

## Перспективы применения радиомики при опухолях головного мозга

О.С. Регентова<sup>1</sup>, Р.А. Пархоменко<sup>1,2</sup>, Н.И. Сергеев<sup>1</sup>, В.К. Боженко<sup>1</sup>, П.В. Полушкин<sup>1</sup>, В.А. Солодкий<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Российский научный центр рентгенорадиологии Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия;

<sup>2</sup> Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия

### АННОТАЦИЯ

Радиомика — новое направление в диагностике, основанное на количественном подходе к медицинской визуализации, способное обеспечить более эффективное использование медицинской аппаратуры, оптимизировать временные затраты на каждого пациента, а также повысить точность дифференциальной диагностики в различных областях медицины. Ответвлением радиомики является радиогеномика, призванная для установления связи между генотипом пациента и фенотипической картиной, представленной методом медицинской визуализации. В обзоре приведены общие вопросы о радиомике и радиогеномике в онкологии с результатами исследований в этой области, полученными в последние годы, с особым вниманием к роли этих методов в нейроонкологии, а также к решению проблем диагностики опухолей головного мозга. Одной из актуальных проблем в нейроонкологии, является возможность определения прогноза заболевания у больных с неverified средними глиомами в виду невозможности морфологического подтверждения диагноза и молекулярно-генетического исследования тканей. Кроме того, высокая гетерогенность злокачественного новообразования, свойственная, как в пространственном, так и временном смысле препятствует полноценной оценке биологических свойств опухоли, даже с использованием методов стереотаксической биопсии. Методы радиомики могут помочь врачам дифференцировать степень злокачественности опухоли, выполняя роль «виртуальной биопсии», при этом избежать целого ряда инвазивных процедур. Результаты исследований по радиомике и радиогеномике в нейроонкологии свидетельствуют о несомненной перспективности этих методик, однако, как и в других областях медицины и биологии, нельзя полностью исключить ошибки, и задача команды вовлечённых в неё специалистов — свести эту вероятность к минимуму.

**Ключевые слова:** злокачественные опухоли; радиомика; радиогеномика; искусственный интеллект; головной мозг; нейроонкология.

### КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Регентова О.С., Пархоменко Р.А., Сергеев Н.И., Боженко В.К., Полушкин П.В., Солодкий В.А. Перспективы применения радиомики при опухолях головного мозга // *Digital Diagnostics*. 2024. Т. 5, № 3. С. XX–XX. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD625382>

Рукопись получена: 28.12.2023

Рукопись одобрена: 13.03.2024

Опубликована online: 16.10.2024

Статья доступна по лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International License

© Эко-Вектор, 2024

## Prospects for the use of radiomics in brain tumors

Olga S. Regentova<sup>1</sup>, Roman A. Parkhomenko<sup>1,2</sup>, Nikolay I. Sergeyev<sup>1</sup>, Vladimir K. Bozhenko<sup>1</sup>, Pavel V. Polushkin<sup>1</sup>, Vladimir A. Solodkiy<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russia;

<sup>2</sup> Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

### ABSTRACT

Radiomics is a new branch in diagnostics based on a quantitative approach to medical imaging, capable of providing more efficient use of medical equipment, optimizing time spent on each patient, and increasing the accuracy of differential diagnostics in various fields of medicine. A branch of radiomics is radiogenomics, designed to establish a link between the patient's genotype and the phenotypic picture presented by the method of medical imaging. The review provides general questions about radiomics and radiogenomics in oncology with the results of studies in this area obtained in recent years, with special attention to the role of these methods in neurooncology, as well as to solving the problems of diagnosing brain tumors. One of the urgent problems in neurooncology is the possibility of determining the prognosis of the disease in patients with unverified midline gliomas due to the impossibility of morphological confirmation of the diagnosis and molecular genetic testing of tissues. In addition, the high heterogeneity of malignant neoplasms, both spatially and temporally, prevents a full assessment of the biological properties of the tumor, even using stereotactic biopsy methods. Radiomics methods can help doctors differentiate the degree of tumor malignancy, acting as a "virtual biopsy", while avoiding a number of invasive procedures. The results of studies on radiomics and radiogenomics in neurooncology indicate the undoubted promise of these methods, however, as in other areas of medicine and biology, errors cannot be completely excluded, and the task of the team of specialists involved in it is to reduce this probability to a minimum.

**Keywords:** malignant tumors; radiomics; radiogenomics; artificial intelligence; brain; neurooncology.

### TO CITE THIS ARTICLE:

Regentova OS, Parkhomenko RA, Sergeyev NI, Bozhenko VK, Polushkin PV., Solodkiy VA. Prospects for the use of radiomics in brain tumors. *Digital Diagnostics*. 2024;5(3):XX–XX. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD625382>

**Received:** 28.012.2023

**Accepted:** 13.03.2024

**Published online:** 16.10.2024

Article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License

© Eco-Vector, 2024

## ВВЕДЕНИЕ

Новейшие достижения лучевой диагностики призваны помочь решению многочисленных проблем, стоящих перед нейроонкологией. Среди наиболее заметных из них — создание в начале 2010 г. целого нового направления — радиомики. Её основу составляет выделение с помощью компьютерной обработки медицинских изображений широкого круга признаков, не видимых глазу и не очевидных для восприятия врачом-рентгенологом. Дальнейший анализ основывается на определении клинически значимых признаков в результате сопоставления с данными клинической картины, биохимических и молекулярно-биологических исследований. То есть радиомика — это извлечение количественных характеристик из медицинских изображений с последующим связыванием этих характеристик с биологическими конечными точками и клиническими результатами, в результате чего подобные значимые признаки упоминаются иногда как «биомаркеры изображений». Исследования, обнаружившие взаимосвязь между радиомикой и молекулярно-генетическими параметрами, попадают под определение радиогеномики [1–6].

Накопленные к настоящему времени результаты исследований свидетельствуют о том, что радиомика и радиогеномика способны обеспечить более эффективное использование медицинской аппаратуры, а также повысить точность дифференциальной диагностики в различных областях медицины [1, 6–8].

Создание и последующее совершенствование радиомики базируется также на создании таких высокоинформативных методов лучевой диагностики, как многосрезовая компьютерная томография (КТ), двухэнергетическая КТ, ультразвуковое исследование (УЗИ), гибридные методы (позитронно-эмиссионная томография — ПЭТ-КТ, однофотонная эмиссионная компьютерная томография — ОФЭКТ/КТ) [9–13]; разработке новых радиофармпрепаратов (РФП) для ПЭТ, например, маркеров гипоксии [14]; улучшении и повсеместном распространении стандартизированных протоколов радиологического обследования, в частности, для КТ и магнитно-резонансной томографии (МРТ) [15]

Процесс получения и обработки информации в радиомике включает несколько этапов. Сначала проводится получение высококачественного, стандартизированного диагностического изображения. Далее на изображении выделяется зона интереса, в онкологической практике определяют видимые границы опухоли (методом автоматической сегментации или вручную). Затем осуществляют сбор количественных характеристик изображения, которые включают распределение интенсивности сигнала, признаки, описывающие контуры образования, соотношение его с окружающими тканями и т.п. Из этих признаков выделяют наиболее информативные, с точки зрения независимости от других признаков, воспроизводимости и степени проявления. На основании анализа текстуры двухмерной или трёхмерной картины опухоли радиомика ставит перед собой задачу высоко достоверного разграничения доброкачественных и злокачественных опухолей, выполняя роль «виртуальной биопсии». В радиомике при анализе изображения, как правило, используется свыше 200 признаков, все они представляются в количественном выражении. Эти признаки сохраняются в виде больших баз данных, которые позволяют в значительной степени автоматизировать диагностический процесс, выделять новые прогностические признаки, а следовательно, более точно прогнозировать течение и исход заболевания. Следующий этап заключается в оценке связи наблюдаемых радиологических характеристик патологического процесса с клиническими исходами, с генетическим профилем и с другими особенностями пациентов. Определяются так называемые биомаркеры изображений (БМИ) [3]. Это объективная характеристика, получаемая на основе изображения *in vivo*, измеряемая в соотношении или интервальной шкале, как индикаторы нормальных или патологических процессов, а также реакций на терапевтическое вмешательство. Биомаркер — измеряемый параметр, качественная или количественная характеристика которого свидетельствует о наличии или отсутствии какого-то заболевания или состояния. Биомаркеры подбираются

автоматически алгоритмами, наиболее часто используемыми из которых являются регрессия, различные виды решающих деревьев и нейронные сети. Из всего множества рассчитанных признаков с помощью математической статистики выбираются наиболее информативные БМИ. Удаление неинформативных признаков делает результаты предсказаний более стабильными и не позволяет случайным «шумам» в данных оказывать влияние на принимаемое решение. Конечной целью этих действий является создание для определённых групп заболеваний математических моделей и алгоритмов, позволяющих врачу более глубоко и всесторонне понять заболевание у конкретного пациента и выбрать наиболее эффективный план дальнейшего его ведения [1–5, 16].

Одна из непростых задач, стоящих перед радиомикой, связана с тем, что солидным злокачественным опухолям, в том числе новообразованиям головного мозга, присуща гетерогенность как в пространственном, так и во временном смысле. Эту гетерогенность сложно, а зачастую и не всегда возможно физически получить при проведении инвазивной биопсии и даже частичного удаления опухоли. В то же время методы медицинской визуализации способны отражать структуру новообразования с высокой степенью анатомической дифференциации, причём эта способность значительно возросла за последние десятилетия [1, 17].

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАДИОМИКИ И РАДИОГЕНОМИКИ В КЛИНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

В последние годы радиомика всё активнее используется в онкологии [3, 18] для дифференциальной диагностики и уточнения прогноза злокачественных новообразований головы и шеи [19, 20], желудочно-кишечного тракта [21–24], простаты [25–27], молочной железы [28], дифференциальной диагностики очаговых изменений скелета [29, 30]. Возможности радиомики активно изучаются и в нейрорадиологии [31–33].

В работе Y. Zhang и соавт. [34] были ретроспективно проанализированы данные МРТ 261 взрослого пациента; из них у 97 больных имела место глиобластома, у 92 — первичная лимфома центральной нервной системы (ЦНС) и у 72 — демиелинизирующее опухолевидное поражение головного мозга. Модель трёхмерной сегментации U-Net (сверхточную нейронную сеть) тренировали для визуализации зоны поражения. Анализировали степень накопления контрастного препарата в этой зоне и в непоражённых тканях. Эту информацию использовали для глубокого обучения трёхмерной модели дифференциального диагноза (Resnet). Из всей исследованной когорты 182 больных составили группу для обучения модели, остальные — группу её тестирования. Вычисляли общую точность, чувствительность и специфичность, а также площадь под кривой рабочей характеристики приёмника (AUC). Результаты дифференциальной диагностики, полученные моделью, оказались более точными, чем заключения высококвалифицированных нейрорадиологов. После использования модели, полученной на основании глубокого обучения, AUC составила для глиобластомы 1,00 (1,000–1,000), для первичной лимфомы ЦНС 0,96 (0,923–1,000), а для демиелинизирующего опухолевидного поражения 0,95 (0,904–1,000). Заслугу авторов этой работы можно видеть, в частности, в том, что им удалось применить свою модель не только на одиночных, но и на множественных патологических зонах.

Проведены исследования по использованию радиомики в дифференциальной диагностике рецидива глиом и изменений на фоне лучевого некроза. По результатам исследования выделены новые специфические комбинации признаков, позволяющие выявить рецидивы на более раннем этапе и повысить эффективность лечения за счёт более ранней корректировки схемы лечения [35].

J. Dong и соавт. [36] успешно использовали систему анализа ADC (apparent diffusion coefficient) для дифференциации эпендимом и медуллобластом у 51 ребенка (AUC 0,91).

Одним из важных критериев при дифференциальной диагностике указанных опухолей в их работе явилась оценка диффузии жидкости в опухоли с помощью МРТ.

В работе J.L. Quon и соавт. [37] приняли участие 5 детских онкологических клиник. Они применили технологии радиомики (глубокое обучение в модели на основе модифицированной системы ResNeXt-50-32x4d у 617 детей с опухолями задней черепной ямки. В исследование вошли 4 вида новообразований: диффузные срединные глиомы моста ( $n=122$ ), медуллобластомы ( $n=272$ ), пилоцитарные астроцитомы ( $n=135$ ) и эпендимомы ( $n=88$ ). Цель исследования заключалась в изучении способности использованной модели выявлять и различать указанные опухоли. Все новообразования, кроме диффузной срединной глиомы моста, были гистологически подтверждены. Результаты, полученные с помощью модели, сравнивали с описаниями 4 радиологов. В выявлении самого факта существования опухоли и модель, и радиологи показали одинаковый результат ( $AUC > 0,99$ ). Точность модели в различении указанных опухолей между собой составила 92%, причём по этому показателю, а также по F1 (то есть, по среднему гармоническому значению точности и полноты) она превзошла двух из четырёх радиологов. Наиболее достоверно модель распознавала диффузные глиомы моста.

В международном исследовании L.T. Tam и соавт. [38] модель, созданная с помощью методик радиомики, применена у 177 детей с диффузными срединными глиомами моста. Прогноз заболевания определяли с помощью модели на основе системы RStudio с использованием данных МРТ и клинических характеристик. Показатель конкордантности в группе тестирования модели из 58 больных составил 0,59, что было выше, чем при использовании для прогноза только клинических данных (0,51).

W. Guo и соавт. [39] с помощью технологий радиомики провели анализ МРТ изображений головного мозга 102 взрослых пациентов с патоморфологически подтверждённой диффузной срединной глиомой. Цель исследования состояла в том, чтобы оценить способность МРТ выявлять мутации H3 K27M. При условии использования восьми режимов МРТ (T2, T1, FLAIR, CE-T1, ADC, SWI, CBV и CBF) был достигнут весьма высокий уровень AUC (0,969).

Ещё одной работой, направленной на применение технологий радиогеномики в нейроонкологии, является исследование Z.A. Shboul и соавт. [40], в которой на когорте 108 взрослых пациентов показана возможность определять на основании данных МРТ статус по следующим генетическим признакам: метилирование MGMT, мутации IDH, коделеция 1p/19q, мутации TERT- с довольно высокой точностью. ( $AUC$ , соответственно,  $0,83 \pm 0,04$ ;  $0,84 \pm 0,03$ ;  $0,80 \pm 0,04$ ;  $0,70 \pm 0,09$  и  $0,82 \pm 0,04$ ). Для этого использовали следующие режимы МРТ: T1 до и после введения контрастного препарата, T2 и FLAIR. В этом исследовании обобщающая способность модели проверялась с помощью поэлементной кросс-валидации (Leave-One-Out Cross Validation) Показано, что анализ фрактальных признаков вносил существенный вклад в оценку почти всех указанных генетических параметров (кроме TERT).

M.W. Wagner и соавт. [41] изучили возможности радиогеномной модели, основанной на МРТ в режиме FLAIR, в оценке вероятности BRAF-слияния и мутации BRAF V600E при глиомах низкой степени злокачественности. Определение этих нарушений, имеющих важное значение для планирования таргетной терапии, до сих пор было возможно только при исследовании биопсийного материала [42]. В работе M.W. Wagner и соавт. [41] для оценки статуса гена BRAF применяли машинное обучение по методике случайного леса в 94 случаях, затем эта модель была протестирована в 21 наблюдении, при этом AUC модели составила 0,85.

Накапливаются также данные по радиогеномному определению статуса мутаций H3.1, TP53 и ACVR1 при диффузных внутренних глиомах моста. Так, в работе F. Khalid и соавт. [43] у 80 детей с этим заболеванием применяли, по крайней мере, один из следующих режимов МРТ: T1 без контрастирования, T1 с контрастированием, T2 и FLAIR. Примечательно, что всем им в Институте Гюстава Русси после исходного МТР была проведена биопсия. Используя классификаторы логистической регрессии, авторы разработали 5 моделей предсказания статуса указанных мутаций. В результате применения мультимодальной модели (в которой

использовались все из упомянутых режимов МРТ и клинические данные) AUC для предсказания мутаций H3.1 и ACVR1 составила по 0,91, а для мутации TP53 — 0,88. Несомненный интерес представляет работа Г.В. Данилова и соавт. [44], цель которой состояла в оценке диагностической точности глубокого машинного обучения в типировании глиом по степени злокачественности ВОЗ (I–IV) на основании данных МРТ. В анализе использованы результаты 707 предоперационных исследований в режиме T1 с контрастным усилением. Все опухоли были верифицированы гистологически. Оценивались данные как двухмерных (2D), так и трёхмерных (3D) изображений. Основой глубокого обучения анализу 3D-изображений послужила специально адаптированная для этой цели искусственная нейронная сеть DenseNet. Для анализа двухмерных срезов МРТ применяли архитектуру нейронной сети Resnet200e. В результате AUC при трёхмерном подходе в разграничении типов глиом составила 0,95, при двухмерном подходе 0,72, точность, соответственно, 83% и 50%. К ограничениям данной работы, по мнению авторов, следует отнести гетерогенность данных МРТ (по количеству срезов и по разрешению) и отсутствие разметки каждого среза по степени злокачественности при гистологическом исследовании. Кроме того, при анализе не были использованы клинические данные. Авторы признают, что пока рано говорить о создании «неинвазивной биопсии» опухолей головного мозга с помощью данных лучевой диагностики, однако представленные ими результаты свидетельствуют о перспективности дальнейших исследований в этой области [44].

Что немаловажно, методики радиомики способны существенно помочь радиотерапевту в планировании облучения опухолей головного мозга, а также при последующем наблюдении за больным, особенно в дифференциации прогрессирования новообразования от псевдопрогрессии и от лучевых повреждений [45].

На сегодняшний день наиболее надежные системы автоматического оконтуривания опухоли получены с помощью систем на основе свёрточных нейронных сетей) с чувствительностью 0,85 [46].

## **ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В НЕЙРООНКОЛОГИИ**

Приведённые результаты исследований по радиомике и радиогеномике в нейроонкологии свидетельствуют о несомненной перспективности этих методик, однако приходится признать, что их изучение ещё делает только первые шаги. При всех возможностях, которые открывает радиомика, следует помнить, что её результат зависит от качества исходных данных, применённых в её математических алгоритмах, а также от степени «обученности» самих алгоритмов, т.е. количества проанализированных верифицированных данных. С этим связана проблема исследований относительной редкости многих опухолей ЦНС, что затрудняет машинное обучение, требующее обширных баз данных [6, 47]. Поэтому так важны шаги по дальнейшей стандартизации методов лучевой диагностики, использующихся для технологий, связанных с компьютерным анализом изображений. В значительной степени эту проблему может решить многоцентровая кооперация с созданием общих баз данных с едиными правилами хранения и обработки информации, учитывая необходимость соблюдения врачебной тайны и неразглашения персональных данных больного при создании указанных баз данных.

Кроме того, не решена пока проблема изучения гистологического строения опухоли головного мозга в различных её отделах в сопоставлении с данными лучевой диагностики на соответствующих срезах. Следует также провести большую работу по более подробному ознакомлению врачей с достигнутыми результатами и потенциальными возможностями радиомики: для многих эти технологии представляются пока чем-то вроде «тёмного ящика», что лежит на пути к повышению доверия к ним [4, 6, 7, 47].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Глубокий анализ изображений, как метод машинного обучения, по сравнению с классическими методиками, открывает новые возможности в нейрорадиологии в целом, и в нейроонкологии в частности, позволяя выделять биомаркеры изображений и изучать течение патологических процессов *in vivo*. Благодаря использованию сложных нейросетей перспективы развития методов радиомики и радиогеномики включают в себя прогнозирование выживаемости пациентов с новообразования головного мозга, дифференциальную диагностику глиобластом с определением степеней злокачественности и «неинвазивной биопсией», выявление опухолевой прогрессии на фоне постлучевых изменений.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении поисково-аналитической работы.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интереса, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Р.А. Пархоменко — сбор и анализ литературных данных, написание текста рукописи, В.А. Солодкий, О.С. Регентова — концепция и дизайн работы, сбор и анализ литературных данных, Н.И. Сергеев, П.В. Полушкин — редактирование и оформление статьи.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Funding source.** This article was not supported by any external sources of funding.

**Competing interest.** The authors declare that they have no competing interests.

**Authors' contribution.** All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

R.A. Parkhomenko — literary data collection and analysis, writing the manuscript, V.A. Solodkiy, O.S. Regentova — concept and design of the work, literary data collection and analysis, N.I. Sergeev, P.V. Polushkin — editing and design of the article.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Lambin P., Rios-Velazquez E., Leijenaar R., et al. Radiomics: Extracting more information from medical images using advanced feature analysis // *European Journal of Cancer*. 2012. Vol. 48, N 4. P. 441–446. doi: [10.1016/j.ejca.2011.11.036](https://doi.org/10.1016/j.ejca.2011.11.036)
- Kumar V., Gu Y., Basu S., et al. Radiomics: the process and the challenges // *Magnetic Resonance Imaging*. 2012. Vol. 30, N 9. P. 1234–1248. doi: [10.1016/j.mri.2012.06.010](https://doi.org/10.1016/j.mri.2012.06.010)
- Литвин А.А., Буркин Д.А., Кропинов А.А., Парамзин Ф.Н. Радиомика и анализ текстур цифровых изображений в онкологии (обзор) // *Современные технологии в медицине*. 2021. Т. 13, № 2. С. 97–104. doi: [10.17691/stm2021.13.2.11](https://doi.org/10.17691/stm2021.13.2.11)
- Mayerhoefer M.E., Materka A., Langs G., et al. Introduction to Radiomics // *Journal of Nuclear Medicine*. 2020. Vol. 61, N 4. P. 488–495. doi: [10.2967/jnumed.118.222893](https://doi.org/10.2967/jnumed.118.222893)
- Beig N., Bera K., Tiwari P. Introduction to radiomics and radiogenomics in neuro-oncology: implications and challenges // *Neuro-Oncology Advances*. 2021. Vol. 2, Suppl. 4. P. iv3–iv14. doi: [10.1093/noajnl/vdaa148](https://doi.org/10.1093/noajnl/vdaa148)

6. Чернобривцева В.В., Мисюрин А.С. Новые технологии лучевой диагностики // Практическая онкология. 2022. Т. 23, № 4. С. 203–210. EDN: [DUCVOW](#) doi: [10.31917/2304203](https://doi.org/10.31917/2304203)
7. Данилов Г.В., Ишанкулов Т.А., Котик К.В., и др. Технологии искусственного интеллекта в клинической нейроонкологии // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. 2022. Т. 86, № 6. С. 127–133. EDN: [XPLMSB](#) doi: [10.17116/neiro202286061127](https://doi.org/10.17116/neiro202286061127)
8. Солодкий В.А., Каприн А.Д., Нуднов Н.В., и др. Возможности искусственного интеллекта в оценке риска рака молочной железы на маммографических изображениях (клинические примеры) // Вестник Российского научного центра рентгенодиагностики. 2023. Т. 23, № 1. С. 24–31. EDN: [BWYQPJ](#)
9. Prokop M. Multislice CT: technical principles and future trends // *European Radiology*. 2003. Vol. 13, Suppl. 5. P. M3–13. doi: [10.1007/s00330-003-2178-z](https://doi.org/10.1007/s00330-003-2178-z)
10. Groheux D., Quere G., Blanc E., et al. FDG PET-CT for solitary pulmonary nodule and lung cancer: Literature review // *Diagnostic and Interventional Imaging*. 2016. Vol. 97, N 10. P. 1003–1017. doi: [10.1016/j.diii.2016.06.020](https://doi.org/10.1016/j.diii.2016.06.020)
11. Goo H.W., Goo J.M. Dual-Energy CT: New Horizon in Medical Imaging // *Korean Journal of Radiology*. 2017. Vol. 18, N 4. P. 555–569. doi: [10.3348/kjr.2017.18.4.555](https://doi.org/10.3348/kjr.2017.18.4.555)
12. Zaharchuk G. Next generation research applications for hybrid PET/MR and PET/CT imaging using deep learning // *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2019. Vol. 46, N 13. P. 2700–2707. doi: [10.1007/s00259-019-04374-9](https://doi.org/10.1007/s00259-019-04374-9)
13. Hsieh J., Flohr T. Computed tomography recent history and future perspectives // *Journal of Medical Imaging*. 2021. Vol. 8, N 5. P. 052109. doi: [10.1117/1.JMI.8.5.052109](https://doi.org/10.1117/1.JMI.8.5.052109)
14. Gouel P., Decazes P., Vera P., et al. Advances in PET and MRI imaging of tumor hypoxia // *Frontiers in Medicine*. 2023. Vol. 10. P. 1055062. doi: [10.3389/fmed.2023.1055062](https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1055062)
15. Szczykutowicz T.P., Bour R.K., Rubert N., et al. CT protocol management: simplifying the process by using a master protocol concept // *Journal of Applied Clinical Medical Physics*. 2015. Vol. 16, N 4. P. 228–243. doi: [10.1120/jacmp.v16i4.5412](https://doi.org/10.1120/jacmp.v16i4.5412)
16. Залог успеха — большие данные в умелых руках. В: Биомолекула [интернет]. 2007–2024. Режим доступа: <https://biomolecula.ru/articles/zalog-uspekha-bolshie-dannye-v-umelykh-rukakh>  
Дата обращения: 26.10.2023.
17. Огнерубов Н.А., Шатов И.А., Шатов А.В. Радиогеномика и радиомика в диагностике злокачественных опухолей: обзор литературы // Вестник Тамбовского университета. Серия: естественные и технические науки. 2017. Т. 22, № 6-2. С. 1453–1460. EDN: [YRNTMV](#) doi: [10.20310/1810-0198-2017-22-6-1453-1460](https://doi.org/10.20310/1810-0198-2017-22-6-1453-1460)
18. Никульшина Я.О., Редькин А.Н. Радиомика и радиогеномика в диагностике, клиническом прогнозе и оценке ответа на лечение при онкологических заболеваниях (Обзор литературы) // *Диагностическая и интервенционная радиология*. 2022. Т. 16, № 3. С. 70–78. EDN: [KHLFNT](#) doi: [10.25512/DIR.2022.16.3.07](https://doi.org/10.25512/DIR.2022.16.3.07)
19. Peng Z., Wang Y., Wang Y., et al. Application of radiomics and machine learning in head and neck cancers // *International Journal of Biological Sciences*. 2021. Vol. 17, N 2. P. 475–486. doi: [10.7150/ijbs.55716](https://doi.org/10.7150/ijbs.55716)
20. Bernatz S., Böth I., Ackermann J., et al. Radiomics for therapy-specific head and neck squamous cell carcinoma survival prognostication (part I) // *BMC Medical Imaging*. 2023. Vol. 23, N 1. P. 71. doi: [10.1186/s12880-023-01034-1](https://doi.org/10.1186/s12880-023-01034-1)
21. Wang Y., Jin Z.-Y. Radiomics approaches in gastric cancer // *Chinese Medical Journal*. 2019. Vol. 132, N 16. P. 1983–1989. doi: [10.1097/CM9.0000000000000360](https://doi.org/10.1097/CM9.0000000000000360)
22. Liu D., Zhang W., Hu F., et al. A Bounding Box-Based Radiomics Model for Detecting Occult Peritoneal Metastasis in Advanced Gastric Cancer: A Multicenter Study // *Frontiers in Oncology*. 2021. Vol. 11. P. 777760. doi: [10.3389/fonc.2021.777760](https://doi.org/10.3389/fonc.2021.777760)
23. Gong X-Q., Tao Y-Y., Wu Y., et al. Progress of MRI Radiomics in Hepatocellular Carcinoma



- // *Frontiers in Oncology*. 2021. Vol. 11. P. 698373 doi: [10.3389/fonc.2021.698373](https://doi.org/10.3389/fonc.2021.698373)
24. Miranda J., Horvat N., Fonseca G.M., et al. Current status and future perspectives of radiomics in hepatocellular carcinoma // *World Journal of Gastroenterology*. 2023. Vol. 29, N 1. P. 43–60. doi: [10.3748/wjg.v29.i1.43](https://doi.org/10.3748/wjg.v29.i1.43)
25. Ferro M., de Cobelli O., Musi G., et al. Radiomics in prostate cancer: an up-to-date review // *Therapeutic Advances in Urology*. 2022. Vol. 14. P. 175628722211090. doi: [10.1177/17562872221109020](https://doi.org/10.1177/17562872221109020)
26. Chaddad A, Tan G, Liang X, et al. Advancements in MRI-Based Radiomics and Artificial Intelligence for Prostate Cancer: A Comprehensive Review and Future Prospects // *Cancers (Basel)*. 2023. Vol. 15, N 15. P. 3839. doi: [10.3390/cancers15153839](https://doi.org/10.3390/cancers15153839)
27. Логинова М.В., Павлов В.Н., Гилязова И.Р. Радиомика и радиогеномика рака предстательной железы // *Якутский медицинский журнал*. 2021. № 1. С. 101–104. EDN: [QPZIWO](https://www.edn.ru/qpziwo) doi: [10.25789/YMJ.2021.73.27](https://doi.org/10.25789/YMJ.2021.73.27)
28. Говорухина В.Г., Семенов С.С., Гележе П.Б., и др. Роль маммографии в радиомике рака молочной железы // *Digital Diagnostics*. 2021. Т. 2, № 2. С. 185–199. EDN: [RFSJYH](https://www.edn.ru/rfsjyh) doi: [10.17816/DD70479](https://doi.org/10.17816/DD70479)
29. Сергеев Н.И., Котляров П.М., Солодкий В.А. Дифференциальная диагностика очаговых изменений позвоночника с использованием стандартного и радиомического анализа: ретроспективное исследование // *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2023. Т. 30, № 1. С. 77–86. EDN: [ZVWOVA](https://www.edn.ru/zvwova) doi: [10.17816/vo322858](https://doi.org/10.17816/vo322858)
30. Штайнгауэр В., Сергеев Н.И. Радиомика при раке молочной железы: использование глубокого машинного анализа МРТ-изображений метастатического поражения позвоночника // *Современные технологии в медицине*. 2022. Т. 14, № 2. С. 16–25. EDN: [XFVITL](https://www.edn.ru/xfvitl) doi: [10.17691/stm2022.14.2.02](https://doi.org/10.17691/stm2022.14.2.02)
31. Данилов Г.В., Калаева Д.Б., Вихрова Н.Б., и др. Технологии радиомики в определении индекса накопления радиофармпрепарата в глиобластоме по данным ПЭТ/КТ с 11с-метионином // *Современные технологии в медицине*. 2023. Т. 15, № 1. С. 5–13. EDN: [XDCHTK](https://www.edn.ru/xdchtk) doi: [10.17691/stm2023.15.1.01](https://doi.org/10.17691/stm2023.15.1.01)
32. Капишников А.В., Суровцев Е.Н., Удалов Ю.Д. Магнитно-резонансная томография первичных внеозговых опухолей: проблемы диагностики и перспективы радиомики // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2022. Т. 67, № 4. С. 49–56. EDN: [HRDUJG](https://www.edn.ru/hrdujg) doi: [10.33266/1024-6177-2022-67-4-49-56](https://doi.org/10.33266/1024-6177-2022-67-4-49-56)
33. Маслов Н.Е., Труфанов Г.Е., Ефимцев А.Ю. Некоторые аспекты радиомики и радиогеномики глиобластом: что лежит за пределами изображения? // *Трансляционная медицина*. 2022. Т. 9, № 2. С. 70–80. EDN: [NMDJBU](https://www.edn.ru/nmdjbu) doi: [10.18705/2311-4495-2022-9-2-70-80](https://doi.org/10.18705/2311-4495-2022-9-2-70-80)
34. Zhang Y., Liang K., He J., et al. Deep Learning With Data Enhancement for the Differentiation of Solitary and Multiple Cerebral Glioblastoma, Lymphoma, and Tumefactive Demyelinating Lesion // *Frontiers in Oncology*. 2021. Vol. 11. P. 665891. doi: [10.3389/fonc.2021.665891](https://doi.org/10.3389/fonc.2021.665891)
35. Соловьева С.Н., Шершевер А.С., Дайнеко Е.А., и др. Дифференциация рецидивирующей глиальной опухоли и лучевого некроза с помощью признаков радиомики // *Российский нейрохирургический журнал имени профессора А.Л. Поленова*. 2023. Т. 15, № 3. С. 128–133. EDN: [LHQOOO](https://www.edn.ru/lhqooo) doi: [10.56618/2071-2693\\_2023\\_15\\_3\\_128](https://doi.org/10.56618/2071-2693_2023_15_3_128)
36. Dong J., Li L., Liang S., et al. Differentiation Between Ependymoma and Medulloblastoma in Children with Radiomics Approach // *Academic Radiology*. 2021. Vol. 28, N 3. P. 318–327. doi: [10.1016/j.acra.2020.02.012](https://doi.org/10.1016/j.acra.2020.02.012)
37. Quon J.L., Bala W., Chen L.C., et al. Deep Learning for Pediatric Posterior Fossa Tumor Detection and Classification: A Multi-Institutional Study // *American Journal of Neuroradiology*. 2020. Vol. 41, N 9. P. 1718–1725. doi: [10.3174/ajnr.A6704](https://doi.org/10.3174/ajnr.A6704)
38. Tam L.T., Yeom K.W., Wright J.N., et al. MRI-based radiomics for prognosis of pediatric diffuse

- intrinsic pontine glioma: an international study // *Neuro-Oncology Advances*. 2021. Vol. 3, N 1. P. vdab042. doi: [10.1093/noajnl/vdab042](https://doi.org/10.1093/noajnl/vdab042)
39. Guo W., She D., Xing Z., et al. Multiparametric MRI-Based Radiomics Model for Predicting H3 K27M Mutant Status in Diffuse Midline Glioma: A Comparative Study Across Different Sequences and Machine Learning Techniques // *Frontiers in Oncology*. 2022. Vol. 12. P. 796583 doi: [10.3389/fonc.2022.796583](https://doi.org/10.3389/fonc.2022.796583)
40. Shboul Z.A., Chen J., Iftekharuddin K.M. Prediction of Molecular Mutations in Diffuse Low-Grade Gliomas using MR Imaging Features // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10, N1. P. 3711. doi: [10.1038/s41598-020-60550-0](https://doi.org/10.1038/s41598-020-60550-0)
41. Wagner M.W., Hainc N., Khalvati F., et al. Radiomics of Pediatric Low-Grade Gliomas: Toward a Pretherapeutic Differentiation of BRAF-Mutated and BRAF-Fused Tumors // *American Journal of Neuroradiology*. 2021. Vol. 42, N 4. P. 759–765. doi: [10.3174/ajnr.A6998](https://doi.org/10.3174/ajnr.A6998)
42. Lassaletta A., Zapotocky M., Mistry M., et al. Therapeutic and Prognostic Implications of BRAF V600E in Pediatric Low-Grade Gliomas // *Journal of Clinical Oncology*. 2017. Vol. 35, N 25. P. 2934–2941. doi: [10.1200/JCO.2016.71.8726](https://doi.org/10.1200/JCO.2016.71.8726)
43. Khalid F., Goya-Outi J., Escobar T., et al. Multimodal MRI radiomic models to predict genomic mutations in diffuse intrinsic pontine glioma with missing imaging modalities // *Frontiers in Medicine*. 2023. Vol. 10. P. 1071447. doi: [10.3389/fmed.2023.1071447](https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1071447)
44. Данилов Г.В., Пронин И.Н., Королев В.В., и др. Первые результаты неинвазивного типирования глиом головного мозга по данным магнитно-резонансной томографии с помощью машинного обучения // *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко*. 2022. Т. 86, № 6. С. 36–42. EDN: [JDQJJB](https://doi.org/10.17116/neuro20228606136) doi: [10.17116/neuro20228606136](https://doi.org/10.17116/neuro20228606136)
45. Kocher M., Ruge M.I., Galldiks N., Lohmann P. Applications of radiomics and machine learning for radiotherapy of malignant brain tumors // *Strahlentherapie Und Onkologie*. 2020. Vol. 196, N 10. P. 856–867. doi: [10.1007/s00066-020-01626-8](https://doi.org/10.1007/s00066-020-01626-8)
46. Кирпичев Ю.С., Семенов С.С., Голуб С.В., Андрейченко А.Е. Радиомика при планировании лучевой терапии // *Медицинская физика*. 2022. № 1. С. 36–37. EDN: [GPD LZI](https://doi.org/10.17116/medfiz.2022.1.36-37)
47. Zhuge Y., Krauze A.V., Ning H., et al. Brain tumor segmentation using holistically nested neural networks in MRI images // *Medical Physics*. 2017. Vol. 44, N 10. P. 5234–5243. doi: [10.1002/mp.12481](https://doi.org/10.1002/mp.12481)

## REFERENCES

1. Lambin P, Rios-Velazquez E, Leijenaar R, et al. Radiomics: Extracting more information from medical images using advanced feature analysis. *European Journal of Cancer*. 2012;48(4):441–446. doi: [10.1016/j.ejca.2011.11.036](https://doi.org/10.1016/j.ejca.2011.11.036)
2. Kumar V, Gu Y, Basu S, et al. Radiomics: the process and the challenges. *Magnetic Resonance Imaging*. 2012;30(9):1234–1248. doi: [10.1016/j.mri.2012.06.010](https://doi.org/10.1016/j.mri.2012.06.010)
3. Litvin AA, Burkin DA, Kropinov AA, Paramzin FN. Radiomics and Digital Image Texture Analysis in Oncology (Review). *Sovremennye tekhnologii v meditsine*. 2021;13(2):97–104. (In Russ.) doi: [10.17691/stm2021.13.2.11](https://doi.org/10.17691/stm2021.13.2.11)
4. Mayerhoefer ME, Materka A, Langs G, et al. Introduction to Radiomics. *Journal of Nuclear Medicine*. 2020;61(4):488–495. doi: [10.2967/jnumed.118.222893](https://doi.org/10.2967/jnumed.118.222893)
5. Beig N, Bera K, Tiwari P. Introduction to radiomics and radiogenomics in neuro-oncology: implications and challenges. *Neuro-Oncology Advances*. 2021;2 Suppl. 4:iv3-iv14. doi: [10.1093/noajnl/vdaa148](https://doi.org/10.1093/noajnl/vdaa148)
6. Chernobrivtseva VV, Misyurin AS. New technologies in radiology diagnostics. *Practical Oncology*. 2022;23(4):203–210. EDN: [DUCVOW](https://doi.org/10.31917/2304203) doi: [10.31917/2304203](https://doi.org/10.31917/2304203)

7. Danilov GV, Ishankulov TA, Kotik KV, et al. Artificial intelligence technologies in clinical neurooncology. *Voprosy neyrokhirurgii imeni N.N. Burdenko*. 2022;86(6):127–133. (In Russ.) EDN: [XPLMSB](#) doi: [10.17116/neiro202286061127](https://doi.org/10.17116/neiro202286061127)
8. Solodkiy VA, Kaprin AD, Nudnov NV, et al. Artificial intelligence capabilities in breast cancer risk assessment on mammographic images (clinical examples). *Vestnik Rossijskogo naučnogo centra rentgenoradiologii*. 2023;23(1):24–31. (In Russ.) EDN: [BWYQPJ](#)
9. Prokop M. Multislice CT: technical principles and future trends. *European Radiology*. 2003;13 Suppl. 5: M3–13. doi: [10.1007/s00330-003-2178-z](https://doi.org/10.1007/s00330-003-2178-z)
10. Groheux D, Quere G, Blanc E, et al. FDG PET-CT for solitary pulmonary nodule and lung cancer: Literature review. *Diagnostic and Interventional Imaging*. 2016;97(10):1003–1017. doi: [10.1016/j.diii.2016.06.020](https://doi.org/10.1016/j.diii.2016.06.020)
11. Goo HW, Goo JM. Dual-Energy CT: New Horizon in Medical Imaging. *Korean Journal of Radiology*. 2017;18(4):555–569. doi: [10.3348/kjr.2017.18.4.555](https://doi.org/10.3348/kjr.2017.18.4.555)
12. Zaharchuk G. Next generation research applications for hybrid PET/MR and PET/CT imaging using deep learning. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2019;46(13):2700–2707. doi: [10.1007/s00259-019-04374-9](https://doi.org/10.1007/s00259-019-04374-9)
13. Hsieh J, Flohr T. Computed tomography recent history and future perspectives. *Journal of Medical Imaging*. 2021;8(5):052109. doi: [10.1117/1.JMI.8.5.052109](https://doi.org/10.1117/1.JMI.8.5.052109)
14. Gouel P, Decazes P, Vera P, et al. Advances in PET and MRI imaging of tumor hypoxia. *Frontiers in Medicine*. 2023;10:1055062. doi: [10.3389/fmed.2023.1055062](https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1055062)
15. Szczykutowicz TP, Bour RK, Rubert N, et al. CT protocol management: simplifying the process by using a master protocol concept. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*. 2015;16(4):228–243. doi: [10.1120/jacmp.v16i4.5412](https://doi.org/10.1120/jacmp.v16i4.5412)
16. Zalog uspekha bolshie dannye v umelykh rukakh. In: *Biomolecula* [Internet]. 2007–2024 [cited 2023 Oct 26]. Available from: <https://biomolecula.ru/articles/zalog-uspekha-bolshie-dannye-v-umelykh-rukakh>
17. Ognerubov NA, Shatov IA, Shatov AV. Radiogenomics and radiomics in the diagnostics of malignant tumours: a literary review. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: yestestvennye i tekhnicheskiye nauki*. 2017;22(6-2):1453–1460. (In Russ.) EDN: [YRNTMV](#) doi: [10.20310/1810-0198-2017-22-6-1453-1460](https://doi.org/10.20310/1810-0198-2017-22-6-1453-1460)
18. Nikulshina YaO, Redkin AN. Radiomics and radiogenomics in the diagnosis, clinical prognosis and treatment response assessment in oncological diseases (literature review). *Diagnosticheskaya i interventsionnaya radiologiya*. 2022;16(3):70–78. (In Russ.) EDN: [KHLFNT](#) doi: [10.25512/DIR.2022.16.3.07](https://doi.org/10.25512/DIR.2022.16.3.07)
19. Peng Z, Wang Y, Wang Y, et al. Application of radiomics and machine learning in head and neck cancers. *International Journal of Biological Sciences*. 2021;17(2):475–486. doi: [10.7150/ijbs.55716](https://doi.org/10.7150/ijbs.55716)
20. Bernatz S, Böth I, Ackermann J, et al. Radiomics for therapy-specific head and neck squamous cell carcinoma survival prognostication (part I). *BMC Medical Imaging*. 2023;23(1):71. doi: [10.1186/s12880-023-01034-1](https://doi.org/10.1186/s12880-023-01034-1)
21. Wang Y, Jin ZY. Radiomics approaches in gastric cancer. *Chinese Medical Journal*. 2019;132(16):1983–1989. doi: [10.1097/CM9.0000000000000360](https://doi.org/10.1097/CM9.0000000000000360)
22. Liu D, Zhang W, Hu F, et al. A Bounding Box-Based Radiomics Model for Detecting Occult Peritoneal Metastasis in Advanced Gastric Cancer: A Multicenter Study. *Frontiers in Oncology*. 2021;11:777760. doi: [10.3389/fonc.2021.777760](https://doi.org/10.3389/fonc.2021.777760)
23. Gong XQ, Tao YY, Wu Y, et al. Progress of MRI Radiomics in Hepatocellular Carcinoma. *Frontiers in Oncology*. 2021;11:698373. doi: [10.3389/fonc.2021.698373](https://doi.org/10.3389/fonc.2021.698373)
24. Miranda J, Horvat N, Fonseca GM, et al. Current status and future perspectives of radiomics in hepatocellular carcinoma. *World Journal of Gastroenterology*. 2023;29(1):43–60. doi: [10.3748/wjg.v29.i1.43](https://doi.org/10.3748/wjg.v29.i1.43)
25. Ferro M, de Cobelli O, Musi G, et al. Radiomics in prostate cancer: an up-to-date review.

- Therapeutic Advances in Urology.* 2022;14:175628722211090.  
doi: [10.1177/17562872221109020](https://doi.org/10.1177/17562872221109020)
26. Chaddad A, Tan G, Liang X, et al. Advancements in MRI-Based Radiomics and Artificial Intelligence for Prostate Cancer: A Comprehensive Review and Future Prospects. *Cancers (Basel)*. 2023;15(15):3839. doi: [10.3390/cancers15153839](https://doi.org/10.3390/cancers15153839)
  27. Loginova MV, Pavlov VN, Gilyazova IR. Radiomics and radiogenomics of prostate cancer. *Yakut Medical Journal*. 2021;(1):101–104. EDN: [QPZIWO](https://doi.org/10.25789/YMJ.2021.73.27) doi: [10.25789/YMJ.2021.73.27](https://doi.org/10.25789/YMJ.2021.73.27)
  28. Govorukhina VG, Semenov SS, Gelezhe PB, et al. The role of mammography in breast cancer radiomics. *Digital Diagnostics*. 2021;2(2):185–199. EDN: [RFSJYH](https://doi.org/10.17816/DD70479) doi: [10.17816/DD70479](https://doi.org/10.17816/DD70479)
  29. Sergeev NI, Kotlyarov PM, Solodkiy VA. Differential diagnosis of focal changes in the spine using standard and radiomic analysis. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(1):77–86. EDN: [ZVWOVA](https://doi.org/10.17816/vto322858) doi: [10.17816/vto322858](https://doi.org/10.17816/vto322858)
  30. Steinhauer V, Sergeev NI. Radiomics in Breast Cancer: In-Depth Machine Analysis of MR Images of Metastatic Spine Lesion. *Sovremennye tekhnologii v meditsine*. 2022;14(2):16–25. (In Russ.) EDN: [XFVITL](https://doi.org/10.17691/stm2022.14.2.02) doi: [10.17691/stm2022.14.2.02](https://doi.org/10.17691/stm2022.14.2.02)
  31. Danilov GV, Kalaeva DB, Vikhrova NB, et al. Radiomics in determining tumor-to-normal brain SUV ratio based on 11c-methionine PET/CT in glioblastoma. *Sovremennye tekhnologii v medicine*. 2023;15(1):5–13. (In Russ.) EDN: [XDCHTK](https://doi.org/10.17691/stm2023.15.1.01) doi: [10.17691/stm2023.15.1.01](https://doi.org/10.17691/stm2023.15.1.01)
  32. Kapishnikov AV, Surovcev EN, Udalov YuD. Magnetic Resonance Imaging of primary extra-axial intracranial tumors: diagnostic problems and prospects of radiomics. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2022;67(4):49–56. EDN: [HRDUJG](https://doi.org/10.33266/1024-6177-2022-67-4-49-56) doi: [10.33266/1024-6177-2022-67-4-49-56](https://doi.org/10.33266/1024-6177-2022-67-4-49-56)
  33. Maslov NE, Trufanov GE, Efimtsev AYu. Certain aspects of radiomics and radiogenomics in glioblastoma: what the images hide? *Translational medicine*. 2022;9(2):70–80. EDN: [NMDJBU](https://doi.org/10.18705/2311-4495-2022-9-2-70-80) doi: [10.18705/2311-4495-2022-9-2-70-80](https://doi.org/10.18705/2311-4495-2022-9-2-70-80)
  34. Zhang Y, Liang K, He J, et al. Deep Learning With Data Enhancement for the Differentiation of Solitary and Multiple Cerebral Glioblastoma, Lymphoma, and Tumefactive Demyelinating Lesion. *Frontiers in Oncology*. 2021;11:665891. doi: [10.3389/fonc.2021.665891](https://doi.org/10.3389/fonc.2021.665891)
  35. Solov'yeva SN, Shershever AS, Dayneko EA, et al. Differential diagnostic of a recurrent glial tumor from radiation necrosis by signs of radiomics. *Rossiiskii neirokhirurgicheskii zhurnal imeni professora A.L. Polenova*. 2023;15(3):128–133. (In Russ.) EDN: [LHQOOQ](https://doi.org/10.56618/2071-2693_2023_15_3_128) doi: [10.56618/2071-2693\\_2023\\_15\\_3\\_128](https://doi.org/10.56618/2071-2693_2023_15_3_128)
  36. Dong J, Li L, Liang S, et al. Differentiation Between Ependymoma and Medulloblastoma in Children with Radiomics Approach. *Academic Radiology*. 2021;28(3):318–327. doi: [10.1016/j.acra.2020.02.012](https://doi.org/10.1016/j.acra.2020.02.012)
  37. Quon JL, Bala W, Chen LC, et al. Deep Learning for Pediatric Posterior Fossa Tumor Detection and Classification: A Multi-Institutional Study. *American Journal of Neuroradiology*. 2020;41(9):1718–1725. doi: [10.3174/ajnr.A6704](https://doi.org/10.3174/ajnr.A6704)
  38. Tam LT, Yeom KW, Wright JN, et al. MRI-based radiomics for prognosis of pediatric diffuse intrinsic pontine glioma: an international study. *Neuro-Oncology Advances*. 2021;3(1):vdab042. doi: [10.1093/oaajnl/vdab042](https://doi.org/10.1093/oaajnl/vdab042)
  39. Guo W, She D, Xing Z, et al. Multiparametric MRI-Based Radiomics Model for Predicting H3 K27M Mutant Status in Diffuse Midline Glioma: A Comparative Study Across Different Sequences and Machine Learning Techniques. *Frontiers in Oncology*. 2022;12:796583. doi: [10.3389/fonc.2022.796583](https://doi.org/10.3389/fonc.2022.796583)
  40. Shboul ZA, Chen J, Iftekharruddin KM. Prediction of Molecular Mutations in Diffuse Low-Grade Gliomas using MR Imaging Features. *Scientific Reports*. 2020;10(1):3711. doi: [10.1038/s41598-020-60550-0](https://doi.org/10.1038/s41598-020-60550-0)
  41. Wagner MW, Hainc N, Khalvati F, et al. Radiomics of Pediatric Low-Grade Gliomas: Toward a Pretherapeutic Differentiation of BRAF-Mutated and BRAF-Fused Tumors. *American Journal of Neuroradiology*. 2021;42(4):759–765. doi: [10.3174/ajnr.A6998](https://doi.org/10.3174/ajnr.A6998)

42. Lassaletta A, Zapotocky M, Mistry M, et al. Therapeutic and Prognostic Implications of BRAF V600E in Pediatric Low-Grade Gliomas. *Journal of Clinical Oncology*. 2017;35(25):2934–2941. doi: [10.1200/JCO.2016.71.8726](https://doi.org/10.1200/JCO.2016.71.8726)
43. Khalid F, Goya-Outi J, Escobar T, et al. Multimodal MRI radiomic models to predict genomic mutations in diffuse intrinsic pontine glioma with missing imaging modalities. *Frontiers in Medicine*. 2023;10:1071447. doi: [10.3389/fmed.2023.1071447](https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1071447)
44. Danilov GV, Pronin IN, Korolev VV, et al. MR-guided non-invasive typing of brain gliomas using machine learning. *Voprosy neyrokhirurgii imeni N.N. Burdenko*. 2022;86(6):36–42. (In Russ.) EDN: [JDQJJB](https://doi.org/10.17116/neiro20228606136) doi: [10.17116/neiro20228606136](https://doi.org/10.17116/neiro20228606136)
45. Kocher M, Ruge MI, Galldiks N, Lohmann P. Applications of radiomics and machine learning for radiotherapy of malignant brain tumors. *Strahlentherapie Und Onkologie*. 2020;196(10):856–867. doi: [10.1007/s00066-020-01626-8](https://doi.org/10.1007/s00066-020-01626-8)
46. Kirpichev YuS, Semenov SS, Golub SV, Andreychenko AE. Radiomic in radiation treatment planning. *Medical Physics*. 2022;(1):36–37. EDN: [GPD LZI](https://doi.org/10.1002/mp.12481)
47. Zhuge Y, Krauze AV, Ning H, et al. Brain tumor segmentation using holistically nested neural networks in MRI images. *Medical Physics*. 2017;44(10):5234–5243. doi: [10.1002/mp.12481](https://doi.org/10.1002/mp.12481)

## ОБ АВТОРАХ/ AUTHORS' INFO

Автор, ответственный за переписку:	
<p><b>*Регентова Ольга Сергеевна</b>, канд. мед. наук; адрес: Россия, Москва, 117485, ул. Профсоюзная, 86; ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-0219-7260">0000-0002-0219-7260</a>; eLibrary SPIN: 9657-0598; e-mail: <a href="mailto:olgagraudensh@mail.ru">olgagraudensh@mail.ru</a></p>	<p><b>*Olga S. Regentova</b>, MD, Cand.Sci. (Medicine); Address: 86 Profsoyuznaya str, 117485 Moscow, Russia; ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-0219-7260">0000-0002-0219-7260</a>; eLibrary SPIN: 9657-0598; e-mail: <a href="mailto:olgagraudensh@mail.ru">olgagraudensh@mail.ru</a></p>
Соавторы (должны быть приведены в порядке их перечисления в списке авторов рукописи):	
<p><b>Пархоменко Роман Алексеевич</b>, докт. мед. наук, профессор; ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-9249-9272">0000-0001-9249-9272</a>; eLibrary SPIN: 9902-4244; e-mail: <a href="mailto:raparkhomenko@rncrr.ru">raparkhomenko@rncrr.ru</a></p> <p><b>Сергеев Николай Иванович</b>, докт. мед. наук; ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-4147-1928">0000-0003-4147-1928</a>; eLibrary SPIN: 2408-6502; e-mail: <a href="mailto:sergeev_n@rncrr.ru">sergeev_n@rncrr.ru</a></p> <p><b>Боженко Владимир Константинович</b>, докт. мед. наук, профессор; ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-8351-8152">0000-0001-8351-8152</a>;</p>	<p><b>Roman A. Parkhomenko</b>, MD, Dr.Sci (Medicine), Professor; ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-9249-9272">0000-0001-9249-9272</a>; eLibrary SPIN: 9902-4244; e-mail: <a href="mailto:raparkhomenko@rncrr.ru">raparkhomenko@rncrr.ru</a></p> <p><b>Nikolay I. Sergeyev</b>, MD, Dr.Sci (Medicine); ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0003-4147-1928">0000-0003-4147-1928</a>; eLibrary SPIN: 2408-6502; e-mail: <a href="mailto:sergeev_n@rncrr.ru">sergeev_n@rncrr.ru</a></p> <p><b>Vladimir Konstantinovich Bozhenko</b>, MD, Dr. Sci (Medicine), Professor;</p>

eLibrary SPIN: 8380-6617;  
e-mail: vkbojenko@rncrr.ru

**Полушкин Павел Владимирович**, канд.  
мед. наук;

ORCID: 0000-0001-6661-0280;  
eLibrary SPIN: 7600-7304;  
e-mail: roentradpc@gmail.com

**Солодкий Владимир Алексеевич**, докт.  
мед. наук, профессор, академик РАН;

ORCID: 0000-0002-1641-6452;  
eLibrary SPIN: 9556-6556;  
e-mail: mailbox@rncrr.ru

ORCID: 0000-0001-8351-8152;

eLibrary SPIN: 8380-6617;  
e-mail: vkbojenko@rncrr.ru

**Pavel V. Polushkin**, MD, Cand.Sci.  
(Medicine);

ORCID: 0000-0001-6661-0280;  
eLibrary SPIN: 7600-7304;  
e-mail: roentradpc@gmail.com

**Vladimir A. Solodkiy**, MD, Dr. Sci (Medicine),  
Professor, Academician of RAS;

ORCID: 0000-0002-1641-6452;  
eLibrary SPIN: 9556-6556;  
e-mail: mailbox@rncrr.ru

Accepted for publication