

# 三维血管壁 MRI 与 DSA 评价大脑中动脉粥样硬化性狭窄对比研究

周 斌, 孙 伟, 曹 烨, 刘晓晟

**【摘要】目的** 以 DSA 为金标准, 探讨三维血管壁磁共振成像(3D-VW-MRI) 诊断大脑中动脉(MCA)粥样硬化性狭窄程度的临床价值。**方法** 收集上海仁济医院收治的 46 例缺血性脑血管病患者。均在入院 1 周内完成颈动脉 3.0T 3D-VW-MRI 和 DSA 检查, 分别评价 MCA 狭窄程度和病变累及范围。将狭窄程度分为轻度(<49.9%)、中度(50%~69.9%)、重度(70%~99.9%)和闭塞, 并以 DSA 作金标准, 分别计算其灵敏度、特异度、阳性预测值、阴性预测值, Pearson 相关系数和 Bland-Altman 分析评价 3D-VW-MRI 和 DSA 测量结果的相关性和一致性。**结果** 46 例共有 92 段 MCA 完成 3D-VW-MRI 和 DSA 检查。3D-VW-MRI 诊断 MCA 狭窄/闭塞灵敏度、特异度、阳性预测值、阴性预测值显示, 轻度狭窄分别为 88.2%、92%、71.4%、97.2%, 中度狭窄分别为 60%、97.4%、81.8%、92.6%, 重度狭窄分别为 78.6%、94.9%、73.3%、96.1%, 闭塞分别为 100%、97.6%、83.3%、100%。两种检查手段测量管腔狭窄和病变长度呈正相关( $r$  值分别为 0.940、0.977,  $P$  值均<0.001), Bland-Altman 分析表明两种检测方法具有较好一致性。**结论** 3D-VW-MRI 评价 MCA 狭窄程度与 DSA 有高度一致性。凭借其分辨率高、扫描范围大、无创性特点, 一定程度上可替代 DSA, 作为 MCA 粥样硬化性狭窄/闭塞性疾病的常规筛查手段。

**【关键词】** 三维血管壁磁共振成像; 数字减影血管造影; 大脑中动脉; 动脉粥样硬化

中图分类号: R543 文献标志码: A 文章编号: 1008-794X(2019)-011-1024-05

**3D-VW-MRI versus DSA in evaluating atherosclerotic stenosis of middle cerebral artery: a comparison study** ZHOU Bin, SUN Yi, CAO Ye, LIU Xiaosheng. Department of Radiology, Affiliated Renji Hospital, School of Medicine, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200127, China

Corresponding author: LIU Xiaosheng, E-mail: zbyeah2003@163.com

**【Abstract】Objective** Taking DSA evaluation results as gold standard to evaluate the clinical value of 3.0T 3D vessel wall magnetic resonance imaging(3D-VW-MRI) in assessing the degree of atherosclerotic stenosis of middle cerebral artery(MCA). **Methods** A total of 46 patients with ischemic cerebrovascular disease, who were admitted to Shanghai Renji Hospital of China to receive treatment, were enrolled in this study. Both 3.0T 3D-VW-MRI and DSA of carotid artery were performed in all patients within one week after admission. The degree of MCA stenosis and the involved extent of lesion were evaluated by MRI and DSA separately. The degree of stenosis was divided into mild(<49.9%), moderate (50%-69.9%), severe (70%-99.9%) and occlusion(no flow detected). Taking DSA evaluation results as gold standard, the sensitivity, specificity, negative predictive value and positive predictive value were separately calculated. Spearman correlation analysis and Bland-Altman analysis were used to evaluate the correlation and consistency between 3.0T 3D-VW-MRI and DSA measurements. **Results** Both 3D-VW-MRI and DSA examinations were accomplished in 92 MCA segments of 46 patients. The sensitivity, specificity, negative predictive value and positive predictive value obtained by 3D-VW-MRI for mild degree of MCA stenosis were 88.2%, 92%, 71.4% and 97.2% respectively, for moderate degree of MCA stenosis were 60%, 97.4%, 81.8% and 92.6% respectively, for severe degree of MCA stenosis were 78.6%, 94.9%, 73.3% and 96.1% respectively, and for occlusion of MCA were 100%, 97.6%, 83.3% and 100% respectively. A positive correlation in measuring lumen stenosis and lesion length existed between the two measuring methods(Spearman  $r=0.940$  and  $r=0.977$  respectively,  $P<0.001$ ). Bland-Altman

analysis indicated that the two measuring methods had good consistency. **Conclusions** The 3D-VW-MRI evaluation of the degree of MCA stenosis is highly consistent with DSA evaluation. Because of its high resolution, wide scanning range and non-invasive characteristics, 3D-VW-MRI can replace DSA to a certain extent and can be used as a routine screening means in diagnosing atherosclerotic stenosis and occlusive disease of MCA. (J Intervent Radiol, 2019, 28: 1024-1028)

**【Key words】** 3D vessel wall magnetic resonance imaging; digital subtraction angiography; middle cerebral artery; atherosclerosis

颅内动脉粥样硬化性狭窄(intracranial atherosclerotic stenosis, ICAS)是亚裔人群脑卒中最常见病因之一。大脑中动脉(middle cerebral artery, MCA)是颈动脉在颅内最大终支,也是脑卒中最主要责任血管之一<sup>[1-2]</sup>。目前 DSA 具高灵敏度和特异度并可应用于血管腔内介入治疗等特点,被视为评价 MCA 病变金标准。但它属有创检查,可能会产生严重并发症,并有医源性辐射暴露等,不能显示严重狭窄/闭塞血管远端情况。随着医学影像技术发展,血管壁磁共振成像(vessel wall magnetic resonance imaging, VW-MRI)已越来越多地应用于颅内血管领域。它无创显影并可观察活体动脉管壁,以“黑血”技术有效抑制血流,准确直观地显示动脉管壁、粥样斑块形态特征和斑块成分<sup>[3-5]</sup>。本研究尝试采用 3D-VW-MRI 评估 MCA 狭窄程度和病变长度,并与 DSA 比较,以评估其对 MCA 粥样硬化性狭窄的诊断价值。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究对象

收集 2016 年 1 月至 2017 年 12 月上海仁济医院收治入院的近期(2 个月)内发生缺血性脑卒中或短暂性脑缺血发作(TIA),并经经颅多普勒超声(TCD)和/或 CTA 和/或 MRA 证实存在 MCA 狭窄患者临床资料。排除标准:①有 MRI 禁忌证;②可疑心源性脑卒中;③有其它病理性脑疾患;④急性期已经溶栓、血管内介入治疗。记录研究对象临床基本特征。

### 1.2 MRI 扫描

所有入组患者于入院 1 周内完成颈动脉 3.0T 3D-VW-MRI 和 DSA 检查。采用荷兰 Philips 公司 Intera Archieva 3.0 TX 型双梯度超导 MR 扫描仪和 15 通道 dStream 线圈系统头部线圈。常规头颅 MRI 序列扫描后,先行三维时间飞跃法(3D-TOF)MRA 成像——扫描参数:重复时间(TR)/回波时间(TE) 21 ms/3.2 ms,视野(FOV)16 mm×16 mm,层厚 1 mm,矩阵 256×256,翻转角度(FA)18°,采集时间 5 min 5 s。采用最大密度投影(MIP)重建技术获得头部血

管三维图像,根据 TOF 成像选择狭窄血管进行定位。

3D-VW-MRI 检查采用荷兰 Philips 公司 Healthcare 型容积各向同性快速自旋回波采集(volume isotropic turbo spin-echo acquisition, VISTA)序列。质子密度加权成像(proton density weighted imaging, PdWI):取冠状位,扫描范围包括颅底至颅顶层面双侧 MCA 及其分支(参数:TR/TE 2 000 ms/38 ms, FOV 200 mm×170 mm×80 mm,体素 0.5 mm×0.5 mm×0.5 mm,层厚 0.5 mm,层间距 0.5 mm,矩阵 392×336,FA 90°,采集时间 6 min 28 s。T1 加权成像(T1WI):扫描范围包括 Willis 环和双侧 MCA 主干(参数:TR/TE 800 ms/20 ms, FOV 200 mm×180 mm×40 mm,体素 0.5 mm×0.5 mm×0.5 mm,层厚 0.5 mm,层间距 0.5 mm,矩阵 332×300,FA=90°,采集时间 6 min 18 s。以 1.5 mL/s 速率静脉注射马根维显对比剂(德国 Bayer 公司)15 mL,17 d 后进行增强扫描,增强后加权成像。受试者平均总体 MR 扫描时间 37 min。

### 1.3 DSA 检查

采用美国通用公司 Innova4100 型大型平板 DSA 系统,局部麻醉下行全脑血管造影。取右侧股动脉入路, Seldinger 法穿刺,顺导管鞘置入 5 F 造影导管至双侧颈内动脉,分别以 3~4 mL/s 速率注射碘帕醇(370 mg I/mL, 上海博莱科信谊药业公司)18~24 mL,作正侧位造影,观察各血管及其主要分支分布有无异常并摄取正侧位片,必要时增加其它体位摄片。数字平板像素矩阵 1 024×1 024,图像采集分辨率为 0.20 mm×0.20 mm。

### 1.4 图像质量评分

由 2 名神经影像诊断专业高年资医师分别对图像质量进行评估,意见不一致时协商解决。图像质量按照自差至好顺序分级。1 级:图像中 MCA 内外壁、管腔结构无法观察,有明显运动伪影;2 级:图像中大部分层面 MCA 内外壁、管腔结构显示不清晰,或有运动伪影;3 级:图像中 MCA 内外壁、管腔结构显示较为清晰,管腔内血流信号抑制不完全,大多数层面中无明显伪影;4 级:图像中 MCA 内外

壁、管腔结构显示清晰,管腔内血流信号完全抑制,无明显伪影。 $\leq 2$  级图像将被排除,不用于统计。

### 1.5 血管狭窄程度和病变范围测量

对获取的 MR 图像,采用 Vessel Mass 血管斑块分析软件(荷兰 Leiden 大学 Medis 医学影像系统公司)沿目标血管长轴行曲面重建,作图像分析和数据测量;对 DSA 图像,在美国通用公司 AW4.4 图像工作站上作测量。同一血管内若存在多发斑块或狭窄,则选取狭窄程度最大部位作统计。PdWI-VISTA 和 DSA 图像上测量血管腔狭窄程度,根据华法林-阿司匹林治疗症状性颅内动脉疾病(WASID)临床试验研究标准<sup>[6]</sup>作评价,即狭窄率( $\%$ )=(1-最窄层面管腔直径/狭窄远端正常血管直径) $\times 100\%$ , $<49.9\%$  为轻度狭窄,50%~69.9%为中度狭窄,70%~99.9%为重度狭窄,血管腔完全堵塞为闭塞,未见显影。病变累及范围为沿血管长轴的累及范围。

2 名有 10 年以上神经影像诊断经验医师各自独立测量所有 MR 和 DSA 图像血管狭窄程度及病变累及范围,测量前隐去患者临床资料且测量顺序为随机。2 名医师测量结果通过组内相关系数(ICC)作一致性评价,将两者测量结果取平均值纳入后续统计分析。

### 1.6 统计学分析

采用 SPSS 22.0 软件进行统计学分析。连续变量数据记录以均数 $\pm$ 标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示,分类变量记录为计数(百分比)。以 DSA 为金标准,分别计算 MCA 轻度、中度、重度狭窄和闭塞等 4 个分级的灵敏度、特异度、阳性预测值、阴性预测值,以及狭窄

率和病变累及范围的 Spearman 相关系数,一致性评价用 Bland-Altman 法,绘制一致性限度(LoA)作为评价一致性指标, $P<0.05$  为差异有统计学意义。

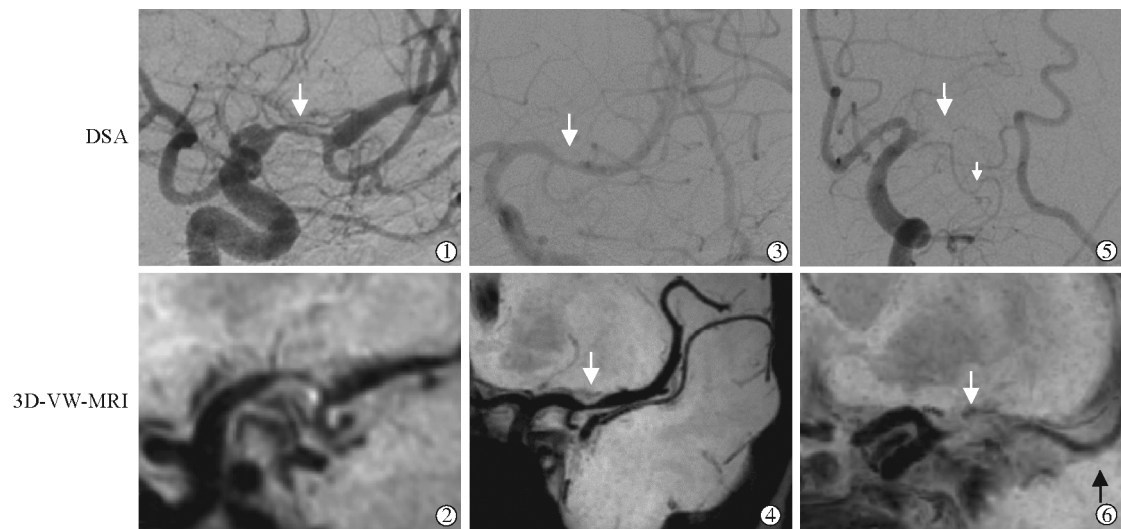
## 2 结果

49 例拟入组患者中有 3 例因配合欠佳,所获图像存在明显运动伪影,质量判定为 1 级或 2 级,其余 46 例图像质量符合要求,最终入组。入组患者一般特征见表 1。

表1 46 例患者一般特征

参数	数值
男性/ $n(\%)$	37(80.4)
年龄/岁	65.7 $\pm$ 9.3
伴高血压/ $n(\%)$	39(84.8)
伴糖尿病/ $n(\%)$	30(65.2)
吸烟史/ $n(\%)$	36(78.2)
饮酒史/ $n(\%)$	25(54.3)
总胆固醇(TC)/(mmol/L)	4.4 $\pm$ 1.1
三酰甘油(TG)/(mmol/L)	1.4 $\pm$ 0.6
高密度脂蛋白(HDL)/(mmol/L)	1.2 $\pm$ 0.3
低密度脂蛋白(LDL)/(mmol/L)	2.7 $\pm$ 1.1
同型半胱氨酸(Hcy)/( $\mu$ mol/L)	17.0 $\pm$ 5.5

46 例共有 92 段 MCA 完成 3D-VW-MRI 和 DSA 检查。2 名医师对 MR 和 DSA 图像上 MCA 狭窄率和病变范围的测量结果,具有良好一致性(ICC 分别为 0.90、0.93)。92 段 MCA 中,3D-VW-MRI、DSA 诊断阳性血管分别有 59 段、56 段;测量血管狭窄程度一致的共 77 段(83.7%)(图 1①),3D-VW-MRI 诊断狭窄程度较 DSA 偏高 11 段(12.0%)、偏低 4 段(4.3%)(图 1②、表 2);3D-VW-MRI 诊断 MCA 狭窄/闭塞灵敏度、特异度、阳性预测值、阴性



①②DSA、3D-VW-MRI 均示左侧 MCA 狭窄;③④DSA 示左侧 MCA 中度狭窄,3D-VW-MRI 示左侧 MCA 重度狭窄;⑤⑥DSA 示左侧 MCA 闭塞,远端管腔无显影,3D-VW-MRI 示左侧 MCA M1 段闭塞(白箭头),远端管腔显影(黑箭头)

图1 3D-VW-MRI 与 DSA 测量 MCA 狭窄程度比较

预测值显示,轻度狭窄分别为 88.2%、92%、71.4%、97.2%,中度狭窄分别为 60%、97.4%、81.8%、92.6%,重度狭窄分别为 78.6%、94.9%、73.3%、96.1%,闭塞分别为 100%、97.6%、83.3%、100%; DSA 诊断为 MCA 闭塞的 7 例患者中,3D-VW-MRI 可显示闭塞段远端管腔,而 DSA 检查中远端管腔未显影(图 1③)。

3D-VW-MRI、DSA 测量不同等级管腔狭窄定量指标见表 3。DSA 诊断存在狭窄的 56 段血管中,3D-VW-MRI、DSA 测量血管狭窄程度、病变长度的 Spearman 相关系数分别为 0.940、0.977, $P$  值均  $<0.001$ (图 2),表明两者测量 MCA 狭窄程度和病变累及范围的相关性很好。

测量狭窄程度和病变长度 Bland-Altman 法回

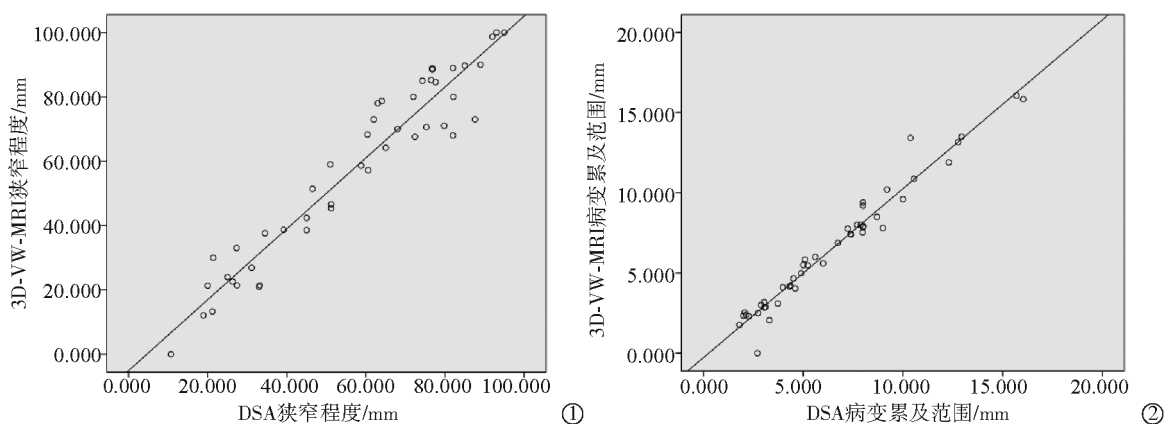
表 2 3D-VW-MRI 和 DSA 诊断 MCA 狭窄程度分布

3D-VW-MRI 诊断	DSA 诊断				
	正常	轻度狭窄	中度狭窄	重度狭窄	闭塞
正常	32	1	0	0	0
轻度狭窄	4	15	2	0	0
中度狭窄	0	1	9	1	0
重度狭窄	0	0	4	11	0
闭塞	0	0	0	2	10
合计	36	17	15	14	10

归均显示  $P>0.05$ , 认为均值与差值独立, 可计算 LoA; LoA 外点数为 0 个和 2 个(图 3), 占 0%和 4%, 均  $<5\%$ ; 考虑到两种检测方法存在系统误差和样本较小, 故从临床上考虑这种差异可接受, 说明两种方法的一致性较好。

表 3 3D-VW-MRI 和 DSA 测量血管狭窄定量指标

3D-VW-MRI/DSA	轻度狭窄	中度狭窄	重度狭窄	整体
狭窄率/%	25.1±11.7/24.0±14.7	67.7±11.8/63.8±8.3	84.1±10.2/75.9±19.1	55.7±28/51.7±27
病变长度/mm	3.2±1.3/2.7±1.6	8.2±4.3/8.1±4.2	8.5±2.2/8.2±1.8	6.3±3.7/6.0±3.8



①Spearman 相关系数为 0.940( $P<0.001$ ); ②Spearman 相关系数为 0.977( $P<0.001$ )

图 2 3D-VW-MRI 和 DSA 评价 MCA 狭窄程度和病变累及范围散点图

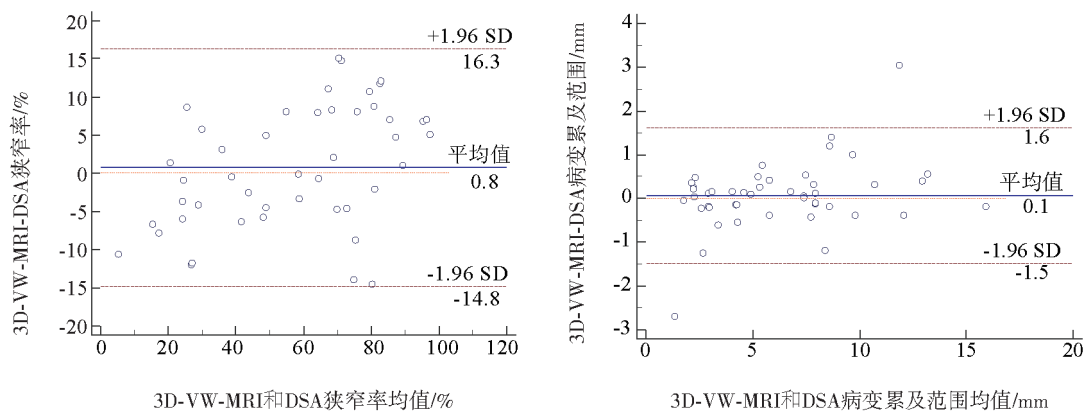


图 3 3D-VW-MRI、DSA 评价 MCA 狭窄程度和病变累及范围 Bland-Altman 分析图



### 3 讨论

DSA 目前仍为诊断 ICAS 金标准,但因其有创性和存在电离辐射等因素,已不推荐用于颅内血管狭窄诊断。本研究结果显示 3D-VW-MRI 技术在评价 MCA 狭窄/闭塞性疾病方面与 DSA 有相同的诊断价值,两种检查方法有很高的一致性;表明 3D-VW-MRI 可直观精确地测量 ICAS 及其斑块累及范围,可作为 ICAS 高危人群常规筛查手段。

本研究采用的 3D-VISTA 序列,是一种新兴快速自旋回波序列,此前多用于脊柱、关节等部位扫描<sup>[7]</sup>。正常 MCA 管壁厚度为 0.2~0.3 mm,约为血管腔直径 1/10,小于目前常规 MR 检查可实现的最小体素。但 VISTA 技术可实现血管壁显影,它通过在重聚回波链中运用可变小角度翻转角,利用较长 TE 时间和固有梯度,对血管腔内流动血液和血管外流动脑脊液信号进行抑制,但血管壁本身信号并未抑制,此外血管病变往往导致血管壁增厚,因而能清晰显示血管壁和粥样斑块形态。3D-VISTA 序列显示颅内血管病变狭窄相比传统 MR 血管成像具有优势<sup>[3]</sup>,传统“亮血”技术如 3D-TOF 虽扫描速度快,但在血管分叉或弯曲处因涡流等因素影响,易导致血流信号丢失,从而影响对管腔狭窄程度准确评估<sup>[8,9]</sup>,而传统 2D 血管壁成像“黑血”技术局限性在于扫描范围小、目标血管定位困难,如空间预饱和和技术、双反转恢复(DIR)技术等。空间预饱和技术又称饱和带法,是将饱和带放置在血流流入方向,从而抑制血流信号,但其对血液 T1 值很敏感,易出现血流伪影;DIR 技术原理是分别通过非层面选择反转预脉冲和层面反转脉冲,使成像层面磁化矢量偏转回到原始平衡位置,经过一定时间施加 90°激励射频脉冲后成像,标准 DIR 技术只能单层采集,重复时间较长,且采集效率较低。然而 3D-VISTA 序列通过采集各向同性数据观察多维 2D 层面,可提高扫描灵活性,并具有分辨率高、扫描范围大的特点,一次扫描即能对颅内主要动脉完整显示,可根据重组影像观察到任何扫描范围内兴趣区血管,对病变进行更完整的评价。

本研究发现,3D-VW-MRI 可显示 MCA M1 段闭塞患者远端管腔,而 DSA 往往不能显影近端管腔闭塞且远端未明显侧支形成患者血管远端分支。MCA 支架成形手术成功的标准之一是植入支架位置恰当、长度足够覆盖病变,但 DSA 通常不能判断

闭塞长度,而本研究表明 3D-VW-MRI 可弥补此不足,有助于介入科医师术前选择长度适宜的动脉支架。因此,3D-VW-MRI 用于术前评估 MCA 闭塞患者病变范围及远端血管情况,对介入治疗有指导意义。

本研究中 3D-VW-MRI 评价部分患者 MCA 狭窄程度和病变累及范围略较 DSA 夸大,但差异无统计学意义。究其原因:①重要因素是慢血流,VW-MR 技术依靠血流流速实现血流信号抑制,狭窄处靠近管壁的血流往往流速较低,导致管腔周边血流信号抑制不完全,有时会与管壁信号相混淆;②由于 DSA 摄片为 2D 图像,获取的是固定体位血管平面投影,而 3D-VW-MRI 为 3D 图像,可通过后处理获取任意角度血管成像,继而选取病变最显著角度进行测量,两者用于测量的图像角度可能存在差异。

### [参考文献]

- [1] 陈伟伟,高润霖,刘力生,等.《中国心血管病报告 2015》概要[J]. 中国循环杂志, 2016, 31: 521-528.
- [2] Writing Group Members, Mozaffarian D, Benjamin EJ, et al. Executive summary: heart disease and stroke statistics - 2016 update: a report from the American Heart Association [J]. Circulation, 2016, 133: 447-454.
- [3] Mandell DM, Mossa-Basha M, Qiao Y, et al. Intracranial vessel wall MRI: principles and expert consensus recommendations of the American Society of Neuroradiology [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2017, 38: 218-229.
- [4] Qiao Y, Zeiler SR, Mirbagheri S, et al. Intracranial plaque enhancement in patients with cerebrovascular events on high-spatial-resolution MR images [J]. Radiology, 2014, 271: 534-542.
- [5] Cao Y, Sun Y, Zhou B, et al. Atherosclerotic plaque burden of middle cerebral artery and extracranial carotid artery characterized by MRI in patients with acute ischemic stroke in China: association and clinical relevance [J]. Neurol Res, 2017, 39: 344-350.
- [6] Samuels OB, Joseph CJ, Lynn MJ, et al. A standardized method for measuring intracranial arterial stenosis [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2000, 21: 643-646.
- [7] 潘希敏,胡美玉,刘迪敏,等. 脊柱侧弯畸形 VISTA 序列 MRI 评价研究 [J]. 磁共振成像, 2013, 4: 426-430.
- [8] Singhal A, Cure JK. Absent vascular signal on time-of-flight magnetic resonance angiography due to recent ferumoxytol infusion [J]. J Comput Assist Tomogr, 2017, 41: 334-335.
- [9] 谢珊珊,程敬亮,张勇,等. 三种方法诊断大脑中动脉狭窄的对照研究 [J]. 介入放射学杂志, 2014, 23: 96-99.

(收稿日期:2019-02-28)

(本文编辑:边 皓)