

多模态磁共振成像影像组学模型在脑胶质瘤介入诊疗全流程决策支持中的临床应用

黄卫忠, 韦婉微, 王有谋, 黄承涛

河池市人民医院放射科, 广西 河池, 547000

通信作者: 王有谋, E-mail: 443736079@qq.com

【摘要】 目的 探讨多模态磁共振成像(MRI)影像组学模型在脑胶质瘤介入诊疗中的应用价值, 分析其对术前分级和术后预后评估的辅助作用。**方法** 选取 2022 年 1 月至 2025 年 12 月于河池市人民医院经病理诊断确诊为脑胶质瘤的 82 例患者作为研究对象, 其中高级别胶质瘤(WHO III~IV 级)52 例, 低级别胶质瘤(WHO I~II 级)30 例。所有患者术前均行标准化多模态 MRI 扫描。基于影像组学流程提取特征, 构建术前分级预测模型和术后无进展生存期风险分层模型。以术后病理为分级金标准, 以随访结果为预后金标准, 评估模型效能。**结果** 介入术前分级模型的整体准确率为 87.80%, AUC 为 0.912, 灵敏度为 88.46%, 特异度为 86.67%。介入术后预后模型将患者分为高风险组和低风险组各 41 例, 截至 2025 年 12 月 31 日, 所有患者中位随访时间为 18 个月(范围: 6~48 个月), 高风险组无进展生存期显著低于低风险组($\text{Log-rank } \chi^2=21.54, P<0.001$), 模型一致性指数为 0.783。**结论** 多模态 MRI 影像组学模型能够为脑胶质瘤的术前精准分级与术后预后风险分层提供客观量化依据, 可为介入诊疗的术前评估和术后管理提供参考, 包括手术指征把握、靶区精准设定、个体化随访方案制定等, 有望为临床决策提供客观的影像学依据。

【关键词】 脑胶质瘤; 多模态磁共振成像; 影像组学; 神经介入

【文章编号】 2095-834X (2026)05-22-06

DOI: 10.26939/j.cnki.CN11-9353/R.2026.05.003

本文著录格式: 黄卫忠, 韦婉微, 王有谋, 等. 多模态 MRI 影像组学模型在脑胶质瘤介入诊疗全流程决策支持中的临床应用[J]. 当代介入医学电子杂志, 2026, 3(5): 22-27.

Clinical application of multi-modal MRI radiomics models in the decision support across the entire interventional diagnosis and treatment pathway for glioma

Huang Weizhong, Wei Wanwei, Wang Youmou, Huang Chengtao

Department of Radiology, Hechi People's Hospital, Hechi 547000, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

Corresponding author: Wang Youmou, E-mail: 443736079@qq.com

【Abstract】 Objective To explore the application value of multimodal MRI radiomics models in the interventional diagnosis and treatment of glioma, and to analyze their auxiliary role in preoperative grading and postoperative prognosis assessment. **Methods** A total of 82 patients with glioma confirmed by surgical pathology in our hospital from January 2022 to December 2025 were selected, including 52 cases of high-grade glioma (WHO grade III-IV) and 30 cases of low-grade glioma (WHO grade I-II). All patients underwent standardized multimodal MRI scans before surgery. Features were extracted based on the radiomics workflow to construct the preoperative grading prediction model and the postoperative progression-free survival (PFS) risk stratification model. Postoperative pathology was used as the gold standard for grading, and follow-up results were used as the gold standard for prognosis. Model performance was evaluated. **Results** The overall accuracy of the preoperative grading

收稿日期: 2026-02-03

基金项目: 右江民族医学院 2025 年度校级科研课题项目 (yy2025ky010)

model was 87.80%, the area under the curve (AUC) was 0.912, the sensitivity was 88.46%, and the specificity was 86.67%. The postoperative prognosis model divided patients into high-risk group (41 cases) and low-risk group (41 cases). As of December 31, 2025, the median follow-up time of the entire group was 18 months (range: 6–48 months). The PFS of the high-risk group was significantly lower than that of the low-risk group (Log-rank $\chi^2=21.54$, $P<0.001$), and the model consistency index was 0.783. **Conclusion** Multimodal MRI radiomics models can provide objective and quantitative basis for the preoperative precise grading and postoperative prognosis risk stratification of glioma, and can provide reference for the preoperative assessment and postoperative management of interventional diagnosis and treatment, including the determination of surgical indications, precise setting of target areas, and individualized follow-up plan formulation, which is expected to provide objective imaging evidence for clinical decision-making.

【Keywords】 Glioma; Multi-modal magnetic resonance imaging; Radiomics; Neurointervention

脑胶质瘤作为中枢神经系统内发生率最高的原发性恶性肿瘤,其治疗策略的选择与患者预后密切相关。当前,以手术切除为核心,结合放化疗、靶向治疗、肿瘤电场治疗等综合干预手段的“介入诊疗模式”已成为脑胶质瘤管理的主流。在这一模式下,术前对肿瘤进行精确的生物学行为评估(分级)与侵袭潜力预测,是制定个体化介入治疗方案的基石;而术后对患者进行准确的预后风险分层,则是指导辅助治疗强度与随访频率、优化长期管理的关键。传统多模态磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)虽能提供丰富的形态与功能信息,但其诊断效能很大程度上依赖于放射科医师的主观经验判断,在定量刻画肿瘤空间异质性、微观生物学特性以及与介入治疗反应关联性方面存在固有局限。近年来,影像组学的兴起为上述挑战提供创新的解决方案。这项技术可对规模庞大的医学影像数据进行高通量筛选,从中提取量化特征,实现图像视觉信息向可分析挖掘的结构化数据的转化,从而无创、客观地揭示肿瘤在纹理、形态及强度分布等方面的细微差异^[1]。基于T1WI、T2WI、FLAIR、DWI及增强T1WI等多模态MRI的影像组学分析,能够更全面地捕获反映肿瘤细胞密度、微血管增生、坏死程度等关键病理生物学特性的异质性信息,这些信息可能与肿瘤的分级、增殖活性及治疗抵抗性直接相关。因此,将多模态MRI影像组学深度整合到脑胶质瘤的介入诊疗全流程中,构建服务于临床决策的预测与评估模型,对于推动神经肿瘤介入治疗迈向精准化、个体化新时代具有迫切的研究价值与现实意义。基于此,本研究旨在系统探讨多模态MRI影像组学模型在脑胶质瘤介入诊疗决策支持中的综合临床应用价值。

1 对象与方法

1.1 研究对象

本研究为单中心回顾性分析。连续纳入 2022 年 1 月至 2025 年 12 月期间于河池市人民医院(以下简称

本院)神经外科就诊、接受手术治疗且术后病理确诊为脑胶质瘤的患者 82 例。本研究为连续性病例收集,涵盖河池市人民医院及紧密型医联体合作单位(包括宜州区人民医院、罗城仫佬族自治县人民医院、环江毛南族自治县人民医院等 3 家单位)转诊的脑胶质瘤患者,病例来源覆盖桂西北地区约 600 万人口,年接诊量可支持本研究样本量的积累。纳入研究的全部患者在手术前,均未接受过放射治疗、化学药物治疗及其他针对肿瘤的针对性治疗。根据 2021 年世界卫生组织(World Health Organization, WHO)中枢神经系统肿瘤分类标准,由两位神经病理科医师独立阅片确认最终病理分级,其中高级别胶质瘤(high-grade gliomas, HGG, WHO III~IV 级)52 例,低级别胶质瘤(low-grade gliomas, LGG, WHO I~II 级)30 例。

纳入标准:(1)术前均行多模态MRI检查(包括T1WI、T2WI、FLAIR、DWI及增强T1WI),影像资料完整;(2)术后病理确诊为脑胶质瘤,且WHO分级明确;(3)所有纳入对象均为首次确诊病例,术前未接受放射治疗、化学药物治疗及其他抗肿瘤相关干预;(4)研究所需的临床资料与随访记录完整无缺失;(5)患者签署知情同意书。

排除标准:(1)MRI图像存在伪影或质量不符合分析要求;(2)合并其他颅内肿瘤或严重脑部疾病;(3)有MRI检查禁忌证;(4)术后失访或随访时间不足6个月;(5)临床资料不全者。本研究经本院伦理委员会批准[伦理批号:河医伦审KY(2025-108-01)]。

1.2 方法

1.2.1 多模态MRI图像采集与预处理 所有检查均使用Siemens Skyra 3.0 T超导型磁共振扫描仪,配备64通道头颈联合线圈。对患者采取仰卧位摆放,头部借助海绵垫做固定处理,最大程度降低扫描过程中产生的运动伪影。扫描基线平行于前连合-后连合(AC-PC)连线。具体扫描序列及参数如下:轴位T1加权成像选用自旋回波序列,重复时间(repetition time, TR)450 ms,回波时间(echo time, TE)8.5 ms,

层厚 5.0 mm, 矩阵 256×256 ; 轴位 T2 加权成像选取快速自旋回波序列, TR 4 000 ms, TE 95 ms, 层厚 5.0 mm; 轴位液体衰减反转恢复序列, TR 9 000 ms, TE 110 ms, 反转时间(inversion time, TI) 2 500 ms; 进行轴位弥散加权成像扫描时, 选用单次激发平面回波成像序列完成数据采集, b 值分别取 0 和 $1\,000\text{ s/mm}^2$; 增强 T1 WI 在经肘静脉快速团注钆喷酸葡胺对比剂(剂量 0.1 mmol/kg 体重)后 5~8 min 进行扫描。所有序列扫描视野均为 $240\text{ mm} \times 240\text{ mm}$ 。扫描结束后, 由两名副主任医师及以上职称的影像科医师独立评估图像质量。

1.2.2 影像组学特征提取与模型构建 (1) 肿瘤感兴趣区(region of interest, ROI)分割与介入靶区定义: 在完成预处理的图像上, 使用 ITK-SNAP 软件, 由两名具有 5 年以上神经影像诊断经验的放射科医师在双盲情况下(不知晓病理结果)进行肿瘤感兴趣区的手动三维分割。分割策略紧密结合介入手术需求: 对于高级别胶质瘤, ROI 不仅包括明显强化的肿瘤核心, 还重点涵盖 FLAIR 序列上显示的周围水肿/浸润带; 对于低级别胶质瘤, 则主要在 FLAIR 序列上勾画异常高信号区域。两名医师的分割结果进行交叉核对, 不一致处经协商达成共识后形成最终的金标准分割标签。

(2) 高通量特征提取: 使用开源 PyRadiomics 工具包(版本 3.0.1), 从每位患者的多模态 MRI 序列(T1 WI, T2 WI, FLAIR, DWI, 增强 T1 WI)的 ROI 中提取影像组学特征。提取到的特征主要涵盖一阶统计特征、二阶纹理特征、三维形状特征三个大类。共计从每个患者的多个序列组合中提取出 1 316 个初始影像组学特征。

(3) 特征筛选与降维: 计算所有特征的组内相关系数以评估观察者间可重复性, 保留组内相关系数(intradass correlation coefficient, ICC) 值大于 0.75 的特征。为消除特征间的多重共线性并筛选出最具判别力的特征子集, 选用最大相关最小冗余算法完成特征的初步筛选工作, 再结合最小绝对收缩与选择算子回归进行进一步特征降维与选择, 最终得到用于构建模型的关键特征集。为避免信息泄露, 本研究首先按照 7:3 比例将全部病例随机划分为训练集(57 例)与测试集(25 例), 分层抽样保证高级别与低级别胶质瘤比例基本一致。全部特征筛选流程(ICC 筛选、最大相关-最小冗余筛选及 LASSO 降维)均仅在训练集中完成, 测试集仅用于模型独立性能验证, 未参与任何特征筛选及参数优化过程。

(4) 介入决策支持模型构建: 基于筛选出的关键特征, 分别构建两个核心模型: 模型 A (介入术前分级辅助模型): 选取支持向量机构建分类模型, 在训练集上联合网格搜索算法与十折交叉验证完成模型超参数的

寻优调优。内部验证环节采用 Bootstrap 重复抽样法(共重复抽样 1 000 次)评估模型的稳定程度, 同步计算十折交叉验证的平均曲线下面积(area under curve, AUC)值及对应的 95% 置信区间。后续通过绘制校准曲线, 评价模型预测概率与实际结局的吻合程度, 同时运用决策曲线分析评估模型在不同阈值概率区间内的净获益水平。

模型 B (介入术后预后风险分层模型): 选用 Cox 比例风险回归模型搭建对应的风险评分计算公式, 再以风险评分的中位数为分界阈值, 将纳入研究的所有患者划分至高风险组与低风险组两类。本研究共纳入影像组学特征及临床变量 5 项进入 Cox 分析, 遵循事件数与变量数量匹配原则。建模前采用 Schoenfeld 残差法检验比例风险假设, 以确保模型适用性。模型内部验证同样采用 Bootstrap 重复抽样(1 000 次)评估稳定性, 并计算校正后 C-index。

所有建模过程均在 Python 环境中完成, 并严格区分训练集与测试集以验证模型泛化能力。

1.2.3 介入手术实施与病理学验证 所有患者均在本院神经外科接受手术治疗。在制定手术方案时, 临床团队将模型 A 的预测分级结果作为重要参考信息之一。对于模型预测为高级别的病例, 更倾向于采取积极的手术策略; 同时, 模型所提供的肿瘤异质性特征图被整合到神经导航工作站中, 用于辅助术者确定立体定向活检的最佳靶点或指导肿瘤切除的边界判断。手术获取的组织标本经福尔马林固定、石蜡包埋、连续切片后, 行常规苏木精-伊红染色及必要的免疫组织化学染色。最终病理诊断与分级由两位神经病理科医师根据 WHO 标准独立做出, 作为分级的金标准。

1.2.4 随访与预后评估 通过门诊复查及电话随访收集生存数据。主要终点为无进展生存期(progression-free survival, PFS), 定义为从手术日期至首次影像学证实的肿瘤进展(神经肿瘤反应评估标准)或任何原因死亡的时间。随访截止日期为 2025 年 12 月 31 日。其中 2022 年至 2023 年入组的患者已完成至少 24 个月随访, 2024 年至 2025 年入组的患者随访时间相对较短。根据模型 B 的风险分层, 高风险组患者术后接受更密切的随访及辅助治疗评估, 低风险组则按常规方案随访。

1.3 评价指标

介入术前分级辅助模型(模型 A)的诊断效能: 以术后病理为金标准, 计算模型的灵敏度、特异度、准确率、阳性预测值、阴性预测值。绘制受试者工作物证曲线后计算曲线下面积。

介入术后预后风险分层模型(模型 B)的预测效能: 计算模型的一致性指数。绘制高风险组与低风险组的 Kaplan-Meier 生存曲线, 并使用 Log-rank 检验比

较两组 PFS 的差异。

模型结果与介入诊疗实践的一致性分析：回顾性分析模型 A 的预测结果与最终实际执行的手术决策之间的符合情况。同时,分析模型 B 的风险分层与患者实际临床进展情况的关联。

1.4 统计学方法

本研究所有数据分析均使用 SPSS 27.0 统计软件完成。计数资料以例(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验;符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 描述,组间比较采用独立样本 t 检验。采用 Kappa 检验评估诊断结果与金标准的一致性,Kappa 值 >0.70 为一致性良好, $0.40 \sim 0.70$ 为一致性一般, <0.40 为一致性较差。模型内部验证采用 Bootstrap 重复抽样(1 000 次)及十折交叉验证评估模型稳定性,结果以均值及 95% 置信区间表示。采用校准曲线评价预测概率与实际结局的一致性,采用决策曲线分析评价模型临床获益。预后模型采用 Cox 比例风险回归分析,并通过 Schoenfeld 残差检验比例风险假设。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 患者基本临床特征

高级别组中,男性占比 61.5%,女性占比 38.5%,年龄范围 38~72 岁,平均(52.14 ± 3.42)岁;低级别组中,男性占比 60%,女性占比 40%,年龄范围 35~68 岁,平均(49.67 ± 2.89)岁。两组在性别、年龄及肿瘤最大径上均无显著差异(P 均 >0.05),见表 1。

表 1 82 例脑胶质瘤患者基线资料比较

组别	例数	性别(男/女) [例(%)]	年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	肿瘤最大径 ($\bar{x} \pm s$, cm)
HGG 组	52	32 (61.54) / 20 (38.46)	52.14 ± 3.42	4.51 ± 1.32
LGG 组	30	18 (60.0) / 12 (40.00)	49.67 ± 2.89	3.89 ± 1.15
t/χ^2 值		0.013	1.874	1.543
P 值		0.910	0.065	0.127

注:HGG:高级别胶质瘤;LGG:低级别胶质瘤。

2.2 介入术前分级辅助模型(模型 A)效能分析

术后病理结果显示,82 例患者中高级别胶质瘤 52 例,低级别 30 例。基于多模态 MRI 影像组学特征构建的介入术前分级模型预测结果为高级别 50 例,低级别 32 例。模型预测结果与病理金标准的交叉对比见表 2。

表 2 影像组学模型预测分级与病理结果对比(例)

影像组学模型预测	术后病理结果		合计
	HGG ($n=52$)	LGG ($n=30$)	
HGG	46	4	50
LGG	6	26	32
合计	52	30	82

注:HGG:高级别胶质瘤;LGG:低级别胶质瘤。

根据表 2 数据计算,该模型对脑胶质瘤术前分

级的整体准确率为 87.80% (72/82)。其对高级别胶质瘤的诊断灵敏度为 88.46% (46/52),特异度为 86.67% (26/30),阳性预测值为 92.00% (46/50),阴性预测值为 81.25% (26/32)。AUC 为 0.912 (95% CI: 0.842~0.982)。

Bootstrap 内部验证结果显示,模型 A 经 1 000 次重复抽样后性能保持稳定,十折交叉验证平均 AUC 为 0.891 (95% CI: 0.831~0.951)。校准曲线显示模型预测概率与实际观察结果具有较好一致性,训练集及测试集均接近理想参考线,提示模型校准性能较好(见图 1)。决策曲线分析结果表明,该模型在阈值概率覆盖较广的区间内,净获益均优于“全部予以干预”和“全部不予干预”两种对照策略,具备相应的临床应用潜力(见图 2)。

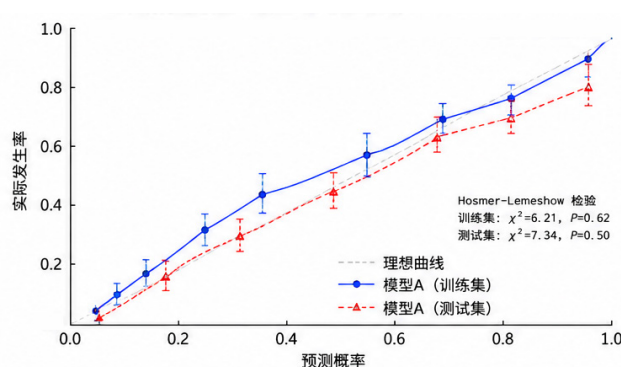


图 1 模型 A 校准曲线

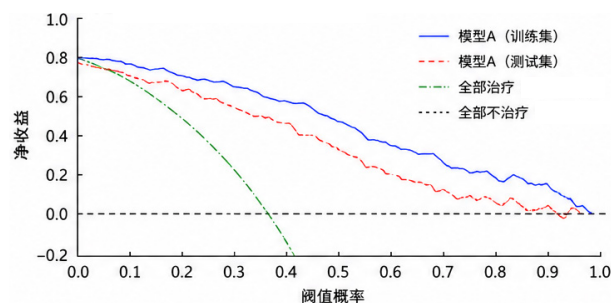


图 2 模型 A 决策曲线

2.3 介入术后预后风险分层模型(模型 B)效能分析

基于影像组学特征构建的预后模型将患者分为高风险组和低风险组各 41 例。截至 2025 年 12 月 31 日,全组中位随访时间为 18 个月(范围:6~48 个月),其中 2022 至 2023 年入组的患者已完成至少 24 个月随访,2024 年至 2025 年入组的患者随访时间为 3~23 个月。随访期间共观察到疾病进展或死亡事件 29 例,删失 53 例,事件发生率为 35.37%。Cox 模型最终纳入 5 个变量,包括影像组学风险评分、年龄、WHO 分级、肿瘤最大径及术后辅助治疗情况。比例风险假设检验结果显示,各变量 Schoenfeld 残差检验均未见统计学差异($P > 0.05$),满足 Cox 模型应用条件。生存分

析显示,高风险组中位无进展生存期为 9.2 个月,低风险组未达到中位 PFS,两组差异有统计学意义(Log-rank $\chi^2=21.54, P<0.001$)。模型的 C-index 为 0.783 (95%CI: 0.705~0.861)。Bootstrap 内部验证校正后 C-index 为 0.764。十折交叉验证平均 C-index 为 0.752 (95%CI: 0.691~0.812)。校准曲线显示预测 PFS 概率与实际观察结果具有较好一致性;决策曲线分析提示,在多数阈值概率范围内模型均获得较高净收益。

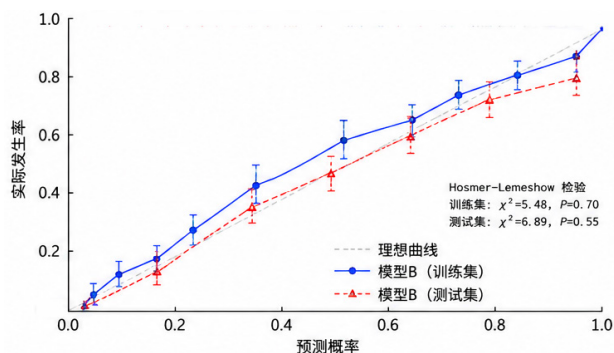


图 3 模型 B 校准曲线

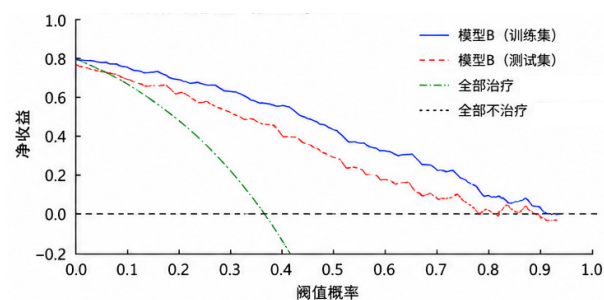


图 4 模型 B 决策曲线

3 讨论

脑胶质瘤的临床治疗多采用手术、放疗、化疗等多种手段联合的综合干预方案。在此过程中,术前准确评估肿瘤性质和术后预测患者预后,能为临床个体化治疗方案提供参考依据。本研究将多模态 MRI 影像组学技术应用于脑胶质瘤的介入诊疗,构建了术前分级和术后风险分层模型,并初步评估其临床效用。

在介入术前评估方面,本研究构建的模型实现 87.80% 的整体分级准确率与 0.912 的 AUC 值,其效能与国内外多项同类研究结果相吻合^[2,5]。本模型的高阳性预测值(92.00%)表明当其预测为高级别胶质瘤时具有很高的可信度,为临床医师在面临治疗决策时提供有力的影像学依据,增强决策信心^[3]。本研究出现的少数误判病例(如 4 例低级别被预测为高级别),经回顾发现,肿瘤在影像上确实表现出不典型的强化或纹理特征,部分病理报告也提示存在微血管增

生或细胞密度增高区域。将模型预测的“高风险区域”作为神经导航或立体定向活检的优先靶点,理论上可以提高对具有侵袭性亚克隆的检出率,从而优化介入诊断的精准性^[9]。

在介入术后管理方面,本研究构建的预后风险分层模型成功地将患者区分为 PFS 显著不同的两组(Log-rank $P<0.001$)。在手术完成之初,甚至术前,就有可能通过无创的影像分析,识别出那些即使经过手术干预,其肿瘤生物学行为依然具有高度侵袭性、易于早期复发进展的患者亚群^[6]。对于高风险组患者,采取更积极的术后辅助治疗策略、更密集的随访监控,甚至考虑早期加入新型治疗手段;而对于低风险组患者,则可以避免过度治疗,减轻患者经济与心理负担,实现医疗资源的优化配置^[7]。

本研究的特色在于将影像组学模型定位于介入诊疗决策支持的辅助工具,探索其与临床实践的结合点:从术前分级、靶区规划到术后风险分层。同时,本研究采用训练集—测试集独立验证策略,并通过 Bootstrap 重复抽样及交叉验证对模型稳定性进行内部验证,进一步利用校准曲线和决策曲线分析评价模型临床应用价值,从准确性、一致性及临床获益多个层面验证模型性能。由于本研究属于单中心回顾性分析,受限于样本量规模,模型性能需在多中心前瞻性队列中进一步验证。此外,影像组学分析流程的标准化与可重复性仍是临床转化中需解决的问题。未来可尝试融合功能 MRI 及分子病理标志物,构建多模态预测模型,以进一步提升决策支持能力^[4,10]。

综上所述,本研究初步表明,基于多模态 MRI 的影像组学模型可为脑胶质瘤的术前分级和术后风险评估提供影像学参考,但其临床实用价值仍需更多研究验证。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 刘天笑,周晶,贺曦.多模态 MRI 检查在脑胶质瘤术前分级及术后疗效评估中的应用价值[J].癌症进展,2024,22(21):2396-2399.
- [2] 王信,王泽玮,林泽辉.多模态磁共振成像对脑胶质瘤及病理分级的诊断价值研究[J].循证医学,2023,23(2):96-102.
- [3] 李奕虹,所信君,冯全志.多模态 MRI 检查对脑胶质瘤患者病理分级的诊断价值及术后复发的预测价值[J].癌症进展,2024,22(20):2255-2258.
- [4] 刘超,郑兰兰.磁共振多模态技术在不同级别脑胶质瘤检查中的参数差异及影像表现分析[J].影像研究与医学应用,2023,7(1):13-15.

- [5] 黄晓茵, 陈凤莲, 张煜, 等. 多参数多区域MRI影像组学特征与临床信息联合模型可有效预测脑胶质瘤患者生存期[J]. 南方医科大学学报, 2024, 44(10): 2004–2014.
- [6] 曾旖旎, 李文君, 朱安定, 等. 多模态磁共振技术在脑内环形强化病变中的诊断价值[J]. 国际神经病学神经外科学杂志, 2024, 51(1): 7–16.
- [7] Bijari S, Rezaei S, Sayfollahi S, et al. Development and validation of a robust MRI-based nomogram incorporating radiomics and deep features for preoperative glioma grading: a multi-center study[J]. Quant Imaging Med Surg, 2025, 15(2): 1125–1138.
- [8] Neimantaite A, Carstam L, Gómez Vecchio T, et al. Survival prediction with radiomics for patients with IDH mutated lower-grade glioma[J]. J Neurooncol, 2025, 173(3): 505–514.
- [9] Fares J, Price SJ. In reply: decoding glioblastoma heterogeneity: neuroimaging meets machine learning[J]. Neurosurgery, 2025, 96(6): e146–e148.
- [10] Alan N, Zenkin S, Lavadi RS, et al. Associating T1-weighted and T2-weighted magnetic resonance imaging radiomic signatures with preoperative symptom severity in patients with cervical spondylotic myelopathy[J]. World Neurosurg, 2024, 184: e137–e143.