论 著

RESOLVE DWI信号强度与表观弥散系数变化在急性大面积脑梗死再灌注损伤中的表现分析

张艳萍* 张庆敏 程艳丽
河南省直第三人民医院神经内科
(河南 郑州 450018)

【摘要】**目的** 分析分段读出平面回波扩散加权成像(RESOLVE DWI)信号强度与表观弥散系数(ADC)变化在急性大面积脑梗死再灌注损伤中的临床表现。**方法** 101例大面积脑梗死再灌注损伤患者均接受RESOLVE DWI、磁敏感加权成像(SWI)检查，分析RESOLVE DWI、SWI检查影像学特点，比较各序列对急性大面积脑梗死再灌注损伤检出率以及病灶检出情况的差异，采用Pearson相关检验分析不同时期大面积脑梗死患者RESOLVE DWI检查ADC值与NIHSS评分的相关性。**结果** 17例超急性期患者DWI呈现显著高信号，ADC值显著降低，39例急性期患者DWI呈现高信号，ADC值降低，37例亚急性期患者DWI呈现等信号或低信号，ADC值降低或趋于正常，8例慢性期患者DWI呈现显著低信号，ADC值显著升高，SWI表现为低信号；101例患者中，RESOLVE DWI检出阳性96例，检出率为95.05%，SWI检出阳性101例，检出率为100%，差异有统计学意义($P<0.05$)；SWI检出病灶数目明显多于RESOLVE DWI($P<0.05$)，检出病灶体积明显大于RESOLVE DWI($P<0.05$)；随着再灌注损伤时间延长，RESOLVE DWI检查ADC值对应上升($P<0.05$)，NIHSS评分先上升后降低($P<0.05$)；Pearson相关性分析显示，不同时期大面积脑梗死再灌注损伤患者RESOLVE DWI检查ADC值与NIHSS评分呈显著负相关($r=-0.592$, $P<0.01$)。**结论** RESOLVE DWI信号强度与ADC值变化对急性大面积脑梗死再灌注损伤具有一定的临床应用价值，可为患者早期诊断以及预后提供帮，结合SWI检查可更加敏感地检出患者脑微小出血病灶。

【关键词】分段读出平面回波扩散加权成像；磁敏感加权成像；表观弥散系数；脑梗死；再灌注损伤
【中图分类号】R651.1
【文献标识码】A
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.04.004

Analysis of Manifestations of RESOLVE DWI Signal Intensity and Apparent Diffusion Coefficient Changes in Acute Massive Cerebral Infarction with Reperfusion Injury

ZHANG Yan-ping*, ZHANG Qing-min, CHENG Yan-li.
Department of Neurosurgery, the Third People's Hospital of Henan Province, Zhengzhou 450018, Henan Province, China

ABSTRACT
Objective To analyze the clinical manifestations of readout segmentation of long variable echo-trains DWI (RESOLVE DWI) signal intensity and apparent diffusion coefficient (ADC) changes in acute massive cerebral infarction with reperfusion injury. ***Methods*** 101 patients with massive cerebral infarction and reperfusion injury were examined by RESOLVE DWI and susceptibility weighted imaging (SWI). The imaging characteristics of RESOLVE DWI and SWI were analyzed, and the detection rate of acute massive cerebral infarction with reperfusion injury and the detection status of lesions were compared among each sequence. Pearson correlation test was used to analyze the correlation between the ADC value of RESOLVE DWI and the NIHSS score in patients with massive cerebral infarction during different phases. ***Results*** 17 patients in hyperacute phase showed significantly high signal on DWI and significantly reduced ADC value. 39 patients in acute phase showed high signal on DWI and reduced ADC value. 37 patients in subacute phase showed equal or low signal on DWI and decreased or tending to be normal ADC value. 8 patients in chronic phase showed significantly low signal on DWI, significantly increased ADC value and low signal on SWI. Among 101 patients, 96 cases were positive for RESOLVE DWI with a detection rate of 95.05%, and 101 cases were positive for SWI detection with a detection rate of 100% ($P<0.05$). The number of lesions detected by SWI was significantly more than that of RESOLVE DWI ($P<0.05$), and the volume of detected lesions was significantly greater than that of RESOLVE DWI ($P<0.05$). As the reperfusion injury time prolonged, the ADC value of RESOLVE DWI was increased correspondingly ($P<0.05$), and the NIHSS score was first increased and then decreased ($P<0.05$). Pearson correlation analysis showed that the ADC value of RESOLVE DWI of patients with massive cerebral infarction and reperfusion injury during different phases was significantly negatively correlated with NIHSS score ($r=-0.592$, $P<0.01$). ***Conclusion*** The RESOLVE DWI signal intensity and ADC value have certain clinical application value on acute massive cerebral infarction with reperfusion injury, and they can provide help for early diagnosis and prognosis of patients. Combination with SWI examination can more sensitively detect cerebral microhemorrhage lesions.

Keywords: Readout Segmentation of Long Variable Echo-Trains Dwi; Susceptibility Weighted Imaging; Apparent Diffusion Coefficient; Cerebral Infarction; Reperfusion Injury

脑梗死作为脑卒中主要的致死、致残类型，所占比例为80%左右，溶栓治疗是目前应用最广泛的脑梗死治疗方法，但由于溶栓时间窗的存在，仍有一定比例的患者会出现再灌注损伤[1-2]。脑梗死再灌注损伤所造成的颅内出血，是脑梗死的继发病理改变，也是进行溶栓治疗最危险的并发症，故对其诊断和预测极其重要[3]。磁共振成像中的扩散加权成像(DWI)已被证实对于缺血型脑卒中具有一定的诊断价值，主要以表观扩散系数(ADC)来反映水分子在组织中的扩散能力，从而体现脑缺血情况，有助于对疾病进行早期诊断和预后评估[4]。磁敏感加权成像(SWI)主要根据组织之间磁敏感差异而成像，是显示颅内出血最敏感的脉冲序列之一[5]。本研究通过分析急性大面积脑梗死再灌注损伤在分段读出平面回波扩散加权成像(RESOLVE DWI)信号强度与ADC变化，并与SWI进行对比，旨在为其临床治疗提供指导。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选择2021年1月至2024年1月医院收治的大面积脑梗死患者101例，患者脑梗死直径>3cm，并累积两个以上解剖部位的大血管主干供血区的脑梗死。其中男64例，女37例，年龄35~79岁，平均年龄(53.41±7.60)岁。根据脑梗死发生时间将患者分为超急性期17例、急性期39例、亚急性期37例以及慢性期8例。

纳入标准：符合大面积脑梗死再灌注损伤诊断标准，并不具备典型脑出血症状；均接受RESOLVE DWI、SWI两项检查，且两项检查间隔小于2d。排除标准：合并脑出血患者；排除其他心脏器质性病变者；不宜进行RESOLVE DWI、SWI检查者；预计生存时间<1周者。

1.2 方法 应用西门子3.0 T MAGNETOM Skyra MRI磁共振扫描仪。采用64通道头颈联合表面线圈，扫描序列包括：矢状位自旋回波(SE)T1WI、轴位SE T1WI、轴位FSE T2WI、轴位高分辨扩散加权成像RESOLVE DWI和ADC，得到磁共振图像。进行常规MRI、RESOLVE DWI和ADC、SWI检查。RESOLVE DWI检查参数：TR：6500ms，

【第一作者】张艳萍，女，副主任医师，主要研究方向：头痛及感染免疫方向。E-mail：m13837116765@163.com
【通讯作者】张艳萍

TE：58ms，视野：230mm×230mm，矩阵150×150，层厚：5mm，层间距：1mm，层数：22，扫描时间：1min23s。SWI检查参数：TR：28ms，TE：20ms，视野：230mm×230mm，矩阵448×380，层间距：0.24mm，层厚：1.2mm，层数：96，翻转角15°，扫描时间5min45s。所得原始数据传送至工作站，计算SWI梗死区出血量与梗死面积比例。

1.3 观察指标 分析不同时期大面积脑梗死患者RESOLVE DWI、SWI检查影像学特点，比较各序列对急性大面积脑梗死再灌注损伤检出率、病灶检出情况(病灶数目、病灶体积)的差异，采用Pearson相关检验分析不同时期大面积脑梗死患者RESOLVE DWI检查ADC值与NIHSS评分的相关性。

1.4 统计学方法 采用SPSS 19.0统计软件进行数据分析，所有计量数据符合正态分布，以($\bar{x}\pm s$)表示，采用独立t检验；计数数据以(%)表示，采用χ^2检验；相关性分析采用Pearson相关检验，*P*<0.05为有统计学差异。

2 结　果

2.1 RESOLVE DWI、SWI检查影像学特点 出血病灶：17例超急性期患者DWI呈现显著高信号，ADC值显著降低；39例急性期患者DWI呈现高信号，ADC值降低；37例亚急性期患者DWI呈现等信号或低信号，ADC值降低或趋于正常；8例慢性期患者DWI呈现显著低信号，ADC值显著升高；SWI表现为低信号。水肿病灶：DWI表现为高信号；SWI表现为高信号或者中央低信号边缘高信号，见图1。

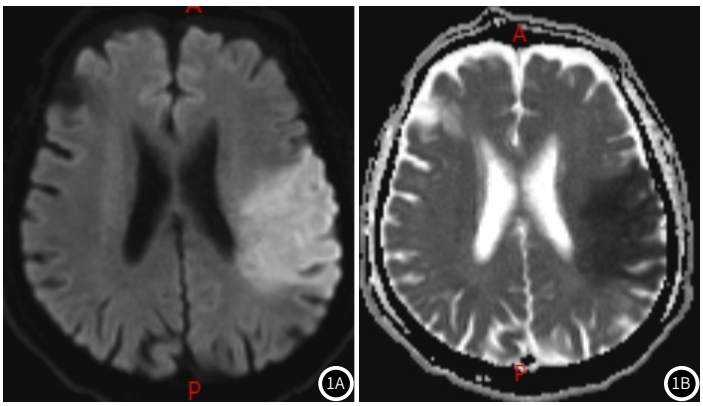


图1 急性大面积脑梗死再灌注损伤RESOLVE DWI影像学表现。1A：DWI序列，左侧额颞岛顶叶、侧脑室旁成呈信号；1B：ADC序列，左侧额颞岛顶叶、侧脑室旁呈低信号。

2.2 RESOLVE DWI、SWI检查对急性大面积脑梗死再灌注损伤检出率比较 101例患者中，有96例患者RESOLVE DWI检出阳性，检出率为95.05%，101例患者SWI检出阳性，检出率为100%，RESOLVE DWI与SWI检出率相比，差异有统计学意义(*P*<0.05)。见表1。

表1 RESOLVE DWI、SWI检查对急性大面积脑梗死再灌注损伤检出率比较

检查方法	阳性例数	阴性例数	检出率(%)
RESOLVE DWI	96	5	95.05
SWI	101	0	100.00
χ^2			5.127
P			0.024

2.3 RESOLVE DWI、SWI检查对急性大面积脑梗死再灌注损伤病灶检出情况比较 SWI检出病灶数目明显多于RESOLVE DWI(*P*<0.05)，检出病灶体积明显大于RESOLVE DWI(*P*<0.05)。见表2。

2.4 不同时期大面积脑梗死再灌注损伤患者RESOLVE DWI检查ADC值与NIHSS评分的关系 随着再灌注损伤时间延长，RESOLVE DWI检查ADC值对应上升(*P*<0.05)，NIHSS评分先上升后降低(*P*<0.05)。Pearson相关性分析显示，不同时期大面积脑梗死再灌注损伤患者RESOLVE DWI检查ADC值与NIHSS评分呈显著负相关(r=-0.592, *P*<0.01)。见表3和图2。

表2 RESOLVE DWI、SWI检查对急性大面积脑梗死再灌注损伤病灶检出情况比较

检查方法	病灶数目(个)	病灶体积(×10^5mm^3)
RESOLVE DWI	611.47±95.02	8.21±0.77
SWI	908.21±134.83	10.94±1.58
t	18.080	15.610
P	<0.001	<0.001

表3 不同时期大面积脑梗死再灌注损伤患者RESOLVE DWI检查ADC值与NIHSS评分比较

时间	例数	ADC值(×10^{-3}mm^2/s)	NIHSS评分(分)
超急性期	17	0.35±0.18	11.47±1.74
急性期	39	0.51±0.17	16.03±2.06
亚急性期	37	1.78±0.44	10.21±1.58
慢性期	8	2.82±0.72	8.50±1.77
F		168.921	83.064
P		<0.001	<0.001

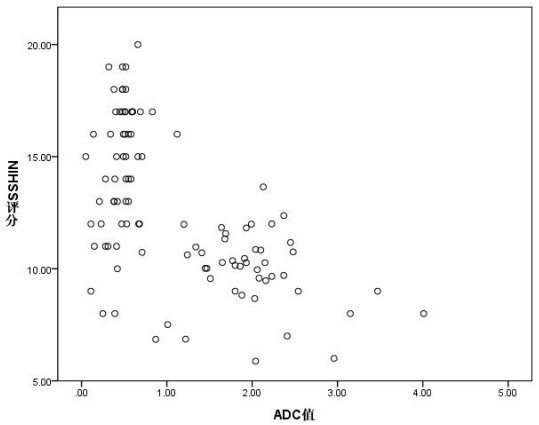


图2 不同时期大面积脑梗死患者RESOLVE DWI检查ADC值与NIHSS评分的相关性。

3 讨　论

大面积脑梗死再灌注损伤指的是机体在发生急性大面积脑梗死后的一定时间之内，脑梗死区域血管再通或者侧枝循环建立，从而使得脑梗死区域血供恢复，但该处脑组织功能尚未恢复，从而出现严重脑功能障碍，其最严重的并发症为脑梗死后出血[6]。DWI是目前唯一能够检出活体水分子弥散运动特征的无创影像学检查手段，对脑梗死再灌注损伤具有一定的诊断价值，DWI图像信号增强，ADC值降低，提示水分子弥散程度下降；DWI图像信号减弱，ADC值升高，提示水分子弥散程度上升[7]。郭宇等[8]报道显示，脑缺血再灌注损伤早期，DWI信号强度逐渐增强，ADC值逐渐下降，脑缺血再灌注损伤后3d，随着时间延长，DWI信号强度逐渐下降，ADC值逐渐升高，通过DWI信号强度与ADC值可对脑缺血再灌注损伤组织学特征进行评估，可动态显示脑缺血再灌注损伤缺血区域情况。

传统DWI主要采用单次激发平面回波成像序列，磁敏感伪影较大，而RESOLVE DWI通过对病灶进行分段K空间采集，从而缩小回波间隙，以减少伪影，提高图像质量[9]。

(下转第18页)

connectivity network in irritable bowel syndrome patients:a resting-state fMRI study[J].Clinical Neurophysiology,2015,126(6):1190-1197.
[17]Chen X F,Guo Y,Lu X Q,et al.Aberrant intraregional brain activity and functional connectivity in patients with diarrhea-predominant irritable bowel syndrome[J].Frontiers in neuroscience,2021,15:721822.
[18]Qi R,Liu C,Ke J,et al.Intrinsic brain abnormalities in irritable bowel syndrome and effect of anxiety and depression[J].Brain imaging and behavior,2016,10:1127-1134.
[19]李洁,李国熊,郭赟,等.肠易激综合征伴抑郁状态患者静息态脑功能局部一致性研究[J].中华医学杂志,2018,98(3):196-201.
[20]马晓芬,江桂华,李淑美,等.肠易激综合征患者静息态功能磁共振成像比率低频振幅研究[J].中华神经医学杂志,2014,13(3):292-295.
[21]曾少庆,江桂华,马晓芬,等.肠易激综合征患者静息态下局部脑区神经自发活动及其与HAMA量表评分的相关性[J].中华神经医学杂志,2013,12(7):719-722.
[22]秦梦,张庆,黄劲柏.肠易激综合征基于局部一致性的静息态脑功能成像研究[J].实用医学杂志,2017,33(20):3455-3458.
[23]司鹤华.针刺对IBS患者大脑相关情绪调控区域脑功能磁共振成像影响的研究[D].南京中医药大学,2017.
[24]南姣芬,张亮亮,郑倩,等.基于fMRI的近似熵和ReHo在肠易激综合征检测中的敏感性和有效性比较[J].南方医科大学学报,2019,39(9):1023-1029.
[25]李静.调神健脾针法治疗腹泻型肠易激综合征的临床疗效评价及脑fMRI改变的研究[D].江苏:南京中医药大学,2017.
[26]严逸駪.艾灸治疗腹泻型肠易激综合征临床效应观察及对肠菌-脑轴的调节作用研究[D].上海中医药大学,2019.
[27]Yelnik J.Functional anatomy of the basal ganglia[J].Movement disorders:official journal of the Movement Disorder Society,2002,17(S3):S15-S21.
[28]Russmann H,Vingerhoets F,Ghika J,et al.Acute infarction limited to the lenticular nucleus:clinical,etiologic,and topographic features[J].Archives of neurology,2003,60(3):351-355.
[29]Loher T J,Burgunder J M,Weber S,et al.Effect of chronic pallidal deep brain stimulation on off period dystonia and sensory symptoms in advanced Parkinson' s disease[J].Journal of Neurology,Neurosurgery & Psychiatry,2002,73(4):395-399.
[30]Tillisch K,Mayer E A,Labus J S.Quantitative meta-analysis identifies brain regions activated during rectal distension in irritable bowel syndrome[J].Gastroenterology,2011,140(1):91-100.
[31]Grinsvall C,Ryu H J,Van Oudenhove L,et al.Association between pain sensitivity and gray matter properties in the sensorimotor network in women with irritable bowel syndrome[J].Neurogastroenterology & Motility,2021,33(4):e14027.
[32]Pires M P,McBenedict B,Ahmed I E,et al.Exploring the thalamus as a target for neuropathic pain management:an integrative review[J].Cureus,2024,16(5).
[33]Yen C T,Lu P L.Thalamus and pain[J].Acta Anaesthesiologica Taiwanica,2013,51(2):73-80.
[34]Chen F,Chen F,Shang Z,et al.White matter microstructure degenerates in patients with postherpetic neuralgia[J].Neuroscience Letters,2017,656:152-157.
[35]Tillisch K,Mayer E A,Labus J S.Quantitative meta-analysis identifies brain regions activated during rectal distension in irritable bowel syndrome[J].Gastroenterology,2011,140(1):91-100.
[36]Seminowicz D A,Labus J S,Bueller J A,et al.Regional gray matter density changes in brains of patients with irritable bowel syndrome[J].Gastroenterology,2010,139(1):48-57.e2.
[37]Zhang X H,Zou H,Zhou Y R,et al.Research advances in the limbic system involved in acupuncture treatment of chronic pain[J].Zhen ci yan jiu=Acupuncture Research,2020,45(4):339-345.
[38]戴西勇,高磊,余金鸣,等.酒精使用障碍患者大脑皮层折叠模式改变的研究[J].罕少疾病杂志,2021,28(3):24-27,39.
[39]李洁,鲁兴启,杨莹,等.肠易激综合征伴抑郁患者静息态fMRI度中心度的研究[J].影像诊断与介入放射学,2020,29(02):102-106.
[40]Blankstein U,Chen J,Diamant N E,et al.Altered brain structure in irritable bowel syndrome:potential contributions of pre-existing and disease-driven factors[J].Gastroenterology,2010,138(5):1783-1789.
[41]刘健.氟西汀和帕罗西汀治疗难治性肠易激综合征的比较[J].罕少疾病杂志,2008,(05):9-11.

(收稿日期：2024-11-07) (校对：韩敏求 排版：张鸿燊)

（上接第11页）

本研究结果显示，101例不同时期大面积脑梗死再灌注损伤患者中，RESOLVE DWI检查在超急性期、急性期、亚急性期以及慢性期DWI信号强度与ADC值均发生改变，从超急性期到慢性期，DWI从显著高信号到显著低信号，ADC值从显著降低到显著升高，SWI表现为低信号。考虑超急性期细胞膜完整，患者血肿区域主要为氧合血红蛋白，表现为DWI高信号，ADC值降低；急性期脑出血患者血肿区域存在一种磁敏感物质脱氧血红蛋白，并且中心位置血红蛋白和红细胞结构发生改变，从而导致DWI信号强度变化；亚急性期既存在脱氧血红蛋白又存在高铁血红蛋白，DWI呈现等信号或低信号，ADC值降低或趋于正常；慢性期血肿区域内高铁血红蛋白，表现为DWI低信号，ADC值升高[10]。SWI表现为低信号则与大面积脑梗死再灌注损伤区域脱氧血红蛋白聚集以及其在红细胞内外分布不均有关[11]。本研究101例患者中，RESOLVE DWI阳性检出率为95.05%，明显低于SWI阳性检出率的100%，与谢雪梅等[12]报道相符。本研究结果还显示，RESOLVE DWI检出病灶数目少于SWI，检出病灶体积小于SWI，随着再灌注损伤时间延长，RESOLVE DWI检查ADC值对应上升，NIHSS评分先上升后降低，且不同时期大面积脑梗死再灌注损伤患者RESOLVE DWI检查ADC值与NIHSS评分呈显著负相关。具体而言，SWI能够更敏感地检出微小出血病灶，SWI早期斑点状出血灶属于局部血流再灌注，是血管再通的体现[13]。而DWI可清楚显示再灌注损伤病灶内水分子扩散运动情况，超急性期、急性期患者病理发生改变从而抑制水分子运动，ADC值较低，亚急性期到慢性期血脑屏障破坏进一步加重，从而导致血管源性水肿增强，水分子运动加快，ADC值升高，且超急性期到急性期，ADC值升高，NIHSS评分也升高，急性期到慢性期，ADC值升高，NIHSS评分降低，表明ADC值变化可为急性大面积脑梗死再灌注损伤患者病情变化评估提供一定的而帮助[14-15]。当然，这也可能与本研究所收集样本受限有关。总之，RESOLVE DWI信号强度与ADC值变化在急性大面积脑梗死再灌注损伤诊断方面具有明显优势，结合SWI诊断能给提高临床应用价值，可为患者早期诊断以及治疗评估提供客观根据。

综上所述，RESOLVE DWI信号强度与ADC值变化对急性大面积脑梗死再灌注损伤具有一定的临床应用价值，可为患者早期诊断以及预后提供帮，结合SWI检查可更加敏感地检出患者脑微小出血病灶。

参考文献

[1]孙瑶,李柏霖,胡楠.血府逐瘀汤联合亚低温对急性脑梗死动脉溶栓术后缺血再灌注损伤的保护作用研究[J].实用药物与临床,2021,24(5):423-427.
[2]王明远.ACI溶栓患者miR-379-5p表达水平与缺血再灌注损伤的相关性[J].脑与神经疾病杂志,2024,32(2):87-91.
[3]邓玲,董志.长链非编码RNA调控脑缺血/再灌注损伤作用机制的研究进展[J].重庆医科大学学报,2022,47(7):848-852.
[4]张远,王浩,朱杰,等.扩散加权成像预测单侧大脑前循环缺血性脑卒中预后的价值[J].实用放射学杂志,2021,37(12):1941-1945.
[5]李聪聪,邹朝双,李树强.CTP与SWI在急性缺血性卒中出血性转化预测中的应用价值分析[J].中国CT和MRI杂志,2024,22(8):8-10.
[6]丁辉燕,邓立军,韩裕富.丁苯酞治疗脑梗塞再灌注患者对血清s-100β蛋白、NSE及神经功能缺损情况分析[J].血栓与止血学,2018,24(5):69-71.
[7]魏立杰,刘莎,李晓军.IVIM-DWI灌注参数与ADC、DDC值变化评估CIRI组织学特征的价值[J].新疆医科大学学报,2021,44(11):1231-1236.
[8]郭宇,刘莎,杨志宏,等.大鼠脑缺血再灌注损伤后不同时间脑损伤区DWI信号强度与表观扩散系数变化分[J].临床和实验医学杂志,2019,18(14):1464-1468.
[9]于阳,李琼阁,赵澄,等.高场强术中磁共振成像高分辨率扩散加权成像在脑肿瘤中的应用研究[J].中国医疗设备,2021,36(2):81-84.
[10]Xu XH,Ye XH,Li JW,et al.Association between remote diffusion-weighted imaging lesions and cerebral small vessel disease in primary intracerebral hemorrhage[J].Eur J Neurol,2019,26(7):961-968.
[11]Jia C,Wei C,Hu M,et al.Correlation between antiplatelet therapy in secondary prevention of acute cerebral infarction and cerebral microbleeds:A susceptibility-weighted imaging (SWI) study[J].J Xray Sci Technol,2018,26(4):623-633.
[12]谢雪梅,梁煜坤,展淑琴.高场强MRI扫描DWI联合SWI序列在急性期脑出血诊断中的应用价值分析[J].中国CT和MRI杂志,2020,18(1):1-3.
[13]韩云鹏,杨立臣,张琳琳.常规MRI,SWI联合第3代双源CT早期鉴别诊断急性缺血性脑卒中血管内治疗后出血灶与碘对比剂外渗的临床价值[J].中西医结合心脑血管病杂志,2022,20(15):2861-2864.
[14]王朝刚,张晓曼,李兆妍,徐远杰,范建江.弥散加权成像和灌注加权成像在超急性期脑梗死诊断及预后评估中的应用价值[J].实用心脑肺血管病杂志,2022,30(12):100-105.
[15]许超,冯天保.不同时期脑梗死DWI、PWI成像特征及其缺血半暗带的鉴别诊断价值研究[J].中国CT和MRI杂志,2021,19(8):11-14.

(收稿日期：2025-06-05) (校对：韩敏求 排版：张鸿燊)