

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD569149>

Магнитно-резонансная томография в дифференциальной диагностике первичных внеозговых опухолей: обзор радиомических исследований

А.В. Капишников¹, Е.Н. Суровцев^{1,2}¹ Самарский государственный медицинский университет, Самара, Российская Федерация;² Лечебно-диагностический центр Международного института биологических систем имени Сергея Березина, Тольятти, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Анализ данных магнитно-резонансной томографии является основным методом для предоперационной дифференциальной диагностики первичных внеозговых опухолей. Однако точное их разграничение только на основе визуальной оценки этих данных может быть затруднительно.

Радиомика — это количественный подход к анализу данных медицинских изображений, позволяющий выявить взаимосвязь данных визуализации с фенотипическими и генотипическими особенностями опухолей.

Ранее в ряде аналитических публикаций проводилось обобщение результатов исследований, посвящённых дифференциальной диагностике первичных внеозговых опухолей на основе принципов радиомики. Быстрое накопление новых клинических примеров и увеличение количества исследований по данной проблеме обуславливают необходимость их дальнейшего анализа и систематизации, что и послужило основанием для выполнения настоящей работы.

Цель — систематизировать существующие данные о возможностях радиомики для дифференциальной диагностики первичных внеозговых опухолей.

Материалы и методы. Проведены поиск и анализ публикаций на русском и английском языках за последние пять лет. Поиск осуществлялся в системах PubMed/Medline, Google Scholar и eLibrary. В окончательный анализ включено 19 публикаций, касающихся дифференциальной диагностики первичных внеозговых опухолей, в которых были приведены радиомические признаки, использованные для дифференциальной диагностики новообразований.

Результаты. Во всех исследованиях было показано наличие взаимосвязи между радиомическими параметрами (текстурными и гистограммными) и типом опухоли. Эффективность дифференциальной диагностики опухолей радиомическими моделями превосходила эффективность классификации новообразований рентгенологами.

Наиболее часто использовались следующие алгоритмы для создания математических моделей классификации опухолей на основе радиомических параметров: метод опорных векторов, логистическая регрессия, случайный лес. Методы опорных векторов и логистической регрессии продемонстрировали лучшие и более стабильные результаты.

Заключение. Использование концепции радиомики показывает многообещающие результаты в дифференциальной диагностике первичных внеозговых опухолей. Дальнейшее развитие этого направления требует стандартизации как методов сегментации, так и набора признаков, а также эффективного метода математического моделирования.

Ключевые слова: первичные внеозговые опухоли; магнитно-резонансная томография; менингиомы; радиомика; информационные технологии.

Как цитировать:

Капишников А.В., Суровцев Е.Н. Магнитно-резонансная томография в дифференциальной диагностике первичных внеозговых опухолей: обзор радиомических исследований // Digital Diagnostics. 2023. Т. 4, № 4. С. 529–542. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD569149>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD569149>

Magnetic resonance imaging for the differential diagnosis of primary extra-axial brain tumors: a review of radiomic studies

Aleksandr V. Kapishnikov¹, Evgeniy N. Surovcev^{1,2}

¹ Samara State Medical University, Samara, Russian Federation;

² Dr. Sergey Berezin Medical Institute (MIBS), Togliatti, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: The analysis of magnetic resonance imaging data is considered the main method for the preoperative differential diagnosis of primary extra-axial tumors. However, the exact distinction of different primary extra-axial tumors based only on visual rating can be challenging. Radiomics is a quantitative method of analyzing medical image data, which allows us to understand and observe the connection between visual data and phenotypic and genotypic features of tumors. Earlier, several publications presented generalized results of research aimed at the differential diagnosis of primary extra-axial tumors based on the principles of radiomics. Fast accumulation of new clinical cases and increasing of the amounts of research on these cases demonstrate the need for their further analysis and systematization, which has led to this review.

AIM: To conduct a systematic analysis of existing data on radiomics potential for the differential diagnosis of primary extra-axial tumors.

MATERIALS AND METHODS: The search for publications over the past 5 years in Russian and English was conducted in PubMed/Medline, Google Scholar, and eLibrary databases. The final analysis included 19 papers on the differential diagnosis of extra-axial tumors. The included publications provided radiomic features used for the differential diagnosis of neoplasms.

RESULTS: All studies demonstrated the existence of a connection between radiomic parameters (textural and histogram) and tumor type. The effectiveness of tumor differential diagnostics with radiomic models exceeded the neoplasm classification made by radiologists. The most frequently used algorithms for creating mathematical models of tumor classification based on radiomic parameters were the reference vector method, logistic regression, and random forest.

CONCLUSION: The use of the radiomic concept shows promising results in the differential diagnosis of primary extra-axial tumors. Further development in this area demands the standardization of both the segmentation method and the set of features and an effective method of mathematics modeling.

Keywords: primary extra-axial brain tumors; magnetic resonance imaging; meningiomas; radiomics; information technology.

To cite this article:

Kapishnikov AV, Surovcev EN. Magnetic resonance imaging for the differential diagnosis of primary extra-axial brain tumors: a review of radiomic studies. *Digital Diagnostics*. 2023;4(4):529–542. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD569149>

Submitted: 07.09.2023

Accepted: 19.10.2023

Published online: 16.11.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD569149>

磁共振成像在原发性脑外肿瘤鉴别诊断中的应用：放射组学研究综述

Aleksandr V. Kapishnikov¹, Evgeniy N. Surovcev^{1,2}¹ Samara State Medical University, Samara, Russian Federation;² Dr. Sergey Berezin Medical Institute (MIBS), Togliatti, Russian Federation

简评

论证。磁共振成像数据分析是术前原发性脑外肿瘤鉴别诊断的主要方法。然而，仅凭对这些数据的目测评估很难准确区分不同的原发性脑外肿瘤。

放射组学是一种分析医学影像数据的定量方法。其允许确定成像数据与肿瘤表型和基因型特征之间的关系。

此前，一些分析性出版物总结了根据放射组学原理对原发性脑外肿瘤进行鉴别诊断的研究结果。随着新临床病例的迅速积累和相关研究的不断增加，有必要对其进行进一步分析和系统化。这就是本研究的基础。

该研究的目的是系统整理有关放射组学在原发性脑外肿瘤鉴别诊断方面潜力的现有数据。

材料与方法。我们搜索并分析了过去五年中用俄语和英语发表的出版物。搜索是在PubMed/Medline、Google Scholar和eLibrary数据库中进行。最终分析包括19篇关于原发性脑外肿瘤鉴别诊断的出版物。这些出版物包括用于肿瘤鉴别诊断的放射组学特征。

结果。所有研究都表明了，放射组学参数（纹理的和直方图的）与肿瘤类型之间存在相关性。通过放射组学模型对肿瘤进行鉴别诊断的效率优于放射科医生对肿瘤进行分类的效率。为了创建肿瘤分类的模型，我们最常使用了以下算法：支持向量法、逻辑回归法和随机森林法。支持向量法和逻辑回归法显示出更好、更稳定的结果。

结论。放射组学概念在原发性脑外肿瘤鉴别诊断中的应用显示出良好效果。这一方向的进一步发展需要分割方法和特征集标准化，以及有效的数学建模方法。

关键词：原发性脑外肿瘤；磁共振成像；脑膜瘤；放射组学；信息技术。

引用本文：

Kapishnikov AV, Surovcev EN. 磁共振成像在原发性脑外肿瘤鉴别诊断中的应用：放射组学研究综述. *Digital Diagnostics*. 2023;4(4):529–542. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD569149>

收到: 07.09.2023

接受: 19.10.2023

发布日期: 16.11.2023

ОБОСНОВАНИЕ

Предоперационная дифференциальная диагностика первичных внеозговых опухолей (ПВО) основана на анализе семиотики магнитно-резонансной томографии (МРТ), наиболее часто включающей стандартный набор взвешенностей изображений (ВИ): T2-ВИ, T1-ВИ, FLAIR, диффузионно-взвешенные изображения (DWI) и постконтрастные T1-ВИ (T1-CE) [1–3].

ПВО — гетерогенная группа, включающая как доброкачественные, так и злокачественные новообразования мозговых оболочек (менингиомы и мезенхимальные опухоли) и черепных нервов (невриномы) [4].

МРТ-семиотика ПВО детально изучена и описана в регулярных руководствах, однако наличие атипичной МРТ-картины может затруднить дифференциальную диагностику опухолей только на основании визуальной оценки [5, 6]. Ошибка в определении типа опухоли может привести к неверному выбору тактики ведения пациента [1, 2, 7, 8]. Наиболее часто затруднения возникают при разграничении менингиом различной степени злокачественности между собой, при дифференциации солитарных фиброзных опухолей и менингиом и при локализации ПВО в мостомозжечковых углах [9–12].

Количественный подход к анализу медицинских изображений в настоящее время чаще всего описывают термином «радиомика». Радиомика нацелена на выявление взаимосвязи цифровых характеристик диагностического изображения с фенотипическими и генотипическими особенностями опухолей [13].

Основой радиомики является извлечение из изображений количественных признаков для объективного описания фенотипа визуализации и нахождения взаимосвязи

между радиомическими признаками и генетическими, молекулярными, клиническими особенностями опухолей [14]. Для извлечения количественных параметров из изображений применяются морфометрический, гистограммный и текстурный анализ сегментированных зон интереса. Гистограммные и текстурные признаки отображают особенности структуры, которые невозможно выявить при визуальной оценке [15]. Особенностью радиомических исследований является использование различных методов математического моделирования и глубокого обучения. Полученные с их помощью дифференциально-диагностические и прогностические модели должны быть подвергнуты валидационной проверке на независимой выборке. Радиомика потенциально является мощным инструментом поддержки принятия клинических решений [16]. Этапы радиомического анализа представлены на рис. 1.

Ранее в ряде аналитических публикаций проводилось обобщение результатов работ, посвящённых дифференциальной диагностике ПВО на основе принципов радиомики [13, 17]. Быстрое накопление новых клинических примеров и увеличение количества исследований по данной проблеме обуславливает необходимость их дальнейшего анализа и систематизации, что и послужило основанием для выполнения настоящего обзора.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Систематический обзор за последние пять лет выполнен по стандартам PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic review and Meta-Analysis Protocols, 2009).

В качестве материала исследования использованы научные публикации из библиографических баз Pubmed/

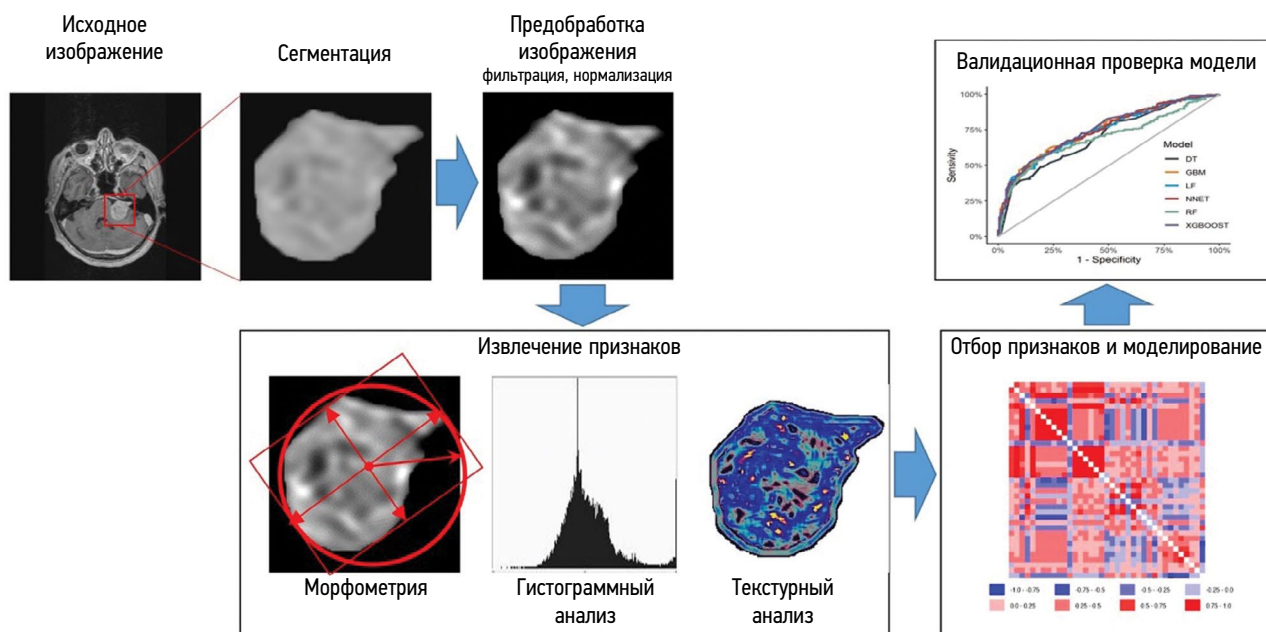


Рис. 1. Этапы радиомического анализа.

Medline, Google Scholar, eLibrary за последние пять лет. Ключевые слова: MRI, meningioma, neuroma, schwannoma, solitary fibrous tumor, radiomic, texture, MPT, менингиома, невринома, шваннома, солитарная фиброзная опухоль, радиомика, текстура.

Анализ аннотаций отобранных статей позволил исключить публикации, не касающиеся дифференциальной диагностики ПВО. После анализа текста статей, включая дизайн, цель, методологию и результаты исследований, были исключены работы, в которых не представлены радиомические признаки, использованные для дифференциальной диагностики опухолей.

Таким образом, в обзор было включено 19 публикаций. Дизайн исследования представлен на рис. 2.

Оцениваемые параметры

В рамках систематического обзора отобранные публикации оценивались по следующим параметрам:

- диагностическая задача;
- количество пациентов;
- метод сегментации опухоли;
- типы ВИ;
- информативные дифференциально-диагностические признаки;

- применённый метод математического моделирования;
- выполнение валидационной проверки математических моделей классификации.

В обзор вошли данные оригинальных клинических исследований.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Эффективность радиомных характеристик МРТ-изображений для дифференциальной диагностики ПВО изучена в ряде исследований. Всего по поисковому запросу «(meningioma or neuroma or schwannoma or solitary fibrous tumor)+(texture or radiomic)+MRI» в библиографических базах Pubmed/Medline и Google Scholar за последние пять лет был найден 121 литературный источник. По запросам из различной комбинации слов «МРТ, менингиома, невринома, шваннома, солитарная фиброзная опухоль, радиомика, текстура» в базе данных eLibrary была найдена всего одна публикация. После анализа публикаций в обзор было включено 19 исследований на английском и русском языках.

Характеристика отобранных в соответствии с дизайном исследования работ представлена в табл. 1.

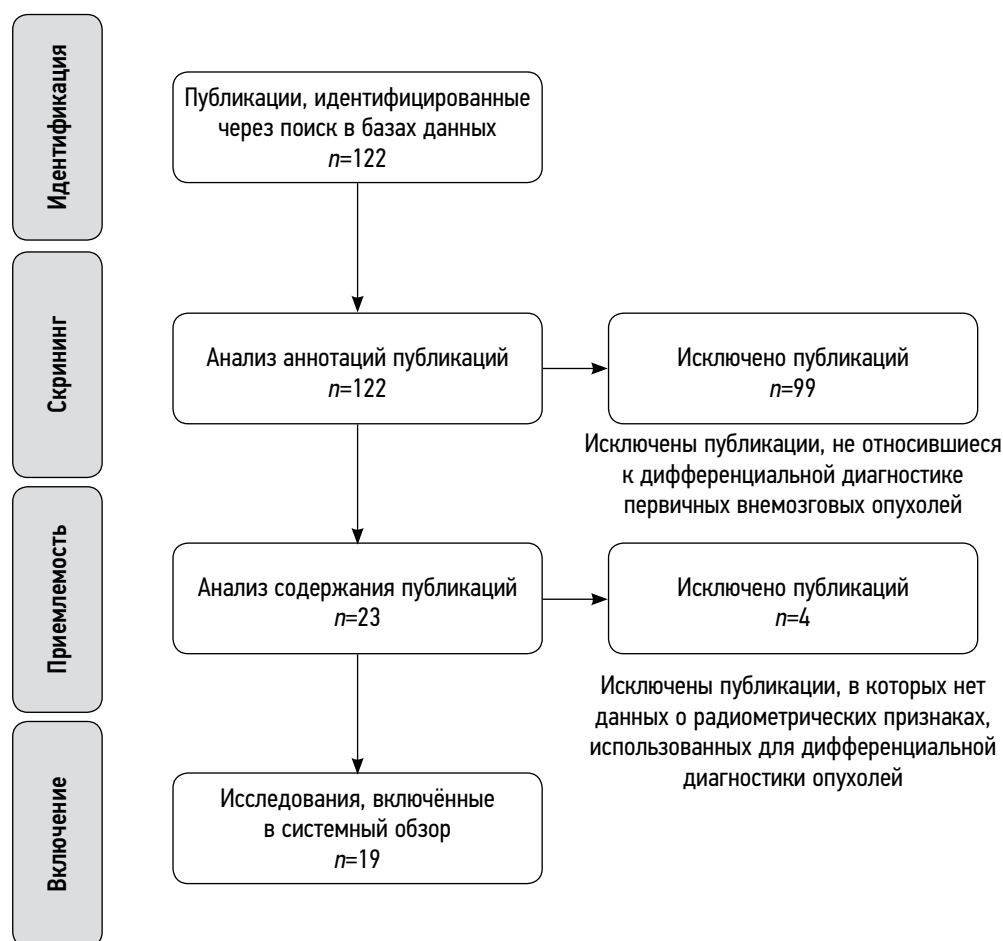


Рис. 2. Дизайн исследования.

Таблица 1. Диагностические задачи применения радиомического анализа для дифференциальной диагностики первичных внеозгловых опухолей

1	2	3	4	5	6	7	8
Авторы	Типы опухолей	Кол-во пациентов	Сегментация	Наиболее информативные признаки	Метод моделирования	Валидация (кол-во; %)	Диагностическая информативность
Y. W. Park и соавт., 2019 [18]	Мд/Мз	136	ПА	T1-CE (Histo, GLCM, GLRLM) ИКД (Histo, GLCM, GLRLM)	RF, SVM	58; 42,6%	Лучшая модель (SVM) — AUC 0,86; Acc 89,7%; Sn 75%; Sp 93,5% Прочие модели — AUC 0,74–0,85
K. R. Laukamp и соавт., 2019 [19]	Мд/Мз	71	ПА	Форма FLAIR (GLCM) ИКД (GLSZM)	LR	НП	Модели различных типов взвешенности — AUC 0,72–0,8 Модель комбинации взвешенностей — AUC 0,91; Sn 79%; Sp 89%
Y. Lu и соавт., 2019 [20]	М Гр 1/2/3	152	Р	ИКД (Histo, GLCM, GLRLM, AU, Wav)	DT	46; 30,2%	Радиомическая модель — Acc 79,51% Модель (семиотика + клинические данные) — Acc 62,96% Классификации рентгенологами — Acc 61–62%
C. Chen и соавт., 2019 [21]	М Гр 1/2/3	150	Р	Форма T1-CE (GLCM, GLRLM, GLSZM)	LDA, SVM	30; 20%	Лучшая модель (LDA) — Acc 75,6% Прочие модели — 57,6–73,3%
Y. Zhu и соавт., 2019 [22]	Мд/Мз	181	Р	Форма T1-CE (GLCM, GLRLM, GLSZM)	SVM	82; 45,3%	Лучшая модель — AUC 0,811; Sn 76,9%; Sp 89,8%
O. Morin и соавт., 2019 [23]	Мд/Мз	303	НД	Форма T1-CE (Histo, Wav GLCM, GLRLM, GLSZM)	RF	85; 28,1%	Модель семиотики — AUC 0,68; Acc 62% Радиомическая модель — AUC 0,71; Acc 65%
X. Li и соавт., 2019 [24]	Мд/Мз	90	Р	Форма T2-ВИ, T1-ВИ и T1-CE (Histo)	LR	28; 31,1%	Модели отдельных типов взвешенности — AUC 0,781–0,821
C. Ke и соавт., 2020 [25]	Мд/Мз	263	Р	T2-ВИ (GLCM, GLRLM, GLSZM) T1-ВИ (GLCM) T1-CE (GLRLM, GLSZM)	SVM	79; 30%	Модели отдельных типов взвешенности — AUC 0,67–0,75; Acc 68–75%; Sn 42–74%; Sp 67–82% Модель комбинации взвешенностей — AUC 0,83; Acc 80%; Sn 84%; Sp 78%
J. Hu и соавт., 2020 [26]	Мд/Мз	316	ПА	Форма T2-ВИ и T1-ВИ (Wav) T1-CE (Histo, GLSZM, Wav) ИКД (Histo, GLCM, Wav) SWI (GLCM, Wav)	RF	НП	Модель (семиотика + клинические данные) — AUC 0,7 Модель (T2-ВИ + T1-ВИ + T1-CE) — AUC 0,78; Acc 74%; Sn 65,5%; Sp 77,7% Модель (T2-ВИ + T1-ВИ + T1-CE + ИКД + SWI) — AUC 0,81; Acc 78%; Sn 66,7%; Sp 83%

Дифференциальная диагностика менингиом различной степени злокачественности

Таблица 1. Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8
Авторы	Типы опухолей	Кол-во пациентов	Сегментация	Наиболее информативные признаки	Метод моделирования	Валидация (кол-во; %)	Диагностическая информативность
Н. Chu и соавт., 2021 [27]	Мд/Мз	98	ПА	Форма T1-CE (Histo, GLCM, GLRLM, GLSZM)	LR	30; 30,6%	Радиомическая модель — AUC 0,948; Acc 92,9%; Sn 91,7%; Sp 100%
Y. Nan и соавт., 2021 [28]	Мд/Мз	131	НД	Форма T1 FLAIR (Histo, GLRLM, GLSZM)	LR, RF, SVM, KNN, DT, XGB	27; 20,6%	Модель T1 FLAIR — AUC 0,956; Sn 87%; Sp 92% Модель комбинации взвешенностей — AUC 0,922; Sn 87%; Sp 93%
J. Zhang и соавт., 2022 [29]	М Gr 1/2	242	Р	T2-ВИ (GLRLM, Wav) T1-CE (GLSZM, Wav)	LR	73; 30,2%	Модели отдельных типов взвешенности — AUC 0,67–0,717; Acc 61,1–69,4%; Sn 60,7–75%; Sp 61,4–65,9% Модель комбинации взвешенностей — AUC 0,734; Acc 72,2%; Sn 67,9%; Sp 75%
<i>Дифференциальная диагностика менингиом и солитарных фиброзных опухолей</i>							
X. Li и соавт., 2019 [30]	Мд/СФ0	67	Р	FLAIR, DWI и T1-CE (GLRLM)	SVM	20; 29,9%	Модель T1-CE — AUC 0,90; Acc 87,5% Классификация рентгенологами — AUC до 0,7; Acc до 77,3%
J. Dong и соавт., 2020 [31]	Мд/СФ0	192	Р	T2-ВИ (GLCM, GLRLM, GLSZM) T1-ВИ (Histo, GLCM, GLSZM) T1-CE (Histo, GLCM, GLRLM)	LR	59; 30,7%	Модели отдельных типов взвешенности — AUC 0,772–0,864; Acc 69,5–81,4%; Sn 60–73,3%; Sp 79,3–89,7% Модель комбинации взвешенностей — AUC 0,939; Acc 83,1; Sn 90%; Sp 75,9%
Y. Fan и соавт., 2022 [32]	Мд/СФ0	220	НД	Семиотика T2-ВИ (Histo, GLCM, GLRLM) T1-CE (GLRLM)	SVM, LR	73; 33,2%	Модели отдельных типов взвешенности — AUC 0,75–0,85; Acc 69,9–72,6%; Sn 68,5–98%; Sp 13,6–87,5% Модель комбинации взвешенностей — AUC 0,9; Acc 82,2%; Sn 79,6%; Sp 87,5% Модель (клинические данные + семиотика) — AUC 0,79; Acc 76,7%; Sn 79,6%; Sp 70,8%
J. Wei и соавт., 2022 [33]	М Gr 1–3/ СФ0	292	Р	T2-ВИ (Histo, GLCM, GLRLM, GLSZM, NGTDM, Wav) T1-ВИ (GLCM, Wav, GLRLM) T1-CE (GLCM, Wav, GLSZM)	LR, DT, RF, SVM	88; 30,1%	Модель (клинические данные + семиотика) — AUC 0,766; Acc 65,9%; Sn 67,4%; Sp 64,3% Модели отдельных типов взвешенности — AUC 0,731–0,818; Acc 64,8–71,6%; Sn 63–89,1%; Sp 52,4–66,7% Модель комбинации взвешенностей — AUC 0,902; Acc 81,8%; Sn 89,1%; Sp 73,8%

Таблица 1. Окончание

1	2	3	4	5	6	7	8
Авторы	Типы опухолей	Кол-во пациентов	Сегментация	Наиболее информативные признаки	Метод моделирования	Валидация (кол-во; %)	Диагностическая информативность
Z. Tian и соавт., 2020 [34]	М/КФ	127	P	Семиотика T2-ВИ (Histo) T1-CE (Histo, GLCM)	LR	НП	AUC модели T1-CE — 0,776
C. Wang и соавт., 2022 [35]	М/Гем	96	P	Форма T2-ВИ, T1-CE и ИКД (Histo, Wav) T1-ВИ (Histo, GLSZM, GLRLM, Wav) DWI (GLCM, Wav)	KNN, LR, RF, SVM, XGB, DT	19; 20%	Классификация рентгенологами — AUC 0,545–0,756 Модель семиотики — AUC 0,805 Лучшая модель (ИКД, SVM) — AUC 0,95. Прочие модели радиомики — AUC 0,73–0,94
E.H. Суровцев и соавт., 2023 [36]	Мд/Мз/Н	66	A	T2-ВИ (GLCM, GLRLM, Wav) T1-ВИ (GLCM Wav) FLAIR (Wav) ИКД (GLCM, GLRLM) T1-CE (Histo)	LDA	27; 40,9%	Модель семиотики — AUC 0,78; Sn 50–83,3%; Sp 75–81% Радиомическая модель — AUC 0,86; Sn 83,3–100%; Sp 91,7–100%

Дифференциальная диагностика менингиом с другими ПВО

Примечание. Сокращения, принятые в таблице:

Опухоли: Мд — доброкачественные менингиомы (Grade 1); Мз — злокачественные менингиомы (Grade 2 и Grade 3); М — менингиомы без уточнения степени злокачественности, Н — невриномы; КФ — краниофарингиомы; Гем — гемангиомы; СФО — солитарные фиброзные опухоли; Гг — Grade.

Сегментация: Р — ручная; ПА — полуавтоматическая; А — автоматическая.

Признаки: ИКД — карта измеряемого коэффициента диффузии; SWI — изображения взвешенные по магнитной восприимчивости (susceptibility weighted imaging); Histo — гистограммные; GLCM — матрицы совпадений оттенков серого (Gray Level Co-Occurrence Matrix); GLRLM — матрицы длин серий уровня серого (Gray Level Run Length Matrix); GLSZM — матрицы размеров зон уровня серого (Gray Level Size Zone Matrix); NGTDM — матрица разности соседних серых тонов (Gray-Tone Difference Matrix); AU — авторегрессионная модель (Autoregressive Model); Wav — Вейвлет преобразование (Wavelet).

Методы математического моделирования: LR — логистическая регрессия; NB — наивный байесовский классификатор; SVM — метод опорных векторов; KNN — метод k-ближайших соседей; DT — дерево принятия решений; RF — метод случайного леса; LDA — линейный дискриминантный анализ; XGB — экстремальное повышение градиента; MLP — многослойный перцептрон.

Параметры информативности тестов: Acc — точность; Sn — чувствительность; Sp — специфичность; AUC — площадь под ROC-кривой (Area Under Curve)

Прочее: НП — не проводилось; НД — нет данных.

ОБСУЖДЕНИЕ

Задачи дифференциальной диагностики

По количеству посвящённых ей работ доминировала задача дифференциальной диагностики доброкачественных и злокачественных менингиом (12 исследований). Дифференциальная диагностика менингиомы и солитарных фиброзных опухолей являлась задачей четырёх работ. Вопросам разграничения менингиом и гемангиом/краниофарингиом/невриноом было посвящено по одному исследованию.

Большинство из выполненных исследований касалось «бинарной» классификации между двумя типами ПВО [18, 19, 22–32, 34, 35]. Учитывая схожесть семиотики всех ПВО, преимуществом для клинического применения обладают модели, способные выполнять мультиклассовую, а не бинарную, классификацию между двумя заранее оговорёнными типами опухолей. Однако только в четырёх исследованиях проводилась дифференциальная диагностика между тремя и более типами ПВО [20, 21, 33, 36].

Сравнение эффективности классификации опухолей путём визуальной оценки и моделями на основе признаков магнитно-резонансной семиотики или радиомических параметров

Сравнение эффективности классификации опухолей рентгенологами и радиомическими моделями было выполнено в двух исследованиях [20, 30]. Тип опухоли в этих работах устанавливался на основе суждений рентгенолога по МРТ-картине, без математического моделирования на основе визуальных признаков. В этих ситуациях преимущество моделей с применением радиомики было убедительным: их точность была выше на 10–17%.

Правильность классификации новообразований моделями на основе признаков МРТ-семиотики и радиомических параметров сравнивали в пяти исследованиях [20, 23, 32, 33, 36]. Признаки визуальной семиотики в этих работах были систематизированы и стратифицированы, что позволило на их основе создать математические модели.

Преимущество классификации опухолей математическими моделями семиотики по сравнению с рентгенологами, по нашему мнению, обусловлено тем, что рентгенологи при дифференциальной диагностике во многом руководствуются опытом и субъективными суждениями. В то же время систематизация и унификация оценки признаков МРТ семиотики повышает их информативность.

Дифференциация опухолей моделями на основе радиомических параметров значительно превосходила классификацию опухолей рентгенологами, и их информативность была выше по сравнению с моделями семиотики.

Необходимо отметить, что наибольшую ценность представляют работы, в которых информативность радиомических моделей сопоставлена с результатами визуальной оценки МРТ семиотики. В то же время, несомненным преимуществом радиомического подхода остаётся возможность автоматизации анализа изображений для компьютерных систем поддержки принятия решений.

Объём выборки пациентов и валидационная проверка моделей

Большинство исследований включало относительно небольшое количество обследованных пациентов:

- менее 100 пациентов — шесть публикаций [19, 24, 27, 30, 35, 36];
- 100–200 пациентов — семь публикаций [18, 20–22, 28, 31, 34];
- 200–300 пациентов — четыре публикации [25, 29, 32, 33];
- более 300 пациентов — две публикации [23, 26].

Наиболее крупные выборки характерны для исследований по дифференциальной диагностике менингиом. Небольшой объём выборок, по нашему мнению, обусловлен неравномерностью распространённости различных типов ПВО. Большинство из них (более 80%) — доброкачественные менингиомы, прочие же опухоли встречаются редко [4], что обуславливает сложность в подборе крупного контингента пациентов.

Валидационная проверка выполнена в 84,2% исследований. Валидационная группа в большинстве исследований составляла примерно одну треть от общего количества пациентов. Следует отметить, что отсутствие проверки работоспособности моделей на валидационной выборке снижает клиническую значимость дифференциально-диагностических моделей.

Сегментации опухолей

Сегментация опухоли — первый и основополагающий этап радиомического анализа [14]. Технология сегментации должна точно отграничить ткань новообразования от вещества мозга и периферического отёка, что позволит избежать искажения радиомических характеристик и обеспечит воспроизводимость результатов.

Для большинства ПВО характерно выраженное повышение интенсивности МРТ-сигнала на T1-ВИ после контрастирования, при сохранении изо- и гипоинтенсивного МРТ-сигнала от прилежащих структур [9]. Эта особенность обуславливает резкий перепад яркости между контрастированной опухолью и прилежащими структурами и точность визуализации края опухоли. В большинстве вошедших в обзор исследований (63,2%) сегментация выполнялась именно на постконтрастных T1-ВИ [18, 21–28, 30, 33, 36].

Метод сегментации также влияет на конечный результат моделирования. Нужно отметить, что, по сравнению с ручным, автоматические и полуавтоматические методы

обеспечивают более высокую воспроизводимость определения границ опухоли [37]. В представленных исследованиях наиболее часто выполнялась менее предпочтительная ручная сегментация [18–20, 22, 23, 27–29, 31–33]. Автоматические и полуавтоматические методы были применены только в пяти исследованиях [18, 19, 26, 27, 36].

Информативные радиомические признаки

Особенностью радиомических исследований является наличие достаточно большого изначального набора параметров, из которого отбираются наиболее информативные для решения поставленной задачи. Наиболее информативные радиомические признаки для дифференциальной диагностики ПВО — гистограммные и текстурные параметры опухолей.

Расширение набора радиомических параметров за счёт включения различных типов ВИ увеличивает мощность радиомических моделей дифференциальной диагностики ПВО. В семи исследованиях [19, 25, 28, 29, 31–33] проводилось сопоставление моделей на основе радиомических параметров одного типа ВИ с моделями, включавшими признаки различных типов ВИ. В шести из этих работ [19, 25, 29, 31–33] на основе сравнения информативности тестов было показано преимущество последних. Только в одном исследовании, Y. Han и соавт. [28], модель комбинации взвешенностей не всегда демонстрировала лучшие результаты.

При сравнении двух комбинированных моделей в исследовании J. Hu и соавт. [26] модель, содержащая расширенный спектр взвешенности (T2-ВИ, T1-ВИ, T1-CE, ИКД (карта измеряемого коэффициента диффузии), SWI (изображения, взвешенные по магнитной восприимчивости), несколько превосходила модель на основе T2-ВИ, T1-ВИ, T1-CE.

Преимущество моделей на основе нескольких типов взвешенностей объясняется тем, что они отражают разные аспекты опухолей. Так, T2-ВИ и T1-ВИ показывают степень гидротированности (количества жидкости) в опухоли, T1-CE — проницаемость гематоэнцефалического барьера, DWI и ИКД — целлюлярность новообразования, а SWI чувствительна к кровоизлияниям и петрификации. Именно поэтому интеграция параметров в рамках модели позволяет ей более полно отобразить морфологические характеристики и, соответственно, продемонстрировать лучший результат.

Значение параметров формы было ограничено, информативность данных параметров оценивалась в десяти исследованиях [21–23, 26–28, 31–33, 35]. Параметры формы были отобраны в качестве информативных в тех работах, в которых моделирование осуществлялось на основе одного типа ВИ [21–23, 27, 28, 35]. В трёх исследованиях [31–33] было показано, что при построении моделей, включавших несколько типов ВИ, параметры формы не были информативны. В исследовании J. Hu и соавт. [26] параметры формы были информативны и включены

в моделирование, но их удельный вес был не велик по сравнению с гистограммными и текстурными параметрами (модель включала 17 гистограммных и текстурных и 3 морфометрических параметра).

Метод математического моделирования

Для создания моделей в представленных работах использовались разнообразные методы математического моделирования. Наиболее частыми алгоритмами были:

- метод опорных векторов (SVM) — девять исследований [18, 21, 22, 25, 28, 30, 32, 33, 35];
- логистическая регрессия (LR) — десять исследований [19, 24, 27–29, 31–35];
- «случайный лес» (RF) — шесть исследований [18, 23, 26, 28, 33, 35].

Результаты классификации опухолей моделями на основе этих методов анализировались в трёх работах [18, 28, 33], которые показали противоречивые результаты. В исследовании Y.W. Park и соавт. [18] (алгоритмы RF и SVM) и работе J. Wei и соавт. [33] (алгоритмы LR, RF, SVM) методы показали сопоставимый уровень информативности. Однако в исследовании Y. Han и соавт. [28] в зависимости от метода моделирования результаты существенно варьировали (один из параметров информативности теста, Area Under Curve — AUC — варьировал от 0,628 до 0,922), при этом метод опорных векторов показывал более стабильные результаты.

Среди всех методов моделирования лучшие параметры информативности продемонстрировали LR [27] и SVM [35], где AUC составил 0,95.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование концепции радиомики показывает многообещающие результаты в дифференциальной диагностике ПВО. В то же время для внедрения в клиническую практику требуется большая методологическая строгость выполнения радиомических исследований: обязательная валидационная проверка, стандартизация методов сегментации, определение необходимого набора признаков и более обоснованный выбор методов математического моделирования. Перспективным для дальнейшего раскрытия потенциала радиомики в дифференциальном распознавании ПВО представляется использование гистограммных и текстурных параметров нескольких типов ВИ.

Результаты исследований проспективного дизайна с использованием автоматических методов сегментации и расширенного набора типов ВИ, а также созданием радиомических моделей, обеспечивающих мультиклассовую дифференциальную диагностику ПВО, способны заложить основы создания мощных инструментов цифровых систем поддержки принятия клинических решений, обеспечивающих, в том числе, выбор оптимальной тактики лечения пациента.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, 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 исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: А.В. Капишников — концепция исследования, финальная вычитка и редактирование текста; Е.Н. Суворцев — концепция и дизайн исследования, написание и редактирование текста, сбор и обработка материалов, анализ полученных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Goldbrunner R., Stavrinou P., Jenkinson M.D., et al. EANO guideline on the diagnosis and management of meningiomas // *Neuro-Oncology*. 2021. Vol. 23, N 11. P. 1821–1834. doi: 10.1093/neuonc/noab150
2. Goldbrunner R., Weller M., Regis J., et al. EANO guideline on the diagnosis and treatment of vestibular schwannoma // *Neuro-Oncology*. 2020. Vol. 22, N 1. P. 31–45. doi: 10.1093/neuonc/noz153
3. Shin D.W., Kim J.H., Chong S., et al. Intracranial solitary fibrous tumor/hemangiopericytoma: tumor reclassification and assessment of treatment outcome via the 2016 WHO classification // *Journal of Neuro-Oncology*. 2021. Vol. 154. P. 171–178. doi: 10.1007/s11060-021-03733-7
4. Louis D.N., Perry A., Wesseling P., et al. The 2021 WHO Classification of Tumors of the Central Nervous System: a summary // *Neuro-Oncology*. 2021. Vol. 23, N 8. P. 1231–1251. doi: 10.1093/neuonc/noab106
5. Fountain D.M., Young A.M.H., Santarius T. Malignant meningiomas // *Handbook of Clinical Neurology*. 2020. Vol. 170. P. 245–250. doi: 10.1016/B978-0-12-822198-3.00044-6
6. Laviv Y., Thomas A., Kasper E.M. Hypervascular Lesions of the Cerebellopontine Angle: The Relevance of Angiography as a Diagnostic and Therapeutic Tool and the Role of Stereotactic Radiosurgery in Management. A Comprehensive Review // *World Neurosurgery*. 2017. Vol. 100. P. 100–117. doi: 10.1016/j.wneu.2016.12.091
7. Konar S., Jayan M., Shukla D., et al. The risks factor of recurrence after skull base hemangiopericytoma management: A retrospective case series and review of literature // *Clinical Neurology and Neurosurgery*. 2021. Vol. 208. P. 106866. doi: 10.1016/j.clineuro.2021.106866
8. Kinslow C.J., Bruce S.S., Rae A.I., et al. Solitary-fibrous tumor/hemangiopericytoma of the central nervous system: a population-based study // *Journal of Neuro-Oncology*. 2018. Vol. 138, N 1. P. 173–182. doi: 10.1007/s11060-018-2787-7
9. Осборн А.Г., Зальцман К.Л., Завери М.Д. Лучевая диагностика. Головной мозг / пер. Д.И. Волобуева. Москва : Издательство Панфилова, 2018.
10. Cohen-Inbar O. Nervous System Hemangiopericytoma // *Canadian Journal of Neurological Sciences*. 2020. Vol. 47, N 1. P. 18–29. doi: 10.1017/cjn.2019.311

ADDITIONAL INFORMATION

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

Competing interests. 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. The major contributions were distributed as follows: A.V. Kapishnikov — the concept of the study, approval of the final version; E.N. Surovcev — concept and design of the work, manuscript text writing and editing, collection and processing of materials, data analysis.

11. Zakhari N., Torres C., Castillo M., et al. Uncommon Cranial Meningioma: Key Imaging Features on Conventional and Advanced Imaging // *Clinical Neuroradiology*. 2017. Vol. 27, N 2. P. 135–144. doi: 10.1007/s00062-017-0583-y
12. Hale A.T., Wang L., Strother M.K., et al. Differentiating meningioma grade by imaging features on magnetic resonance imaging // *Journal of Clinical Neuroscience*. 2018. Vol. 48. P. 71–75. doi: 10.1016/j.jocn.2017.11.013
13. Uggla L., Spadarella G., Pinto L., et al. Meningioma Radiomics: At the Nexus of Imaging, Pathology and Biomolecular Characterization // *Cancers (Basel)*. 2022. Vol. 14, N 11. P. 2605. doi: 10.3390/cancers14112605
14. Aerts H.J. The Potential of Radiomic-Based Phenotyping in Precision Medicine: A Review // *JAMA Oncology*. 2016. Vol. 2, N 12. P. 1636–1642. doi: 10.1001/jamaoncol.2016.2631
15. Gillies R.J., Kinahan P.E., Hricak H. Radiomics: Images Are More than Pictures, They Are Data // *Radiology*. 2016. Vol. 278, N 2. P. 563–577. doi: 10.1148/radiol.2015151169
16. Liu Z., Wang S., Dong D., et al. The Applications of Radiomics in Precision Diagnosis and Treatment of Oncology: Opportunities and Challenges // *Theranostics*. 2019. Vol. 9, N 5. P. 1303–1322. doi: 10.7150/thno.30309
17. Капишников А.В., Суворцев Е.Н., Удалов Ю.Д. Магнитно-резонансная томография первичных вне мозговых опухолей: проблемы диагностики и перспективы радиомики // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2022. Т. 67. № 4. С. 49–56. doi: 10.33266/1024-6177-2022-67-4-49-56
18. Park Y.W., Oh J., You S.C., et al. Radiomics and machine learning may accurately predict the grade and histological subtype in meningiomas using conventional and diffusion tensor imaging. *European Radiology*. 2019. Vol. 29, N 8. P. 4068–4076. doi: 10.1007/s00330-018-5830-3
19. Laukamp K.R., Shakirin G., Baeßler B., et al. Accuracy of Radiomics-Based Feature Analysis on Multiparametric Magnetic Resonance Images for Noninvasive Meningioma Grading // *World Neurosurgery*. 2019;132:e366–e390. doi: 10.1016/j.wneu.2019.08.148
20. Lu Y., Liu L., Luan S., et al. The diagnostic value of texture analysis in predicting WHO grades of meningiomas based

on ADC maps: an attempt using decision tree and decision forest // *European Radiology*. 2019. Vol. 29, N 3. P. 1318–1328. doi: 10.1007/s00330-018-5632-7

21. Chen C., Guo X., Wang J., et al. The Diagnostic Value of Radiomics-Based Machine Learning in Predicting the Grade of Meningiomas Using Conventional Magnetic Resonance Imaging: A Preliminary Study // *Frontiers in Oncology*. 2019. Vol. 9. P. 1338. doi: 10.3389/fonc.2019.01338

22. Zhu Y., Man C., Gong L., et al. A deep learning radiomics model for preoperative grading in meningioma // *European Journal of Radiology*. 2019. Vol. 116. P. 128–134. doi: 10.1016/j.ejrad.2019.04.022

23. Morin O., Chen W.C., Nassiri F., et al, Vasudevan HN, et al. Integrated models incorporating radiologic and radiomic features predict meningioma grade, local failure, and overall survival // *Neuro-Oncology Advances*. 2019. Vol. 1, N 1. P. z11. doi: 10.1093/onoajnl/vdz011

24. Li X., Miao Y., Han L., et al. Meningioma grading using conventional MRI histogram analysis based on 3D tumor measurement // *European Journal of Radiology*. 2019. Vol. 110. P. 45–53. doi: 10.1016/j.ejrad.2018.11.016

25. Ke C., Chen H., Lv X., et al. Differentiation Between Benign and Nonbenign Meningiomas by Using Texture Analysis From Multiparametric MRI // *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2020. Vol. 51, N 6. P. 1810–1820. doi: 10.1002/jmri.26976

26. Hu J., Zhao Y., Li M., et al. Machine learning-based radiomics analysis in predicting the meningioma grade using multiparametric MRI // *European Journal of Radiology*. 2020. Vol. 131. doi: 10.1016/j.ejrad.2020.109251

27. Chu H., Lin X., He J., et al. Value of MRI Radiomics Based on Enhanced T1WI Images in Prediction of Meningiomas Grade // *Academic Radiology*. 2021. Vol. 28, N 5. P. 687–693. doi: 10.1016/j.acra.2020.03.034

28. Han Y., Wang T., Wu P., et al. Meningiomas: Preoperative predictive histopathological grading based on radiomics of MRI // *Magnetic Resonance Imaging*. 2021. Vol. 77. P. 36–43. doi: 10.1016/j.mri.2020.11.009

29. Zhang J., Zhang G., Cao Y., et al. A Magnetic Resonance Imaging-Based Radiomic Model for the Noninvasive Preoperative Differentiation Between Transitional and Atypical

Meningiomas // *Frontiers in Oncology*. 2022. Vol. 12. P. 811767. doi: 10.3389/fonc.2022.811767

30. Li X., Lu Y., Xiong J., et al. Presurgical differentiation between malignant haemangiopericytoma and angiomatous meningioma by a radiomics approach based on texture analysis // *Journal of Neuroradiology*. 2019. Vol. 46, N 5. P. 281–287. doi: 10.1016/j.neurad.2019.05.013

31. Dong J., Yu M., Miao Y., et al. Differential Diagnosis of Solitary Fibrous Tumor/Hemangiopericytoma and Angiomatic Meningioma Using Three-Dimensional Magnetic Resonance Imaging Texture Feature Model // *BioMed Research International*. 2020. Vol. 2020. doi: 10.1155/2020/5042356

32. Fan Y., Liu P., Li Y., et al. Non-Invasive Preoperative Imaging Differential Diagnosis of Intracranial Hemangiopericytoma and Angiomatic Meningioma: A Novel Developed and Validated Multiparametric MRI-Based Clinico-Radiomic Model // *Frontiers in Oncology*. 2022. Vol. 11. P. 792521. doi: 10.3389/fonc.2021.792521

33. Wei J., Li L., Han Y., et al. Accurate Preoperative Distinction of Intracranial Hemangiopericytoma From Meningioma Using a Multihabitat and Multisequence-Based Radiomics Diagnostic Technique // *Frontiers in Oncology*. 2020. Vol. 10. P. 534. doi: 10.3389/fonc.2020.00534

34. Tian Z., Chen C., Zhang Y., et al. Radiomic Analysis of Craniopharyngioma and Meningioma in the Sellar/Parasellar Area with MR Images Features and Texture Features: A Feasible Study // *Contrast Media & Molecular Imaging*. 2020. Vol. 2020. doi: 10.1155/2020/4837156

35. Wang C., You L., Zhang X., et al. A radiomics-based study for differentiating parasellar cavernous hemangiomas from meningiomas // *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12. doi: 10.1038/s41598-022-19770-9

36. Суровцев Е.Н., Капишников А.В., Колсанов А.В. Возможности радиомического анализа магнитно-резонансных томограмм в дифференциальной диагностике первичных внеозговых опухолей // *Исследования и практика в медицине*. 2023. Т. 10, № 2. С. 50–61. doi: 10.17709/2410-1893-2023-10-2-5

37. Parmar C., Rios Velazquez E., Leijenaar R., et al. Robust Radiomics feature quantification using semiautomatic volumetric segmentation // *PLoS One*. 2014. Vol. 9, N 7. P. e102107. doi: 10.1371/journal.pone.0102107

REFERENCES

1. Goldbrunner R, Stavrinou P, Jenkinson MD, et al. EANO guideline on the diagnosis and management of meningiomas. *Neuro-Oncology*. 2021;23(11):1821–1834. doi: 10.1093/neuonc/noab150

2. Goldbrunner R, Weller M, Regis J, et al. EANO guideline on the diagnosis and treatment of vestibular schwannoma. *Neuro-Oncology*. 2020;22(1):31–45. doi: 10.1093/neuonc/noz153

3. Shin DW, Kim JH, Chong S, et al. Intracranial solitary fibrous tumor/hemangiopericytoma: tumor reclassification and assessment of treatment outcome via the 2016 WHO classification. *Journal of Neuro-Oncology*. 2021;154:171–178. doi: 10.1007/s11060-021-03733-7

4. Louis DN, Perry A, Wesseling P, et al. The 2021 WHO Classification of Tumors of the Central Nervous System: a summary. *Neuro-Oncology*. 2021;23(8):1231–1251. doi: 10.1093/neuonc/noab106

5. Fountain DM, Young AMH, Santarius T. Malignant meningiomas. *Handbook of Clinical Neurology*. 2020;170:245–250. doi: 10.1016/B978-0-12-822198-3.00044-6

6. Laviv Y, Thomas A, Kasper EM. Hypervascular Lesions of the Cerebellopontine Angle: The Relevance of Angiography as a Diagnostic and Therapeutic Tool and the Role of Stereotactic Radiosurgery in Management. A Comprehensive Review. *World Neurosurgery*. 2017;100:100–117. doi: 10.1016/j.wneu.2016.12.091

7. Konar S, Jayan M, Shukla D, et al. The risks factor of recurrence after skull base hemangiopericytoma management: A retrospective case series and review of literature. *Clinical Neurology and Neurosurgery*. 2021;208:106866. doi: 10.1016/j.clineuro.2021.106866

8. Kinslow CJ, Bruce SS, Rae AI, et al. Solitary-fibrous tumor/hemangiopericytoma of the central nervous system:

- a population-based study. *Journal of Neuro-Oncology*. 2018;138(1):173–182. doi: 10.1007/s11060-018-2787-7
9. Osborn AG, Salzman KL, Jhaveri MD. *Diagnostic Imaging*. Brain. Moscow: Izdatel'stvo Panfilova; 2018. (In Russ).
10. Cohen-Inbar O. Nervous System Hemangiopericytoma. *Canadian Journal of Neurological Sciences*. 2020;47(1):18–29. doi: 10.1017/cjn.2019.311
11. Zakhari N, Torres C, Castillo M, et al. Uncommon Cranial Meningioma: Key Imaging Features on Conventional and Advanced Imaging. *Clinical Neuroradiology*. 2017;27(2):135–144. doi: 10.1007/s00062-017-0583-y
12. Hale AT, Wang L, Strother MK, et al. Differentiating meningioma grade by imaging features on magnetic resonance imaging. *Journal of Clinical Neuroscience*. 2018;48:71–75. doi: 10.1016/j.jocn.2017.11.013
13. Ugga L, Spadarella G, Pinto L, et al. Meningioma Radiomics: At the Nexus of Imaging, Pathology and Biomolecular Characterization. *Cancers (Basel)*. 2022;14(11):2605. doi: 10.3390/cancers14112605
14. Aerts HJ. The Potential of Radiomic-Based Phenotyping in Precision Medicine: A Review. *JAMA Oncology*. 2016;2(12):1636–1642. doi: 10.1001/jamaoncol.2016.2631
15. Gillies RJ, Kinahan PE, Hricak H. Radiomics: Images Are More than Pictures, They Are Data. *Radiology*. 2016;278(2):563–577. doi: 10.1148/radiol.2015151169
16. Liu Z, Wang S, Dong D, et al. The Applications of Radiomics in Precision Diagnosis and Treatment of Oncology: Opportunities and Challenges. *Theranostics*. 2019;9(5):1303–1322. doi: 10.7150/thno.30309
17. 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. (In Russ). doi: 10.33266/1024-6177-2022-67-4-49-56
18. Park YW, Oh J, You SC, et al. Radiomics and machine learning may accurately predict the grade and histological subtype in meningiomas using conventional and diffusion tensor imaging. *European Radiology*. 2019;29(8):4068–4076. doi: 10.1007/s00330-018-5830-3
19. Laukamp KR, Shakirin G, Baeßler B, et al. Accuracy of Radiomics-Based Feature Analysis on Multiparametric Magnetic Resonance Images for Noninvasive Meningioma Grading. *World Neurosurgery*. 2019;132:e366–e390. doi: 10.1016/j.wneu.2019.08.148
20. Lu Y, Liu L, Luan S, et al. The diagnostic value of texture analysis in predicting WHO grades of meningiomas based on ADC maps: an attempt using decision tree and decision forest. *European Radiology*. 2019;29(3):1318–1328. doi: 10.1007/s00330-018-5632-7
21. Chen C, Guo X, Wang J, et al. The Diagnostic Value of Radiomics-Based Machine Learning in Predicting the Grade of Meningiomas Using Conventional Magnetic Resonance Imaging: A Preliminary Study. *Frontiers in Oncology*. 2019;9:1338. doi: 10.3389/fonc.2019.01338
22. Zhu Y, Man C, Gong L, et al. A deep learning radiomics model for preoperative grading in meningioma. *European Journal of Radiology*. 2019;116:128–134. doi: 10.1016/j.ejrad.2019.04.022
23. Morin O, Chen WC, Nassiri F, et al, Vasudevan HN, et al. Integrated models incorporating radiologic and radiomic features predict meningioma grade, local failure, and overall survival. *Neuro-Oncology Advances*. 2019;1(1):z11. doi: 10.1093/nojnl/vd2011
24. Li X, Miao Y, Han L, et al. Meningioma grading using conventional MRI histogram analysis based on 3D tumor measurement. *European Journal of Radiology*. 2019;110:45–53. doi: 10.1016/j.ejrad.2018.11.016
25. Ke C, Chen H, Lv X, et al. Differentiation Between Benign and Nonbenign Meningiomas by Using Texture Analysis From Multiparametric MRI. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2020;51(6):1810–1820. doi: 10.1002/jmri.26976
26. Hu J, Zhao Y, Li M, et al. Machine learning-based radiomics analysis in predicting the meningioma grade using multiparametric MRI. *European Journal of Radiology*. 2020;131. doi: 10.1016/j.ejrad.2020.109251
27. Chu H, Lin X, He J, et al. Value of MRI Radiomics Based on Enhanced T1WI Images in Prediction of Meningiomas Grade. *Academic Radiology*. 2021;28(5):687–693. doi: 10.1016/j.acra.2020.03.034
28. Han Y, Wang T, Wu P, et al. Meningiomas: Preoperative predictive histopathological grading based on radiomics of MRI. *Magnetic Resonance Imaging*. 2021;77:36–43. doi: 10.1016/j.mri.2020.11.009
29. Zhang J, Zhang G, Cao Y, et al. A Magnetic Resonance Imaging-Based Radiomic Model for the Noninvasive Preoperative Differentiation Between Transitional and Atypical Meningiomas. *Frontiers in Oncology*. 2022;12:811767. doi: 10.3389/fonc.2022.811767
30. Li X, Lu Y, Xiong J, et al. Presurgical differentiation between malignant haemangiopericytoma and angiomatous meningioma by a radiomics approach based on texture analysis. *Journal of Neuroradiology*. 2019;46(5):281–287. doi: 10.1016/j.neurad.2019.05.013
31. Dong J, Yu M, Miao Y, et al. Differential Diagnosis of Solitary Fibrous Tumor/Hemangiopericytoma and Angiomatous Meningioma Using Three-Dimensional Magnetic Resonance Imaging Texture Feature Model. *BioMed Research International*. 2020;2020. doi: 10.1155/2020/5042356
32. Fan Y, Liu P, Li Y, et al. Non-Invasive Preoperative Imaging Differential Diagnosis of Intracranial Hemangiopericytoma and Angiomatous Meningioma: A Novel Developed and Validated Multiparametric MRI-Based Clinico-Radiomic Model. *Frontiers in Oncology*. 2022;11:792521. doi: 10.3389/fonc.2021.792521
33. Wei J, Li L, Han Y, et al. Accurate Preoperative Distinction of Intracranial Hemangiopericytoma From Meningioma Using a Multihabitat and Multisequence-Based Radiomics Diagnostic Technique. *Frontiers in Oncology*. 2020;10:534. doi: 10.3389/fonc.2020.00534
34. Tian Z, Chen C, Zhang Y, et al. Radiomic Analysis of Craniopharyngioma and Meningioma in the Sellar/Parasellar Area with MR Images Features and Texture Features: A Feasible Study. *Contrast Media & Molecular Imaging*. 2020;2020. doi: 10.1155/2020/4837156
35. Wang C, You L, Zhang X, et al. A radiomics-based study for differentiating parasellar cavernous hemangiomas from meningiomas. *Scientific Reports*. 2022;12. doi: 10.1038/s41598-022-19770-9
36. Surovcev EN, Kapishnikov AV, Kolsanov AV. Comparative evaluation of the possibilities of radiomic analysis of magnetic resonance imaging in the differential diagnostics of primary extra-axial intracranial tumors. *Research and Practical Medicine Journal*. 2023;10(2):50–61. (In Russ). doi: 10.17709/2410-1893-2023-10-2-5
37. Parmar C, Rios Velazquez E, Leijenaar R, et al. Robust Radiomics feature quantification using semiautomatic volumetric segmentation. *PLoS One*. 2014;9(7):e102107. doi: 10.1371/journal.pone.0102107

ОБ АВТОРАХ

*** Суровцев Евгений Николаевич;**

адрес: Российская Федерация, 445051, г. Тольятти,
Ленинский проспект, д. 3;
ORCID: 0000-0002-8236-833X;
eLibrary SPIN: 5252-5661;
e-mail: evgeniisurovcev@mail.ru

Капишников Александр Викторович, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0002-6858-372X;
eLibrary SPIN: 6213-7455;
e-mail: a.v.kapishnikov@samsmu.ru

AUTHORS' INFO

*** Evgeniy N. Surovcev, MD;**

address: 3 Leninsky Avenue, Togliatti, 445051,
Russian Federation;
ORCID: 0000-0002-8236-833X;
eLibrary SPIN: 5252-5661;
e-mail: evgeniisurovcev@mail.ru

Aleksandr V. Kapishnikov, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;

ORCID: 0000-0002-6858-372X;
eLibrary SPIN: 6213-7455;
e-mail: a.v.kapishnikov@samsmu.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author