

✧ 中枢神经影像学

Pointwise encoding time reduction with radial acquisition in subtraction-based MR angiography (PETRA-MRA) for following-up of patients with middle cerebral artery plaque stenosis after stent angioplasty

ZHANG Feifei¹, RAN Yuncui¹, ZHU Ming², WANG Xiao¹, LI Shujian¹,
CHENG Jingliang¹, GAO Xuemei^{1*}

(1. Department of Magnetic Resonance, 2. Department of Interventional Radiology,
the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China)

[Abstract] **Objective** To observe the value of pointwise encoding time reduction with radial acquisition in subtraction-based MR angiography (PETRA-MRA) for following-up of middle cerebral artery (MCA) plaque stenosis stent angioplasty. **Methods** A total of 28 patients who underwent stent angioplasty due to atherosclerotic stenosis of MCA were enrolled. Postoperative PETRA-MRA and time of flight MR angiography (TOF-MRA) were performed, and digital subtraction angiography (DSA) was performed within 1 week after MR angiography (MRA). The imaging qualities of MRA were evaluated, and the stenosis degrees and lesion length of MCA were measured. Inter-class correlation coefficient (ICC) was used to evaluate the consistency of measurement results between observers, while *Bland-Altman Plots* were performed to assess inter-observer consistency and consistency of MRA measurements with DSA. Taken DSA results as gold standards, *Spearman* correlation analysis was used to evaluate the correlation of MRA and DSA results. **Results** After stent angioplasty of MCA, the scores of blood flow signal and magnetic sensitive artifacts of PETRA-MRA images were significantly higher than those of TOF-MRA (both $P < 0.05$). The inter-observer consistency of stenosis degree and lesion length were both high (both $ICC > 0.75$, $P < 0.05$). *Bland-Altman Plots* showed good agreement between 2 observers. *Bland-Altman Plots* and correlation analysis showed that the consistency and correlation between PETRA-MRA and DSA for measurement of MCA stenosis degree and lesion length were higher than those of TOF-MRA. **Conclusion** After stent angioplasty of MCA plaque stenosis, PETRA-MRA could be used to accurately evaluate the degree of stenosis and the abnormal vessel length with good imaging quality.

[Keywords] middle cerebral artery; plaque; stenosis; angioplasty; magnetic resonance angiography

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2021.09.002

径向采集逐点编码缩短时间 MR 血管成像(PETRA-MRA)用于支架成形术治疗大脑中动脉斑块狭窄术后随访

张斐斐¹, 冉云彩¹, 朱明², 王潇¹, 李淑健¹, 程敬亮¹, 高雪梅^{1*}

(1. 郑州大学第一附属医院磁共振科, 2. 放射介入科, 河南 郑州 450052)

[摘要] **目的** 评价径向采集逐点编码缩短时间 MR 血管成像(PETRA-MRA)用于支架血管成形术治疗大脑中动脉

[基金项目] 河南省医学科技攻关计划联合共建项目(2018020137)。

[第一作者] 张斐斐(1994—), 女, 河南平顶山人, 在读硕士, 医师。研究方向: 脑血管疾病的影像学诊断。E-mail: 973525772@qq.com

[通信作者] 高雪梅, 郑州大学第一附属医院磁共振科, 450052。E-mail: gaouxuemei1964@163.com

[收稿日期] 2020-10-24 **[修回日期]** 2021-06-11

(MCA)斑块狭窄后随访的价值。**方法** 纳入 28 例经支架血管成形术治疗的大脑 MCA 斑块狭窄患者,行 PETRA-MRA 及时间飞跃法 MR 血管成像(TOF-MRA),并于其后 1 周内行数字减影血管造影(DSA),评估 MRA 图像质量,测量 MCA 狭窄程度及病变长度。采用组内相关系数(ICC)评估测量结果的观察者间一致性;以 Bland-Altman Plots 散点图评估观察者间及 MRA 测量结果与 DSA 的一致性;采用 Spearman 相关分析评价 MRA 测量结果与 DSA 的相关性。**结果** PETRA-MRA 图像所示支架内血流信号及磁敏感伪影评分明显高于 TOF-MRA(P 均 <0.05)。测量狭窄程度及病变长度的观察者间一致性均较高(ICC 均 >0.75 , P 均 <0.05)。Bland-Altman Plots 散点图及相关性分析结果表明 PETRA-MRA 与 DSA 测量 MCA 狭窄程度及病变长度的一致性及相关性均高于 TOF-MRA。**结论** 支架血管成形术治疗 MCA 斑块狭窄术后,PETRA-MRA 可准确评估 MCA 狭窄程度及支架区异常血管长度,图像质量佳。

[关键词] 大脑中动脉;斑块;狭窄;血管成形术;磁共振血管成像

[中图分类号] R743; R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2021)09-1286-05

缺血性卒中具有极高致残率和较高致死率^[1],颅内血管狭窄是引起缺血性卒中的重要原因,脑卒中患者大脑中动脉(middle cerebral artery, MCA)狭窄率为 7.0%~17.7%^[2]。脑血管成像对于早期诊断颅内血管狭窄、拟定治疗决策及随访评估具有重要作用。数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)是诊断脑血管病变的金标准,然而由于价格较高、具有侵入性及电离辐射等,不适用于治疗后常规随访。目前已有多种脑血管成像技术可用于观察颅内血管狭窄,如时间飞跃法 MR 血管成像(time of flight MR angiography, TOF-MRA)、对比增强 MR 血管成像(contrast enhanced MR angiography, CE-MRA)及 CT 血管成像(CT angiography, CTA),但因血管狭窄程度、对比剂过敏反应、射线暴露或磁敏感伪影等原因而应用受限^[3]。径向采集逐点编码缩短时间 MR 血管成像(pointwise encoding time reduction with radial acquisition in subtraction-based MR angiography, PETRA-MRA)采用动脉自旋标记和超短 TE,可避免磁场不均所致相位发散和信号衰减、减少磁敏感伪影,增加支架内信号强度,具有无创、无需对比剂、无电离辐射、稳定性和可重复性良好等优点,近年已逐渐用于评估颅内动脉瘤支架辅助弹簧圈栓塞术后患者^[4-6]。本研究对比 MCA 斑块狭窄患者支架成形术后 PETRA-MRA 与 TOF-MRA 和 DSA 图像,评价 PETRA-MRA 技术用于支架血管成形术后随访颅内血管斑块狭窄患者的价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象 回顾性分析 2019 年 3 月—2020 年 8 月 28 例于郑州大学第一附属医院接受支架血管成形术的 MCA 斑块狭窄患者,男 17 例,女 11 例,年龄 35~75 岁,平均(52.4±9.1)岁。纳入标准:①年龄 18~80 岁;②MCA 粥样斑块狭窄或闭塞;③于术后 1 周内接受 MR 扫描,于 MR 扫描后 1 周内接受 DSA 检

查,且资料完整。排除标准:①图像质量不佳;②严重躯体疾病如器官衰竭等;③对比剂过敏;④MR 检查禁忌证。检查前患者或家属均签署知情同意书。

1.2 仪器与方法 采用 Siemens Prisma 3.0 T MR 扫描仪,配备 64 通道相控阵头颈联合线圈。嘱患者仰卧,行颅脑 TOF-MRA 扫描,参数:TR 20.00 ms,TE 3.69 ms,矩阵 320×205,视野 200 mm×160 mm,层厚 0.6 mm,FA 18°,体素 0.6 mm×0.6 mm×0.6 mm,扫描时间 3 min 29 s;PETRA-MRA,TR 3.32 ms,TE 0.07 ms,矩阵 320×320,视野 300 mm×300 mm,层厚 0.94 mm,FA 3°,体素 0.9 mm×0.9 mm×0.9 mm,非标记像扫描时间 3 min 29 s,标记像扫描时间 5 min 51 s,并进行减影(非标记像—标记像)。

1.3 图像分析 于 Siemens Syngo 工作站对 MR 血管成像(MR angiography, MRA)图像进行最大强度投影重组。由 2 名具有 5 年以上工作经验的影像科医师评估 MRA 图像质量,并经协商达成一致;采用 4 分制根据磁敏感和血流信号独立评估支架内图像质量:①磁敏感伪影,无信号缺失为 4 分,信号轻度缺失为 3 分,信号中度缺失,影响图像评估为 2 分,信号严重缺失,无法评估为 1 分;②血流信号,所见与 DSA 几乎一致为 4 分,诊断性能好、伪影少为 3 分,结构轻微可见、伪影明显而无法用于诊断为 2 分;几乎未见血流信号为 1 分。根据华法林-阿司匹林治疗症状性颅内疾病(warfarin-aspirin symptomatic intracranial disease, WASID)试验^[7],采用公式(1)测量并计算 MCA 狭窄程度:

$$\text{狭窄率}(\%) = \left[1 - \frac{D_{\text{stenosis}}}{D_{\text{normal}}} \right] \times 100\% \quad (1)$$

式中 D_{stenosis} 为狭窄段 MCA 管径, D_{normal} 为正常段 MCA 管径,首选于狭窄段后近心端 MCA 测量后者。

分别测量 PETRA-MRA 及 TOF-MRA 图像所示

病变血管长度。每名医师各测量 3 次,取平均值作为结果。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 17.0 及 GraphPad Prism 5 统计分析软件。以 $\bar{x} \pm s$ 表示计量资料,采用 Wilcoxon Signed Ranks 检验评价各扫描图像质量差异。采用组内相关系数(inter-class correlation coefficient, ICC)评估观察者间一致性,ICC<0.40 为一致性较差,0.40≤ICC≤0.75 为一致性一般,ICC>0.75 为一致性良好。绘制 Bland-Altman Plots 散点图,以变异系数(coefficient of variation, CV)、偏差(Bias)及一致限(limits of agreement, LOA)评估观察者间及 MRA 测量结果与 DSA 的一致性。以 DSA 结果为金标准,采用 Spearman 相关分析评价 MRA 测量结果与 DSA 的相关

性。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

支架血管成形术后,PETRA-MRA 图像的 MCA 血流信号评分(3.11 ± 0.63 vs 1.29 ± 0.54 , $Z = -4.878$, $P<0.001$)及磁敏感伪影评分(3.18 ± 0.67 vs 1.21 ± 0.42 , $Z = -4.759$, $P<0.001$)明显高于 TOF-MRA 图像(图 1、2)。

2 名观察者测量狭窄程度及病变长度的一致性均较高 (ICC 均 > 0.75, P 均 < 0.05), 见表 1; Bland-Altman Plots 散点图提示观察者间一致性较好, 见图 3。

Bland-Altman Plots 散点图及相关性分析结果提示, 根据 PETRA-MRA 测得 MCA 狭窄程度及病变长度与 DSA 的一致性及相关性均高于 TOF-MRA, 见表 1。

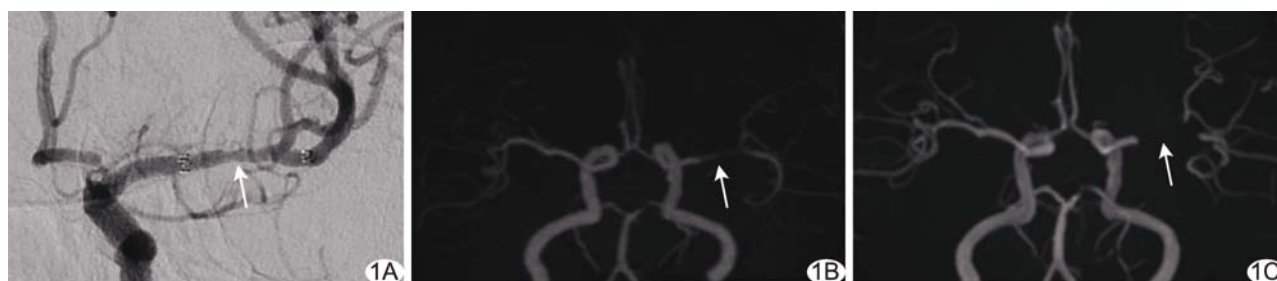


图 1 患者女, 67 岁, 左侧 MCA 斑块狭窄, 支架成形术后 A. DSA 图示支架植入段 MCA 血流通畅, 管腔轻度狭窄(箭), 病变长度 10.6 mm; B. PETRA-MRA 图示轻度磁敏感伪影, 支架内可见血流信号(箭), 病变长度 12.2 mm; C. TOF-MRA 图示支架植入处磁敏感伪影严重, 明显信号丢失(箭), 不能评估支架内血流信号而显示假性闭塞, 病变长度 16.2 mm

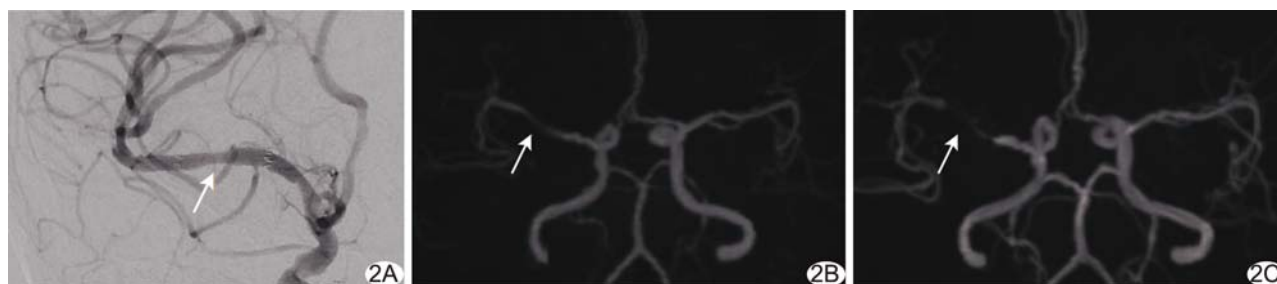


图 2 患者男, 75 岁, 右侧 MCA 斑块狭窄, 支架成形术后 A. DSA 图示支架植入段 MCA 血流通畅, 管腔轻度狭窄(箭), 病变长度 9.1 mm; B. PETRA-MRA 图示轻度磁敏感伪影, 支架内可见血流信号(箭), 病变长度 11.3 mm; C. TOF-MRA 图示支架磁敏感伪影严重, 明显信号缺失, 支架内可见轻微血流信号(箭), 提示重度狭窄, 病变长度 15.7 mm

表 1 PETRA-MRA/TOF-MRA 与 DSA 所测 MCA 狭窄程度及病变长度比较

测量项目及方法	测值	观察者间一致性		测量结果一致性			测量结果相关性	
		ICC	P 值	CV(%)	Bias	LOA	r 值	P 值
狭窄程度	DSA	(42.00±17.07)%	—	—	—	—	—	—
	PETRA-MRA	(46.32±16.60)%	0.93	<0.05	5.59	-4.32	(-15.29, 6.15)	0.94
	TOF-MRA	(93.68±13.04)%	0.94	<0.05	16.91	-51.37	(-84.38, -18.25)	0.37
病变长度	DSA	(11.84±2.95)mm	—	—	—	—	—	—
	PETRA-MRA	(12.62±3.13)mm	0.89	<0.05	1.64	-1.18	(-4.40, 2.03)	0.87
	TOF-MRA	(15.73±3.43)mm	0.95	<0.05	2.34	-3.36	(-8.46, 1.02)	0.68

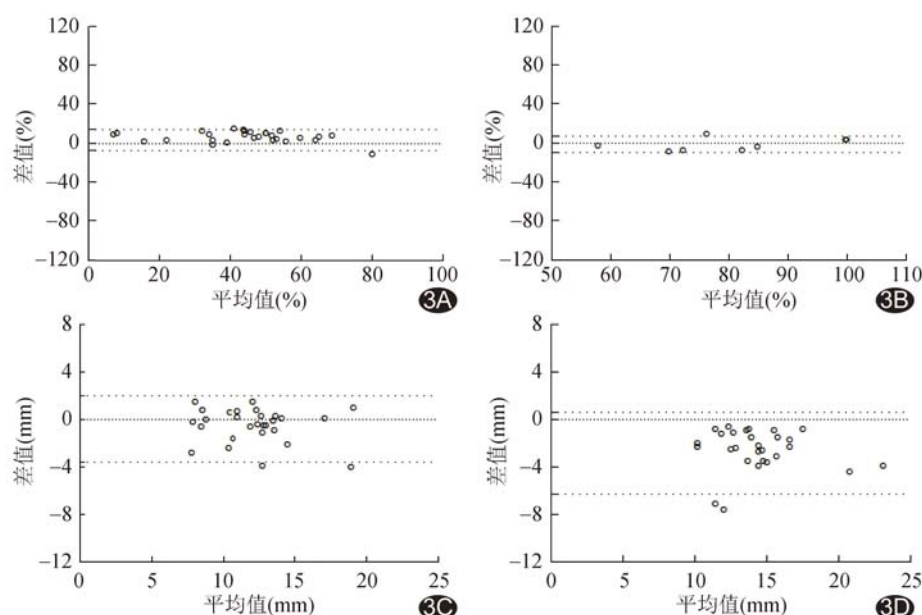


图3 Bland-Altman Plots 散点图示观察者间一致性 A. PETRA-MRA 测量 MCA 狭窄程度; B. TOF-MRA 测量 MCA 狭窄程度; C. PETRA-MRA 测量病变长度; D. TOF-MRA 测量病变长度

3 讨论

准确评估颅内动脉狭窄程度并定时随访有助于临床制定脑血管病个体化治疗方案并判断预后^[8]。TOF-MRA 是目前常规用于评估颅内血管的无创成像技术,但易受血流动力学影响,可能因血流速度较快或发生涡流而产生饱和效应或质子失相位效应造成信号丢失,尤其血管迂曲且平行于剖面或动脉血流缓慢可能导致假阳性结果或假性闭塞^[9];另一方面,对颅内支架血管成形术后,支架易使 TOF-MRA 产生磁敏感伪影,可能于植入部位出现假阳性或假阴性结果。CE-MRA 为另一种常用非侵入性 MRA 检查方法,不易受血流动力学改变的影响,可降低运动伪影风险,但对其诊断准确性存在争议^[10],且需注射外源性对比剂。DSA 为评估颅内血管狭窄程度及支架内再狭窄的金标准,但存在对比剂相关并发症(碘过敏、肾源性纤维化)、神经系统并发症(栓塞性脑梗死、粥样硬化性斑块破裂及血管夹层)和辐射暴露风险^[11]。

现有 PETRA-MRA 研究主要集中于评估支架辅助弹簧圈栓塞颅内动脉瘤术后情况^[12-13]。HEO 等^[4]报道, PETRA-MRA 能有效克服支架金属伪影和支架对磁场的屏蔽效应,更好地显示颅内支架内血流信号和动脉瘤闭塞状态,其所示支架内血流信号评分明显高于 TOF-MRA,与 DSA 评分的一致性高于 TOF-MRA; PETRA-MRA 显示动脉瘤闭塞状态与 DSA 的一致性高于 TOF-MRA。本研究以 DSA 为标准,评价

PETRA-MRA 和 TOF-MRA 图像质量,定量分析 MCA 狭窄程度及病变长度,发现与 TOF-MRA 相比, PETRA-MRA 图像质量更佳,狭窄程度及病变长度测值与 DSA 结果的一致性更佳,可清晰显示支架内血流信号,但易高估狭窄程度,提示 PETRA-MRA 可能是非侵入性评估管腔狭窄的更佳选择,尤其适用于随访支架血管成形术后患者。

SHANG 等^[14]采用零回波时间 MRA (zero echo time MRA, ZTE-MRA) 评价颅内动脉狭窄程度,并以 CTA 为参考,比较 ZTE-MRA 与 TOF-MRA 评估狭窄的效能,结果表明 ZTE-MRA 的信号均一性及静脉信号

抑制质量评分均明显高于 TOF-MRA, ZTE-MRA 与 TOF-MRA 显示病变及诊断可信度具有可比性, ZTE-MRA 与 CTA 的一致性高于 TOE-MRA, ZTE-MRA 信号均匀性更好、图像质量更佳,可更准确地评估狭窄程度。虽然该研究以 CTA 为参考标准,仅对狭窄程度进行定性分级,但因 ZTE-MRA 同样采用超短 TE 技术,上述研究结果对本组结果具有一定程度的间接支持作用。

综上,支架成形术治疗 MCA 斑块狭窄后, PETRA-MRA 评估狭窄程度及病变长度的准确性较高,可有效克服磁敏感伪影,显示支架内血流信号,图像质量佳,有助于制定临床个体化治疗方案及判断预后。本研究的主要局限性:①样本量有限;②扫描时间较长;③仅针对 MCA 斑块狭窄患者;④未将研究结果与 CE-MRA 进行比较,有待进一步完善。

[参考文献]

- [1] KRISHNAMURTHI R V, FEIGIN V L, FOROUZANFAR M H, et al. Global and regional burden of first-ever ischaemic and haemorrhagic stroke during 1990-2010: Findings from the Global Burden of Disease Study 2010 [J]. Lancet Glob Health, 2013, 1 (5): e259-281.
- [2] WONG K S, LI H, LAM W W, et al. Progression of middle cerebral artery occlusive disease and its relationship with further vascular events after stroke [J]. Stroke, 2002, 33(2): 532-536.

- [3] 林澜, 吕晋浩, 张荣举, 等. 全脑 CTP 定量分析颅内动脉粥样硬化性狭窄患者血管表面渗透性[J]. 中国医学影像技术, 2020, 36(5):659-665.
- [4] HEO Y J, JEONG H W, BAEK J W, et al. Pointwise encoding time reduction with radial acquisition with subtraction-based MRA during the follow-up of stent-assisted coil embolization of anterior circulation aneurysms[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2019, 40(5):815-819.
- [5] 宋焱, 黄娟, 祁鹏, 等. 零回波时间动脉自旋标记 MR 血管成像评估颅内动脉瘤介入治疗效果[J]. 中华放射学杂志, 2018, 52(8):624-629.
- [6] SHANG S, YE J, LUO X, et al. Follow-up assessment of coiled intracranial aneurysms using zTE MRA as compared with TOF MRA: A preliminary image quality study[J]. Eur Radiol, 2017, 27(10):4271-4280.
- [7] CHIMOWITE M I, KOKKINOS J, STRONG J, et al. The warfarin-aspirin symptomatic intracranial disease study [J]. Neurology, 1995, 45(8):1488-1493.
- [8] WANG T, WANG X, YANG K, et al. Endovascular treatment for symptomatic intracranial artery stenosis: Protocol for a systematic review and network meta-analysis[J]. BMJ Open, 2018, 8(7):e022359.
- [9] YANG J J, HILL M D, MORRISH W F, et al. Comparison of pre- and postcontrast 3D time-of-flight MR angiography for the evaluation of distal intracranial branch occlusions in acute ischemic stroke[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2002, 23(4):557-567.
- [10] BOUJAN T, NEUBERGER U, PFAFF J, et al. Value of contrast-enhanced MRA versus time-of-flight MRA in acute ischemic stroke MRI[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2018, 39(9):1710-1716.
- [11] WILLINSKY R A, TAYLOR S M, TERBRUGGE K, et al. Neurologic complications of cerebral angiography: Prospective analysis of 2,899 procedures and review of the literature[J]. Radiology, 2003, 227(2):522-528.
- [12] YOU S H, KIM B, YANG K S, et al. Ultrashort echo time magnetic resonance angiography in follow-up of intracranial aneurysms treated with endovascular coiling: Comparison of time-of-flight, pointwise encoding time reduction with radial acquisition, and contrast-enhanced magnetic resonance angiography[J]. Neurosurgery, 2021, 88(2):E179-E189.
- [13] IRIE R, SUZUKI M, YAMAMOTO M, et al. Assessing blood flow in an intracranial stent: A feasibility study of MR angiography using a silent scan after stent-assisted coil embolization for anterior circulation aneurysms[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2015, 36(5):967-970.
- [14] SHANG S, YE J, DOU W, et al. Validation of zero TE-MRA in the characterization of cerebrovascular diseases: A feasibility study[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2019, 40(9):1484-1490.