

DWI 结合 IVIM 评估中青年脑梗死病情程度及预测溶栓治疗后出血转化的价值

薛明琛, 陈志天, 丁超, 辛奕*

(江苏省连云港市第一人民医院医学影像科, 江苏 连云港 222000)

[摘要] **目的** 探究磁共振弥散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)结合体素内不相干运动(introvoxel incoherent motion, IVIM)评估中青年脑梗死病情程度及预测溶栓治疗后出血转化(hemorrhagic transformation, HT)的价值,以期临床早期针对性制定干预方案提供参考。**方法** 回顾性选取中青年急性缺血性脑卒中患者96例,入院时均行DWI、IVIM检查,获取健侧和患侧表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)、灌注分数(perfusion fraction, f)、快速表观扩散系数(pseudo-diffusion coefficient, D^*)、慢速表观扩散系数(diffusion coefficient of pure diffusion, D),并对各参数进行标准化处理。比较不同病情程度患者 $rADC$ 、 rf 、 rD^* 、 rD ,分析各参数与中青年脑梗死病情程度的相关性。静脉溶栓治疗后比较发生与未发生HT患者入院时 $rADC$ 、 rf 、 rD^* 、 rD 及HT相关生物学指标[胱抑素C(cystatin C, Cys-C)、纤维胶凝蛋白3(fibrinolytic protein 3, Ficolin-3)、补体C1q/肿瘤坏死因子相关蛋白3(complement C1q/ tumor necrosis faction-associated protein-3, CTRP-3)]水平,采用ROC曲线评价各参数预测中青年脑梗死溶栓治疗后发生HT的价值。**结果** 中青年脑梗死患者入院时患侧 $rADC$ 、 f 、 D^* 、 D 均低于健侧($P < 0.05$)。重度患者入院时 $rADC$ 、 rf 、 rD^* 、 rD 均低于中度、轻度患者,中度患者入院时 $rADC$ 、 rf 、 rD^* 、 rD 均低于轻度患者($P < 0.05$)。入院时 $rADC$ 、 rf 、 rD^* 、 rD 与中青年AIS病情程度呈负相关($P < 0.05$)。发生HT患者 $rADC$ 、 rf 、 rD^* 、 rD 及血清Ficolin-3、CTRP-3水平均低于未发生HT患者低,Cys-C水平高于未发生HT患者($P < 0.05$)。发生HT患者入院时 $rADC$ 、 rf 、 rD^* 、 rD 与血清Cys-C水平呈负相关,与血清Ficolin-3、CTRP-3水平呈正相关($P < 0.05$)。入院时 $rADC$ 、 rf 、 rD^* 、 rD 联合预测中青年AIS患者溶栓治疗后发生HT的AUC为0.943,大于血清Cys-C、Ficolin-3、CTRP-3联合预测的AUC($Z = 0.195, P = 0.043$)。**结论** DWI结合IVIM可用于中青年脑梗死病情程度评估,为临床预测溶栓治疗后HT的发生提供参考依据,以针对性展开后续治疗,降低HT发生风险。

[关键词] 脑梗死;磁共振成像;体素内不相干运动 doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2024.07.008

[中图分类号] R743.33 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1007-3205(2024)07-0785-06

The value of DWI combined with IVIM in assessing the severity of cerebral infarction in young and middle-aged people and predicting hemorrhagic transformation after thrombolytic therapy

XUE Ming-chen, CHEN Zhi-tian, DING Chao, XIN Yi*

(Department of Medical Imaging, the First People's Hospital of Lianyungang City, Jiangsu Province, Lianyungang 222000, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the value of magnetic resonance diffusion weighted imaging (MR-DWI) combined with intravoxel incoherent motion (IVIM) in assessing the severity of cerebral infarction in young and middle-aged people and predicting hemorrhagic transformation (HT) after thrombolytic therapy, with the aim of providing a reference for early clinical targeting and intervention planning. **Methods** A retrospective study was conducted on 96

[收稿日期]2023-04-10

[基金项目]连云港市卫生科技项目(ZD202202)

[作者简介]薛明琛(1995-),男,江苏连云港人,江苏省连云港

市第一人民医院技师,医学学士,从事医学影像诊断研究。

* 通信作者。E-mail:158434743@qq.com

middle-aged and young patients with acute ischemic stroke (AIS). DWI and IVIM examinations were performed on admission, apparent diffusion coefficient (ADC), perfusion fraction (f), pseudo-diffusion coefficient (D^*), diffusion coefficient of pure diffusion (D) were obtained from healthy and affected side, and all parameters were standardized. rADC, rf, rD^* and rD of patients with different disease severity were compared to analyze the correlation between each parameter and the disease severity of AIS in young and middle-aged people. After intravenous thrombolytic therapy, rADC, rf, rD^* , rD and HT-related biological indicators [cystatin C (Cys-C), fibrinolytic protein 3 (Ficolin-3), complement C1q/ tumor necrosis faction-associated protein-3 (CTRP-3)] were compared between patients with and without HT at admission. Receiver operating characteristic (ROC) curve was used to evaluate the value of each parameter in predicting HT after thrombolytic therapy for AIS in young and middle-aged adults. **Results** ADC, f, D^* and D on the affected side were all lower than those on the healthy side at admission ($P < 0.05$). The rADC, rf, rD^* and rD of severe patients were all lower than those of moderate and mild patients at admission, and lower in moderate patients than in mild patients at admission ($P < 0.05$). rADC, rf, rD^* , rD were negatively correlated with AIS severity at admission ($P < 0.05$). The levels of rADC, rf, rD^* , rD and serum Ficolin-3 and CTRP-3 levels in patients with HT were lower than those without HT, while the levels of Cys-C were higher than those without HT ($P < 0.05$). rADC, rf, rD^* and rD were negatively correlated with serum Cys-C levels and positively correlated with serum Ficolin-3 and CTRP-3 levels in patients with HT at admission ($P < 0.05$). At admission, the area under the ROC curve (AUC) of the combination of rADC, rf, rD^* and rD in predicting HT in young and middle-aged people with AIS after thrombolytic therapy was 0.943, which was greater than that predicted by the combination of serum Cys-C, Ficolin-3 and CTRP-3 ($Z = 0.195$, $P = 0.043$). **Conclusion** DWI combined with IVIM can be used to evaluate the severity of cerebral infarction in young and middle-aged adults, providing reference for clinical prediction of the occurrence of HT after thrombolytic therapy, so as to carry out targeted follow-up treatment and reduce the risk of HT.

[Key words] cerebral infarction; magnetic resonance imaging; intravoxel incoherent motion

急性缺血性脑卒中 (acute ischemic stroke, AIS) 为临床常见脑血管急危重症, 具有病情凶险、发病突然、致残率高等特点, 多发生于中老年人群, 但近年来随人们生活饮食习惯改变, 中青年人群 AIS 发生率逐渐升高, 短期预后相对于老年 AIS 患者较好, 但复发率较高^[1-2]。静脉溶栓为目前临床治疗中青年 AIS 的主要方案, 可有效改善狭窄受损的血管, 通过灌注挽救半暗带区域, 提高血管再通率^[3]。但有研究发现, 部分 AIS 患者经血管再通治疗可并发严重的出血转化 (hemorrhagic transformation, HT), 增加后续治疗难度, 影响患者预后恢复^[3-4]。因此, 尽早评估预测 AIS 血管再通治疗后 HT 风险具有重大意义。磁共振弥散加权成像 (diffusion weighted imaging, DWI) 结合体素内不相干运动 (intravoxel incoherent motion, IVIM) 为一种单次扫描即可获取扩散及微血管灌注

信息的成像技术, 可有效评估缺血半暗带^[5-6]。但目前鲜有研究关于其对 AIS 溶栓治疗后 HT 的应用价值, 基于此, 本研究旨在分析 DWI 结合 IVIM 对中青年 AIS 病情程度及溶栓治疗后 HT 的评估价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性选取 2021 年 5 月—2022 年 5 月我院收治的中青年 AIS 患者 96 例, 其中男性 52 例, 女性 44 例, 年龄 18~53 岁, 平均 (32.14 ± 5.32) 岁; 体重指数 20.3~25.5, 平均 22.84 ± 1.13; 发病至入院时间 2~6 h, 平均 (3.12 ± 0.48) h。

本研究经医院伦理委员会审核批准通过。

1.2 纳入标准及排除标准 纳入标准: ①均符合《中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018》^[7] 中 AIS 相关诊断标准, 并经 CT、MRI 等影像学检查证实;

②均为初次发病;③年龄 18~59 岁;④患者及家属知晓本研究,并签订知情同意书。排除标准:①合并严重脑外伤或颅内出血;②合并颅内肿瘤;③合并全身性感染疾病、自身免疫性疾病者;④合并肝、肾等重大脏器功能障碍者;⑤合并精神异常或治疗、检查依从性较差。

1.3 方法

1.3.1 影像学检查方法入院后均采用美国 GE3.0T MRI 扫描仪进行检查,选用 32 通道相控阵线圈。均行 MRI 扫描,包括常规轴位 T1WT、T2WI、DWI 扫描,选取 11 个 b 值(10、20、30、40、80、90、100、200、700、1 000、1 300 s/mm²),扫描参数设置为重复时间(repetition time, TR)=4 500 ms,回波时间(echo time, TE)=81.7 ms,视野(field of vision, FOV)=240 mm×240 mm,层间距为 1.5 mm,层厚为 5 mm,激励次数(number of signals averaged, NEX)为 3,以相同定位行动态增强扫描,共采集 60 次。将原始数据上传至后台处理工作站,选取双指数模型,于 b=1 000 s/mm² 图像中勾画感兴趣区(region of interest, ROI),于对侧镜像区对称勾画 ROI,获取梗死灶及对侧镜像区表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)、灌注分数(perfusion fraction, f)、快速表观扩散系数(pseudo-diffusion coefficient, D^{*})、慢速表观扩散系数(diffusion coefficient of pure diffusion, D),对所得参数进行标准化处理, r=梗死灶/对侧镜像区,获取 rf、rADC、rD^{*}、rD。

1.3.2 病情程度评估病情程度根据美国国立卫生研究院卒中量表(National Institute of Health stroke scale, NIHSS)评估,总分 0~42 分,其中 >15 分为重度,4~15 分为中度,<4 分为轻度。

1.3.3 HT 评估标准所有患者溶栓治疗后均由同两名主治医师采用双盲法对 SWI 重建图像进行分析,判断病灶区有无斑点状高密度影或边界清晰的高密度血肿。

1.3.4 血清指标检测采集所有患者入院时外周静脉血 5 mL,置于乙二胺四乙酸抗凝管中,37 °C 条件下经离心半径 8 cm、3 500 r/min 离心 10 min,分离血清、血浆待测。采用酶联免疫吸附法测定血清纤维胶凝蛋白 3(fibrinolytic protein 3, Ficolin-3)水平,仪器选用 HED-45S 型酶标仪,试剂盒购于上海

生工科技公司;采用日立 7600-020 型全自动生化分析仪测定胱抑素 C(cystatin C, Cys-C)、补体 C1q/肿瘤坏死因子相关蛋白 3(complement C1q/ tumor necrosis faction-associated protein-3, CTRP-3)水平,试剂盒购于上海生源生物科技公司。所有操作均严格按照仪器及试剂盒相关说明进行。

1.4 观察指标 ①比较入院时健侧和患侧 ADC、f、D^{*}、D,并对各参数进行标准化处理;②比较不同病情程度患者 rADC、rf、rD^{*}、rD;③分析 rADC、rf、rD^{*}、rD 与中青年 AIS 病情程度的相关性;④统计溶栓治疗后 3 d~2 周内发生 HT 情况,比较发生与未发生 HT 患者入院时 rADC、rf、rD^{*}、rD 及 HT 相关生物学指标(Cys-C、Ficolin-3、CTRP-3);⑤分析发生 HT 患者入院时 rADC、rf、rD^{*}、rD 与 HT 相关生物学指标的相关性;⑥采用 ROC 曲线评价各参数预测中青年 AIS 溶栓治疗后发生 HT 的价值,并与 HT 相关生物学指标预测价值比较。

1.5 统计学方法 应用 SPSS 23.0 统计软件分析数据。计量资料比较采用独立样本 *t* 检验、单因素方差分析和 LSD-*t* 检验,相关性分析采用 Spearman/Pearson 相关系数模型,预测价值分析采用受试者工作特征(receiver operating characteristic curve, ROC)曲线,不同预测方案间 AUC 比较采用 DeLong 检验。*P*<0.05 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 入院时健侧和患侧 ADC、f、D^{*}、D 比较 中青年 AIS 患者入院时患侧 ADC、f、D^{*}、D 均低于健侧,差异有统计学意义(*P*<0.05),见表 1。各参数标准化值分别为:rADC=(0.67±0.19)×10⁻³ mm²/s, rf=(0.51±0.14)%, rD^{*}=(0.55±0.15)×10⁻³ mm²/s, rD=(0.57±0.17)×10⁻³ mm²/s。

2.2 不同病情程度患者 rADC、rf、rD^{*}、rD 比较 96 例中青年 AIS 患者中,病情程度轻度 32 例,中度 38 例,重度 26 例。重度患者入院时 rADC、rf、rD^{*}、rD 均低于中度和轻度患者,中度患者入院时 rADC、rf、rD^{*}、rD 均低于轻度患者,差异有统计学意义(*P*<0.05)。见表 2。

表1 入院时健侧和患侧 ADC、f、D*、D 比较

Table 1 Comparison of ADC, f, D* and D between healthy side and affected side at admission

(n=96, $\bar{x} \pm s$)

组别	ADC($\times 10^{-3}$ mm ² /s)	f(%)	D* ($\times 10^{-3}$ mm ² /s)	D($\times 10^{-3}$ mm ² /s)
患侧	0.52±0.13	18.85±2.69	2.40±0.68	0.34±0.10
健侧	0.78±0.11	37.04±3.42	4.33±0.61	0.60±0.08
t 值	14.959	40.960	20.700	19.892
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

表2 不同病情程度患者 rADC、rf、rD*、rD 比较

Table 2 Comparison of rADC, rf, rD* and rD among patients with different disease severity

($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	rADC($\times 10^{-3}$ mm ² /s)	rf(%)	rD* ($\times 10^{-3}$ mm ² /s)	rD($\times 10^{-3}$ mm ² /s)
轻度	32	0.77±0.16	0.62±0.13	0.67±0.16	0.69±0.18
中度	38	0.68±0.14*	0.53±0.11*	0.58±0.13*	0.58±0.16*
重度	26	0.53±0.13*#	0.35±0.10*#	0.36±0.12*#	0.41±0.13*#
F 值		19.962	40.648	37.474	22.136
P 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

* P 值<0.05 与轻度比较 # P 值<0.05 与中度比较(LSD-t 检验)

2.3 rADC、rf、rD*、rD 与中青年 AIS 病情程度的相关性 相关性分析显示,入院时 rADC、rf、rD*、rD 与中青年 AIS 病情程度呈负相关(P<0.05)。见表 3。

表3 rADC、rf、rD*、rD 与中青年 AIS 病情程度的相关性

Table 3 Correlation between rADC, rf, rD*, rD and the severity of AIS in young and middle-aged people

指标	病情程度	
	r 值	P 值
rADC	-0.462	<0.001
rf	-0.613	<0.001
rD*	-0.574	<0.001
rD	-0.529	<0.001

表4 发生与未发生 HT 患者影像学参数、HT 相关生物学指标比较

Table 4 Comparison of imaging parameters and biological indicators related to HT in patients with and without HT

($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	rADC	rf(%)	rD*	rD	Cys-C(mg/L)	Ficolin-3	CTRP-3
		($\times 10^{-3}$ mm ² /s)		($\times 10^{-3}$ mm ² /s)	($\times 10^{-3}$ mm ² /s)		(mg/L)	(μ g/L)
发生 HT	34	0.51±0.12	0.33±0.10	0.35±0.11	0.39±0.12	1.85±0.36	11.48±2.96	243.76±25.18
未发生	62	0.76±0.15	0.61±0.12	0.66±0.15	0.67±0.17	1.19±0.28	15.73±3.85	291.50±21.94
t 值		8.356	11.572	10.581	8.503	9.962	5.590	9.672
P 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

表5 rADC、rf、rD*、rD 与 HT 相关生物学指标的相关性

Table 5 Correlation of rADC, rf, rD*, and rD with HT-related biological indicators

指标	Cys-C		Ficolin-3		CTRP-3	
	r 值	P 值	r 值	P 值	r 值	P 值
rADC	-0.583	<0.001	0.436	<0.001	0.549	<0.001
rf	-0.649	<0.001	0.551	<0.001	0.613	<0.001
rD*	-0.621	<0.001	0.519	<0.001	0.586	<0.001
rD	-0.602	<0.001	0.472	<0.001	0.560	<0.001

2.6 预测价值分析 以发生 HT 患者为阳性样本,未发生 HT 患者为阴性样本,绘制入院时 rADC、rf、rD*、rD 预测中青年 AIS 患者溶栓治疗后发生 HT

2.4 发生与未发生 HT 患者影像学参数、HT 相关生物学指标比较 溶栓治疗后 3 d~2 周内共有 34 例患者发生 HT。发生 HT 患者 rADC、rf、rD*、rD 及血清 Ficolin-3、CTRP-3 水平均较低于未发生 HT 患者,Cys-C 水平高于未发生 HT 患者,差异有统计学意义(P<0.05)。见表 4。

2.5 rADC、rf、rD*、rD 与 HT 相关生物学指标的相关性 相关性分析显示,发生 HT 患者入院时 rADC、rf、rD*、rD 与血清 Cys-C 水平呈负相关,与血清 Ficolin-3、CTRP-3 水平呈正相关(P<0.05)。见表 5。

的 ROC 曲线,结果显示,各指标单独预测的 AUC 分别为 0.808、0.764、0.813、0.801,联合预测的 AUC 为 0.943,大于血清 Cys-C、Ficolin-3、CTRP-3 联合

预测的 AUC($Z=0.195, P=0.043$)。见表 6、图 1。

表 6 影像学参数、HT 相关生物学指标预测 HT 的价值

Table 6 Value of imaging parameters, HT-related biological indicators in predicting HT

指标	AUC	95%CI	截断值	敏感度(%)	特异度(%)	P 值
rADC	0.808	0.715~0.884	0.62	94.12	61.29	<0.001
rf	0.764	0.665~0.843	0.45	85.29	59.68	<0.001
rD*	0.813	0.720~0.885	0.47	94.12	64.52	<0.001
rD	0.801	0.707~0.876	0.48	70.59	80.65	<0.001
影像学参数联合预测	0.943	0.876~0.980	—	88.24	90.32	<0.001
HT 相关生物学指标联合预测	0.850	0.763~0.915	—	79.41	83.87	<0.001

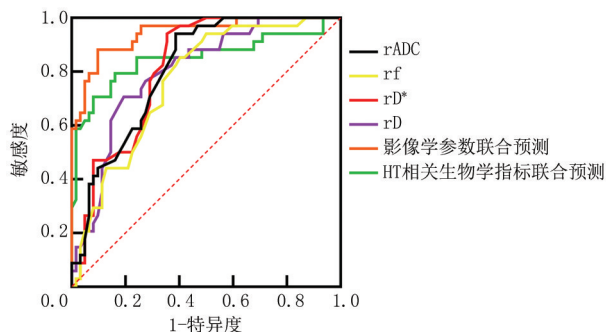


图 1 影像学参数、HT 相关生物学指标预测 HT 的 ROC 曲线
Figure 1 ROC curves of imaging parameters, HT-related biological indicators in predicting HT

3 讨 论

据数据表明,我国中青年 AIS 患者约占全部卒中 15%,与老年 AIS 患者相比,中青年 AIS 患者发病机制较为复杂,临床主要采用早期血管再通术进行治疗^[8]。报道显示,早期血管再通术包括动脉溶栓、静脉溶栓等,可有效减轻脑组织功能受损,但术后均存在 HT 风险,增加不良转归结局发生风险^[9-10]。因此,积极探讨中青年 AIS 患者溶栓治疗后 HT 预测评估方案具有重大意义。

DWI 检查成像原理为水分子布朗运动,而 IVIM 为一种无创性评估活体组织内分子扩散运动及灌注的成像技术,可通过多 b 值成像将 DWI 中微循环、热扩散效应分离,获得灌注相关参数^[11-12]。本研究结果显示,中青年 AIS 患者入院时患侧 ADC、f、D*、D 均较健侧低,推测可通过上述参数进行早期诊断。IVIM 成像可提供脑组织中水分子运动定量参数,还能反映脑组织中灌注情况,有报道表明,IVIM 成像参数中,D 值可反映细胞内外水分子布朗运动情况,D* 可反映微循环血流灌注情况,而 f 值则代表体素内流动的毛细血管相对体积^[13-16]。本研究将上述参数标准化处理后发现,中青年 AIS 患者 rADC、rf、rD*、rD 与病情具有显著相关性,提示可通过其进行早期病情评估。分析其原因可能在于,AIS 脑组织缺血、缺氧等均可损伤血管内皮,导

致血管通透性升高,影响局部血流灌注及梗死病灶区域水分子扩散强度,且局部循环血肿越大,局部水分子运动影响越严重,rADC、rf、rD*、rD 随之变化^[17-20]。因此,DWI-IVIM 参数与中青年 AIS 患者病情程度密切相关。

本研究结果显示,溶栓治疗后 3 d~2 周内共有 34 例患者发生 HT,且发生和未发生 HT 患者 DWI-IVIM 参数及血清 Cys-C、Ficolin-3、CTRP-3 水平差异有统计学意义,说明溶栓后并发 HT 的 AIS 患者梗死区域脑组织微循环灌注受损更为严重,提示临床可通过上述指标变化选择合适溶栓治疗方案。国外学者研究发现,AIS 患者梗死区域的 DWI-IVIM 参数与 CBF 值相关,可用于评估 HT 引起的微血管灌注损伤^[21-22]。Ficolin-3 可介导细胞凋亡过程,具有激活、促进脑组织依赖性炎症反应过程,与脑损伤后继发性出血密切相关;Cys-C 可维持动脉内膜代谢平衡,可通过促进血管壁重构加剧动脉粥样硬化;CTRP-3 为一种新型脂肪因子,具有缓解机体炎症反应、调节免疫、改善动脉粥样硬化的作用^[23-25]。本研究发现 HT 患者 DWI-IVIM 参数与血清 Cys-C、Ficolin-3、CTRP-3 水平具有显著相关性,进一步证实其对 AIS 及并发 HT 的应用价值。基于上述研究结果,本研究尝试采用 ROC 分析 DWI-IVIM 对中青年 AIS 患者溶栓治疗后 HT 的预测价值,结果发现各参数联合预测 AUC 为 0.943,优于单一参数及各血清指标预测,具有较高预测价值。

综上所述,DWI 结合 IVIM 对于中青年脑梗死病情程度具有一定评估价值,临床可通过其预测溶栓治疗后 HT,以针对性给予干预措施,改善预后。

[参考文献]

- [1] Zhao Y, Zhang Y, Yang Y. Acute cerebral infarction with adenomyosis in a patient with fever: a case report [J]. BMC Neurol, 2020, 20(1): 210.
- [2] Wu W, Qiu C, Feng X, et al. Protective effect of paeoniflorin on acute cerebral infarction in rats [J]. Curr Pharm

- Biotechnol,2020,21(8):702-709.
- [3] Zhang S, Gao L, Wo X, et al. Clinical observation of mild hypothermia combined with intravenous thrombolysis in treating patients with acute cerebral infarction[J]. Pak J Med Sci,2021,37(7):1813-1818.
- [4] Zhong TT, Wang G, Wang XQ, et al. Serum calcium, albumin, globulin and matrix metalloproteinase-9 levels in acute cerebral infarction patients[J]. World J Clin Cases, 2021,9(30):9070-9076.
- [5] Sabben C, Desilles JP, Charbonneau F, et al. Early successful reperfusion after endovascular therapy reduces malignant middle cerebral artery infarction occurrence in young patients with large diffusion-weighted imaging lesions [J]. Eur J Neurol,2020,27(10):1988-1995.
- [6] Guo C, Zheng K, Xie Z, et al. Intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging as a quantitative tool for evaluating disease activity in patients with axial spondyloarthritis[J]. Clin Radiol,2022,77(6):434-441.
- [7] 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.中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018[J].中华神经科杂志,2018,51(9):666-682.
- [8] 刘春艳,谈鹰,姬晓伟,等.丁苯酞序贯治疗中青年急性脑梗死的疗效及安全性研究[J].浙江医学,2020,42(5):481-484.
- [9] Argyriou A, Kafetzakis A, Saratzis A, et al. Revascularization outcomes in patients with acute limb ischemia and active neoplastic disease[J]. J Endovasc Ther, 2021,28(1):100-106.
- [10] 郝若飞,范雪松.sdLDL-C 水平及其与 LDL-C 比值对急性脑梗死患溶栓后出血转化的预测价值[J].国际检验医学杂志,2023,44(2):183-186,191.
- [11] Tokumaru AM, Saito Y, Murayma S. Diffusion-weighted imaging is key to diagnosing specific diseases[J]. Magn Reson Imaging Clin N Am,2021,29(2):163-183.
- [12] Serai SD. Basics of magnetic resonance imaging and quantitative parameters T1, T2, T2*, T1rho and diffusion-weighted imaging[J]. Pediatr Radiol,2022,52(2):217-227.
- [13] Bergamino M, Nespodzany A, Baxter LC, et al. Preliminary assessment of intravoxel incoherent motion diffusion-weighted MRI (IVIM-DWI) metrics in Alzheimer's disease [J]. J Magn Reson Imaging,2020,52(6):1811-1826.
- [14] Lefebvre T, Hébert M, Bilodeau L, et al. Intravoxel incoherent motion diffusion-weighted MRI for the characterization of inflammation in chronic liver disease[J]. Eur Radiol,2021,31(3):1347-1358.
- [15] Wada DT, Koenigkam-Santos M. Editorial for "a comparative study of amide proton transfer weighted imaging (APT_w) and intravoxel incoherent motion (IVIM) MRI techniques and (18) F-FDG PET to distinguish solitary pulmonary lesions and their subtypes"[J]. J Magn Reson Imaging,2022,55(5):1391-1392.
- [16] Koopman T, Martens R, Gurney-Champion OJ, et al. Repeatability of IVIM biomarkers from diffusion-weighted MRI in head and neck; Bayesian probability versus neural network[J]. Magn Reson Med,2021,85(6):3394-3402.
- [17] 吴雅蔚,叶靖,王守安,等.基于三维动脉自旋标记灌注成像探讨体素内不相干运动成像对急性期脑梗死的应用价值[J].中国医学计算机成像杂志,2020,26(3):201-205.
- [18] Pavilla A, Gambarota G, Arrigo A, et al. Toward an intravoxel incoherent motion 2-in-1 magnetic resonance imaging sequence for ischemic stroke diagnosis? an initial clinical experience with 1.5T magnetic resonance [J]. J Comput Assist Tomogr,2022,46(1):110-115.
- [19] 陈涛,刘存国.短暂性脑缺血发作患者 IVIM 参数变化及其对预后的评估价值分析[J].检验医学与临床,2022,19(19):2605-2608.
- [20] 李璇,吴江,杨朝慧,等.MRA、3D-ASL 及 IVIM 技术在短暂性脑缺血发作中的应用价值研究[J].磁共振成像,2020,11(5):321-325.
- [21] Federau C, Wintermark M, Christensen S, et al. Collateral blood flow measurement with intravoxel incoherent motion perfusion imaging in hyperacute brain stroke[J]. Neurology, 2019,92(21):2462-2471.
- [22] Zhu G, Heit JJ, Martin BW, et al. Optimized Combination of b values for IVIM perfusion imaging in acute ischemic stroke patients[J]. Clin Neuroradiol,2020,30(3):535-544.
- [23] 刘慧纯,刘群会,贾敏,等.血清纤维胶凝蛋白 3 对急性脑梗死病人出血转化的预测价值[J].中西医结合心脑血管病杂志,2022,20(9):1690-1693.
- [24] 李大军,金平.血清 Cys-C、UA、CD4⁺、CD8⁺ 与脑梗死颅内动脉狭窄的关系及影响因素分析[J].中风与神经疾病杂志,2022,39(4):297-301.
- [25] Mourilhe-Rocha R, Bittencourt MI. CTRP-3 levels in patients with stable coronary artery disease and paroxysmal atrial fibrillation; a new potential biomarker in cardiovascular diseases[J]. Arq Bras Cardiol,2022,118(1):59-60.

(本文编辑:赵丽洁)