

三维 T1 加权可变反转角快速自旋回波序列管壁成像技术在颅内动脉狭窄支架术后随访中的应用

邵秋季, 李 强, 李天晓, 李 立, 常凯涛, 吴桥伟, 王梅云

【摘要】 目的 探讨三维 T1 加权可变反转角快速自旋回波序列(3D T1-SPACE)血管壁成像技术在颅内动脉狭窄支架植入术后随访中的应用价值。**方法** 前瞻性纳入 2017 年 4 月至 2018 年 6 月河南省人民医院收治的 15 例颅内动脉粥样硬化性重度狭窄支架植入术后 6~8 个月患者, 分别接受 3D T1-SPACE 扫描和 DSA 造影检查, 评价术后支架内管腔狭窄程度和血管壁强化情况。采用 Pearson 相关分析比较支架植入术后两种血管成像技术测量狭窄率的一致性。**结果** 15 例患者中植入 Enterprise 支架 8 例, Wingspan 支架 7 例; 术前平均狭窄率为 $(81.60 \pm 8.67)\%$, 随访复查 DSA 狭窄率为 $40(30 \sim 72)\%$; DSA 复查支架内再狭窄(ISR)发生率为 $26.7\%(4/15)$ 。3D T1-SPACE 测得术后狭窄率为 $35(30 \sim 75)\%$, 增强扫描显示 5 例支架内斑块强化, 其中强化程度 2 级 4 例(均为 ISR 患者), 1 级 1 例。Pearson 相关分析显示 $r=0.959, P<0.05$, Bland Altman 图显示全部数据点均位于一致性界限内($\bar{x} \pm 1.96s$)。**结论** 3D T1-SPACE 作为一种无创性血管成像技术, 表现出与 DSA 良好的一致性, 可应用于颅内动脉狭窄支架植入术后随访。

【关键词】 颅内动脉狭窄; 支架内再狭窄; 磁共振成像; 随访

中图分类号: R743.4 文献标志码: A 文章编号: 1008-794X(2020)-08-0753-05

The application of 3D T1-SPACE vessel wall imaging in the follow-up of stent implantation for intracranial arterial stenosis SHAO Qiuji, LI Qiang, LI Tianxiao, LI Li, CHANG Kaitao, WU Qiaowei, WANG Meiyun. Department of Cerebrovascular Diseases, Henan Provincial People's Hospital, Zhengzhou, Henan Province 450003, China

Corresponding author: LI Tianxiao, E-mail: dr.litianxiao@vip.163.com

【Abstract】 Objective To evaluate three dimensional T1 weighted sampling perfection with application-optimized contrasts by using different flip angle evolutions(3D T1-SPACE) vessel wall imaging in the follow-up of stent implantation for intracranial arterial stenosis. **Methods** A total of 15 patients, who received stent implantation for the treatment of severe intracranial atherosclerotic stenosis during the period from April 2017 to June 2018 at Henan Provincial People's Hospital of China, were prospectively enrolled in this study. Within 6-8 months after stent implantation, both 3D T1-SPACE MR scan and digital subtraction angiography(DSA) were performed to evaluate the degree of in-stent lumen stenosis and the enhancement of the vessel wall. Pearson correlation analysis was used to evaluate the consistency of stenosis rates measured by two vascular imaging techniques. **Results** A total of 8 Enterprise stents and 7 Wingspan stents were implanted in the 15 patients. The preoperative average stenosis rate was $(81.60 \pm 8.67)\%$. The follow-up DSA showed that the average stenosis rate was 40% (range of $30\%-72\%$); the incidence of in-stent restenosis(ISR) was 26.7% ($4/15$). The stenosis rate measured by 3D T1-SPACE was 35% (range of $30\%-75\%$). Enhanced MRI scan

DOI: 10.3969/j.issn.1008-794X.2020.08.003

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目(2016YFC1300702)、河南省科技攻关项目(192102310363)

作者单位: 450003 郑州 河南省人民医院脑血管病科(邵秋季、李天晓、李 立、常凯涛、吴桥伟)、影像科(李 强、王梅云)

通信作者: 李天晓 E-mail: dr.litianxiao@vip.163.com

revealed that enhancement of in-stent plaque was observed in 5 patients, among them enhancement level II was seen in 4 patients(all were ISR patients) and enhancement level I was seen in one patient. Pearson correlation analysis showed that the coefficient between the two methods was 0.959 ($P < 0.05$), and Bland Altman graph showed that all data points were within the consistency limits ($\bar{x} \pm 1.96s$). **Conclusion** As a noninvasive vascular imaging examination, 3D T1-SPACE MR shows an excellent consistency with DSA in displaying the in-stent lumen stenosis. Therefore, this technique can be used in postoperative follow-up of stent implantation for intracranial artery stenosis. (J Intervent Radiol, 2020, 29: 753-757)

[Key words] intracranial artery stenosis; in-stent restenosis; magnetic resonance imaging; follow-up

颅内动脉粥样硬化性狭窄是亚洲人群缺血性卒中最常见原因^[1]。颅内支架为除药物抗栓外治疗颅内动脉重度狭窄的重要手段,已在临床广泛应用^[2-5]。颅内支架植入术后部分患者可出现支架内再狭窄(ISR),多项临床研究证实颅内支架治疗症状性颅内动脉粥样硬化性狭窄后再狭窄率可达20%~30%,因此支架植入术后定期影像学复查十分必要^[6]。DSA虽为脑血管病诊疗“金标准”,但属有创性检查。近年来高分辨率磁共振血管壁成像(high resolution magnetic resonance vessel wall imaging, HRMR-VWI)技术不断完善,在脑血管病诊疗方面应用日益成熟。三维T1加权可变反转角快速自旋回波序列(3D T1 weighted sampling perfection with application-optimized contrasts by using different flip angle evolutions, 3D T1-SPACE)成像技术,可同时提供三维大范围、高空间分辨率的颅内动脉管壁成像,目前已应用于颅内血管壁成像领域并取得较好效果^[10]。常规MRA显示支架段管腔时因受支架金属伪影和支架磁场屏蔽效应影响,易误认为支架内

血管假性狭窄或闭塞^[11]。因此,本研究探索性应用3D T1-SPACE成像技术对颅内动脉狭窄支架植入术后患者进行随访。现将研究结果报道如下。

1 材料与方法

1.1 患者基本资料

前瞻性纳入2017年4月至2018年6月河南省人民医院收治的15例颅内动脉粥样硬化性重度狭窄支架植入术后随访复查患者。其中男11例,女4例,平均年龄(56 ± 11)岁;脑梗死9例,短暂性脑缺血发作(TIA)6例,均为症状性颅内动脉粥样硬化性狭窄($\geq 70\%$);所有患者中伴有高血压8例,糖尿病4例,高脂血症7例,吸烟史4例,冠心病史3例,既往脑卒中史4例;前循环颅内血管狭窄5例(大脑中动脉M1段狭窄4例,颈内动脉C7段狭窄1例),后循环病变10例(基底动脉狭窄6例,椎动脉颅内段4例);手术时分别植入为Wingspan、Enterprise支架。支架植入术后6~8个月,所有患者均接受3D T1-SPACE和DSA造影复查(表1)。

表1 颅内动脉狭窄支架术后3D T1-SPACE和DSA随访结果

患者	年龄/性别	狭窄部位	支架及尺寸/mm	术前狭窄率/%	术后即刻狭窄率/%	DSA狭窄率/%	随访/月	ISR	复查间隔/d	MRI狭窄率/%	强化程度	症状
1	64/M	V4	Enterprise 4.5×22	80	33	35	7	否	2	40	0	—
2	78/M	BA	Enterprise 4.5×22	85	38	35	6	否	1	33	0	—
3	71/F	BA	Enterprise 4.5×22	90	41	45	7	否	1	49	0	—
4	54/M	ICA-C7	Wingspan 3×20	75	30	21	6	否	2	28	0	—
5	44/M	M1	Enterprise 4.5×14	72	34	26	8	否	1	28	1	TIA
6	63/M	BA	Enterprise 4.5×14	90	39	38	6	否	1	30	0	—
7	55/M	M1	Wingspan 3×15	70	15	15	7	否	3	28	0	—
8	41/F	M1	Wingspan 3×9	80	10	72	8	是	1	78	2	—
9	54/M	BA	Enterprise 4.5×14	90	40	40	6	否	2	35	0	—
10	54/F	V4	Wingspan 3×15	85	36	85	7	是	1	90	2	TIA
11	48/M	BA	Wingspan 3×15	87	35	30	8	否	2	35	0	—
12	40/F	M1	Wingspan 3×15	70	32	80	6	是	1	75	2	—
13	60/M	V4	Wingspan 3.5×15	92	30	42	7	否	1	35	0	—
14	54/M	BA	Enterprise 4.5×22	88	51	90	6	是	2	82	2	—
15	61/M	V4	Enterprise 4.5×14	70	35	40	7	否	2	32	0	—

M: 男; F: 女; V4: 椎动脉颅内段; BA: 基底动脉; ICA-C7: 颈内动脉C7段; M1: 大脑中动脉M1段

1.2 3D T1-SPACE 测量

采用 Prisma 3.0T MR 系统和 64 通道相控阵头颈联合线圈(德国 Siemens 公司),3D T1-SPACE 扫描参数:TR=900 ms, TE=14 ms, 矩阵=320×320, 视野=17 cm×17 cm, 层厚=0.5 mm, 层数=224, 扫描时间=8 min 29 s。对比剂为钆喷酸葡胺(静脉注射, 剂量为 0.2 mmol/kg)。对 3D 薄层图像进行后处理, 将 3D T1-SPACE 序列原始图像导入 Siemens 工作站, 依据目标血管走行, 从矢状位、冠状位和横轴位图像综合判定支架内最狭窄位置, 重建血管长轴和短轴; 用工作站测量工具测量靶血管远近端和最狭窄段直径。

1.3 DSA 复查

局部麻醉下, 采用改良 Seldinger 技术经股动脉或桡动脉穿刺置管, 作目标血管正、侧位造影和 3D 旋转造影; 通过 3D 后处理系统选取支架植入段最佳投射角度后, 对狭窄病变作放大 2D 造影, 以便最佳显示支架段血管狭窄情况; 采用 RadiAnt DICOM Viewer 软件进行测量。

1.4 狭窄测量与评价方法

2 名经验丰富的神经介入专家分别对 3D T1-SPACE 和 DSA 影像进行盲法阅片和测量, 结果不一致时通过共同阅片, 最终达成共识。

评价方法:①WASID 测量法^[12]——狭窄程度(%)=[1-(狭窄管径/正常管径)]×100%(公式中狭窄管径为支架段狭窄程度最严重的动脉直径, 正常管径为近端正常动脉管径)。②斑块强化程度——无强化、强化程度≤正常管壁为 0 级; 轻度强化、强化程度高于正常管壁, 但低于垂体组织为 1 级; 明显强化、强化程度≥垂体组织为 2 级。③图像质量评分——伪影明显, 无法辨别解剖结构为 1 级; 可见伪影, 但可显示解剖结构, 图像质量较好为 2 级; 无伪影, 显

示解剖结构清楚, 图像质量清晰为 3 级。④ISR 定义——支架内或支架两侧 5 mm(或 3 mm)范围内狭窄程度>50%; 或支架术后残余狭窄为 30%~50%患者绝对管腔缩窄>20%。

1.5 统计学分析

采用 SPSS 23.0 软件进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示, 分类变量以 $n(\%)$ 表示。3D T1-SPACE 技术测量狭窄率、2 名专家阅片结果的一致性检验用组内相关系数(ICC)法, 3D T1-SPACE 和 DSA 测量狭窄率一致性检验用 Bland Altman 法, 两种血管成像方法测量支架段管腔狭窄率一致性比较用 Pearson 相关分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

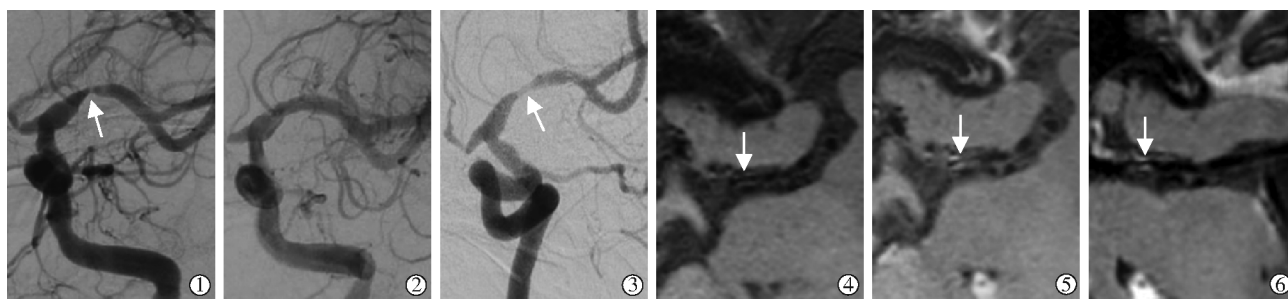
2 结果

15 例患者植入颅内支架, 其中 8 例为 Enterprise 支架, 7 例为 Wingspan 支架; 术前平均狭窄率为 $(81.60 \pm 8.67)\%$, 术后残余狭窄率为 35(30~39)%; 术后 6~8 个月, DSA 复查狭窄率为 40(30~72)%, ISR 发生率为 26.7%(4/15)(表 1)。2 名阅片者经 MRI 测得狭窄率 ICC=0.959, $P < 0.001$, 表明专家测量结果信度较好。3D T1-SPACE 和 DSA 复查间隔时间为 1~3 d。3D T1-SPACE 测得术后狭窄率为 35(30~75)%; 3D T1-SPACE 显示, 15 例患者支架段颅内血管图像质量均为 3 级, 清晰、无伪影(图 1), 增强扫描显示 5 例支架内斑块强化, 其中强化程度 2 级 4 例(均为 ISR 患者)(图 2), 1 级 1 例。2 例复查前出现 TIA, 其中 1 例因椎动脉颅内段 ISR。Pearson 相关分析显示两种方法评估狭窄率 $r=0.959$, $P < 0.05$, 表明颅内支架术后复查中 3D T1-SPACE 与 DSA 测得的狭窄率有极强的一致性(图 3)。



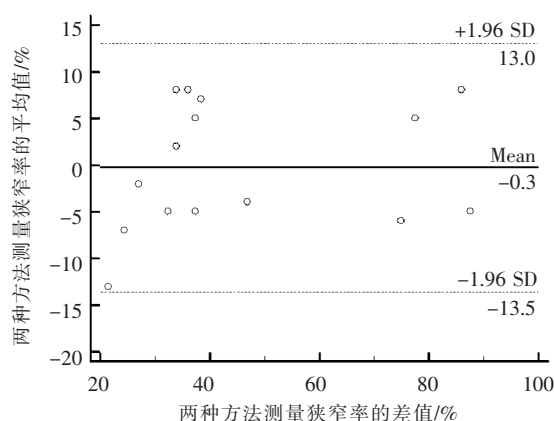
患者男, 48 岁, 后循环 TIA 起病:①术前 DSA 造影示基底动脉中段狭窄率 87%;②2.25 mm×9 mm Gateway 球囊扩张+3 mm×15 mm Wingspan 支架植入术后造影示残余狭窄率 35%;③术后 8 个月复查造影示支架内最狭窄处狭窄率为 30%;④同期 3D T1-SPACE 血管长轴位扫描示基底动脉全程显影清晰, 无伪影;⑤3D T1-SPACE 长轴位增强扫描;⑥短轴位增强扫描示支架内最狭窄处狭窄率为 35%, 狭窄斑块区域未见明显强化(图中实箭头均示狭窄处, 虚箭头示开窗畸形)

图 1 基底动脉狭窄支架术后随访影像



患者女, 47 岁: ①术前 DSA 造影显示左侧大脑中动脉 M1 段狭窄率 80%; ②2 mm×9 mm Gateway 球囊扩张+3.5 mm×9 mm Wingspan 支架植入术后造影显示残余狭窄率 10%; ③术后 8 个月复查造影显示支架内狭窄率 72%, 考虑为 ISR; ④同期 3D T1-SPACE 扫描复查显示支架内狭窄率为 78% (箭头); ⑤增强扫描显示支架内狭窄段明显强化 (箭头); ⑥支架段血管长轴位重建增强扫描显示再狭窄段明显强化 (箭头)

图 2 左侧大脑中动脉 M1 段狭窄支架植入术后 ISR 影像



实线代表差值均数; 虚线间区域代表差值 95% 置信区间, 即为一致性界限 $\bar{x} \pm 1.96s$

图 3 3D T1-SPACE 和 DSA 测量狭窄率一致性 Bland Altman 散点图

3 讨论

颅内动脉狭窄支架成形术目前多应用自膨式支架。Wingspan 为颅内狭窄专用支架, 开环设计, 径向支撑力好; Enterprise 为闭环结构, 径向支撑力稍弱, 但更易到位和释放, 尤其是面对病变相对复杂的迂曲血管。临床实际操作中术者一般更注重提高手术成功率、降低操作并发症, 并不过分追求血管影像学美观和低残余狭窄率。颅内支架 ISR 具体机制尚不明确, 目前普遍认为血管内膜过度增生是主要原因, 尤以支架术后 3~6 个月血管平滑肌细胞增生明显^[13]。ISR 发生是多种因素共同作用的结果, 与糖尿病、患者 ≤ 55 岁、前循环病变 (如颈内动脉虹吸段、大脑中动脉等部位)、长阶段病变 (> 10 mm) 以及支架术后残余狭窄重、术后抗血小板不充分等因素有关^[6]。

传统的颅内支架植入术后复查多采用 DSA 和 CTA^[14]。DSA 可准确定位植入支架位置, 反映支架内管腔及脑血流变化, 但为有创性检查, 有较低的操作并发症; CTA 组织分辨率高, 支架形态清晰, 但

有一定金属伪影, 易受血管钙化等影响, 且无法判断支架内成分 (斑块和血栓)。3D-时间飞跃法 (TOF) MRA 无创性、无辐射暴露, 操作简单, 临床上应用较为广泛^[15], 但由于支架金属伪影和支架对磁场屏蔽效应, 支架植入区域信号有一定缺失, 具体表现为支架内管腔狭窄甚至闭塞, 因此可能高估 ISR 程度; 定量 MRA (QMRA) 通过传统 TOF MRA 和相位对比 MRI 观察颅内支架术后随访中患者血管解剖和测量血流, 一般以血流降低 $> 25\%$ 判断 ISR, 但脑血流会受患者年龄、血压、血流测量位置等诸多因素影响^[16]。

高分辨率 MRI 技术可同时完成颅内血管管腔和管壁评价, 为颅内动脉狭窄诊疗提供更多有价值信息, 如管腔狭窄程度、斑块位置、斑块负荷、重构方式、斑块易损性等^[17-18]。近年 HRMR-VWI 技术逐渐应用于更多种脑血管病诊疗, 如急性脑卒中时颅内动脉狭窄/闭塞强化特点分析、颅内静脉窦血栓显示、颅内未破裂动脉瘤破裂风险预测等^[19-21]。相对于以往高分辨率 MRI 技术扫描范围有限、图像采集时间长等问题, 3D T1-SPACE 应用各向同性容积扫描, 可行任意层面 3D 重建, 具有覆盖范围广、扫描时间短等优势, 能对颅内动脉壁全景成像。颅内血管解剖结构细微复杂, 且颅内动脉硬化患者血管走行常迂曲, 颅内 ISR 主要由颅内斑块或血栓引起, 因此本研究尝试采用 3D T1-SPACE 序列扫描复查颅内支架术后 ISR。

3D T1-SPACE 成像技术通过抑制血流效应使血流呈黑色低信号, 清晰显示血管壁, 进而可准确测量管壁厚度和管腔直径, 同时可从矢状位、冠状位和轴位上全面显示斑块形态、位置分布, 无支架相关伪影。本研究中分别对颅内支架术后患者支架段血管行 3D T1-SPACE 高分辨 MRI 和 DSA 对比分析, 结果显示两种方法测得的狭窄率差异无统计

学意义,具有较好的一致性。强化是易损斑块的重要特征之一,其与斑块内新生血管生成和炎性反应所致血管内皮通透性增加相关,斑块在不同发展阶段强化程度不同。Lu 等^[9]研究提示,急性脑卒中患者症状性斑块强化程度比非症状性斑块更明显,且急性期所有症状性斑块均可发生强化。本组 15 例患者中 4 例于颅内支架术后 6~8 个月出现 ISR, 3D T1-SPACE 增强扫描均显示斑块狭窄区明显强化,这可能提示此类患者该时期斑块不稳定性,进而说明 ISR 与支架植入后血管内膜过度增生相关。

本研究设计虽为前瞻性,但样本量较小,仍需扩大样本量进一步验证 3D T1-SPACE 成像技术在颅内动脉狭窄支架术后随访中检测 ISR 的准确性和稳定性;3D T1-SPACE 显示支架段血管图像质量清晰,测量分析管腔狭窄率等情况虽重复性好,但由于颅内动脉细小,位置较深,通过软件手动测量存在一定误差;本组患者尚缺乏术前及术后近期 3D T1-SPACE 管壁斑块情况分析,有待完善远期动态随访支架内斑块结构、斑块分布、强化情况等变化。

综上所述,3D T1-SPACE 作为一种无创性血管成像技术,在颅内动脉狭窄支架术后随访中表现出与 DSA 检查良好的一致性;颅内支架术后 ISR 患者增强扫描均显示斑块明显强化,可能与支架内内膜过度增生有关,仍需远期进一步随访观察。

[参考文献]

- [1] Ma N, Zhang Y, Shuai J, et al. Stenting for symptomatic intracranial arterial stenosis in China: 1-year outcome of a multicentre registry study[J]. *Stroke Vasc Neurol*, 2018, 3: 176-184.
- [2] Yoon NK, Awad AW, Kalani MY, et al. Stent technology in ischemic stroke[J]. *Neurosurg Focus*, 2017, 42: E11.
- [3] Zhao T, Zhu WY, Xiong XY, et al. Safety and efficacy of wingspan stenting for severe symptomatic atherosclerotic stenosis of the middle cerebral artery: analysis of 278 continuous cases [J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2016, 25: 2368-2372.
- [4] 董艳华,刘朝,徐浩文,等. Enterprise 支架治疗症状性颅内动脉粥样硬化性狭窄随访结果[J]. *介入放射学杂志*, 2019, 28: 217-221.
- [5] Li TX, Gao BL, Cai DY, et al. Wingspan stenting for severe symptomatic intracranial atherosclerotic stenosis in 433 patients treated at a single medical center[J]. *PLoS One*, 2015, 10: e0139377.
- [6] Jin M, Fu X, Wei Y, et al. Higher risk of recurrent ischemic events in patients with intracranial in-stent restenosis[J]. *Stroke*, 2013, 44: 2990-2994.
- [7] Yu SC, Leung TW, Lee KT, et al. Angioplasty and stenting of intracranial atherosclerosis with the Wingspan system: 1-year clinical and radiological outcome in a single Asian center[J]. *J Neurointerv Surg*, 2014, 6: 96-102.
- [8] 吴中华,仇汉诚,胡苏嫻,等. 症状性颅内支架内再狭窄的介入治疗[J]. *中华医学杂志*, 2018, 98: 3017-3020.
- [9] Lu SS, Ge S, Su CQ, et al. MRI of plaque characteristics and relationship with downstream perfusion and cerebral infarction in patients with symptomatic middle cerebral artery stenosis[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2018, 48: 66-73.
- [10] Choi JW, Roh HG, Moon WJ, et al. Optimization of MR parameters of 3D TOF-MRA for various intracranial stents at 3.0T MRI[J]. *Neurointervention*, 2011, 6: 71-77.
- [11] Marciano D, Soize S, Metaxas G, et al. Follow-up of intracranial aneurysms treated with stent-assisted coiling: comparison of contrast-enhanced MRA, time-of-flight MRA, and digital subtraction angiography[J]. *J Neuroradiol*, 2017, 44: 44-51.
- [12] Khan A, Kasner SE, Lynn MJ, et al. Risk factors and outcome of patients with symptomatic intracranial stenosis presenting with lacunar stroke[J]. *Stroke*, 2012, 43: 1230-1233.
- [13] Fiorella DJ, Turk AS, Levy EI, et al. U.S. wingspan registry: 12-month follow-up results[J]. *Stroke*, 2011, 42: 1976-1981.
- [14] Turk AS, Rowley HA, Niemann DB, et al. CT angiographic appearance of in-stent restenosis of intracranial arteries treated with the Wingspan stent[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2007, 28: 1752-1754.
- [15] Hwang JW, Jung JM, Cha JH, et al. Using the region of interest from time-of-flight magnetic resonance angiography to differentiate between intracranial arterial dissection and true atherosclerotic stenosis[J]. *Cerebrovasc Dis*, 2019, 47: 8-14.
- [16] Amin-Hanjani S, Alaraj A, Calderon-Arnulphi M, et al. Detection of intracranial in-stent restenosis using quantitative magnetic resonance angiography[J]. *Stroke*, 2010, 41: 2534-2538.
- [17] Guo R, Zhang X, Zhu X, et al. Morphologic characteristics of severe basilar artery atherosclerotic stenosis on 3D high-resolution MRI[J]. *BMC Neurol*, 2018, 18: 206.
- [18] Yang H, Zhu Y, Geng Z, et al. Clinical value of black-blood high-resolution magnetic resonance imaging for intracranial atherosclerotic plaques[J]. *Exp Ther Med*, 2015, 10: 231-236.
- [19] Baik SH, Kwak HS, Hwang SB, et al. Three-dimensional black blood contrast enhanced magnetic resonance imaging in patients with acute ischemic stroke and negative susceptibility vessel sign [J]. *Eur J Radiol*, 2018, 102: 188-194.
- [20] Yang Q, Duan J, Fan Z, et al. Early detection and quantification of cerebral venous thrombosis by magnetic resonance black-blood thrombus imaging[J]. *Stroke*, 2016, 47: 404-409.
- [21] Wang GX, Li W, Lei S, et al. Relationships between aneurysmal wall enhancement and conventional risk factors in patients with intracranial aneurysm: a high-resolution mri study[J]. *J Neuroradiol*, 2019, 46: 25-28.

(收稿日期:2019-09-12)

(本文编辑:边 佑)