

综 述

多模态磁共振诊断缺血半暗带的研究进展*

刘佳辉¹ 肖文丰^{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】急性脑梗死(acute cerebral infarct)是危害我国居民身体健康最常见的疾病之一。磁共振影像技术近年来持续发展,多模态磁共振序列涵盖了多种序列,包括磁共振血管成像(MRA)、磁共振弥散加权成像(DWI)、磁共振液体衰减反转恢复序列(FLAIR)、磁共振动脉自旋标记成像(ASL)等已逐渐应用于急性脑血管疾病的诊断中,而缺血半暗带(ischemic penumbra, IP)作为急性脑梗死早期的诊治关键,对挽救患者脑功能的意义重大,因此通过多模态磁共振早期诊断缺血半暗带越来越受到临床的重视,本文就多模态磁共振在缺血半暗带的诊断应用方面作综述。

【关键词】脑梗死;缺血半暗带;磁共振成像

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

【基金项目】国家临床重点专科建设项目

(国卫办医函[2018]292号)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.10.056

Progress of Multimodality Magnetic Resonance Imaging in Ischemic Penumbra*

LIU Jia-hui¹, XIAO Wen-feng^{2,*}.

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

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

ABSTRACT

Acute cerebral infarction is one of the most common diseases that impair the health of Chinese residents. With the continuous development of magnetic resonance technology, multimodal magnetic resonance sequences including magnetic resonance angiography (MRA), magnetic resonance diffusion-weighted imaging (DWI), magnetic resonance fluid attenuation inversion recovery sequence (FLAIR), magnetic resonance arterial spin labeling imaging (ASL), etc., have been gradually applied in the diagnosis of acute cerebrovascular diseases. As the key to the early diagnosis and treatment of acute cerebral infarction, ischemic penumbra is of great significance in saving the brain function of patients. Therefore, the early diagnosis of ischemic penumbra by multimodal magnetic resonance has attracted more and more clinical attention. This article reviews the application of multimodal magnetic resonance in ischemic penumbra.

Keywords: Brain Infarction; Ischemic Penumbra; Magnetic Resonance Imaging

心血管疾病在我国居民的总死亡原因中位于首位^[1]。其中因急性脑梗死而死亡的人数占比较大。急性脑梗死指因脑部血液循环障碍,缺血、缺氧所致的局限性脑组织的缺血性坏死或软化,而出现相应的神经系统功能缺损^[2]。在急性缺血性脑梗死的早期,缺血的脑组织存在着及时恢复供血后可以挽救的部分,称之为缺血半暗带(ischemic penumbra, IP)。发生急性脑梗死后,对缺血半暗带进行及时的诊断与治疗对于脑梗死患者的预后有着极其重要的意义。

1 缺血半暗带的概述

缺血半暗带(ischemic penumbra, IP)最初由Astrup^[3]等人在1986年提出,在脑梗死的超早期,脑血管阻塞后血液供应的相应区域的脑组织迅速出现一个缺血中心的坏死区及其周围的缺血半暗带,如果迅速恢复缺血区的血流,可以挽救缺血半暗带,缩小脑梗死的面积。目前认为, PET是组织学上评估缺血半暗带的金标准影像技术,但其成像成本高、普及率低、检查时间长等缺点使其无法满足快速准确评估急性脑卒中半暗带的临床需求^[4]。随着影像学技术的快速发展, MRI凭借其无辐射、简单易行、普及率高、成像加权模式丰富及不断发展等优势可以用来替代PET成为诊断评估缺血半暗带的常用影像检查手段。当今临床常凭借MRI影像的“不匹配”或者影像表现与临床表现的“不匹配”来评估缺血半暗带,进行再灌注治疗前的分析和临床预后评估。

2 各磁共振序列诊断缺血半暗带的应用

2.1 磁共振血管成像(MRA) 磁共振血管成像(MRA)在诊断脑血管疾病方面已被广泛应用,与数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)相比, MRA具备多种优势,包括无辐射、无创、价格较低、快速便捷等^[5]。MRA的原理是借助动态血液与静态组织间的差别,使得动态的血液呈现高信号,随后利用计算机图像后处理技术生成二维和三维的血管立体图像^[6]。通过MRA可以清楚直观地观察到阻塞的血管以及斑块所致的血管狭窄。较多研究表明,在诊断缺血半暗带中, MRA多与其他磁共振成像序列联合应用,辅助评估、明确责任血管。

2.2 磁共振弥散加权成像(DWI) DWI自上世纪80年代应用以来,彻底改变了卒中成像,并且成为了目前脑组织成像的支柱^[7]。DWI利用了分子布朗运动的原理,检测活体组织中水分子的扩散运动,以此来反映组织正常与否。缺血组织在发病数分钟至数小时出现水分子扩散运动受限(细胞毒性水肿),从而在DWI上表现出高信号。ADC是从常规DWI序列中得到应用最广泛的参数,其代表了水分子在细胞外间隔中运动的限制水平,以表述DWI不同方向的水分子扩散运动的范围及速度,可以定量计算水分子的运动信息。DWI联合ADC有助于临床工作中鉴别细胞毒性水肿和血管源性水肿^[8]。发生急性脑卒中时,脑组织中的梗死灶会在DWI上表现为高信号,在ADC上表现为低信号,但DWI在显示轻度的脑组织灌注异常时敏感度较低,脑卒中患者的轻微灌注异常在DWI上仍会表现为正常信号。

2.3 液体衰减反转恢复序列(FLAIR) 液体衰减反转恢复序列(fluid attenuated inversion recovery, FLAIR)是在反转恢复序列(inversion recovery, IR)的基础上发展

【第一作者】刘佳辉,男,硕士在读,主要研究方向:磁共振成像技术及诊断。E-mail: 2544995805@qq.com

【通讯作者】肖文丰,男,主任医师,主要研究方向:神经影像。E-mail: xiaohy1999@163.com

的一种水抑制成像序列,使脑脊液表现为低信号,这使得病变区域与正常结构的信号差异更加明显。FLAIR目前在急性缺血性脑卒中方面的应用非常广泛,FLAIR联合ADC与DWI可以对急性缺血性脑卒中患者的预后进行评估及预测^[9-10],FLAIR与DWI异常信号范围的“不匹配”可以有效地评估缺血半暗带^[4]。

2.4 灌注成像(PWI) 磁共振灌注成像(perfusion weighted imaging, PWI)是一种反应组织微血管分布和血流灌注情况的磁共振功能成像技术, PWI常用的成像序列有T2*加权磁敏感动态增强磁共振成像(dynamic susceptibility contrast, DSC)、T1加权动态增强磁共振成像(dynamic contrast enhancement, DCE)以及动脉自旋标记成像(arterial spin labeling, ASL)。

2.4.1 T2*加权磁敏感动态增强成像(DSC)与T1加权动态增强成像(DCE) DCS与DCE两种成像技术的成像方法都需静脉团注对比剂,对比剂可以通过提高局部毛细血管内磁敏感性使得局部磁场变得不均匀,进而使质子自旋去相位,引发T1、T2或T2*值的显著缩短,以此来获得一系列动态影像,通过定量指标可体现局部脑组织的血液灌注状况。总之, DSC主要应用于脑灌注状况的研究, DCE主要应用于体部器官的灌注成像^[11]。

2.4.2 动脉自旋标记成像(ASL) 动脉自旋标记成像(arterial spin labeling, ASL)是灌注加权成像(perfusion-weighted imaging, PWI)方法中的一种,其原理是利用血液作为内源性示踪剂成像,无需其它对比剂,安全性较高。ASL可以无创地测量感兴趣脑区的脑血流量(cerebral blood flow, CBF)值,相较于DWI对脑组织的轻度灌注改变有更高的敏感性,在急性脑卒中的患者中, ASL可以发现DWI上表现正常的低灌注区域病灶^[12]。ASL只能提供CBF这单一参数,在急性期评估急性缺血性脑卒中梗死核心的准确性不如DWI^[4]。因此ASL与DWI联合应用,通过两序列图像的“不匹配”可以用来判断IP的存在。

2.5 磁敏感加权成像(SWI) 磁敏感加权成像(susceptibility weighted imaging, SWI)基于各种组织间的磁敏感性差异来提高图像的对比,相较于常规梯度回波序列, SWI能更有效地探测出脑组织出血及微小出血,在诊断脑血管疾病方面的应用价值很高^[13]。在脑梗死患者中,供血动脉堵塞后,尚且存活的细胞会代偿性地增加氧摄取分数以满足自身的血氧代谢需求,这会使缺血区周围的引流静脉、毛细血管中的脱氧血红蛋白比例升高,因脱氧血红蛋白的磁敏感度与周围组织有所不同,所以梗死区周围的静脉血管在SWI序列上表现为增粗的低信号血管影,这种影像表现被称之为突出血管征(prominent vessel sign, PVS), PVS的存在可以帮助IP的诊断。但近来也有研究^[14]显示,并非所有的急性脑梗死患者都会出现PVS,冠心病、前循环梗死、大血管闭塞、心源性栓塞的患者更容易发生PVS。

3 多模态磁共振诊断缺血半暗带的应用

3.1 DWI与FLAIR的联合应用 DWI与FLAIR不匹配可以高效地完成对缺血半暗带的临床评估。许多研究中表明^[15-17], DWI与FLAIR的“不匹配”可以用来评估卒中的发病时间,尤其是对醒后卒中的患者进行发病时间的推测。DWI与FLAIR的“不匹配”是指在DWI上呈现高信号的区域在FLAIR上的信号改变却不明显^[4]。DWI与FLAIR的“不匹配”可以间接评价缺血半暗带,能以87%的阳性率有效识别发病4.5小时内的患者,有助于为不明时间或醒后卒中的患者进行合理安全且有效的治疗^[18-19]。

另有研究表明^[20],急性缺血性脑卒中患者在FLAIR像上所表现出的FLAIR序列血管高信号征(FLAIR vascular hyperintensity, FVH)亦可帮助判断缺血半暗带。FVH是指在FLAIR序列上沿蛛网膜下腔或脑沟分布的线样高信号血管影,当患者DWI的异常信号以外的FVH区域脑灌注明显降低时,认为FVH与DWI“不匹配”,可以据此来判断存在缺血半暗带的区域。

3.2 ASL与DWI的联合应用 ASL、DWI技术联合应用时,通过ASL与DWI图像的不匹配,可以确定梗死的位置、范围、灌注情况,判断是否存在缺血半暗带,在此基础上借助MRA可以明确责任血管,为临床溶栓治疗提供客观的影像学依据^[21]。DWI在诊断急性脑梗死的应用中与ASL相比具有较大优势,是诊断脑梗死最

为敏感的序列,但对TIA的诊断是DWI的短板, ASL对TIA的检出率明显大于DWI,两种序列联合应用可以提高对急性脑缺血疾病的检出率^[22]。在急性缺血性脑卒中的患者中, ASL显示的CBF低灌注区与PWI所显示的低灌注区有很高的一致性^[23],多个研究^[24-25]都证明ASL与DSC对临床上评价急性缺血性脑卒中患者的缺血半暗带有较高的一致性,且ASL对脑梗死高灌注区与低灌注区的边缘信号可能更敏感,更容易提示侧支循环的存在。

此外, ASL/DWI不匹配与SWI联合应用可增加IP诊断的准确率。在梁秀琴^[26]等人的研究中,通过对比ASL的脑组织低灌注面积(SASL)与DWI高信号面积(SDWI),认为SASL大于SDWI的患者存在IP, SASL≈SDWI的患者无IP,将患者分为IP组与无IP组,发现IP组的SWI图像中,梗死核心区周围具有突出血管征(PVS)的比例远高于无IP组,说明PVS可作为判断急性脑卒中患者是否存在IP的标志,即SWI可以辅助ASL与DWI“不匹配”判断是否存在IP。

3.3 灌注-扩散不匹配(PDM) 灌注-扩散不匹配(perfusion-diffusion mismatch, PDM),即PWI与DWI的表现的“不匹配”是临床判断IP的影像学金标准。DWI能够显示PWI无法显示的脑组织微小缺血病灶, PWI可显示所有的血流灌注不足区域,两者不匹配的区域即PWI>DWI的区域为IP,两个序列联合应用可以更好地评价脑组织的缺血状态,为临床诊断和治疗提供重要的影像学证据以及参考^[27]。目前临床上PDM诊断IP常使用的PWI序列为DSC, DSC作为一种需要静脉团注对比剂的成像序列,有较多的局限性,例如病人无法配合、静脉注射困难。相比较之下, ASL不需要注射外源性对比剂,以动脉血内的氢质子作为内源性示踪剂来成像,应用范围相对较广。

4 总结与展望

在有效的时间内使IP再灌注治疗是改善急性缺血性脑卒中患者预后的治疗手段之一,通过快速而精确的影像学诊断判断是否存在IP十分重要。随着多模态MRI技术的持续进步,对于缺血半暗带的诊断方法逐渐变得多样化,诊断的准确性也在逐渐提高。目前研究的重点是通过简单方便的MRI序列来准确判断IP的存在及确定患者发生急性缺血性脑梗死时间的量化,通过影像学的证据来准确判断患者发生卒中的时间,以便于实施准确的治疗。

参考文献

- [1] 中国心血管健康与疾病报告编写组. 中国心血管健康与疾病报告2020概要[J]. 中国循环杂志, 2021, 36(6): 521-545.
- [2] 高长玉, 吴成翰, 赵建国, 等. 中国脑梗死中西医结合诊治指南(2017)[J]. 中国中西医结合杂志, 2018, 38(2): 136-144.
- [3] Astrup J, Symon L, Branston NM, et al. Cortical evoked potential and extra cellular K⁺ and H⁺ at critical levels of brain ischemia[J]. Stroke, 1977, 8: 51-57.
- [4] 党超, 卢洁, 宋海庆, 等. 急性脑梗死缺血半暗带临床评估和治疗中国专家共识[J]. 中国神经精神疾病杂志, 2021, 47(06): 324-335.
- [5] 杨正汉, 冯逢, 王霄英. 磁共振成像技术指南——检查规范、临床策略及新技术(修订版)[J]. 中国医学影像学杂志, 2010, 18(4): 312.
- [6] Ozsarlak O, Van Goethem JW, Maes M, et al. MR angiography of the intracranial vessels: technical aspects and clinical applications[J]. Neuropathology, 2004, 46(12): 955-972.
- [7] Drake-Pérez M, Boto J, Fittsiori A, et al. Clinical applications of diffusion weighted imaging in neuroradiology[J]. Insights Imaging, 2018, 9(4): 535-547.
- [8] 中国脑血管病影像应用指南2019[J]. 中华神经科杂志, 2020(4): 250-268.
- [9] Gerbasi A, Konduri P, Tolhuisen M, et al. Prognostic value of combined radiomic features from follow-up DWI and T2-FLAIR in acute ischemic stroke[J]. J Cardiovasc Dev Dis, 2022, 9(12): 468.
- [10] Quan G, Ban R, Ren JL, et al. FLAIR and ADC image-based radiomics features as predictive biomarkers of unfavorable outcome in patients with acute ischemic stroke[J]. Front Neurosci, 2021, 15: 730879.
- [11] 赵斌. 磁共振灌注成像临床应用及进展[J]. 磁共振成像, 2014, 5(S1): 46-50.
- [12] Zaharchuk G. Arterial spin label imaging of acute ischemic stroke and transient ischemic attack[J]. Neuroimaging Clin NAm, 2011, 21(2): 285-301, x.
- [13] 王丽娟, 刘玉波, 王光彬. 磁敏感加权成像原理概述[J]. 磁共振成像, 2010, 1(3): 227-230.
- [14] Jiang HF, Zhang YQ, Pang JX, et al. Factors associated with prominent vessel sign on susceptibility-weighted imaging in acute ischemic stroke[J]. Sci Rep, 2021, 11(1): 5641.
- [15] Kim BJ, Kim HJ, Lee DH, et al. Diffusion-weighted image and fluid-attenuated inversion recovery image mismatch: unclear-onset versus

- clear-onset stroke[J]. Stroke, 2014, 45 (2): 450-455.
- [16] Emeriau S, Serre I, Toubas O, et al. Can diffusion-weighted imaging-fluid-attenuated inversion recovery mismatch (positive diffusion-weighted imaging/negative fluid-attenuated inversion recovery) at 3 Tesla identify patients with stroke at <4.5 hours? [J] Stroke, 2013, 44 (6): 1647-1651.
- [17] Escalard S, Gory B, Kyheng M, et al. Unknown-onset strokes with anterior circulation occlusion treated by thrombectomy after DWI-FLAIR mismatch selection [J]. Eur J Neurol, 2018, 25 (5): 732-738.
- [18] Aoki J, Kimura K, Iguchi Y, et al. FLAIR can estimate the onset time in acute ischemic stroke patients [J]. J Neurol Sci, 2010, 293 (1-2): 39-44.
- [19] Thomalla G, Simonsen Cz, Boutitie F, et al. MRI-guided thrombolysis for stroke with unknown time of onset [J]. N Engl J Med, 2018, 379 (7): 611-622.
- [20] Nagaraja N, Luby M, Edwardson M, et al. Association of low cerebral blood volume with negative FLAIR hyperintensity in acute ischemic stroke [J]. Stroke, 2014, 45 (Suppl 1), 32.
- [21] 李瑞, 崔惠勤, 罗雪. 3D-ASL、MRA及DWI技术在诊断急性脑梗死缺血半暗带中的应用 [J]. 广西医科大学学报, 2019, 36 (5): 819-822.
- [22] 罗传斌, 罗虹宇. DWI联合动脉自旋标记技术对急性期脑缺血的诊断价值临床研究 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2019, 17 (7): 19-21.
- [23] Mirasol RV, Bokkers RP, Hernandez DA, et al. Assessing reperfusion with whole-brain arterial spin labeling: a noninvasive alternative to gadolinium [J]. Stroke, 2014; 45 (2): 456-461.
- [24] 邢飞, 邢伟, 卢又燃, 等. 动脉自旋标记与动态磁敏感对比MRI在脑卒中缺血半暗带的对照研究 [J]. 中国医学计算机成像杂志, 2014, 20 (2): 110-115.
- [25] 邢威, 黄婷婷. DSC-PWI及ASL成像联合DWI成像在诊断早期脑梗死缺血半暗带中的意义 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20 (7): 1-3.
- [26] 梁秀琴, 吴江, 李璇, 等. 3D-ASL和SWI在急性脑梗死缺血半暗带评估中的临床应用 [J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2022, 20 (12): 2281-2284.
- [27] 刘晓知, 方勇超, 周道田. 磁共振DWI和PWI联合在不同时期脑梗死早期诊断中的应用价值 [J]. 临床和实验医学杂志, 2017, 16 (15): 1508-1513.

(收稿日期: 2023-10-17)
(校对编辑: 韩敏求)

(上接第157页)

断价值。原因在于, 256层螺旋CT检查中, 操作简便, 扫描速度快, 且成像分辨率高, 可观察到膝关节骨折处连续性中断信号, 以及骨骼间缺少吻合, 并通过多方面层面、维度、角度以高分辨率对组织进行观察判断, 减少伪影, 进而提高膝关节隐性骨折检出率^[10]。

MRI检查可通过多序列扫描, 观察骨骼、软组织等回声信号情况, 如隐性骨折表现为地图样、网格状或线状信号区等, 边界模糊, 信号连续性中断等, 并通过对比不同位置组织表现信号高低, 观察组织损伤情况^[11]。本次研究结果中, MRI检查诊断中, 诊断准确度为94.19%, 敏感度为94.94%, 特异度为85.71%, Kappa值为0.675, 提示MRI诊断膝关节隐性创伤骨折中也具有较高诊断准确度、敏感度、特异度。因为MRI检查中, 可清晰显示骨折线以及周围组织信号改变情况, 且对于软骨、韧带、骨髓等均具有较高分辨率, 可清晰显示骨髓水肿、关节腔积液、半月板损伤、关节面损伤等, 为膝关节隐性创伤骨折诊疗提供依据^[12]。但MRI检查费用相对较高, 临床可根据患者情况选择256层螺旋CT、MRI检查诊断膝关节隐性创伤骨折发生情况。

综上所述, 256层螺旋CT和MRI检查诊断膝关节隐性创伤骨折中均具有较高诊断价值, 为临床诊治提供依据。

参考文献

- [1] Ochi J, Nozaki T, Nimura A, et al. Subchondral insufficiency fracture of the knee: review of current concepts and radiological differential diagnoses [J]. Jpn J Radiol, 2022, 40 (5): 443-457.
- [2] 李晶, 叶清岚, 蔡磊, 等. 膝关节韧带、关节软骨及半月板损伤的多层螺旋CT与MRI诊断分析 [J]. 实用放射学杂志, 2023, 39 (8): 1314-1317.
- [3] 叶清岚, 李晶, 侯金丹, 等. 多层螺旋CT与MRI在膝关节隐匿性骨折伴半月板及韧带损伤中的诊断比较 [J]. 中国骨伤, 2022, 35 (10): 967-970.

- [4] 王刚, 洪志友, 潘康乐, 等. 螺旋CT诊断外伤性膝关节隐性骨折的影像表现及临床价值 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2022 (7): 177-179.
- [5] Allam E, Boychev G, Aiyedipe S, et al. Subchondral insufficiency fracture of the knee: unicompartmental correlation to meniscal pathology and degree of chondrosis by MRI [J]. Skeletal Radiol, 2021, 50 (11): 2185-2194.
- [6] 李颖, 刘云飞, 李艳茹, 等. 膝关节隐匿性骨折诊断中高场强MRI与MSCT应用价值比较 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20 (4): 177-179.
- [7] 辛宇强, 刘英杰, 石运力, 等. CT联合MRI对膝关节隐匿性骨折的诊断价值研究 [J]. 中国煤炭工业医学杂志, 2022, 25 (5): 486-489.
- [8] 李渡江, 陈伟, 董研. 分析多层螺旋CT在中老年复杂性膝关节骨折临床诊断中的效果及对骨折分型的临床诊断效果 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19 (3): 165-167.
- [9] 谢瑛, 苏平昌, 岳孟超. 高场强MRI与多层螺旋CT诊断膝关节隐匿性骨折灵敏度、特异度比较 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19 (7): 155-157, 169.
- [10] 张军胜, 赵波. 多层螺旋CT对膝关节损伤后胫骨平台隐匿性骨折早期诊断的效果及价值 [J]. 解放军医药杂志, 2018, 30 (8): 96-99.
- [11] Koch JEJ, Ben-Elyahu R, Khateeb B, et al. Accuracy measures of 1.5-tesla MRI for the diagnosis of ACL, meniscus and articular knee cartilage damage and characteristics of false negative lesions: a level III prognostic study [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2021, 22 (1): 124.
- [12] 孙秋原, 李骥, 牛亚峰. 外伤性膝关节隐性骨折的核磁共振成像表现及其诊断价值分析 [J]. 影像科学与光化学, 2020, 38 (1): 138-143.

(收稿日期: 2024-03-25)
(校对编辑: 韩敏求)