

综 述

MRI在缺血性脑卒中血管内治疗预后评估中的研究进展

陈纪平¹ 钱伟韵² 莫永佳²
 庞闰厦² 石浩洋^{2,*}

1.滨州医学院医学影像学院

(山东 烟台 264003)

2.胜利油田中心医院医学影像科

(山东 东营 257034)

【摘要】我国脑卒中发病率逐步升高,其已成为我国致死、致残的首要疾病。我国卒中发作以缺血性脑卒中为主,静脉溶栓是早期有效的主要治疗方法,然而对于大血管闭塞性脑卒中其治疗效果不佳。近年来血管内治疗取得了多方面的研究进展,血管再通率逐步提高,但是部分患者仍未获得理想的预后。MRI具有多方位、多序列及多参数的成像优势,并且近年来随着技术的进步,MRI多种技术临床应用逐渐广泛,通过MRI对血管内治疗预后做出一定的评估,对于临床预测病情发展以及提供个体精准治疗意义重大。本文就MRI多种技术在缺血性脑卒中患者血管内治疗预后评估中的研究进展进行综述。

【关键词】缺血性脑卒中;磁共振成像;
血管内治疗;预后评估

【中图分类号】R445.2; R743.3

【文献标识码】A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.09.057

Research Progress of Magnetic Resonance Imaging in Evaluating The Prognosis of Endovascular Therapy for Ischemic Stroke

CHEN Ji-ping¹, QIAN Wei-yun², MO Yong-jia², PANG Min-xia², SHI Hao-yang^{2,*}.

1.School of Medical Imaging, Binzhou Medical University, Yantai 264003, Shandong Province, China

2.Department of Medical Imaging, Shengli Oilfield Center Hospital, Dongying 257034, Shandong Province, China

ABSTRACT

Stroke is characterized by high incidence rate,high disability rate and high mortality rate,it has become the main cause of death and permanent disability in the world.Endovascular therapy has become a first-line therapy for stroke.Although the recanalization rate has significantly improved,some patients have not yet achieved ideal prognosis.In recent years,with the continuous progress of imaging technology and the imaging advantages of MRI in multiple directions, sequences, and parameters,we can predict the prognosis of patients who have undergone endovascular therapy, which is of great significance to evaluate disease progression and supply individualized treatment in clinical work. This article reviews the research progress of various MRI techniques in evaluating the prognosis of endovascular therapy in stroke patients.

Keywords: Ischemic Stroke; MRI; Endovascular Therapy; Prognosis Evaluation

全球范围内,脑卒中是危害人类健康的重大非传染性疾病,并且我国脑卒中患病率整体呈上升趋势。数据表明,我国40岁及以上人群的卒中人口患病率由2012年的1.89%上升至2019年的2.58%,且死亡率也处于较高水平,2018年我国约有194万人死于卒中^[1]。脑卒中是我国致死、致残的首位病因,给患者家庭和社会带来沉重的负担,其中缺血性脑卒中占比约70%。

其中颅内大血管闭塞性脑卒中(Acute ischemic stroke with large vessel occlusion, LVO-AIS)是最常见的一种,通常将内径在2 mm及以上的血管划分为大血管,一般指大脑前动脉A1段、大脑中动脉M1和M2段、大脑后动脉P1段及基底动脉等。LVO-AIS患者发病急、病情重,因此早期开通闭塞血管意义重大,要尽快缩短再通时间,挽救缺血脑组织,防止不良预后的发生。血管内治疗(Endovascular therapy, EVT)已经成为治疗AIS的一线治疗方法,尤其对于前循环大血管闭塞,血管内治疗作为首要治疗手段已达成共识^[2]。

随着医学影像技术的快速发展,MRI以其多方位多参数多序列成像的特征,能多方位观察病变,帮助临床诊断和指导治疗,为诊断AIS及评估其进展提供重要依据。本文将针对MRI不同技术对脑卒中患者血管内治疗预后评估相关的研究进展进行综述。

1 血管内治疗及预后的临床现状

血管内治疗的方式包括支架取栓、血栓抽吸、支架置入、球囊扩张、动脉溶栓。对于发病6-24小时的前循环大血管闭塞患者,经严格的影像学评估后,应进行血管内治疗。目前,EVT再通成功率可达85%-90%,但是在这些患者中有一半左右仍出现不良预后^[3],另外EVT患者院内并发症的出现也增加了短期死亡率^[4]。导致预后差异出现的原因有很多,如年龄、入院美国国立卫生研究院卒中量表(National institute of health stroke scale,NIHSS)评分、血糖、梗死体积、吸烟、再通后出血(Intracerebral hemorrhage, ICH)等^[5-6]。

决定EVT预后主要因素有梗死核心体积(Infarct core volume, ICV)以及再通后出血^[7-8]。其主要病理生理机制可能与远端栓塞或无回流导致的持续低灌注有关,并且缺血再灌注损伤、缺血后反应充血会损伤脑血管以及血脑屏障破坏引起出血、水肿^[9-10]。另外,早期静脉充盈征(Early venous filling sign, EVF)是指脑血管造影动脉期来自缺血区域局部引流静脉的早期显影,EVF的出现可表明缺血再灌注损伤的风险提高,并可导致再通后出血及不可逆梗死的发生^[11]。因此,早期预测血管内治疗后的预后情况非常重要,改良的MRI-Dragon评分可作为一种新工具,用于预测急性脑卒中血管内治疗后预后情况,快速识别对血管内治疗获益较少的患者,指导临床医生个性化治疗^[12]。通过多模态MRI与临床特征、病理生物学信息联合,可有效预测EVT无效再通的发生^[13-17]。

2 MRI在血管内治疗预后评估中的临床应用

2.1 T2液体衰减反转恢复序列 T2液体衰减反转恢复序列(T2 Fluid attenuated inversion recovery, T2-FLAIR)是颅脑MRI检查中的常规序列,通过抑制脑脊液从而突出显示病变。一项回顾性研究^[18]发现,基于T2-FLAIR影像组学的列线图并联合临

【第一作者】陈纪平,女,在读研究生,主要研究方向:医学影像诊断。E-mail: 3064866212@qq.com

【通讯作者】石浩洋,男,医师,主要研究方向:神经影像学。E-mail: wcol15@163.com

床特征对AIS患者取栓预后有较好的预测效果,其预测效能优于传统单一影像组学模型。FLAIR高信号血管征(Flair Vascular Hyperintensity, FVH)是指在T2-FLAIR上沿脑沟、蛛网膜下腔或脑表面分布的点状、条状或管状高信号。当颅内供血动脉严重狭窄或闭塞引起脑组织灌注不足时,由于局部血流动力学改变,二级侧支循环软脑膜吻合支的血流缓慢流动,从而在T2-FLAIR上表现为高信号,而正常脑动脉在T2-FLAIR上表现为流空低信号。Dong等^[19]发现,在良好的侧支循环状态下,FVH可能是前循环缺血性卒中患者90d功能预后良好的预测因子,并且近期一项研究^[20]也表明FVH与血管早期再通有关,在进行血管内治疗的患者中,FVH与良好的功能预后相关。FVH可作为一种反映血流动力或侧支循环的影像标志物,以此来评估AIS患者EVT。

2.2 弥散加权成像 弥散加权成像(diffusion weighted image, DWI)能够反映组织之间水分子弥散情况。目前DWI及其各种参数在神经系统中的应用最为广泛且成熟。对于取栓后的出血转化,Liu等^[21]发现表观弥散系数ADC的缺血严重程度和相应体积可预测EVT术后HT的发生。除总梗死体积之外,术前评估严重缺血区域的梗死体积可为预测HT提供更多信息,也为临床提供参考从而更有助于个性化治疗。在一项纳入1580例AIS患者的研究中,Wang等^[22]发现,基于DWI的影像组学预测模型在预测脑卒中1年复发方面表现良好。深部白质(deep white matter, DWM)一般由大脑中动脉深穿支和大脑前后动脉皮层支供血,较大的DWI-DWM病变是指初始DWI上位于侧脑室前后角之间80%以上深部白质的纵向高信号病变。一项研究^[23]发现大DWI-DWM病变预测无效再通的阳性预测值达90%,EVT术前存在大DWI-DWM病变的患者可能不适合血管内治疗,此类患者EVT预后可能不佳。

影响EVT预后的另一个因素是梗死核心体积(Infarct Core Volume, ICV)。基于DWI-ICV,入院DWI体积、随访DWI体积和DWI变化体积对预测脑卒中患者功能结局具有较高的敏感性和特异性^[24],可作为临床上有效的功能预后指标。患者入院时DWI体积小、随访时DWI体积小以及DWI体积增大往往出现失匹配,患者功能预后通常较好,所以综合评价DWI体积及DWI体积的变化可为AIS患者取栓后的预后提供一定信息。在一项纳入225例AIS患者的研究中,郭等^[25]在患者治疗前后DWI梗死图像中共提取了792个影像特征并构建了机器学习模型,此模型能够较为准确地预测患者预后。

对于大面积梗死老年患者,EVT虽然有效但是也面临着EVT后颅内症状性出血增加的高风险^[26]。针对此情况,Hwang等^[27]认为可以根据年龄确定基线缺血程度对结果的影响,表明经年龄调整的预处理DWI病变体积和ASPECTS可作为不同年龄功能预后的替代指标。在评判阿尔伯特卒中早期计算机断层扫描评分(ASPECTS)的性能方面,一项研究^[28]证实DWI-ASPECTS评分一致性优于CT-ASPECTS。并且他们发现,DWI-ASPECTS数值为3或更低能够可靠预测ICV大于100ml的患者,而ICV为100ml是功能预后不良的分界点;同时使用DWI-ASPECTS和CT-ASPECTS评估的急性LVO-AIS患者,结果显示DWI-ASPECTS在预测大面积缺血核心和神经功能预后方面更优于比CT-ASPECTS。

2.3 磁共振动态对比增强灌注成像 磁共振动态对比增强灌注成像(dynamic contrast enhancement, DCE-MRI),这一技术可获得血流动力学参数,定量分析是灌注扫描的一种,采用T1加权成像采集图像,观察组织灌注和毛细血管通透性等指标。改良脑梗死溶栓分级(modified thrombolysis in cerebral infarction score, mTICI)用来评估机械取栓后血管再通程度,其中mTICI 2b级和3级被定义为取栓成功。临床工作中,mTICI分类易受限于主观性以及对中、大动脉再灌注的随意分类,但其中不包括微循环。因此,量化EVT后脑血流返回缺血区域毛细血管网的情况,以获得更客观的缺血性损伤评估有一定重要性。有研究^[29]将已建立的再灌注指标mTICI与EVT后几小时获得的客观DCE-MRI再灌注进行直接比较。然后发现目前公认再灌注成功的mTICI 2b亚组中,其测量的灌注值具有很高的变异性,并发现EVT后mTICI 2b不能完全代表再灌注成功。原因可能是主要闭塞病变血管的通畅性和远端栓子的出现或者迁移导致mTICI-2b组内的差异。EVT术后几

小时内行DCE-MRI检查可评估再灌注水平,使我们对“再灌注损伤”,即持续性脑梗塞与血流完全恢复时发生的损伤之间的相互作用有了深入了解,评估脑血流量(Cerebral Blood Flow, CBF)可以识别远端血栓、靶点再闭塞、持续灌注不足,EVT术后CBF水平的高低对于区分持续缺血相关的继发损伤还是再灌注相关的继发损伤尤其重要。因此患者EVT术后的DCE-MRI评估是有必要的,然而术后评估的准确时间有待进一步研究。

2.4 动脉自旋标记 动脉自旋标记(arterial spin labeling, ASL)是利用血液中的水分子作为内源性且可自由扩散的示踪剂进行灌注成像的MRI技术,其首先对在成像平面的上游血流进行标记,使其自旋状态改变,待血液对组织灌注后进行成像。ASL可用于可视化灌注和量化脑血流量,Lyu等^[30]发现用于ASL采集的标记后延迟参数(post-labeling delay, PLD)可能对灌注不足容积的量化有相当大的影响,还有研究^[31]认为可以采用多重标记后延迟伪连续ASL量化脑血流量(cerebral blood flow, CBF)和动脉通过时间(arterial transit time, ATT)来评估早期神经功能预后。

血脑屏障破坏是缺血性卒中后出血转化的主要病理机制之一,血脑屏障通透性的检测在一定程度上可以预测EVT后出血转化的发生^[32]。一项研究^[33]发现,相对脑血流量(regional cerebral blood flow, rCBF)可用于评价血脑屏障的通透性,rCBF>1.3可有效预测EVT后存在出血转化,并且李等^[34]发现可以将ICV与rCBF相结合得到的灌注加权缺血核心体积(perfusion weighting ICV, pw-ICV)用来评估EVT效果及预后,另外有研究^[35]表明pw-ICV参数与最终梗死体积及预后均存在显著相关性。由此可知,pw-ICV这一参数对于卒中预后评估有一定意义。Wu等^[36]发现,ASL序列对评价血管内治疗后前循环血脑屏障通透性及出血转化风险有一定作用。应用ASL序列及其先进的后处理技术,可以有效评估卒中患者前循环血脑屏障通透性,预测EVT后出血转化的风险,有利于实现患者的个体化治疗。此外,Kidoguchi等人^[37]发现,在他们纳入的诸多因素中,机械取栓前ASL-CBF不对称指数低于61.5%时,可以预测前循环闭塞AIS患者机械取栓成功后梗死的发生,并且是唯一显著预测因子。ASL高灌注与再通成功相关,且对于脑卒中后高灌注成像更加敏感,可作为AIS患者机械取栓后90d良好神经预后的预测指标^[38]。再通和再灌注的程度是决定脑组织预后的关键因素,再灌注的评估越来越受关注,ASL是一种完全无创、可反复获得的脑灌注评价技术,虽然其时间、空间分辨力相对较差且信噪比低,但是随着未来技术的进步,ASL图像质量可进一步提高,其在AIS中的应用也会越来越广泛。

2.5 磁敏感加权成像 缺血半暗带的存在是血管再通预后良好的基础和前提。目前临床上常用动态磁敏感灌注加权成像(dynamic susceptibility contrast perfusion weighted imaging, DSC-PWI),以及DWI-PWI失配来评估缺血半暗带,而磁敏感加权成像(susceptibility weighted imaging, SWI)是一种速度补偿的高分辨率3D梯度回波序列,利用组织间的磁化率差异进行成像,无需使用对比剂且扫描时间较短。当血供明显减少或无血供时,缺血脑组织的氧提取分数升高,导致局部血管中脱氧血红蛋白浓度升高,脱氧血红蛋白作为一种顺磁性物质,血管在SWI上表现为不对称的低信号,称为突出血管征(perivascular spaces, PVS)。PVS可提供与PWI相当的灌注信息,SWI-DWI失配可提供缺血半暗带信息。Jiang等^[39]认为在血管闭塞引起的前循环卒中中,SWI-DWI失配评分高且再通成功的患者更有可能获得良好的预后,而再通成功但SWI-DWI失配评分低的患者预后较差。SWI-DWI失配评分和再通状态对于临床预后的影响是由于二者的相互作用,当考虑到再通状态时,SWI-DWI失配评分可作为预测预后的影响因素。

2.6 酰胺质子转移成像 近年来,酰胺质子转移(amide proton transfer-weighted, APTw)成像也开始应用于脑卒中的临床研究^[40],其是由化学交换饱和转移(chemical exchange saturation transfer, CEST)成像衍生而来。APTw成像通过利用化学交换饱和转移效应,可以检测移动细胞内蛋白质和肽的酰胺质子,作为一种无创成像方法,可用于评估脑梗死后组织代谢情况。He等^[41]研究结果表明,APTw和ASL联合应用可能成为

预测亚急性缺血性脑卒中患者溶栓治疗结果的潜在影像学生物标志物,既有助于指导临床治疗方案,也可以识别高危患者。另外,APT_w可反映脑梗死组织pH值的代谢情况,但是这仅仅基于动物实验,在人体临床研究中还有待进一步证实。目前,APT_w扫描时间还相对较长,AIS患者可能难以配合完成检查,其在脑卒中领域中的应用仍有一定的局限性,相信随着未来技术的发展及人工智能的出现,将推动APT_w标准化成像向临床脑卒中评估的进一步转化。

3 小结与展望

MRI多种技术在预测EVT预后方面展现出了一定的可靠性和有效性,随着技术不断进步,分辨率不断提高,可以更清楚的显示血管结构和脑组织病变情况,例如DCE-MRI可以观察EVT后血流灌注情况,对评估治疗效果非常有帮助;磁共振波谱成像(magnetic resonance spectroscopy, MRS)可以提供血管内组织代谢物的信息,对于未来评估组织功能状态和治疗效果意义重大。然而,MRI对于评估患者EVT预后准确性仍需大量临床研究数据来验证,以及不同的MRI技术如何为AIS患者制定最佳的检查方案仍具一定挑战性。未来MRI技术在血管内治疗领域的应用将会不断拓展和深化,例如人工智能技术改进图像处理算法,短时间内迅速分析大量数据以评估病情,或者开发新的功能MRI技术,为提高治疗效果和患者生活质量提供更多可能性。

参考文献

- [1]王陇德,彭斌,张鸿祺,等.《中国脑卒中防治报告2020》概要[J].中国脑血管病杂志,2022,19(2):136-144.
- [2]中华医学会神经病学分会,中华医学会神经病学分会脑血管病学组,中华医学会神经病学分会神经血管介入协作组.中国急性缺血性卒中早期血管内介入诊疗指南2022[J].中华神经科杂志,2022,55(6):565-580.
- [3]Kitano T, Todo K, Yoshimura S, et al. Futile complete recanalization: patients characteristics and its time course[J]. Sci Rep, 2020, 10(1): 4973.
- [4]Che F, Wang A, Ju Y, et al. Prevalence and impact of medical complications on clinical outcomes in acute ischemic stroke patients after endovascular therapy - data from a comprehensive stroke unit in China[J]. World Neurosurg, 2024, 182: e386-e399.
- [5]罗岚,黄祎诺,马宁,等. DRAGON评分对颅内大血管闭塞致急性缺血性卒中静脉溶栓桥接机械取栓临床结局的预测作用[J]. 中国脑血管病杂志, 2020, 17(1): 32-38.
- [6]Wang Y, Yuan X, Kang Y, et al. Clinical predictors of prognosis in stroke patients after endovascular therapy[J]. Sci Rep, 2024, 14(1): 667.
- [7]杨洁,沈芳,呼延梅华,等.急性大血管闭塞性缺血性卒中血管内治疗无效再通的影响因素分析[J].中华医学杂志,2023,103(29):2218-2224.
- [8]Olivot JM, Heit JJ, Mazighi M, et al. What predicts poor outcome after successful thrombectomy in early time window? [J] J Neurointerv Surg, 2022, 14(11): 1051-1055.
- [9]Luby M, Merino JG, Davis R, et al. Association of multiple passes during mechanical thrombectomy with incomplete reperfusion and lesion growth[J]. Cerebrovasc Dis, 2022, 51(3): 394-402.
- [10]Luby M, Hsia AW, Lomahan CA, et al. Post-ischemic hyperemia following endovascular therapy for acute stroke is associated with lesion growth[J]. J Cereb Blood Flow Metab, 2023, 43(6): 856-868.
- [11]Janvier P, Kerleroux B, Turc G, et al. TAGE score for symptomatic intracranial hemorrhage prediction after successful endovascular treatment in acute ischemic stroke[J]. Stroke, 2022, 53(9): 2809-2817.
- [12]王秀玲,汪轩,王梦迪,等.改良MRI-DRAGON评分在急性缺血性卒中血管内治疗后预后预测中的价值[J].磁共振成像,2023,14(3):134-139.
- [13]Wang LR, Li BH, Zhang Q, et al. Predictors of futile recanalization after endovascular treatment of acute ischemic stroke[J]. BMC Neurol, 2024, 24(1): 207.
- [14]高希法,彭明洋,马跃虎,等.弥散加权成像影像组学联合中性粒细胞/淋巴细胞构建急性脑卒中无效再通预测模型[J].临床神经病学杂志,2023,36(3):161-164.
- [15]Yuan S, Ma Q, Hou C, et al. The combination model of serum occludin and clinical risk factors improved the efficacy for predicting hemorrhagic transformation in stroke patients with recanalization[J]. Heliyon, 2024, 10(2): e25052.
- [16]Guo Y, Yang Y, Cao F, et al. Novel survival features generated by clinical text information and radiomics features may improve the prediction of ischemic stroke outcome[J]. Diagnostics (Basel), 2022, 12(7): 1664.
- [17]Zhou Y, Wu D, Yan S, et al. Feasibility of a clinical-radiomics model to predict the outcomes of acute ischemic stroke[J]. Korean J Radiol, 2022, 23(8): 811-820.
- [18]Xu Q, Zhu Y, Zhang X, et al. Clinical features and FLAIR radiomics nomogram for predicting functional outcomes after thrombolysis in ischaemic

- stroke[J]. Front Neurosci, 2023, 17: 1063391.
- [19]Dong X, Nao J. Fluid-attenuated inversion recovery vascular hyperintensities in anterior circulation acute ischemic stroke: associations with cortical brain infarct volume and 90-day prognosis[J]. Neurol Sci, 2019, 40(8): 1675-1682.
- [20]Zhou Z, Malavera A, Yoshimura S, et al. Clinical prognosis of FLAIR hyperintense arteries in ischaemic stroke patients: a systematic review and meta-analysis[J]. J Neurol Neurosurg Psychiatry, 2020, 91(5): 475-482.
- [21]Liu H, Li T, Ding Y, et al. Predictive accuracy of an ADC map for hemorrhagic transformation in acute ischemic stroke patients after successful recanalization with endovascular therapy[J]. Ann Transl Med, 2022, 10(10): 591.
- [22]Wang H, Sun Y, Zhu J, et al. Diffusion-weighted imaging-based radiomics for predicting 1-year ischemic stroke recurrence[J]. Front Neurol, 2022, 13: 1012896.
- [23]Tateishi Y, Wisco D, Aoki J, et al. Large deep white matter lesions may predict futile recanalization in endovascular therapy for acute ischemic stroke[J]. Interv Neurol, 2015, 3(1): 48-55.
- [24]Jiang L, Peng M, Chen H, et al. Diffusion-weighted imaging (DWI) ischemic volume is related to FLAIR hyperintensity-DWI mismatch and functional outcome after endovascular therapy[J]. Quant Imaging Med Surg, 2020, 10(2): 356-367.
- [25]郭毅,陈罕奇,王同兴,等.机械取栓治疗前后扩散加权成像影像组学结合机器学习预测卒中的预后[J].中国医学影像学杂志,2022,30(6):535-540.
- [26]Liu Q, Fang J, Jiang X, et al. Endovascular thrombectomy for acute ischemic stroke in elderly patients with large ischemic cores[J]. Neurol Sci, 2024, 45(2): 663-670.
- [27]Hwang YH, Kim YW, Kang DH, et al. Impact of baseline ischemia on outcome in older patients undergoing endovascular therapy for acute ischemic stroke[J]. J Clin Neurol, 2017, 13(2): 162-169.
- [28]Sakakibara F, Uchida K, Yoshimura S, et al. Mode of imaging study and endovascular therapy for a large ischemic core: insights from the RESCUE-Japan LIMIT[J]. J Stroke, 2023, 25(3): 388-398.
- [29]d'Esterre CD, Sah RG, Assis Z, et al. Defining reperfusion post endovascular therapy in ischemic stroke using MR-dynamic contrast enhanced perfusion[J]. Br J Radiol, 2020, 93(1116): 20190890.
- [30]Lyu J, Duan Q, Xiao S, et al. Arterial spin labeling-based MRI estimation of penumbral tissue in acute ischemic stroke[J]. J Magn Reson Imaging, 2023, 57(4): 1241-1247.
- [31]Luijten SPR, Bos D, van Doormaal PJ, et al. Cerebral blood flow quantification with multi-delay arterial spin labeling in ischemic stroke and the association with early neurological outcome[J]. Neuroimage Clin, 2023; 37: 103340.
- [32]Liang Y, Yu Y, Liu J, et al. Blood-brain barrier disruption and hemorrhagic transformation in acute stroke before endovascular reperfusion therapy[J]. Front Neurol, 2024, 15: 1349369.
- [33]Niibo T, Ohta H, Miyata S, et al. Prediction of blood-brain barrier disruption and intracerebral hemorrhagic infarction using arterial spin-labeling magnetic resonance imaging[J]. Stroke, 2017, 48(1): 117-122.
- [34]李东,彭明洋,王同兴,等.缺血核心体积结合相对灌注率在评估急性脑卒中血管再通及预后中的研究[J].磁共振成像,2022,13(2):1-5.
- [35]Rotkopf LT, Tiedt S, Pühr-Westerheide D, et al. Ischemic core volume combined with the relative perfusion ratio for stroke outcome prediction after endovascular thrombectomy[J]. J Neuroimaging, 2020, 30(3): 321-326.
- [36]Wu L, Liu Y, Zhu L, et al. MRI arterial spin labeling in evaluating hemorrhagic transformation following endovascular recanalization of subacute ischemic stroke[J]. Front Neurosci, 2023, 17: 1105816.
- [37]Kidoguchi M, Akazawa A, Komori O, et al. Prediction of occurrence of cerebral infarction after successful mechanical thrombectomy for ischemic stroke in the anterior circulation by arterial spin labeling[J]. Clin Neuroradiol, 2023, 33(4): 965-971.
- [38]Lu SS, Cao YZ, Su CQ, et al. Hyperperfusion on arterial spin labeling MRI predicts the 90-day functional outcome after mechanical thrombectomy in ischemic stroke[J]. J Magn Reson Imaging, 2021, 53(6): 1815-1822.
- [39]Jiang H, Zhang Y, Pang J, et al. Interactive effect of susceptibility-diffusion mismatch and recanalization status on clinical outcome in large vessel occlusion stroke[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2020, 29(9): 105072.
- [40]Heo HY, Tee YK, Harston G, et al. Amide proton transfer imaging in stroke[J]. NMR Biomed, 2023, 36(6): e4734.
- [41]He Q, Li G, Jiang M, et al. Predicting a Favorable (mRS 0-2) or unfavorable (mRS 3-6) stroke outcome by arterial spin labeling and amide proton transfer imaging in post-thrombolysis stroke patients[J]. J Pers Med, 2023, 13(2): 248.

(收稿日期: 2024-11-15)

(校对编辑: 赵望淇、韩敏求)