

论 著

基于磁共振的影像组学鉴别高级别胶质瘤和脑转移瘤的研究现状*

李亚萍¹ 胡 君^{2,*}

1.湖北中医药大学检验学院

(湖北 武汉 430065)

2.湖北中医药大学湖北省中医院放射科

(湖北 武汉 430061)

【摘要】高级别胶质瘤(high-grade glioma, HGG)和脑转移瘤(brain metastases, BM)是成人最常见的脑肿瘤类型,两种肿瘤的治疗管理措施是不同的,而且由于两者影像学上特征的相似性,如何快速可靠地确定肿瘤的初步特征对临床诊断结果有着重大影响。颅脑磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)包含大量的解剖特征信息,但是由于HGB和BM在磁共振影像上的有很多相似性, MRI不能准确区分HGB和BM。MRI通过机器学习算法和影像组学可以挖掘和分析肿瘤的异质性,可显著提高MRI区分HGB和BM的准确度,进而用于恶性脑肿瘤患者的临床鉴别诊断和制订患者治疗计划中去,同时避免侵入性组织采样的需要,减少患者脑组织的损伤,提高患者的诊疗体验感,具有较好的研究前景和临床实践指导意义。现就基于MRI的影像组学鉴别高级别胶质瘤和脑转移瘤的研究进展进行简单综述和未来展望。

【关键词】磁共振成像; 影像组学;
高级别胶质瘤; 胶质母细胞瘤;
脑转移瘤

【中图分类号】R445.2; R739.41

【文献标识码】A

【基金项目】湖北省科技厅, 2022年湖北省自然科学基金创新发展联合基金
(2022CFD139)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.05.054

Research Status of Magnetic Resonance-based Radiomics to Identify High-grade Gliomas and Brain Metastases*

Li Ya-ping¹, HU Jun^{2,*}

1.College of Laboratory, Hubei University of Chinese Medicine, Wuhan 430065, Hubei Province, China

2.Department of Radiology, Hubei Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine, Hubei University of Chinese Medicine, Wuhan 430061, Hubei Province, China

ABSTRACT

High-grade glioma (HGG) and brain metastases (BM) are the most common types of brain tumors in adults, the treatment and management measures of the two tumors are different, and due to the similarity of the imaging characteristics of the two, how to quickly and reliably determine the preliminary characteristics of the tumor has a significant impact on clinical diagnosis. Magnetic Resonance Imaging (MRI) contains a lot of anatomical feature information, but because HGB and BM have many similarities in magnetic resonance images, MRI cannot accurately distinguish between HGB and BM. MRI can mine and analyze tumor heterogeneity through machine learning algorithms and radiomics, which can significantly improve the accuracy of MRI to distinguish between HGB and BM, and then be used for clinical differential diagnosis of malignant brain tumor patients and formulation of patient treatment plans, while avoiding the need for invasive tissue sampling, reducing the damage of patients' brain tissue, and improving patients' sense of diagnosis and treatment experience, which has good research prospects and clinical practice guiding significance. This paper briefly reviews the research progress of MRI-based radiomics to distinguish high-grade gliomas and brain metastases.

Keywords: Magnetic Resonance Imaging; Radiomics; High-grade Glioma; Glioblastoma; Brain Metastases

脑胶质瘤的5年死亡率在所有肿瘤中排名第三位。根据世界卫生组织的分级,可以将脑胶质瘤分为低级别胶质瘤(I、II级)和高级别胶质瘤(III、IV级)两种,IV级脑胶质瘤主要是胶质母细胞瘤(glioblastoma, GBM), HGB是一种高度恶性的中枢神经系统肿瘤,具有进展快、预后差的特点^[1]。HGB患者的5年生存率低于10%,中位生存期不到2年^[2]。脑转移瘤的发生频率是脑部原发性恶性肿瘤的2倍^[3],已成为身体其他部位肿瘤最常见的并发症之一,其中25%~30%脑转移瘤属于单发性脑转移瘤^[4](solitary brain metastases, SBM)。脑转移与晚期癌症患者的发病率和死亡率相关。尽管近年来外科、放射治疗和全身治疗等方面取得了重大进展,但BM患者的中位总生存期仍然不到1年。当胶质瘤和转移瘤均表现为单发性时,尤其是高级别胶质瘤和脑转移瘤的影像表现十分相似,两者在MRI上均可表现为不规则环形强化、肿瘤周围水肿及大片坏死灶的影像特征,给临床鉴别诊断带来了困难。

HGB和BM的鉴别诊断仍然是当今临床神经肿瘤学面临的一个重大挑战,因为它们常规磁共振成像(conventional magnetic resonance imaging, cMRI)中的表现出的影像特征非常相似^[5]。MRI是目前诊断脑转移瘤和评估患者预后的最嫁工具,多种功能成像技术都具有其独特的优势和较大的发展潜力^[6]。在临床诊断中,影像诊断医师通过检查获得的影像图像去对肿瘤进行鉴别诊断,诊断的过程中会存在较强的主观性和个体差异性。当肿瘤在影像图像上表现的十分相似时,会给临床医生诊断带来较大的困难与挑战。近年来影像组学(radiomics)成为一种热门的临床诊疗和研究工具,它能将人类肉眼无法识别到的高通量定量成像特征转换为可视化的数据,辅助临床医生进一步鉴别诊断疾病。基于影像组学特征提取的定量图像分析是肿瘤患者生存预测的热门研究领域。影像组学区分高级别胶质瘤与脑转移的敏感性和特异性分别为84%和84%,将影像组学与磁共振成像相结合的方法可以提高鉴别HGB和BM的准确率和诊断效能^[7]。本文回顾分析MRI与影像组学相结合用于鉴别高级别胶质瘤和脑转移瘤的研究进展,讨论一下影像组学的未来发展。

1 影像组学的简单介绍

影像组学是指从计算机断层扫描(CT)、MRI、正电子发射计算机断层显像(PET)等多模式医学图像中提取出较多的高维定量特征,这些特征是从常规采集的成像数据中提取的未被发现的特征^[8]。这些数据既不能被人类感知到也不能通过常规图像分析来捕获,这些未被捕获的数据在病变区域具有较高的研究应用价值。影像组学的特征分析可以分为五个主要处理步骤:标准医学影像数据的获取和筛选、医学影像的分割、影像特征的提取、特征的分析选择以及建立模型和应用^[9]。影像组学可以对大量定量特征进行模式识别,并且与视觉评估相比,具有主观性更小、速度更快的特点。

影像组学是一个不断发展的领域,具有改变诊断医学的巨大潜力,在未来有很大的趋势影响着临床试验和临床实践。从区分肿瘤类型和各种非致癌病理的宏观水平到肿瘤

【第一作者】李亚萍,女,在读硕士,主要研究方向:影像肿瘤学。E-mail: 3382343787@qq.com

【通讯作者】胡 君,男,副主任医师,主要研究方向:影像诊断。E-mail: 59596060@qq.com

组织学的微观水平,再到放射基因组学,影像组学依靠先进的计算机技术来补充人眼不能识别的信息。影像组学能够从复杂的临床成像阵列中提取大量定量特征,这些特征可以反映潜在的基因突变和恶性肿瘤,以及肿瘤分级、诊断、肿瘤分割、非侵入性基因组生物标志物识别、进展检测、治疗效果,甚至预测患者的总生存期^[10]。利用磁共振影像组学的特征信息来预测HGG患者的总生存期、疾病进展和复发情况取得了较大的研究进展,为临床医生制订治疗计划提供了有力的参考数据。Han等^[11]通过结合影像组学特征的深度学习模型来提取MRI图像中与预后相关的信息,进而预测临床HGG患者的总生存期,研究发现结合影像组学特征的深度学习模型可以将高级别胶质瘤患者分为长期幸存者和短期幸存者,但是研究缺乏对短期生存患者和长期生存患者的比较。李志斌等^[12]通过对MRI图像影像学特征的提取和利用,构建了预测模型来估计疾病进展和复发情况,结果发现在HGG患者放疗前获得的MRI结构图像可以对HGG的疾病进展或治疗后复发进行预测,相比于预测短期结果而言,对长期结果的预测可以获得更好的预测结果。

磁共振成像(MRI)是临床评估脑肿瘤患者的首选检查方式,但由于两者相似的成像特征,是较难去区分胶质母细胞瘤(GBM)和单发脑转移瘤(SBM)。通过影像组学进行定量分析可以增强对MRI的解释,提供有关鉴别诊断、基因型、治疗反应和预后的见解。基于磁共振的影像组学为临床诊断疾病提供更多细致的参数信息,为精准医疗提供了较好的方向。与传统的MRI脑成像相比,影像组学与MRI相结合提供了有意义的生物学特征和深度学习应用相关的定量信息,从而揭示了成像诊断的完全自动化的可能性。Su CQ等^[13]实验研究发现影像组学模型可作为胶质母细胞瘤和单发脑转移瘤术前鉴别的有效工具,从而帮助临床诊断和决策。影像组学可以准确区分高级别胶质瘤和脑转移,提高临床诊断的性能^[14]。影像组学可以提高影像学在胶质瘤鉴别诊断中的价值,但目前关于胶质瘤鉴别诊断影像组学的研究仍然缺乏将其引入临床实践所需的质量。

2 通过基于MRI的影像组学鉴别HGG与BM的研究进展

2.1 通过基于cMRI的影像组学鉴别HGG与BM的研究进展

HGG与SBM在MRI增强图像上影像表现十分相似,致使临床上很难将两者区分开,从而导致超过40%的患者被误诊^[15]。研究学者通过将cMRI与影像组学相结合的模式来鉴别这两种肿瘤来从而降低HGG和SBM的误诊率。

研究学者通过对算法和模型不断实践总结,影像组学临床实用性得到不断地提高。Rafael等^[16]所提出的影像组学MRI方法能够利用一组二维纹理特征,高精度地区分GBM和BM,从而有助于快速、无创地诊断脑部病变,但手术方法对于明确肿瘤诊断仍然是必要的。GBM的基因分型对于患者治疗方案的选择以及预后预测具有重要意义。Pease等^[17]在分割MRI肿瘤体积后,提取了一阶和二阶影像组学特征(灰度共生矩阵),使用最大相关性最小冗余技术来识别100个最相关的特征,发现影像组学有可能在术前区分常见的基因改变,并识别有良好预后的患者。术前MRI影像组学模型可无创地预测胶质母细胞瘤患者的关键基因组标志物和生存,这一特征为肿瘤的临床诊断治疗提供了理论基础和实践技术支持。孙英杰^[18]等比较HGG和SBM患者增强图像的灰度共生矩阵纹理特征参数之间的差异性,利用支持向量机(SVM)对最优特征参数组合进行测试,发现增强MRI纹理分析鉴别诊断性能高。

通过对不同数据模型和分析算法的选择比较,得出最优解,让影像组学的性能越来越高、实用性越来越强。Salar等^[19]引入了一种准确、方便和友好的方法,在cMRI序列与影像组学结合分析来区分GBM和BM的研究模型中,与非多维小波模型相比,多维小波模型有显著的改进。多维离散小波变换可以从不同的角度分析MRI的隐藏特征,并生成与模型精度高度相关的准确特征。Joo等^[20]对数据训练集和测试集进行全自动分割后,计算机提取了数据集影像组学特征,当选择算子(LASSO)这种机器学习分类器作为特征选择方法时,取得了实验最好的性能。基于全自动影像组学的多类分类模型可能有助于胶质母细胞瘤、脑转移瘤单一

增强脑肿瘤的鉴别诊断,具有良好的诊断性能和推广性。

除了算法方面的研究,研究学者也对cMRI的不同序列进行了实验研究并取得一定进展。DWI中的瘤周水肿区ADC值能够有助于鉴别脑转移瘤和脑胶质瘤、术前脑胶质瘤分级以及降低术后致残率^[21]。动脉自旋标记(ASL)成像技术可以精准反应颅脑组织的灌注能力。刘畅等^[22]研究发现与DWI序列相比,ASL成像技术可以更好区分胶质瘤复发与治疗反应方面的情况,为治疗后疾病进展的评估提供了理论支持。Moran等^[23]使用基于常规造影后T₁加权MRI(T₁WI)的影像组学分析来区分胶质母细胞瘤和脑转移亚型,基于造影后的T₁WI的胶质母细胞瘤与脑转移的鉴别成功率较高,但是BM亚型之间的分类可能需要额外的MR序列与其他组织对比。徐向东等^[24]发现基于T₁WI和T₂ FLAIR序列中提取融合后特征的影像组学在具有更加显著的预测性能,实现了对HGG和SBM的无创和高效鉴别。Parvase等^[25]通过FLAIR图像的影像组学特征研究胶质母细胞瘤(GBM)和脑转移瘤(BM)瘤周血管源性水肿(PVE)表现出的不同特点,发现GBM的PVE中的浸润性肿瘤细胞可能影响纹理值,并且与BM的PVE相比更高,可能在区分GB和BM中具有较高价值。研究结果的证实需要在将来通过更多的实验研究、更大的队列和不同的扫描仪进一步研究调查。

从传统MRI中提取不同时间点的定量MRI生物标志物,分别代表其解剖、微观结构、血管和代谢变化,可以作为BM患者立体定向放射外科手术(SRS)反应早期预测的标志物^[26]。先进的MRI可以为选择BM患者提供客观的测量,MRI在SRS后BM反应评估中存在较大的潜力,因此建议该技术纳入未来的前瞻性临床试验中,为影像组学在临床的应用提供坚实基础。研究学者们从算法模型、扫描序列、基因分型、生物标志物的提取等多个角度进行研究验证,为影像组学鉴别HGB和BM的进一步发展提供了强有力的理论和技术支撑。最近几年的研究强调了异柠檬酸脱氢酶(IDH)突变在对生物学上不同的胶质瘤亚群进行分层中的重要性。IDH在胶质瘤生成中起重要作用,IDH状态与胶质瘤患者预后的关系十分密切,广泛应用于胶质瘤的研究。基于MRI特征的影像组学与IDH突变状态的联系可以为高级别胶质瘤和脑转移瘤的鉴别诊断提供一个新的介入角度和研究方向^[27]。

2.2 通过基于fMRI的影像组学鉴别HGG与BM的研究进展

功能MRI成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)是一种探测大脑功能活动的影像技术,它具有将功能、影像和解剖三种图像融为一体的特点,可以更加精准的定位显示大脑各个功能区,具有无创性、可重复性好的优势。fMRI、fMRI和影像组学的结合在鉴别HGG与SBM的过程中彰显出它独特的优势,为鉴别HGG与BM提供了更为准确的数据和理论支持^[28]。

Suh等^[29]对1143例患者采用层次Logistic回归模型验证扩散加权成像(DWI)和扩散张量成像(DTI)可以有效区分HGG与SBM。除此之外,MRI中的表现扩散系数(ADC)、磁共振灌注加权成像技术(perfusion weighted imaging, PWI)与影像组学的结合也都被研究证明给HGG与SBM的鉴别提供了新的思路和研究方向。灌注MRI在区分胶质瘤和脑转移方面显示出很高的诊断性能,汇总敏感性为90%,汇总特异性为91%^[30]。与正常脑组织相比,HGG患者的血管表现出更高的通透性、血容量以及灌注量,进而在动态MRI增强成像时,通过对脑血容量的测量进一步获得肿瘤生长和治疗反应的信息。采用MRI增强扫描模式同时结合肿瘤周围水肿区的最小ADC值就能够有效鉴别BM和HGG,其诊断效能较高^[31]。Nathalie等^[32]通过对患者进行PWI检查,研究发现纹理特征中的对比度、平均值以及相对脑血容量这三个参数在鉴别HGG和BM中具有更高的诊断价值,可以将脑转移瘤和胶质母细胞瘤区分开,灵敏度为92%,特异性为71%。肿瘤的生化组织信息和正常脑组织明显不同,磁共振波谱成像(MRS)允许同时获得一些代谢改变标志物。MRI中的常规检查DWI联合MRS除了能对胶质瘤的分级及HGB与SBM的鉴别提供帮助,还能对肿瘤的类型进行定性分析,从而指导临床医生进行正确的判断和治疗^[33]。研究发现MRI联合MRS技术可以有效鉴别胶质瘤术后复发、假性进展以及放射性脑损伤,有利于临床选择合适的治疗方案以及评估患者术后生存情况^[34]。运彩虹等^[35]通过利用临床上HGG和SBM

在磁共振波谱成像MRS中两种病变的标志物代谢存在有差异性的成像特点以及MRS还可提示肿瘤侵犯周围组织大小程度,对HGG和SBM进行了成像,在临床诊断治疗中有一定的鉴别诊断指导意义。Elisabeth等^[36]证明使用影像组学进行酰胺质子转移加权成像(APTw)成像是可行的,并且可以高度准确地地区分原发性神经胶质瘤和转移瘤。

除了fMRI在HGG和BM的鉴别诊断中发挥了巨大的作用,一些其他的特殊算法和成像技术也被应用到两种疾病的鉴别诊断中,如卷积神经网络、磁共振指纹打印技术等,以期获得更好的诊断效能。Stadlbauer团队^[37]自主开发了一款基于一维卷积神经网络(CNN)与来自氧代谢率(CMRO2)的影像组学特征相结合的模式,这款数据模型在肿瘤参数的发掘和疾病评估明显优于常规方式,研究发现影像组学特征与深度学习算法的结合比平均值或中位值的比较更有效。研究人员也将影像组学同MRI指纹打印技术(MRF)相结合,来鉴别胶质母细胞瘤和转移瘤。Charit等^[38]将3D MRF图、影像组学分析和机器学习结合使用验证成人脑内肿瘤表征的可行性,研究发现3D MRF图的影像组学分析可以区分胶质母细胞瘤和转移瘤,并根据分级、IDH1状态和生存率表征胶质瘤。

越来越多的多功能成像被应用于高级别胶质瘤和脑转移瘤的鉴别诊断中,但是基于fMRI的影像组学应用于HGG与BM鉴别的研究仍然相对较少。目前研究的数量和质量仍然不能将影像组学引入到临床实际应用里面去,未来需要做更多的研究和数据来证明其有效性和实用性。

3 讨论

目前的研究已经表明MRI与影像组学的结合可以提高疾病的鉴别性能,但是缺乏模型之间的比较分析以及数据模型标准的建立。实验的数据的来源不同,图像的质量、研究步骤缺乏标准化和结构化,这些问题都需要进一步去解决。机器学习结果的验证需要更多的数据和研究去实现。现阶段的研究很多属于回顾性研究,因此会存在治疗细节上的差距,而且对影像组学模型缺乏交叉验证的评估,来验证此类模型的特征可重复性和临床实用性。此外,由于影像组学现阶段的研究大多数是属于小样本量的实验研究,存在数据代表性不足、预测性能不佳及模型推广性较差等问题。克服这些问题的一种方法是使用联邦学习方法,即使用高度多样化和非常大的数据集。这就使得多学科、多交叉、多中心融合协作的大型数据资料库显得十分重要,不仅仅是对研究结果、数据的进一步验证肯定,也是促进影像组学进入临床实验阶段的必要条件^[9]。为了提高影像组学模型的质量和推广性能,还可以通过采用密集和标准化的工作流程来避免潜在的数据泄漏,影像组学结合临床特征在高级别胶质瘤和脑转移鉴别诊断方面的应用需要进一步实践证明^[39]。但是通过遵循严格的指导方针来过度标准化方法可能会限制创新性发现的潜力,所以同时也要不断修订和更新指南以跟上技术发展的步伐。

综上所述,MRI与影像组学的综合应用在HGG和BM的鉴别诊断、疗效预测以及预后评估监测中都取得了一定的进展和研究成果,但目前对胶质瘤鉴别诊断的影像组学研究仍然缺乏将其引入临床实践所需的质量^[40],同时也存在一些研究不足和应用推广的局限性,需要研究者去做更多更进一步的研究工作来弥补这些缺陷。先进的成像技术和影像组学模型在疾病的鉴别、评估和预测方面显示出来巨大的潜力,但是这些技术和研究在为临床提供便利之前,还需要标准化的专家共识和获得国内外的认可。

4 未来展望

影像组学可适用于不适合做活检或切除的患者的综合鉴别诊断,也可用于目标体积的自动化图像分割,还可适用于肿瘤复发位置的预测以及实际肿瘤进展的确定^[41]。在脑转移瘤患者中,影像组学不仅可以进一步检测较小的脑转移瘤的存在和对较大的转移瘤准确分割,还可以对术后反应进行预测以及对局部脑转移复发和放射治疗后造成的放射性损伤进行区分。通过使用PWI、MRS和影像组学的多模态结合鉴别诊断方法可以用来区分脑转移

瘤放疗后放射坏死与肿瘤进展,但是在未来仍然需要先进成像技术的研究来进一步完善方法^[42]。虽然在应用成像技术和计算方法方面存在很大差异,但是绝大多数方法可以实现80-90%的高诊断精度。基于影像组学和人工智能的自动化图像分析在改善脑恶性肿瘤患者放疗方面具有巨大潜力^[41],然而与这些技术相关的一个常见问题是所应用方法的可变性大以及缺乏标准化。

综上所述,目前磁共振与影像组学的结合来鉴别HGG和BM仍存在一定局限性,但是随着研究的进一步深入、完善,基于MRI的影像组学模型终有一天会落实于临床日常工作中,成为临床肿瘤研究中一种重要的诊断和预测工具,最终用于指导临床医生决策,促进精准医疗的实现。影像组学这项技术也会随着科学技术的不断发展进步在肿瘤学等领域占据重要地位。

参考文献

- [1] 脑胶质瘤诊疗规范(2018年版)[J]. 中华神经外科杂志, 2019 (03): 217-239.
- [2] Mladenovsk M, Valkov I, Ovcharov M, et al. High Grade Glioma Surgery - Clinical Aspects and Prognosis. Folia Med (Plovdiv), 2021, 63(1): 35-41.
- [3] Lapointe S, Perry A, Butowski NA. Primary brain tumours in adults[J]. Lancet, 2018, 392 (10145): 432-446.
- [4] 谭朝元, 杨晶, 严开心, 等. 扩散峰度成像对高级别胶质瘤及单发脑转移瘤的鉴别诊断价值[J]. 放射学实践, 2017, 32 (3): 218-222.
- [5] 张晓瑞, 中静, 王华峰, 等. T2DSC PWI和弥散加权成像在单发脑转移瘤和高级别胶质瘤的诊断中的应用比较[J]. 中国实验诊断学, 2020, 24 (2): 199-203.
- [6] 刘婷婷, 李欢, 丁珞洲, 等. 脑转移瘤的影像学研究进展[J]. 中国CT和MRI杂志, 2024, 22 (02): 173-175.
- [7] 袁媛, 李振凯, 王莺, 等. MRI影像组学模型在高级别胶质瘤及脑内单发转移瘤鉴别中的应用研究[J]. 现代医药卫生, 2021, 37 (20): 3537-3540.
- [8] Porcu M, Solinas C, Mannelli L, et al. Radiomics and "radi-omics" in cancer immunotherapy: a guide for clinicians[J]. Crit Rev Oncol Hematol, 2020, 154: 103068.
- [9] Acharya UR, Hagiwara Y, Sudarshan VK, et al. Towards precision medicine: from quantitative imaging to radiomics[J]. J Zhejiang Univ Sci B, 2018, 19 (1): 6-24.
- [10] Yi Z, Long L, Zeng Y, et al. Current advances and challenges in radiomics of brain tumors[J]. Front Oncol, 2021, 11: 732196.
- [11] Han W, Qin L, Bay C, et al. Deep transfer learning and radiomics feature prediction of survival of patients with high-grade gliomas[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2020, 41 (1): 40-48.
- [12] Li Z, Chen L, Song Y, et al. Predictive value of magnetic resonance imaging radiomics-based machine learning for disease progression in patients with high-grade glioma[J]. Quant Imaging Med Surg, 2023, 13 (1): 224-236.
- [13] Su CQ, Chen XT, Duan SF, et al. A radiomics-based model to differentiate glioblastoma from solitary brain metastases[J]. Clin Radiol, 2021, 76 (8): 629.e11-629.e18.
- [14] Li Y, Liu Y, Liang Y, et al. Radiomics can differentiate high-grade glioma from brain metastasis: a systematic review and meta-analysis[J]. Eur Radiol, 2022, 32 (11): 8039-8051.
- [15] Caravan I, Ciortea CA, Contis A, et al. Diagnostic value of apparent diffusion coefficient in differentiating between high-grade gliomas and brain metastases[J]. Acta Radiol, 2018, 59 (5): 599-605.
- [16] Ortiz-Ramón R, Ruiz-España S, Mollá-Olmos E, et al. Glioblastomas and brain metastases differentiation following an MRI texture analysis-based radiomics approach[J]. Phys Med, 2020, 76: 44-54.
- [17] Pease M, Gersey ZC, Ak M, et al. Pre-operative MRI radiomics model non-invasively predicts key genomic markers and survival in glioblastoma patients[J]. J Neurooncol, 2022, 160 (1): 253-263.
- [18] 孙英杰, 刘晓梅, 李光辉, 等. 增强MRI纹理分析在鉴别高级别胶质瘤和单发性脑转移瘤中的价值[J]. 罕少疾病杂志, 2022, 29 (07): 15-17.
- [19] Bijari S, Jahanbakhshi A, Hajishafiezhahrani P, et al. Differentiating glioblastoma multiforme from brain metastases using multidimensional radiomics features derived from MRI and multiple machine learning models[J]. Biomed Res Int, 2022, 2022: 2016006.
- [20] Joo B, Ahn SS, An C, et al. Fully automated radiomics-based machine learning models for multiclass classification of single brain tumors: Glioblastoma, lymphoma, and metastasis[J]. J Neuroradiol, 2023, 50 (4): 388-395.
- [21] 王虎, 姚倩东, 芮军, 等. MR弥散成像(DWI)在脑胶质瘤诊断、术前分型及手术指导中的应用观察[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20 (2): 14-17.
- [22] 刘畅, 计海霞, 董立军, 等. 多模态MRI功能成像在脑胶质瘤术后复发与治疗反应评估中的价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2024, 22 (4): 4-6.
- [23] Artzi M, Bressler I, Ben Bashat D. Differentiation between glioblastoma, brain metastasis and subtypes using radiomics analysis[J].

J Magn Reson Imaging, 2019, 50 (2): 519-528.

[24] 徐向东, 梁芳蓉, 韦端丽, 等. 基于多参数MRI影像组学特征融合模型鉴别高级别胶质瘤与单发性脑转移瘤[J]. 磁共振成像, 2022, 13 (11): 53-59, 65.

[25] Parvaze PS, Bhattacharjee R, Verma YK, et al. Quantification of radiomics features of peritumoral vasogenic edema extracted from fluid-attenuated inversion recovery images in glioblastoma and isolated brain metastasis, using T1-dynamic contrast-enhanced perfusion analysis[J]. NMR Biomed, 2023, 36 (5): e4884.

[26] Hu J, Xie X, Zhou W, et al. The emerging potential of quantitative MRI biomarkers for the early prediction of brain metastasis response after stereotactic radiosurgery: a scoping review[J]. Quant Imaging Med Surg, 2023, 13 (2): 1174-1189.

[27] Li Y, Qin Q, Zhang Y, et al. Noninvasive determination of the IDH status of gliomas using MRI and MRI-based radiomics: impact on diagnosis and prognosis[J]. Curr Oncol, 2022, 29 (10): 6893-6907.

[28] 吕建波, 齐欣, 陈志庚, 等. 基于MRI影像组学鉴别高级别胶质瘤和单发脑转移瘤的研究进展[J]. 磁共振成像, 2021, 12 (6): 108-110.

[29] Suh CH, Kim HS, Jung SC, et al. Diffusion-weighted imaging and diffusion tensor imaging for differentiating high-grade glioma from solitary brain metastasis: a systematic review and meta-analysis[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2018, 39 (7): 1208-1214.

[30] Suh CH, Kim HS, Jung SC, et al. Perfusion MRI as a diagnostic biomarker for differentiating glioma from brain metastasis: a systematic review and meta-analysis[J]. Eur Radiol, 2018, 28 (9): 3819-3831.

[31] 侯明杰. 瘤周水肿区MinADC值鉴别脑转移瘤和高级别胶质瘤中的阈值及效能探讨[J]. 罕少疾病杂志, 2022, 29 (5): 31-33, 47.

[32] Mouthuy N, Cosnard G, Abarca-Quinones J, et al. Multiparametric magnetic resonance imaging to differentiate high-grade gliomas and brain metastases[J]. J Neuroradiol, 2012, 39 (5): 301-307.

[33] 朱震方, 李健, 邵勇, 等. 磁共振DWI联合MRS对胶质瘤分级及鉴别高级别胶质瘤与单发脑转移瘤的诊断价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2019, 17 (7): 1-4.

[34] 孙飞月, 李云. MRI联合MRS在脑胶质瘤复发、假性进展和放射性脑损伤中鉴别诊断中的运用价值[J]. 罕少疾病杂志, 2022, 29 (6): 22-25.

[35] 运彩虹, 张颖, 陈丽娟, 等. cMRI结合MRS技术诊断颅内高级别胶质瘤与转移瘤的效果[J]. 影像研究与医学应用, 2022, 6 (19): 80-82.

[36] Sartoretti E, Sartoretti T, Wyss M, et al. Amide proton transfer weighted (APT_w) imaging based radiomics allows for the differentiation of gliomas from metastases[J]. Sci Rep, 2021, 11 (1): 5506.

[37] Stadlbauer A, Heinz G, Marhold F, et al. Differentiation of glioblastoma and brain metastases by mri-based oxygen metabolomic radiomics and deep learning[J]. Metabolites, 2022, 12 (12): 1264.

[38] Tippareddy C, Onyewadume L, Sloan AE, et al. Novel 3D magnetic resonance fingerprinting radiomics in adult brain tumors: a feasibility study[J]. Eur Radiol, 2023, 33 (2): 836-844.

[39] Li Y, Liu Y, Liang Y, et al. Radiomics can differentiate high-grade glioma from brain metastasis: a systematic review and meta-analysis[J]. Eur Radiol, 2022, 32 (11): 8039-8051.

[40] Brancato V, Cerrone M, Lavitrano M, et al. A Systematic review of the current status and quality of radiomics for glioma differential diagnosis[J]. Cancers (Basel), 2022, 14 (11): 2731.

[41] Kocher M, Ruge MI, Galldiks N, et al. Applications of radiomics and machine learning for radiotherapy of malignant brain tumors[J]. Strahlenther Onkol, 2020, 196 (10): 856-867.

[42] Mayo ZS, Halima A, Broughman JR, et al. Radiation necrosis or tumor progression A review of the radiographic modalities used in the diagnosis of cerebral radiation necrosis[J]. J Neurooncol, 2023, 161 (1): 23-31.

(收稿日期: 2023-10-07)
(校对编辑: 韩敏求)

《中国CT和MRI杂志》论文写作建议

医学论文写作基本要求应是客观地、真实地反映事物的本质，反映事物内部的规律性。医学论文虽然都源于临床，但决不是临床工作的平铺直叙，应是从中取其精华，内容必须有材料、有概念、有判断、有观点，合乎逻辑，顺理成章，且材料确实(经得起考证)、概念明确、判断恰当，观点正确，不含水分。即应避免文题不一致、主题不突出，忌雷同和分析不深入。

1.忌文题不一致、主题不突出

言不在多，而在于精。文字表达应准确、简练、通顺，论点鲜明、论据充足、逻辑性强、术语规范、格式合适、结论可靠切题，并有一定的生动性，应使读(编)者以最少的精力，获得最多的收获。我刊审稿时发现有些文章题目很明确，但是内容很混乱，看不出能够论证观点的方法和结果，这多是写作仓促求成，内容不多，于是表格加图，再加文字叙述，反复叠罗汉，使之看而生厌。

2.忌雷同，数据来源要真实

数据是一篇文章的核心，是医学工作者的重要劳动成果，也是验证观点的唯一标准。写作时应忠于事实和原始资料，讨论的内容不夸张、不不实。即数据准确、引文准确、用词准确，内容观点正确无误。

我刊编辑审稿时会发现有些文章写得很规整，但核实数据时发现，这篇审稿的数据与已发表文章的指标一样，数据只是小数点后的变化；亦或是数据改变较大，但文中所附图片窃取已发表文章的图片。以上类似行为是编造论文，已涉及学术不端，一经查实，会做严肃处理。

3.忌“不深入分析”，内容要新颖。

论文的讨论部分是相当重要的。经过方法的仔细描述、结果数据的有力论证，讨论部分是结果的剖析及对观点的论证，通常要具备以下要素：

- (1) 对"结果"一章中试图证明的原理、相互关系进行归纳性的解释，是对"结果"进行论述，不重复。
- (2) 指出论文的结果和解释与前人成果的异同。
- (3) 论述该文章研究工作的理论含义以及实际应用的各种可能性。
- (4) 指出任何的例外情况或相互关系中有问题出现的地方，并且应明确提出尚未解决的问题及解决的方向。但是，我刊在审稿时发现，有些文章在讨论部分对过去的研究夸夸其谈，将方法继续赘述，丝毫找不到对研究结果的分析。

有水平的医学论文必须是先进的经验或有新的见解。学术内容有别于过去已发表过的文献，应有所独创、有所发现或发明。例如在基础研究方面，选题新、方法先进，有新发现，新观点；在临床研究方面，病例更多，观察更深，诊断治疗方法有创新，效果更好，提出新见解，等等。