

论著·头颈部

MRI检查中DTI与DWI序列联合对短暂性脑缺血发作后ACI的预测价值分析*

李凯琳 李 蕾*

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 探讨磁共振(MRI)检查中弥散张量成像(DTI)联合弥散加权成像(DWI)对短暂性脑缺血发作后急性脑梗死(ACI)预测价值。方法 前瞻性选取2020年6月至2022年6月医院186例短暂性脑缺血发作患者,所有患者入院时均接受MRI检查,包括DTI序列与DWI序列。随访1年,统计患者ACI发生情况,并将其分为发生组与未发生组,对比两组基线资料及DTI序列与DWI序列参数,并分析DTI序列联合DWI序列对短暂性脑缺血发作后ACI的预测价值。结果 186例短暂性脑缺血发作患者中发生ACI 24例,占12.90%;与未发生组相比,发生组各向异性分数(FA)、平均扩散度(MD)、表观扩散系数(ADC)及相对ADC(rADC)值更低($t=4.670$ 、 2.632 、 7.153 、 6.471 , $P<0.05$);经点二列相关性分析,结果显示,FA、MD、ADC及rADC值与短暂性脑缺血发作后发生ACI呈负相关($r=-0.310$ 、 -0.195 、 -0.466 、 -0.431 , $P\leq 0.05$);经Logistic回归分析,结果显示,FA、MD、ADC及rADC值是短暂性脑缺血发作后ACI发生的保护因素($OR=0.000$ 、 0.014 、 0.971 、 0.822 , $P<0.05$);绘制受试者工作曲线(ROC)曲线,结果显示,FA、MD、ADC及rADC值预测短暂性脑缺血发作后ACI发生状况的AUC=0.766、0.713、0.843、0.824,具有一定预测价值,联合检测(AUC=0.885)预测价值更高。结论 在MRI检查中,短暂性脑缺血发作后ACI患者DTI与DWI序列参数明显降低,发病早期临床可通过观察FA、MD、ADC及rADC值预测ACI发生风险。

【关键词】短暂性脑缺血发作;磁共振;
弥散张量成像;弥散加权成像;
脑动脉粥样硬化性脑梗塞

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

【基金项目】江苏省优势学科建设

工程项目(YSHL0824-197)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.06.005

Analysis of the Predictive Value of the Combination of DTI and DWI Sequences in MRI Examination for ACI after Transient Ischemic Attack*

Li Kai-lin, Li Lei*

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

ABSTRACT

Objective To explore the predictive value of diffusion tensor imaging (DTI) combined with diffusion weighted imaging (DWI) in magnetic resonance imaging (MRI) for acute cerebral infarction (ACI) after transient ischemic attack. **Methods** A total of 186 patients with TIA who were admitted to our hospital from June 2020 to June 2022 were prospectively selected. All patients received MRI examination, including DTI sequence and DWI sequence, when they were admitted to our hospital. After one-year follow-up, the occurrence of ACI was counted and divided into two groups: the occurrence group and the non-occurrence group. The baseline data and DTI sequence and DWI sequence parameters of the two groups were compared, and the predictive value of DTI sequence combined with DWI sequence for ACI after TIA was analyzed. **Results** Among 186 patients with TIA, 24 cases (12.90%) had ACI; Compared with the non-occurrence group, the occurrence group had lower anisotropic fraction (FA), average diffusion degree (MD), apparent diffusion coefficient (ADC), and relative ADC(rADC) values ($t=4.670$, 2.632 , 7.153 , 6.471 , $P<0.05$); The two-point correlation analysis showed that FA, MD, ADC and rADC values had a negative correlation with ACI after TIA ($r=-0.310$, -0.195 , -0.466 , -0.431 , $P<0.05$). Logistic regression analysis showed that FA, MD, ADC and rADC values were the protective factors for ACI after TIA ($OR=0.000$, 0.014 , 0.971 , 0.822 , $P<0.05$). The working curve (ROC) of subjects was plotted. The results showed that AUC values of FA, MD, ADC and rADC for predicting the occurrence of ACI after TIA were AUC=0.766, 0.713, 0.843 and 0.824, which had some predictive value. The predictive value of the joint test (AUC=0.885) was higher. **Conclusion** In MRI examination, the sequence parameters of DTI and DWI in ACI patients after TIA are significantly reduced. In the early clinical stage of ACI, the risk of ACI can be predicted by observing FA, MD, ADC and rADC values.

Keywords: Transient Ischemic Attack; Magnetic Resonance; Diffusion Tensor Imaging; Diffusion Weighted Imaging; Cerebral Atherosclerotic Cerebral Infarction

短暂性脑缺血发作是一种常见的神经内科疾病,以眩晕、失语、偏瘫、行走不稳等为主要临床表现,发作时通常延续几分钟,症状无持续性,24h左右可自行恢复,无明显后遗症^[1-2]。但有研究指出,短暂性脑缺血发作是急性脑梗死(ACI)的重要危险因素,发病1年内,超过10%的短暂性脑缺血发作患者发生ACI,增加致残率及病死率^[3]。因此,针对症状持续时间长、发生频率较高的短暂性脑缺血发作患者临床应给予重视。现阶段,临床常采用磁共振(MRI)评估短暂性脑缺血发作患者病情,其中弥散张量成像(DTI)的各向异性分数(FA)、平均扩散度(MD)能够判断脑白质病理改变^[4];弥散加权成像(DWI)的表观扩散系数(ADC)及相对ADC(rADC)能够反映脑组织生理状态,均与短暂性脑缺血发作、ACI存在密切联系^[5]。但目前DTI联合DWI序列是否能够更为有效的预测短暂性脑缺血发作患者1年内ACI发生状况尚不清楚。基于此,本研究对短暂性脑缺血发作患者行MRI检查,旨在分析DTI、DWI序列参数对短暂性脑缺血发作后ACI预测价值,以期采取预防性治疗措施提供参考。现报道如下。

1 资料与方法

1.1 研究对象 前瞻性选取2020年6月至2022年6月医院186例短暂性脑缺血发作患者。

纳入标准:短暂性脑缺血发作符合《短暂性脑缺血发作的中国专家共识更新版》^[6]中相关诊断标准;接受MRI检查;患者或家属签署知情同意书。排除标准:合并癫痫发作、良性发作性眩晕;合并脱髓鞘病变、脑肿瘤、脑梗死等;安装金属义齿、血管内支架、心脏起搏器等无法完成MRI检查;合并颅内感染、颅内出血;所得图像资料伪影明显。

1.2 方法

1.2.1 MRI检查 入院时,所有患者均采用西门子公司生产的1.5T MAGNETOM Aera XJ或GE公司生产的1.5T磁共振 Optima MR360磁共振扫描仪进行检查,先行常规MR平扫,包括T1加权像(T1WI)、T2加权像(T2WI)序列。DTI:采用单次激发自旋回波-回波平面成像技术,重复时间/回波时间(TR/TE)=9000/95s,视野(FOV)=240mm×240mm,矩阵=128×128,90°翻转角,采集信号2次,层数=30层,层厚=5mm,无间隔采集,采用并行采集技术减小图像变形,画出感兴趣区,获取各向异性分数(FA)、平均扩散度(MD)。DWI: TR/TE=4000/90ms, FOV=19cm×19cm,矩阵=130×130,脉冲重复激

【第一作者】李凯琳,女,放射技师,主要研究方向:神经系统影像技术应用。E-mail: csio8216@21cn.com

【通讯作者】李 蕾,女,副主任医师,主要研究方向:头颈部、神经系统影像诊断。E-mail: csio8216@21cn.com

发次数(NEX)=3, 成像时间=44s, 增加相位编码、频率编码、层面选择方向扩散敏感梯度($b=1000\text{s/mm}^2$), $b=0$ 时取1张图像, $b=1000\text{s/mm}^2$ 时取X、Y、Z方向图像各1张。由自带图像处理软件获取表观扩散系数(ADC)图, 在 $b=1000\text{s/mm}^2$ 图像上表现为高信号, 相应的ADC图像表现为低信号视为DWI阳性, 读取ADC值及相对ADC值(rADC)。

1.2.2 ACI判定标准 患者1年内出现下列任一症状: (1)口角歪斜或一侧面部麻木, (2)一侧肢体麻木, (3)双眼向一侧凝视, (4)理解语言困难或说话不清, (5)眩晕伴呕吐, (6)双眼或一侧视力模糊/丧失, (7)意识障碍或抽搐, (8)严重头痛; 且经MRI检查见病变区域灰白质界限不清、脑沟不变浅、脑回部肿胀视为发生ACI。

1.3 观察指标 (1)将发生ACI的患者纳入发生组, 反之纳入未发生组, 记录两组基线资料, 包括性别、年龄、体重指数、发作症状(视觉缺损、失语、运动障碍、脑干症状、小脑症状)、症状持续时间(对于多次发作者, 以发作时间最长的一次记录作为症状持续时间)、饮酒史(有、无, 女性平均每日饮酒量 $>20\text{g}$, 男性平均每日饮酒量 $>40\text{g}$, 且饮酒史时间超过1个月; 或每月饮酒次数 >1 次, 且饮酒史时间超过6个月的患者视为有饮酒史)、吸烟史[有、无, 吸烟指数(每日吸烟支数 $\times$ 吸烟年限) ≥ 200 的患者视为有吸烟史]、高血压(有、无, 非同日2次经欧姆龙U16血压仪检测结果显示舒张压 $>90\text{mmHg}$ 或收缩压 $>140\text{mmHg}$ 的患者视为有高血压)、糖尿病(有、无, 空腹血糖值 $>7.0\text{mmol/L}$, 餐后2h血糖 $>11.1\text{mmol/L}$ 的患者视为有糖尿病)、冠心病(有、无, 将存在胸闷、胸痛、心绞痛等典型症状, 疾病发作时经心电图检查见ST-T变化的患者视为有冠心病)。(2)对比ACI发生组与未发生组FA、MD、ADC及rADC值。

压)、糖尿病(有、无, 空腹血糖值 $>7.0\text{mmol/L}$, 餐后2h血糖 $>11.1\text{mmol/L}$ 的患者视为有糖尿病)、冠心病(有、无, 将存在胸闷、胸痛、心绞痛等典型症状, 疾病发作时经心电图检查见ST-T变化的患者视为有冠心病)。(2)对比ACI发生组与未发生组FA、MD、ADC及rADC值。

1.4 统计学方法 数据处理采用SPSS 23.0软件, 计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示, 以t检验; 计数资料用n(%)表示, 以 χ^2 检验; FA、MD、ADC及rADC值与短暂性脑缺血发作后ACI的关系, 采用点二列相关性分析检验; FA、MD、ADC及rADC值对短暂性脑缺血发作后ACI的影响, 采用Logistic回归分析检验; 绘制受试者工作曲线(ROC)曲线, 分析FA、MD、ADC及rADC值预测短暂性脑缺血发作后ACI的价值, $AUC \leq 0.50$ 视为无预测价值; $0.50 < AUC \leq 0.70$ 视为预测价值较低; $0.70 < AUC \leq 0.9$ 视为预测价值中等; $AUC > 0.9$ 视为预测价值较高, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 短暂性脑缺血发作后ACI发生状况 186例短暂性脑缺血发作患者中发生ACI 24例, 占12.90%。

2.2 ACI发生组与未发生组基线资料比较 ACI发生组与未发生组性别、年龄、体重指数、发作症状、症状持续时间等基线资料比较, 差异不显著($P > 0.05$)。见表1。

表1 ACI发生组与未发生组基线资料比较

基线资料		发生组(n=24)	未发生组(n=162)	统计值	P
性别[例(%)]	男(n=86)	13(54.17)	73(45.06)	$\chi^2=0.697$	0.404
	女(n=100)	11(45.83)	89(54.94)		
年龄(岁)		63.41 $\pm$ 6.17	61.96 $\pm$ 7.34	t=0.920	0.359
体重指数(kg/m ²)		26.22 $\pm$ 2.28	25.86 $\pm$ 2.17	t=0.754	0.452
发作症状[例(%)]	视觉缺损(n=20)	3(12.50)	17(10.49)	$\chi^2=0.003$	0.955
	失语(n=135)	19(79.17)	116(71.60)	$\chi^2=0.601$	0.438
	运动障碍(n=149)	21(87.50)	128(79.01)	$\chi^2=0.487$	0.485
	脑干症状(n=26)	4(16.67)	22(13.58)	$\chi^2=0.008$	0.927
	小脑症状(n=29)	3(12.50)	26(16.05)	$\chi^2=0.021$	0.884
症状持续时间(min)		41.28 $\pm$ 12.63	37.85 $\pm$ 15.73	t=1.020	0.309
饮酒史[例(%)]	合并(n=32)	5(20.83)	27(16.67)	$\chi^2=0.046$	0.830
	未合并(n=154)	19(79.17)	135(83.33)		
吸烟史[例(%)]	合并(n=51)	8(33.33)	43(26.54)	$\chi^2=0.484$	0.487
	未合并(n=135)	16(66.67)	119(73.46)		
高血压[例(%)]	有(n=70)	11(45.83)	61(37.65)	$\chi^2=0.589$	0.443
	无(n=116)	13(54.17)	101(62.35)		
糖尿病[例(%)]	有(n=21)	2(8.33)	19(11.73)	$\chi^2=0.021$	0.885
	无(n=165)	22(91.67)	143(88.27)		
冠心病[例(%)]	有(n=38)	6(25.00)	32(19.75)	$\chi^2=0.105$	0.746
	无(n=148)	18(75.00)	130(80.25)		

2.3 ACI发生组与未发生组FA、MD、ADC及rADC值比较 与未发生组相比, 发生组FA、MD、ADC及rADC值更低($P < 0.05$)。见表2。

表2 ACI发生组与未发生组FA、MD、ADC及rADC值比较

组别	FA值($\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$)	MD值($\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$)	ADC值($\times 10^{-6}\text{mm}^2/\text{s}$)	rADC值(%)
发生组(n=24)	0.28 $\pm$ 0.09	0.74 $\pm$ 0.26	523.62 $\pm$ 62.71	69.29 $\pm$ 8.52
未发生组(n=162)	0.39 $\pm$ 0.11	0.91 $\pm$ 0.30	602.81 $\pm$ 48.64	80.06 $\pm$ 7.47
t	4.670	2.632	7.153	6.471
P	0.000	0.009	0.000	0.000

2.4 FA、MD、ADC及rADC值与短暂性脑缺血发作后ACI的关系
经点二列相关性分析,结果显示,FA、MD、ADC及rADC值与短暂性脑缺血发作后发生ACI呈负相关($r<0$, P 均 <0.05)。见表3。

2.5 FA、MD、ADC及rADC值对短暂性脑缺血发作后ACI的影响
将FA、MD、ADC及rADC值作为自变量(均为连续变量),将短暂性脑缺血发作后1年内ACI发生状况作为因变量(1=发生, 0=未发生),经Logistic回归分析,结果显示,FA、MD、ADC及rADC值是短暂

性脑缺血发作后ACI发生的保护因素($OR<1$, $P<0.05$)。见表4。
2.6 FA、MD、ADC及rADC值预测短暂性脑缺血发作后ACI的价值
将FA、MD、ADC及rADC值作为检验变量,将短暂性脑缺血发作后1年内ACI发生状况作为检验变量(1=发生, 0=未发生),绘制ROC曲线(见图1),结果显示,FA、MD、ADC及rADC值预测短暂性脑缺血发作后ACI发生状况的AUC均 >0.7 ,具有一定预测价值,联合检测预测价值更高。相关参数见表5。

表3 FA、MD、ADC及rADC值与短暂性脑缺血发作后ACI的关系

指标	r	P
FA值	-0.310	0.000
MD值	-0.195	0.008
ADC值	-0.466	0.000
rADC值	-0.431	0.000

表4 FA、MD、ADC及rADC值对短暂性脑缺血发作后ACI的影响

指标	β	标准误	Wald χ^2	P值	OR	95%置信区间
FA值	-15.885	4.770	11.092	0.001	0.000	0.000-0.001
MD值	-4.246	1.517	7.834	0.005	0.014	0.001-0.280
ADC值	-0.029	0.008	13.999	0.000	0.971	0.957-0.986
rADC值	-0.196	0.057	11.918	0.001	0.822	0.736-0.919

表5 FA、MD、ADC及rADC值预测短暂性脑缺血发作后ACI的价值

检验变量	AUC	标准误	P	95%CI	cut-off值	敏感度	特异性	约登指数
FA值	0.766	0.043	0.000	0.681-0.850	$0.305\times10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$	0.778	0.667	0.445
MD值	0.713	0.050	0.001	0.615-0.811	$0.755\times10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$	0.716	0.708	0.424
ADC值	0.843	0.045	0.000	0.755-0.930	$543.505\times10^{-6}\text{mm}^2/\text{s}$	0.889	0.667	0.556
rADC值	0.824	0.044	0.000	0.738-0.909	73.170%	0.809	0.625	0.434
联合	0.885	0.040	0.000	0.807-0.963	-	0.920	0.625	0.545

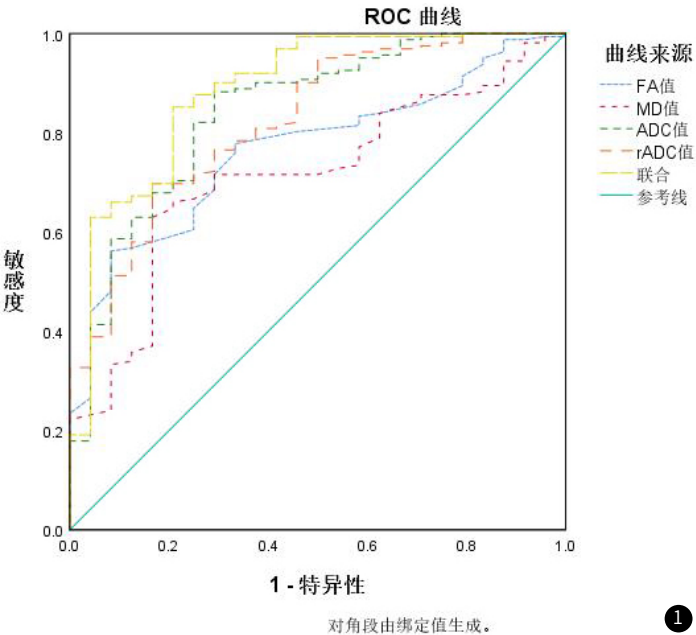


图1 FA、MD、ADC及rADC值预测短暂性脑缺血发作后ACI的ROC图

3 讨论

短暂性脑缺血发作的发生机制与ACI极为相似,主要是由于局部脑、视网膜、脊髓缺血导致的短暂性、可逆性神经功能障碍,但无ACI证据^[7]。既往研究认为,短暂性脑缺血发作属良性脑血管疾病,症状持续时间较短,能够自行恢复,故而时常被忽略,发病早期未对其进行有效干预,造成部分患者发生ACI,

影响患者预后^[8-9]。本研究中,186例短暂性脑缺血发作患者中发生ACI 24例,占12.90%,可见短暂性脑缺血发作后ACI发生率较高。因此,早期预测短暂性脑缺血发作后ACI发生风险,并及时采取相关干预措施,对改善患者预后具有重要意义。既往临床常采用ABCD2评分评估短暂性脑缺血发作疾病情况,主要是通过患者年龄、临床症状、症状持续时间、糖尿病、血压等进行评估,可在一定程度上反映短暂性脑缺血发作患者病情,但单纯使用该指标预测ACI发生风险准确性仍不足,故此临床仍需积极探索其他评估方法。

DWI是一种监测生物活体内水分子运动的无创性成像技术,可反映体内水分子弥散运动^[10]。与MRI平扫序列相比,DWI能够反映在温度影响下水分子的随机、无规则扩散情况。在T1WI、T2WI序列中弥散运动信号较弱,而DWI序列在常规扫描序列上增加1对梯度脉冲,以增强水分子弥散运动敏感度,获得弥散运动图像。在健康人群中,机体水分子弥散运动不受限制,其在DWI图像上呈低信号表达,而当短暂性脑缺血发作时,脑细胞由于缺血、缺氧会出现肿胀性损害,发生细胞膜除极,致使水分子进入细胞,产生毒性水肿,从而限制水分子弥散运动,并在DWI图像上呈高信号表达^[11-12]。ADC及rADC值是描述生物活体扩散成像上观察到的表现信息的重要参数,受脑脊液、血流、血管搏动、细胞膜通透性、细胞内外水的黏滞度等诸多因素影响^[13]。已有研究证实,ADC、rADC值降低与脑部缺血性损伤有关^[14]。本研究结果也显示,短暂性脑缺血发作后ACI发生组ADC、rADC值更低;进一步经Logistic回归分析,结果显示ADC及rADC值是短暂性脑缺血发作后ACI发生的保护因素。国外研究表明,在ACI患者中ADC值明显降低意味着存在梗死病灶^[15]。ADC、rADC值持续下降可在

一定程度上反映短暂性脑缺血发作患者产生持续性脑组织损伤和生物能量衰竭,易引发ACI。

DTI是在弥散加权成像基础上发展而来的一种无创性、功能性成像技术,能够反映组织结构空间方向性及完整性,定量分析轴突、髓鞘等组织微观物理特性^[16-17]。相关研究指出,缺血缺氧性脑病是通过氧化损伤来破坏轴突、髓鞘的完整性^[18]。由此推测,DTI能够定量分析短暂性脑缺血发作患者缺血脑组织的病理变化。FA、MD值是DTI常用参数,是评估神经纤维束完整性的重要参数,可有效反应神经纤维束走向、密集程度与完整性,其在缺血缺氧性脑病中较低,可早期诊断缺血缺氧性脑病,并用于评估患者病情严重程度^[19-20];此外,缺血处脑组织神经胶质细胞、轴突、神经元等遭到破坏,也可引起FA、MD值降低^[21]。本研究对比ACI发生组与未发生组DTI参数(FA、MD值),结果显示,发生组FA、MD值更低,初步表明FA、MD值与短暂性脑缺血发作后ACI相关;且经点二列相关性分析证实,FA、MD值与短暂性脑缺血发作后发生ACI呈负相关,即FA、MD值越低,ACI发生风险越高。其原因可能是由于,短暂性脑缺血发作时,髓鞘肿胀、细胞毒性水肿,会明显限制垂直于神经纤维束走行方向的水分子扩散运动,甚至导致其停止,从而引起FA、MD值降低。

最后绘制ROC曲线,结果显示,FA、MD、ADC及rADC值预测短暂性脑缺血发作后ACI发生状况的AUC均>0.7,具有一定预测价值,当cut-off值分别取 $0.305 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 、 $0.755 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 、 $543.505 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ 、73.170%时可获得最佳预测价值,联合检测预测价值更高。临床应密切关注短暂性脑缺血发作患者DTI与DWI序列中FA、MD、ADC及rADC值,针对ACI发生风险较高的患者嘱咐其适度锻炼、采取低脂饮食,必要时给予抗血小板聚集类药物,以预防ACI发生。

综上所述,短暂性脑缺血发作后ACI患者DTI与DWI序列参数明显降低,发病早期临床可通过观察FA、MD、ADC及rADC值预测ACI发生风险,并对患者进行风险分层,早期采取预防性干预措施,以改善患者预后。

参考文献

- [1] Foschi M, Padroni M, Abu-Rumeileh S, et al. Diagnostic and prognostic blood biomarkers in transient ischemic attack and minor ischemic stroke: an up-to-date narrative review[J]. *J Stroke and Cerebrovasc Dis*, 2022, 31(3): 106292.
- [2] Ismail M, Mok V C, Wong A, et al. Risk factors for delayed-onset dementia after stroke or transient ischemic attack—a five-year longitudinal cohort study[J]. *Int J Stroke*, 2022, 17(5): 517–525.
- [3] Hong-Yan, Zhi-Hua, Jia-Cheng, et al. Assessment of cerebral infarction after transient cerebral ischemic attack by ABCD2 score combined with the position of intracranial vascular stenosis[J]. *Medicine*, 2019, 98(15): e15081.
- [4] Manal S, Radu B, Bauer S, et al. Transient microstructural brain anomalies and epileptiform discharges in mice defective for epilepsy and language-related NMDA receptor subunit gene Grin2a[J]. *Epilepsia*, 2018, 59(10): 1919–1930.
- [5] Zhang C, Zang Y, Song Q, et al. Effects of butylphthalide injection on treatment of transient ischemic attack as shown by diffusion-weighted magnetic resonance imaging abnormality[J]. *Int J Neurosci*, 2020, 130(5): 454–460.
- [6] 短暂性脑缺血发作中国专家共识组. 短暂性脑缺血发作的中国专家共识更新版(2011年)[J]. *中华内科杂志*, 2011, 50(6): 530–533.
- [7] Hiremath N, Kate M, Mohimen A, et al. Risk factors of white matter hyperintensities in South Asian patients with transient ischemic attack and minor stroke[J]. *Neuroradiology*, 2020, 62(10): 1279–1284.
- [8] Xiao J, Padrick MM, Jiang T, et al. Acute ischemic stroke versus transient ischemic attack: differential plaque morphological features in symptomatic intracranial atherosclerotic lesions[J]. *Atherosclerosis*, 2021, 319(1): 72–78.
- [9] Lin Y, Guo S, Liu X, et al. Metabolic syndrome is associated with cognitive impairment after transient ischemic attack/mild stroke, but does not affect cognitive recovery in short term[J]. *Neuro Report*, 2020, 31(12): 918–922.
- [10] Aiba Y, Sakakibara R, Tateno F, et al. Transient ischemic attack: which determines diffusion-weighted image positivity? [J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2019, 28(12): 104397.
- [11] Hotter B, Galinovic I, Kunze C, et al. High-resolution diffusion-weighted imaging identifies ischemic lesions in a majority of transient ischemic attack patients[J]. *Ann Neurol*, 2019, 86(3): 452–457.
- [12] Song B, Cao Y, Pei L, et al. Efficacy of high-intensity statin use for transient ischemic attack patients with positive diffusion-weighted imaging[J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 1173.
- [13] Pei L, Song B, Fang H, et al. Combining diffusion-weighted imaging patterns with abcd2 score predicts stroke risk after transient ischemic attack[J]. *Curr neurovasc res*, 2018, 15(4): 298–304.
- [14] Jia Z, Song Y, Hu W. Dysphasia is associated with diffusion-weighted MRI abnormalities in patients with transient neurological symptoms[J]. *Neurol sci*, 2020, 41(7): 1765–1771.
- [15] Bevers MB, Battey TWK, Ostwaldt AC, et al. Apparent diffusion coefficient signal intensity ratio predicts the effect of revascularization on ischemic cerebral edema[J]. *Cerebrovasc Dis*, 2018, 28(45): 93–100.
- [16] Garibay-Pulido D, Cendejas-Zaragoza L, Dawe R, et al. Parametric subtracted post-ictal diffusion tensor imaging for guiding direct neurostimulation therapy[J]. *Hippocampus*, 2019, 29(5): 468–478.
- [17] 郭鹏德, 赵朋波, 赵晶, 等. MR扩散张量成像评估非动脉炎性前部缺血性视神经病变进展程度的价值[J]. *中华放射学杂志*, 2018, 52(10): 761–765.
- [18] 马青. 缺血缺氧性脑病脑损伤早期诊断及预后评估影像学进展[J]. *医学影像学杂志*, 2021, 31(3): 517–520.
- [19] 王红梅, 王春燕, 张慎和. 磁共振弥散张量成像联合ABCD2评分、D-二聚体对短暂性脑缺血后卒中发生的预测价值[J]. *临床和实验医学杂志*, 2022, 21(12): 1321–1325.
- [20] Liang S, Zhang J, Zhang Q, et al. Longitudinal tracing of white matter integrity on diffusion tensor imaging in the chronic cerebral ischemia and acute cerebral ischemia[J]. *Brain Res Bull*, 2020, 45(154): 135–141.
- [21] 杨景达, 王夏蕾, 梁胜祥, 等. 基于DTI和MRS探讨ApoE-/-小鼠短暂性全脑缺血后认知功能变化的机制[J]. *中华神经医学杂志*, 2020, 19(4): 337–343.

(收稿日期: 2023-08-16)

(校对编辑: 赵望淇)