

• 中枢神经影像学 •

多期相超短回波四维 MRA 在评估颅内血管狭窄中的应用价值

吉善创, 李文美, 韦明晖, 李向荣, 秦宇红, 韦启君, 陈振涛, 贾昌凯, 杨燕灵

【摘要】 目的:探讨多期相超短回波四维磁共振血管成像(mUTE 4D MRA)在评估颅内血管狭窄中的应用价值。**方法:**前瞻性收集 59 例脑血管病患者的临床及影像资料,受试者均先行 3D 时间飞跃法 MR 血管成像(3D TOF MRA)和 mUTE 4D MRA 扫描,然后在同一天行 CT 血管成像(CTA)检查。由 2 位神经影像医师采用双盲法对血管狭窄情况进行评分(4 分法),采用 Kruskal-Wallis 秩和检验比较 3 种检查方法的评分情况,采用 Dunn's 检验进行 3D TOF MRA 与 mUTE 4D MRA 的组间比较,采用组内相关系数(ICC)评估观察者间的一致性以及两种 MRA 检查方法与 CTA 评分的一致性。**结果:**3D TOF MRA、mUTE 4D MRA、CTA 在评估手术干预组、颈内动脉、大脑中动脉、大脑后动脉狭窄程度时评分差异有统计学意义(P 值均 <0.05),且 mUTE 4D MRA 在评估手术干预组、颈内动脉、大脑中动脉狭窄程度时评分均高于 3D TOF MRA(P 值均 <0.01)。手术干预组 3D TOF MRA 与 CTA 评分一致性很差($ICC=0.02$),而 mUTE 4D MRA 与 CTA 评分一致性极好($ICC=0.88$)。3D TOF MRA 与 CTA 在评估颈内动脉($ICC=0.54$)、大脑中动脉($ICC=0.53$)时一致性中等,在评估大脑前动脉($ICC=0.75$)、大脑后动脉($ICC=0.74$)、椎动脉($ICC=0.66$)时一致性较好;mUTE 4D MRA 与 CTA 在评估颈内动脉($ICC=0.92$)、大脑前动脉($ICC=0.88$)、大脑中动脉($ICC=0.90$)、大脑后动脉($ICC=0.88$)、椎动脉($ICC=0.87$)时一致性极好。**结论:**与 3D TOF-MRA 相比,mUTE 4D MRA 可更好地显示颅内血管狭窄情况;以 CTA 为参考标准,mUTE 4D MRA 较 3D TOF-MRA 与 CTA 有更好的一致性。

【关键词】 磁共振成像; 体层摄影术,X 线计算机; 血管造影; 超短回波; 颅内血管; 血管狭窄

【中图分类号】 R743.4; R445.2; R814.42 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1000-0313(2022)01-0023-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.01.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application value of multiphase ultrashort echo four-dimensional MRA in evaluating intracranial vascular stenosis JI Shan-chuang, LI Wen-mei, WEI Ming-hui, et al. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530021, China

【Abstract】 Objective: To explore the value of multiphase ultrashort echo four-dimensional (mUTE 4D) MRA in evaluating intracranial vascular stenosis. **Methods:** Clinical and imaging data of 59 patients with cerebrovascular disease were prospectively collected. All subjects underwent 3D TOF MRA and mUTE 4D MRA scan, and then CTA scan was performed on the same day. The vascular stenosis (4-point method) were independently double-blindly scored by 2 neuroimaging radiologists. The Kruskal-Wallis rank test was used to compare the scores of the three methods, and the Dunn's test was used to compare 3D TOF MRA and mUTE 4D MRA between groups. Intra-group correlation coefficient (ICC) test was used to evaluate the consistency between observers, and the consistency between the two MRA methods and CTA scores. **Results:** The three methods had significant differences in evaluating the degree of stenosis of the surgical intervention (SI) group, internal carotid artery (ICA), middle cerebral artery (MCA), and posterior cerebral artery (PCA) (all $P < 0.05$), and mUTE 4D MRA had higher scores than 3D TOF MRA in evaluating the stenosis of the SI group, ICA and MCA ($P < 0.01$). The consistency between 3D TOF MRA and CTA scores in the SI group was very poor

作者单位: 530021 南宁, 广西医科大学第一附属医院放射科(吉善创, 李文美, 韦明晖, 李向荣, 秦宇红, 韦启君); 300162 天津, 佳能医疗系统(中国)有限公司磁共振事业部临床科研部(陈振涛); 100016 北京, 佳能医疗系统(中国)有限公司磁共振事业部临床应用培训部(贾昌凯, 杨燕灵)

作者简介: 吉善创(1971—), 男, 广西玉林人, 主管技师, 主要从事磁共振检查技术工作。

通讯作者: 李文美, E-mail: liwenmei@126.com

($ICC=0.02$), while the consistency between mUTE 4D MRA and CTA scores was excellent ($ICC=0.88$). 3D TOF MRA and CTA had moderate consistency in the evaluation of ICA ($ICC=0.54$) and MCA ($ICC=0.53$), and had good consistency in the assessment of ACA ($ICC=0.75$), PCA ($ICC=0.74$), and vertebral artery ($ICC=0.66$). mUTE 4D MRA was in excellent agreement with CTA in the evaluation of ICA ($ICC=0.92$), ACA ($ICC=0.88$), MCA ($ICC=0.90$), PCA ($ICC=0.88$) and vertebral artery ($ICC=0.87$). **Conclusion:** Compared with 3D TOF-MRA, mUTE 4D MRA is better in displaying intracranial vascular stenosis. Taking CTA as a reference, mUTE 4D MRA is of better consistency than that of 3D TOF-MRA.

【Key words】 Magnetic resonance imaging; Tomography, X-ray computer; Angiography; Ultra-short echo; Intracranial blood vessels; Vascular stenosis

随着人们生活水平的提高和生活方式的改变,动脉粥样硬化和脑血管病的发病率逐年升高。数字减影血管造影术(digital subtraction angiography, DSA)是脑血管病变诊断和评估的金标准,但为有创性检查,操作条件要求高,且有辐射、费用高,难以作为常规筛查和随访手段。CT 血管造影(computed tomography angiography, CTA)在脑血管病变的诊断和评估中被广泛应用,具有较高的准确性和敏感性^[1,2]。MRI 具有无创性、多方位、多序列成像的优势,其中 3D 时间飞跃法 MR 血管成像(3D time of flight magnetic resonance angiography, 3D TOF MRA)是一种无需注入对比剂的 MR 成像技术,被广泛应用于颅内血管病变检查和随访,但其易受磁场均匀度和血流状态的影响,产生评估误差^[3]。多期相超短回波四维磁共振血管成像(multi ultrashort TE 4D magnetic resonance angiography, mUTE 4D MRA)采用多期相动脉自旋标记(arterial spin labeling, ASL)结合 UTE 技术标记血流信号,具有磁化率伪影小、受血流影响小等特点^[4]。相关报道,UTE MRA 显示支架辅助弹簧圈栓塞后动脉瘤血流信号优于 3D TOF MRA^[4]。本研究旨在探讨 mUTE 4D MRA 在评估颅内血管狭窄中的应用价值,为 mUTE 4D MRA 用于临床评价脑血管疾病提供更多的理论支持。

材料与方法

1. 病例资料

搜集 2020 年 9 月—2021 年 1 月在广西医科大学第一附属医院检查并治疗的脑血管病患者。病例纳入标准:①既往 CTA、MRA 或 DSA 显示存在脑动脉狭窄者;②陈旧性或新鲜脑梗患者;③脑动脉狭窄支架植入术后者;④短暂性脑缺血发作患者;⑤同意参与研究的患者。病例排除标准:①对碘对比剂过敏者;②具有 MRI 扫描禁忌症的患者,如心脏起搏器植入等;③幽闭恐惧症等不能配合完成检查者;④严重的颅脑外伤手术史者;⑤严重的肝肾功能障碍者;⑥罹患恶性肿瘤

等严重疾病者;⑦年龄小于 18 岁患者。本研究共纳入 59 例患者,其中男 39 例,女 20 例,平均年龄(62.6 ± 6.3)岁,体重(64.3 ± 7.0) kg;以 CTA 为标准,符合中重度狭窄的有颈内动脉(internal carotid artery, ICA)11 例,大脑中动脉(middle cerebral artery, MCA)11 例,大脑前动脉(anterior cerebral artery, ACA)7 例,大脑后动脉(posterior cerebral artery, PCA)15 例,椎动脉(vertebral artery, VA)12 例。将脑血管支架植入或动脉瘤夹闭术等有外源性金属植入物的受试者归为手术干预组,共 12 例 14 个部位;其余为未干预组,共 47 例。所有受试者均签署知情同意书,本研究通过广西医科大学第一附属医院伦理委员会批准。

2. 检查方法

受试者检查前一天避免剧烈运动、禁酒并保证 8 小时睡眠。所有受试者均先行 MRI 检查,然后在同一天内行 CTA 检查。

采用 LightSpeed VCT 64 层 CT 扫描仪(美国 GE 公司)行头颈 CTA 扫描,扫描参数:球管旋转时间 0.4 s,管电压 100 kV,自动管电流 200~400 mA,重建层厚 0.625 mm,层间距 0.5 mm,螺距 0.984。使用双筒机械高压注射器、18G 套管针,经肘正中静脉穿刺注射对比剂优维显(370 mg I/mL)。采用小剂量测峰值法,注射流率设置为 5.0 mL/s, A 筒注射 370 mg I/mL 优维显 10 mL,随后 B 筒注射 0.9%生理盐水 10 mL,监测平面定于第 3—4 颈椎层面,8 s 后同层间隔 1 s 连续扫描,直至动脉显影后消退时停止扫描。应用时间-密度曲线测得动脉显影峰值后加上 1~2 s 的经验时间作为动脉期的扫描时间。设置平扫与动脉期序列,间隔时间为算得的动脉期时间减去平扫时间,嘱受检者不要吞咽。注射流率设置为 5.0 mL/s, A 筒注射 370 mg I/mL 优维显 45 mL,随后 B 筒注射 0.9%生理盐水 30~40 mL。患者取仰卧位,双臂置于身体两侧,扫描范围自气管分叉至颅顶。

采用 Canon Elan1.5T 超导型 MRI 扫描仪,8 通道头颈联合线圈进行 MRA 检查。患者取仰卧位,扫

描范围为胼胝体上缘至小脑。3D TOF MRA 扫描参数:TR 19 ms,TE 6.8 ms,翻转角 17°,视野 200 mm×200 mm,扫描矩阵 192×256,层厚 1.4 mm,NAQ 1,带宽 41.67 Hz/pixel,体素 1.00×0.78×1.40。mUTE 4D MRA 扫描参数:TR 3.1 ms,TE 0.096 ms,翻转角 6°,视野 200 mm×200 mm,矩阵 192×192,层厚 1 mm,NAQ 2,带宽 244 Hz/pixel,体素 1.33×1.33×1,分 4 期相扫描,Ti1:300 ms,Ti2:535 ms,Ti3:770 ms,Ti4:1005 ms。

3. 图像处理及评价

应用 GE 公司 AW 后处理工作站对图像进行处理及分析,重建方式包括最大密度投影(maximal intensity projection,MIP)、容积再现(volume Rendering,VR)及曲面重建(curved plannar reconstruction,CPR)等。由 2 位经验丰富的神经影像医师采用双盲法对 CTA、3D TOF MRA 和 mUTE 4D MRA MIP 图像进行狭窄评分,采用 4 分法^[3]:1 分,重度狭窄/闭塞(狭窄 76%~100%);2 分,中度狭窄(狭窄 51%~75%);3 分,轻度狭窄(狭窄 26%~50%);4 分,极轻度狭窄/无狭窄(狭窄 0~25%)。手术干预组评估支架处血管狭窄情况;未干预组按 ICA、ACA、MCA、PCA、VA 分别评分,当单根血管存在 1 处以上狭窄时,狭窄处分别评分后求平均值作为该血管的狭窄程度评分,无狭窄记为 4 分。意见不一致时由 2 位医师协商后重新评分,将 2 位观察者的评分取平均作为最终评分。

4. 统计学分析

采用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析。通过 Kolmogorov-Smirnov 检验计量资料的正态性。正态分布资料以均值±标准差表示,非正态分布资料以中位数(上、下四分位数)表示。采用 Kruskal-Wallis 秩和检验比较 3 种检查方法的评分情况,采用 Dunn's 检验进行 3D TOF MRA 与 mUTE 4D MRA 的组间比较。采用组内相关系数(intraclass correlation efficient,ICC)检验评估观察者间的一致性以及 3D TOF MRA 与 CTA、mUTE 4D MRA 与 CTA 评分的一致性。ICC<0.2 为一致性很差,0.20~0.39 为一致性一般,0.40~0.59 为一致性中等,0.60~0.79 为一致性较好,

0.80~1.00 为一致性极好^[1]。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 临床资料

12 例手术干预组受试者中有 2 例患者植入了 2 枚支架(1 例为动脉瘤夹闭术及椎动脉支架植入术后,1 例为椎动脉支架植入术及颈内动脉支架植入术后),因此共有 14 个金属植入部位,即 5 例大脑中动脉支架植入术后(图 1)、4 例颈内动脉支架植入术后(图 2)、2 例动脉瘤夹闭术后(图 4)和 3 例椎动脉支架植入术后。排除 1 例运动伪影较大和 2 例 mUTE 4D MRA 图像效果欠佳(可能是血流异常缓慢造成)的受试者,共纳入 56 例受试者的影像学图像纳入分析。

2. CTA、3D TOF MRA、mUTE 4D MRA 评分比较

3 种方法评估手术干预组、颈内动脉、大脑中动脉、大脑后动脉狭窄程度时评分差异有统计学意义($P<0.05$),且 mUTE 4D MRA 在评估手术干预组、颈内动脉、大脑中动脉狭窄程度时评分均高于 3D TOF MRA,差异均有统计学意义(P 值均 <0.01);而评估大脑前动脉、椎动脉狭窄程度时 3 种方法的评分差异均无统计学意义(P 值均 >0.05 ,表 1)。

3. 一致性分析

3D TOF MRA、mUTE 4D MRA 和 CTA 颅内血管狭窄评分观察者间具有较高的一致性(表 2)。手术干预组 3D TOF MRA 评分与 CTA 一致性很差($ICC=0.02$),而 mUTE 4D MRA 与 CTA 一致性极好($ICC=0.88$),可见 mUTE 4D MRA 在评价有外源性金属植入物的血管情况时明显优于 3D TOF MRA(图 1、2)。3D TOF MRA 与 CTA 评估颈内动脉($ICC=0.54$)、大脑中动脉($ICC=0.53$)时一致性中等,评估大脑前动脉($ICC=0.75$)、大脑后动脉($ICC=0.74$)、椎动脉($ICC=0.66$)时一致性较好;mUTE 4D MRA 与 CTA 在评估颈内动脉($ICC=0.92$)、大脑前动脉($ICC=0.88$)、大脑中动脉($ICC=0.90$)、大脑后动脉($ICC=0.88$)、椎动脉($ICC=0.87$)时均具有极好的一致性,可见 mUTE 4D MRA 与 3D TOF MRA 比较,能更准

表 1 CTA、3D TOF MRA 和 mUTE 4D MRA 的动脉狭窄评分比较 [中位数(上、下四分位数)]

分组	CTA	3D TOF MRA	mUTE 4D MRA	Z 值	P 值
手术干预组	3.00(2.75~4.00)	1.00(1.00~1.00)	3.00(2.75~4.00)*	28.660	<0.001
颈内动脉	3.25(2.62~4.00)	2.25(2.00~3.00)	3.00(2.33~4.00)*	19.400	<0.001
大脑前动脉	3.00(3.00~4.00)	3.00(2.00~4.00)	3.00(2.92~4.00)	3.167	0.215
大脑中动脉	3.00(2.00~4.00)	2.00(1.38~3.00)	3.00(2.00~4.00)*	14.850	<0.001
大脑后动脉	3.00(2.00~4.00)	2.00(1.00~3.00)	2.83(2.00~3.00)	6.145	0.046
椎动脉	3.00(2.00~4.00)	3.00(2.00~3.00)	3.00(2.00~4.00)	5.696	0.058

注:与 3D TOF MRA 比较,* $P<0.05$

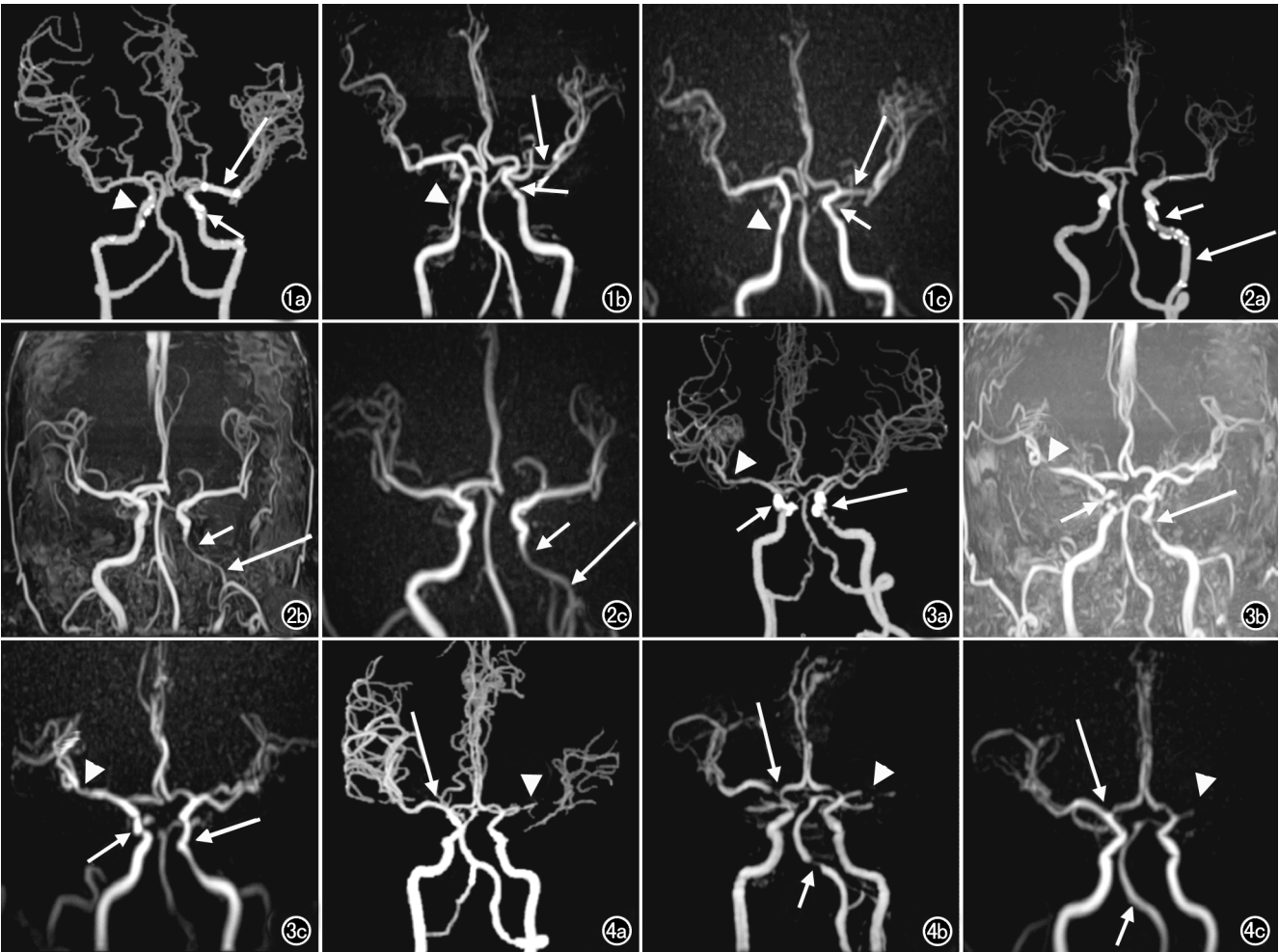


图 1 患者,男,52 岁,左侧大脑中动脉 M1 段支架植入术后,长约 2cm,狭窄评分分别为 4 分、2 分、4 分(长箭)。左侧颈内动脉 C5~6 段多发钙化斑块,狭窄评分分别为 3 分、1 分、3 分(短箭)。右侧颈内动脉 C4~6 段多发钙化斑块,狭窄评分分别为 3 分、2 分、2 分(箭头)。a) CTA 图像; b) TOF MRA 图像; c) mUTE 4D MRA(T3)MIP 图像。 图 2 患者,男,63 岁,左侧颈内动脉 C1 段支架植入术后,狭窄评分分别为 3 分、1 分、3 分(长箭)。左侧颈内动脉 C2~4 段多发钙化斑块,狭窄评分分别为 3 分、1 分、3 分(短箭)。右侧颈内动脉 C4~6 段多发钙化斑块,狭窄评分分别为 2.75 分、1 分、2.5 分。a) CTA 图像; b) TOF MRA 图像; c) mUTE 4D MRA(T3)MIP 图像。 图 3 患者,男,52 岁,双侧颈内动脉 C5~6 段多发钙化斑块,狭窄评分分别为 2 分、1 分、1.66 分(长箭、短箭)。右侧大脑中动脉 M2 段轻度狭窄,评分分别为 3 分、1 分、3 分(箭头)。a) CTA 图像; b) TOF MRA 图像; c) mUTE 4D MRA(T4)MIP 图像。 图 4 患者,男,48 岁,右侧大脑中动脉 M1 段动脉瘤夹闭术后,评分分别为 4 分、1 分、4 分(长箭)。左侧大脑中动脉闭塞,评分分别为 1 分、1 分、1 分(箭头)。右侧椎动脉 V4 段、近血管分叉处环形钙化斑块,管腔重度狭窄,左侧椎动脉 V4 段评分分别为 4 分、1 分、4 分(短箭)。a) CTA 图像; b) TOF MRA 图像; c) mUTE 4D MRA(T3)MIP 图像。

确地评价颅内血管狭窄情况(表 3、图 1、3)。

讨 论

随着医疗水平的不断进步,脑血管病的准确评估和术后随访对影像检查手段提出了更高的要求。DSA 以其高空间分辨率和三维动态成像优势,是颅内血管病变评估的金标准;但 DSA 是一种侵入性检查手段,具有 X 线辐射、对比剂相关并发症、穿刺部位的血肿甚至发生动脉夹层等风险^[5],在常规筛查、术后长期随

访中难以适用。CTA 在脑血管病变评估和术后随访中被广泛应用,具有较高的准确性和敏感性^[1,2],但需要注入含碘对比剂,且有辐射,易引起过敏反应等。MRA 具有无创、无辐射的优势,可在不注入对比剂的情况下对颅内血管进行成像,已成为颅内血管病变评价的首选影像学检查方法。

3D TOF-MRA 是基于流入增强效应进行成像的 MRA 技术,即通过对静止组织与流动血液进行反复激励,从而产生饱和效应差异,进而实现动脉血管成

表 2 CTA、3D TOF MRA 和 mUTE 4D MRA 动脉狭窄评分观察者间的一致性 [ICC 值(95%可信区间)]

检查方法	CTA	3D TOF MRA	mUTE 4D MRA
手术干预组	0.91 (0.83~0.95)	0.89(0.85~0.96)	0.87(0.78~0.91)
颈内动脉	0.90(0.82~0.94)	0.92(0.81~0.96)	0.89(0.75~0.90)
大脑前动脉	0.88(0.81~0.92)	0.88(0.78~0.92)	0.87(0.79~0.92)
大脑中动脉	0.92(0.76~0.96)	0.89 (0.79~0.93)	0.90(0.78~0.95)
大脑后动脉	0.87(0.81~0.93)	0.87(0.81~0.92)	0.86(0.75~0.91)
椎动脉	0.93(0.81~0.97)	0.88(0.71~0.92)	0.84(0.75~0.93)

表 3 3D TOF MRA、mUTE 4D MRA 与 CTA 动脉狭窄评分的一致性 [ICC 值(95%可信区间)]

检查方法	3D TOF MRA	P 值	mUTE 4D MRA	P 值
CTA				
手术干预组	0.02(−0.04~0.17)	0.273	0.88(0.67~0.96)	<0.001
颈内动脉	0.54(0.09~0.82)	<0.001	0.92(0.77~0.97)	<0.001
大脑前动脉	0.75(0.41~0.88)	<0.001	0.88(0.78~0.94)	<0.001
大脑中动脉	0.53(−0.05~0.80)	<0.001	0.90(0.76~0.95)	<0.001
大脑后动脉	0.74(0.16~0.90)	<0.001	0.88(0.71~0.95)	<0.001
椎动脉	0.66(0.25~0.84)	<0.001	0.87(0.71~0.94)	<0.001

像,在颅内血管病变的评估和术后随访中,常被用作 DSA 的替代检查;但 3D TOF MRA 的饱和效应易受血流状态及血流速度的影响,导致体素内相位分散,造成信号缺失或失真^[6,7]。

mUTE 4D MRA 是基于多期 ASL 对血流进行连续标记的 MRA 技术,又称静音 MRA,采用静音扫描算法、超短 TE(0.096 ms)和 ASL 技术,可以使体素中标记的血流信号的相位分散最小化,并降低磁化率^[3,4]。被标记的血液流入待检血管后,在感兴趣区层面进行信号采集,然后将标记前、后感兴趣区图像进行减影,最终获得血管影像;由于标记层面与信号采集层面不在一个区域,因此 mUTE 4D MRA 成像过程不会受血流状态、血流方向等因素的影响^[6,8]。相关研究指出,mUTE 4D MRA 在评估支架辅助弹簧圈栓塞治疗的动脉瘤时,显示支架内血流、动脉瘤颈残留等明显优于 3D TOF-MRA,与 DSA 具有良好的一致性^[4,5]。Fujiwara 等^[7]研究认为在颈动脉血管评估中,与 TOF MRA 相比,静音 MRA 可通过减影技术去除脑实质及周围脂肪、静脉等组织的背景信号,呈现出更高的血管对比度和血流均匀性。Moon 等^[9]报道 UTE-MRA 技术可很好地评价颅内动静脉畸形,能清楚地显示引流静脉和供血动脉。

本研究发现与 3D TOF-MRA 相比,mUTE 4D MRA 可更好地显示颅内动脉狭窄情况,尤其对支架或外源性金属植入物处、颈内动脉及大脑中动脉评估时具有明显优势;以 CTA 作为参考标准,mUTE 4D MRA 较 3D TOF-MRA 有更好的一致性,3D TOF MRA 存在过度评估或评估不准确的现象。支架或外源性金属植入物处:3D TOF-MRA 的 TE 为 6.8 ms,易受支架等引起磁化率伪影的影响;而 mUTE 4D MRA 的 TE 仅为 0.096 ms,可极大减少被标记的血流信号的失相位和金属植入物的磁化率伪影,ASL 可降

低血流饱和作用,从而清晰显示支架内血流信号^[10,11]。血管弯曲、分叉或附壁斑块处:这些区域易产生湍流和涡流,造成相位分散,导致 3D TOF-MRA 血流信号丢失^[12];mUTE 4D MRA 采用三维放射状数据填充方式,由 K 空间中心向外填充,保证了采集时体素内质子相位相聚,避免了流动血液信号错误编码,从而提高图像质量^[13]。本研究发现在颈内动脉、大脑中动脉、大脑后动脉等走行迂曲、分叉较多的血管,mUTE 4D MRA 明显优于 3D TOF-MRA。组织交界处:3D TOF MRA 在组织交界区(颅底、海绵窦、钙化斑块处等)易受磁敏感伪影的影响,造成磁场不均匀、信号丢失或错误编码^[14];mUTE 4D MRA 使用恒定梯度和较长的读出时间,受磁场不均匀性影响小,可有效去除背景噪声,取得较高质量的图像^[1];且多期 ASL 技术减影成像,采集时间窗不受限制,可以选择性消除静脉干扰^[15]。颈内动脉走行迂曲、斑块较多,且途经颅底、海绵窦、颞骨岩部等,对 3D TOF-MRA 干扰较重,而对 mUTE 4D MRA 干扰较小。血管细小或血流较慢处:动脉粥样硬化患者血液粘稠度较高、流速较慢,从而造成饱和现象,导致 3D TOF 成像时体素内信号缺失或失真^[6,7];而 mUTE 4D MRA 采用接近于零的回波时间,有效避免了信号采集时因质子失相位造成的错误编码,减少血液流动对信号采集的影响;同时,多期相 ASL 技术可显示血管中轻微的流动信号变化,不仅能提供多期相单独图像,动态观察血流信息,还可产生多期叠加图像,从而减少血流干扰,更清楚地显示血管情况^[3,4]。

本研究存在以下局限性:DSA 是颅内血管病变诊断的金标准,而本研究采用 CTA 作为参考标准。虽然 CTA 在颅内血管病变的诊断中具有较高的准确性和敏感性^[1,2],但 DSA 显然更精确,所以本研究结果可能存在一定误差,今后研究中将纳入 DSA 数据,进

行深入分析研究。

综上所述,与 3D TOF-MRA 相比,mUTE 4D MRA 可更好地显示颅内血管狭窄情况,尤其对支架或外源性金属植入物处、颈内动脉及大脑中动脉评估时具有明显优势,而 3D TOF MRA 存在过度评估或评估不准确现象;以 CTA 作为参考标准,mUTE 4D MRA 较 3D TOF-MRA 有更好的一致性,mUTE 4D MRA 可作为脑血管狭窄性病变常规筛查和术后随访的有效手段。

参考文献:

- [1] 尚松安,叶靖,罗先富,等.静音 MR 血管成像在颅内动脉瘤诊断中的可行性研究[J].中华放射学杂志,2020,54(4):325-331.
- [2] Ramgren B, Siemund R, Nilsson OG, et al. CT angiography in non-traumatic subarachnoid hemorrhage: the importance of arterial attenuation for the detection of intracranial aneurysms[J]. Acta Radiol, 2015, 56(10):1248-1255.
- [3] Takano N, Suzuki M, Irie R, et al. Usefulness of non-contrast-enhanced MR angiography using a silent scan for follow-up after Y-configuration stent-assisted coil embolization for basilar tip aneurysms[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2017, 38(3):577-581.
- [4] 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.
- [5] Ryu KH, Baek HJ, Moon JI, et al. Usefulness of noncontrast-enhanced silent magnetic resonance angiography (MRA) for treated intracranial aneurysm follow-up in comparison with time-of-flight MRA[J]. Neurosurgery, 2020, 87(2):220-228.
- [6] 尚松安,叶靖,甄勇,等.静音 MR 血管成像在颅内动脉瘤弹簧圈介入栓塞术后随访中的作用[J].中华放射学杂志,2016,50(10):779-783.
- [7] Fujiwara Y, Muranaka Y. Improvement in visualization of carotid

artery uniformity using silent magnetic resonance angiography[J]. Radiol Phys Technol, 2017, 10(1):113-120.

- [8] Wu H, Block WF, Turski PA, et al. Noncontrast-enhanced three-dimensional (3D) intracranial MR angiography using pseudocontinuous arterial spin labeling and accelerated 3D radial acquisition[J]. Magn Reson Med, 2013, 69(3):708-715.
- [9] Moon JI, Baek HJ, Ryu KH, et al. A novel non-contrast-enhanced MRA using silent scan for evaluation of brain arteriovenous malformation: A case report and review of literature[J]. Medicine (Baltimore), 2017, 96(45):e8616.
- [10] Takano N, Suzuki M, Irie R, et al. Non-contrast-enhanced silent scan MR angiography of intracranial anterior circulation aneurysms treated with a low-profile visualized intraluminal support device[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2017, 38(8):1610-1616.
- [11] Hövener JB, Zwick S, Leupold J, et al. Dental MRI imaging of soft and solid components without ionizing radiation[J]. J Magn Reson Imaging, 2012, 36(4):841-846.
- [12] Igase K, Igase M, Matsubara I, et al. Mismatch between TOF MR angiography and CT angiography of the middle cerebral artery may be a critical sign in cerebrovascular dynamics[J]. Yonsei Med J, 2018, 59(1):80-84.
- [13] Katsuki M, Narita N, Ozaki D, et al. Three tesla magnetic resonance angiography with ultrashort echo time describes the arteries near the cerebral aneurysm with clip and the peripheral cerebral arteries[J]. Surg Neurol Int, 2020, 11(8):224.
- [14] Tomura N, Saginoya T, Kokubun M, et al. Comparison of time-of-flight-magnetic resonance angiography from silent scan magnetic resonance angiography in depiction of arteriovenous malformation of the brain[J]. J Comput Assist Tomogr, 2019, 43(6):943-947.
- [15] Wu H, Block WF, Turski PA, et al. Noncontrast dynamic 3D intracranial MR angiography using pseudo-continuous arterial spin labeling (PCASL) and accelerated 3D radial acquisition[J]. J Magn Reson Imaging, 2014, 39(5):1320-1326.

(收稿日期:2021-01-21 修回日期:2021-08-02)