперпараметров.

Для модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с T1-последовательности, наиболее эффективный результат показал случайный лес, включающий три прогностических признака: firstorder_10Percentile, ngtdm_Contrast, firstorder_Entropy. Метрики, полученные для лучшей модели: precision — 0,867 [0,805; 0,916], recall — 0,839 [0,770; 0,890], accuracy — 0,813 [0,742; 0,869], f1-score — 0,852 [0,783; 0,901], ROC-AUC — 0,815 [0,749; 0,874]. Показатели 10Percentile и firstorder_Entropy говорят о том, что для метастазов рака молочной железы характерны в среднем более интенсивные (светлые) значения уровня серого и более высокий разброс интенсивностей пикселей внутри одного метастаза. Характеристика ngtdm_Contrast также указывает на то, что для метастазов молочной железы на T1-последовательности характерен более широкий диапазон значений пикселей, а также более резкие изменения значений уровня серого между соседними вокселями.

ROC-кривая для модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с T1-последовательности, представлена на рис. 1.

Для модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с T2-последовательности, наиболее эффективный результат показал случайный лес,

Количество статистически значимо отличающихся показателей в анализируемых группах пациентов

Таблица

Table

Number of statistically significant features in the analyzed groups of patients	
Анализируемая группа	Количество показателей (p<0,05)
Глиобластомы/метастазы	T1+контраст — 67
	T2 — 70
Метастазы рака легкого/метастазы рака молочной железы	T1+контраст — 62
	T2 — 56

На следующем этапе нами были построены модели машинного обучения для дифференциальной диагностики метастазов рака молочной железы и рака легких. Построение моделей для дифференциации глиобластом невозможно на данном этапе исследования ввиду малого количества пациентов, однако выявленные различающиеся признаки свидетельствуют о перспективности данного направления. Для дифференциации метастазов рака легкого и молочной железы данные были разделены на три группы:

- радиомические признаки, извлеченные с T1-последовательности;

включающий три прогностических признака: gldm_LowGrayLevelEmphasis, firstorder_Skewness, gldm_LargeDependenceLowGrayLevelEmphasis. Метрики, полученные для лучшей модели: precision — 0,848 [0,780; 0,901], recall — 0,933 [0,882; 0,968], accuracy — 0,848 [0,780; 0,901], f1-score — 0,889 [0,826; 0,933], ROC-AUC — 0,817 [0,743; 0,873]. Показатели gldm_LowGrayLevelEmphasis и firstorder_Skewness говорят о том, что для метастазов рака легкого на T2-взвешенном изображении характерна большая концентрация пикселей с низким уровнем серого в изображении, а пиксели в метастазах рака

молочной железы, напротив ассиметрично распределены в сторону более интенсивных значений. При этом при наличии внутри метастазов рака молочной железы участков низкой интенсивности они лежат близко друг к другу, о чем говорят более высокие значения показателя `gldm_LargeDependenceLowGrayLevelEmphasis`.

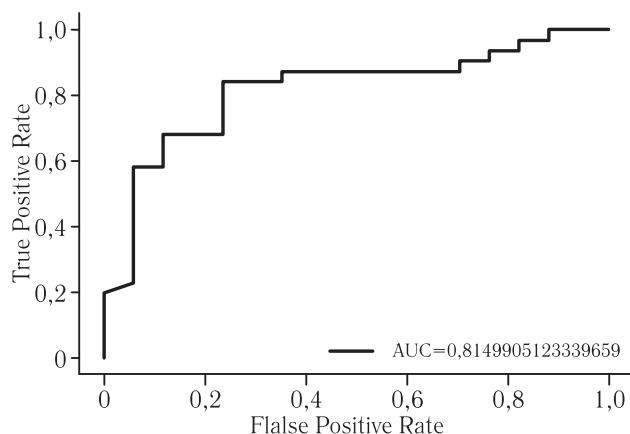


Рис. 1. ROC-кривая модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с T1-последовательности

Fig. 1. ROC-curve of the model based on radiomic features extracted from T1 sequences

ROC-кривая для модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с T2-последовательности, представлена на рис. 2.

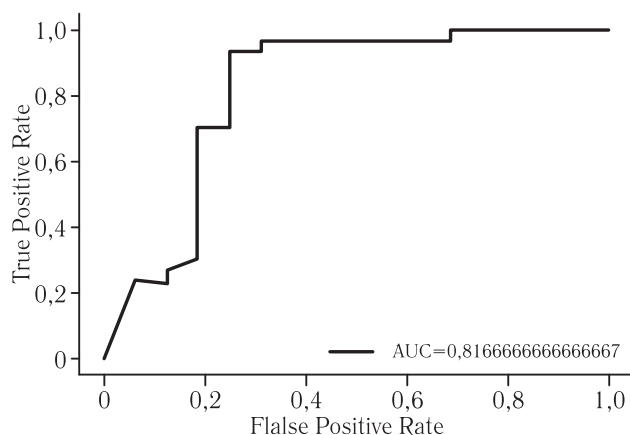


Рис. 2. ROC-кривая модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с T2-последовательности

Fig. 2. ROC-curve of the model based on radiomic features extracted from T2 sequence

Для комплексной модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с T1- и T2-последовательностей, наиболее эффективный результат показал случайный лес, включающий 6 прогностических признаков: `T2_gldm_LowGrayLevelEmphasis`, `T2_firstorder_Skewness`, `T2_gldm_LargeDependenceLowGrayLevelEmphasis`, `T2_firstorder_10Percentile`, `T1_shape_SurfaceVolumeRatio`, `T1_ngtdm_Contrast`. Метрики, полученные для лучшей модели: `precision` — 0,853 [0,788; 0,906], `recall` — 0,967

[0,924; 0,989], `accuracy` — 0,870 [0,803; 0,917], `f1-score` — 0,906 [0,847; 0,947], `ROC-AUC` — 0,855 [0,789; 0,906]. Помимо показателей, описанных при исследовании радиомических показателей на отдельных МР-последовательностях, для итоговой модели значимым оказался показатель `T1_shape_SurfaceVolumeRatio`. Его значения говорят о том, что метастазы рака легкого на T1-последовательности выглядят более сферообразно, чем метастазы рака молочной железы.

ROC-кривая комплексной модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с T1- и T2-последовательностей, представлена на рис. 3.

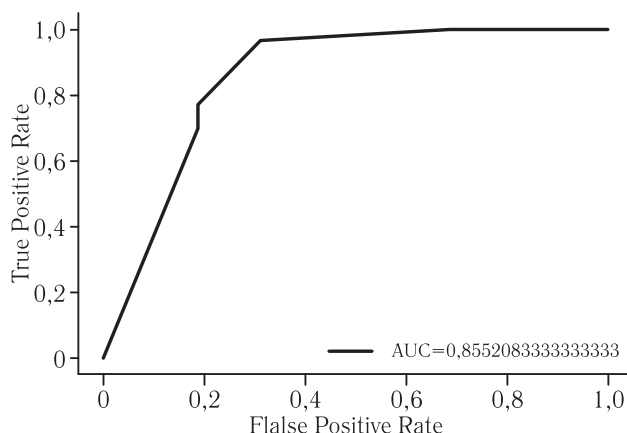


Рис. 3. ROC-кривая комплексной модели, основанной на радиомических признаках, извлеченных с T1- и T2-последовательностей

Fig. 3. ROC-curve of the complex model based on radiomic features extracted from T1 and T2 sequences

Полученные нами модели обладают высокой точностью и чувствительностью к дифференциации метастазов различного происхождения.

Обсуждение. Выявленные нами признаки демонстрируют значительный потенциал и перспективы применения радиомических признаков для дифференциации глиобластом от метастазов в головной мозг, которые подтверждаются результатами исследований зарубежных коллег. Так, в исследовании J. Bai и соавт., модель на основе показателей радиомики дифференцировала пациентов с глиобластомой от солитарного метастаза в мозг с площадью под ROC-кривой (AUC) 0,918 и 0,882 в обучающей и тестовой выборке соответственно [12]. Большинство исследований указывают на то, что модели, объединяющие несколько групп показателей, обладают большим потенциалом для отличия глиобластом от метастазов. Так, в работе Y. Zhang и соавт., посвященной дифференциации глиобластом от солитарного метастаза в головной мозг, комбинированная модель, основанная на демографических факторах и показателях радиомики, показала большую эффективность, чем модель, основанная только на радиомических показателях [13].

Также большое количество исследований посвящено попытке дифференциации метастазов голов-

ного мозга в зависимости от локализации первичной опухоли. В исследовании J. B. S. Shi и соавт. модель, основанная на показателях радиомики, дифференцировала пациентов с метастазами в головной мозг, возникшими вследствие рака легкого и рака молочной железы, с дальнейшим прогнозированием мутаций рецептора эпидермального фактора роста (EGFR) и статуса рецептора эпидермального фактора роста человека 2 (HER2) [14].

Еще одна работа R. Ortiz-Ramón и соавт. показала отличный результат в дифференцировке первичного очага возникновения метастазов в мозг посредством радиомического подхода с площадью под характеристической кривой, равной 0,963 [2].

М. А. Gultekin и соавт. также применили радиомику для дифференциации метастазов рака легкого и рака молочной железы. Наилучший результат показала сверточная нейронная сеть — значение AUC составило 0,84 [11].

Результаты зарубежных коллег подтверждают наши данные, демонстрируя возможность создания алгоритмов для верификации первичного опухоле-

вого очага при оценке метастазов, а также их дифференцировки от глиобластом.

Заключение. Полученные нами классификационные модели и их метрики говорят о том, что радиомические признаки, извлеченные из Т2-взвешенных МР-изображений, позволяют с более высокой чувствительностью отделять метастазы рака молочной железы от метастазов рака легкого, чем признаки, извлеченные из Т1-взвешенных МР-изображений. Однако добавление к выявленным признакам нескольких характеристик, извлеченных из Т1-взвешенных изображений, позволяет повысить классификационные возможности модели. Построение моделей для дифференциации глиобластом стало затруднительным на данном этапе исследования ввиду малого количества пациентов, однако нами выявлено большое количество значимо отличающихся показателей, что свидетельствует о перспективности данного направления. Мы планируем расширить выборку, добавив метастазы и новообразования иных локализаций, а также расширить выборку с глиобластомами.

Сведения об авторах:

Нуднов Николай Васильевич — заместитель директора по научной работе, заведующий научно-исследовательским отделом комплексной диагностики и радиотерапии федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенодиагностики» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117485, Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, стр. 1; профессор кафедры рентгенологии и радиологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 125993, Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1; профессор кафедры онкологии и рентгенодиагностики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»; 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: nudnov@mcg.ru; ORCID 0000-0001-5994-0468;

Бит-Юнан Елизавета Владимировна — клинический ординатор по специальности «рентгенология» федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенодиагностики» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117485, Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, стр. 1; e-mail: lizamur69@mail.ru; ORCID 0009-0005-4313-9031;

Шахвалиева Элина Саид-Аминовна — клинический ординатор по специальности «рентгенология» федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенодиагностики» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117485, Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, стр. 1; e-mail: Shelina9558@gmail.com; ORCID 0009-0000-7535-8523;

Борисов Александр Александрович — клинический ординатор по специальности «радиология» федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенодиагностики» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117485, Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, стр. 1; e-mail: aleksandrborisov10650@gmail.com; ORCID 0000-0003-4036-5883;

Султанова Пери Назимовна — клинический ординатор по специальности «рентгенология» федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенодиагностики» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117485, Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, стр. 1; e-mail: sulperi14@mail.ru; ORCID 0009-0009-3006-8210;

Иванников Михаил Евгеньевич — клинический ординатор по специальности «рентгенология» федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенодиагностики» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117485, Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, стр. 1; e-mail: ivannikovmichail@gmail.com; ORCID 0009-0007-0407-0953;

Карелидзе Давид Георгиевич — клинический ординатор по специальности «рентгенология» федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенодиагностики» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117485, Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, стр. 1; e-mail: David_ka@mail.ru; ORCID 0009-0002-0375-1291;

Бочкова Полина Игоревна — клинический ординатор по специальности «рентгенология» федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенодиагностики» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117485, Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, стр. 1; e-mail: Polina97@mail.ru; ORCID 0009-0000-5736-4057.

Information about the authors:

Nikolai V. Nudnov — deputy director for research, head of the research department of complex diagnostics and radiotherapy of the Federal State Budgetary Institution Russian Scientific Center of Roentgenoradiology (RSCRR) of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 117997, Moscow, Profsoyuznaya str., 86; professor of the department of roentgenology and radiology of the Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education «Russian Medical Academy of Continuous Professional Education» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 125993, Moscow, Barrikadnaya st., 2/1, bld.1; professor of the department of oncology

and radiology of the Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia; 117198, Moscow, Miklukho-Maklaya str., 6; e-mail: nudnov@mcrr.ru; ORCID 0000-0001-5994-0468;

Elizaveta V. Bit-Yunan — clinical resident in «roentgenology» of the Federal State Budgetary Institution Russian Scientific Center of Roentgenoradiology (RSCRR) of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 117997, Moscow, Profsoyuznaya str., 86; e-mail: lizamur69@mail.ru; ORCID 0009-0005-4313-9031;

Elina S.-A. Shakhvalieva — clinical resident in «roentgenology» of the Federal State Budgetary Institution Russian Scientific Center of Roentgenoradiology (RSCRR) of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 117997, Moscow, Profsoyuznaya str., 86; e-mail: Shelina9558@gmail.com; ORCID 0009-0000-7535-8523;

Aleksander A. Borisov — clinical resident in «radiology» of the Federal State Budgetary Institution Russian Scientific Center of Roentgenoradiology (RSCRR) of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 117997, Moscow, Profsoyuznaya str., 86; e-mail: aleksandrborisov10650@gmail.com; ORCID 0000-0003-4036-5883;

Peri N. Sultanova — clinical resident in «roentgenology» of the Federal State Budgetary Institution Russian Scientific Center of Roentgenoradiology (RSCRR) of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 117997, Moscow, Profsoyuznaya str., 86; e-mail: sulperi14@mail.ru; ORCID 0009-0009-3006-8210;

Mikhail E. Ivannikov — clinical resident in «roentgenology» of the Federal State Budgetary Institution Russian Scientific Center of Roentgenoradiology (RSCRR) of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 117997, Moscow, Profsoyuznaya str., 86; e-mail: ivannikovmichail@gmail.com; ORCID 0009-0007-0407-0953;

David G. Karelidze — clinical resident in «roentgenology» of the Federal State Budgetary Institution Russian Scientific Center of Roentgenoradiology (RSCRR) of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 117997, Moscow, Profsoyuznaya str., 86; e-mail: David_ka@mail.ru; ORCID 0009-0002-0375-1291;

Polina I. Bochkova — clinical resident in «roentgenology» of the Federal State Budgetary Institution Russian Scientific Center of Roentgenoradiology (RSCRR) of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 117997, Moscow, Profsoyuznaya str., 86; e-mail: Polina97@mail.ru; ORCID 0009-0000-5736-4057.

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 — *Н.В. Нуднов*; сбор и математический анализ данных — *Е.В. Бит-Юнан*, *Э.С.-А. Шахвалиева*, *А.А. Борисов*, *П.Н. Султанова*, *М.Е. Иванников*, *Д.Г. Карелидзе*, *П.И. Бочкова*; подготовка рукописи — *Н.В. Нуднов*, *Е.В. Бит-Юнан*, *Э.С.-А. Шахвалиева*, *А.А. Борисов*, *П.Н. Султанова*, *М.Е. Иванников*, *Д.Г. Карелидзе*, *П.И. Бочкова*.

Authors' contributions. All authors met the ICMJE authorship criteria. Special contribution: *NNV* aided in the concept and plan of the study; *B-YuEV*, *ShES.-A.*, *BAA*, *SPN*, *IME*, *KDG*, *BPI* provided collection and mathematical analysis of data; *NNV*, *B-YuEV*, *ShES.-A.*, *BAA*, *SPN*, *IME*, *KDG*, *BPI* preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Соответствие принципам этики. Одобрение этического комитета не требовалось.

Adherence to ethical standards. The approval of the ethics committee was not required.

Поступила/Received: 15.05.2024

Принята к печати/Accepted: 29.08.2024

Опубликована/Published: 29.09.2024

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Cao G., Zhang J., Lei X. et al. Differentiating Primary Tumors for Brain Metastasis with Integrated Radiomics from Multiple Imaging Modalities // *Disease markers*. 2022. P. 5147085. doi: <https://doi.org/10.1155/2022/5147085>.
- Ortiz-Ramón R., Larroza A., Ruiz-España S. et al. Classifying brain metastases by their primary site of origin using a radiomics approach based on texture analysis: a feasibility study // *Eur. Radiol*. 2018. No. 28. P. 4514–4523. doi: <https://doi.org/10.1007/s00330-018-5463-6>.
- Zhu F.Y., Sun Y.F., Yin X.P. et al. Using machine learning-based radiomics to differentiate between glioma and solitary brain metastasis from lung cancer and its subtypes // *Discov. Onc*. 2023. No. 14. P. 224. doi: <https://doi.org/10.1007/s12672-023-00837-6>.
- Jekel L., Brim W.R., von Reppert et al. Machine Learning Applications for Differentiation of Glioma from Brain Metastasis-A Systematic // *Review. Cancers*. 2022. Vol. 14. No 6. P. 1369. doi: <https://doi.org/10.3390/cancers14061369>.
- Pollo B. Pathological classification of brain tumors // *The Quarterly Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2021. Vol. 56. No 2. P. 103–111. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-54879-7_5.
- Salmanpour M.R., Hosseinzadeh M., Rezaeio S.M. et al. Fusion-based tensor radiomics using reproducible features: Application to survival prediction in head and neck cancer // *Computer methods and programs in biomedicine*. 2023. No 240. P. 107714. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2023.107714>.
- Zwanenburg A., Vallières M., Abdalah et al. The Image Biomarker Standardization Initiative: Standardized Quantitative Radiomics for High-Throughput Image-based Phenotyping // *Radiology*. 2020. Vol. 295. No 2. P. 328–338. doi: <https://doi.org/10.1148/radiol.2020191145>.
- Shin I., Kim H., Ahn S.S. et al. Development and Validation of a Deep Learning-Based Model to Distinguish Glioblastoma from Solitary Brain Metastasis Using Conventional MR Images // *AJNR. American journal of neuroradiology*. 2021. Vol. 42. No 5. P. 838–844. doi: <https://doi.org/10.3174/ajnr.A7003>.
- Samani Z.R., Parker D., Wolf R. et al. Distinct tumor signatures using deep learning-based characterization of the peritumoral microenvironment in glioblastomas and brain metastases // *Scientific reports*. 2021. Vol. 11. No 1. P. 14469. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93804-6>.
- Tateishi M., Nakaura T., Kitajima M. et al. An initial experience of machine learning based on multi-sequence texture parameters in magnetic resonance imaging to differentiate glioblastoma from brain metastases // *Journal of the neurological sciences*. 2020. No. 410. P. 116514. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jns.2019.116514>.
- Gultekin M.A., Peker A.A. et al. Differentiation of lung and breast cancer brain metastases: Comparison of texture analysis and deep convolutional neural networks // *Journal of Clinical Ultrasound*. 2023. Vol. 53. P. 1579–1586. doi: <https://doi.org/10.1002/jcu.23558>.
- Bai J., He M., Gao E., Yang G. et al. Radiomic texture analysis based on neurite orientation dispersion and density imaging to differentiate glioblastoma from solitary brain metastasis // *BMC cancer*. 2023. Vol. 23. No 1. P. 1231. doi: <https://doi.org/10.1186/s12885-023-11718-0>.
- Zhang Y., Zhang H., Zhang H., Ouyang Y., Su R. et al. Glioblastoma and Solitary Brain Metastasis: Differentiation by Integrating Demographic-MRI and Deep-Learning Radiomics Signatures // *Journal of magnetic resonance imaging*. 2023. Published online: JMRL. 10.1002/jmri.29123. doi: <https://doi.org/10.1002/jmri.29123>.
- Shi J.B.S., Chen H.M.S., Wang X. Using Radiomics to Differentiate Brain Metastases From Lung Cancer Versus Breast Cancer, Including Predicting Epidermal Growth Factor Receptor and human Epidermal Growth Factor Receptor 2 Status // *Journal of Computer Assisted Tomography*. 2023. Vol. 47. No 6. P. 924–933. doi: <https://doi.org/10.1097/RCT.0000000000001499>.