

·综述 General review·

静音 MRA 在颅内动脉瘤介入栓塞术后随访中的应用价值

赵芝敏, 赵 卫, 李自恒, 王 滔, 熊 峰, 冯超凡

【摘要】 静音 MRA(silent MRA)是对 DSA、CTA、传统 MRA 等常规血管内介入治疗术后随访方式的优化和补充。凭借动脉自旋标记(ASL)技术和零回波时间(ZTE)放射采集技术的独特优势,silent MRA 实现了无创、低磁化率伪影、低采集噪音及高诊断性能血管造影,为临床随访提供了更多选择。该文介绍 silent MRA 成像技术及其在颅内动脉瘤栓塞术后随访中的应用价值。

【关键词】 静音 MRA; 颅内动脉瘤; 图像质量; 随访

中图分类号:R743 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2022)-08-0825-04

Clinical application value of silent MRA in the follow-up of patients with intracranial aneurysms after receiving interventional embolization ZHAO Zhimin, ZHAO Wei, LI Ziheng, WANG Tao, XIONG Feng, FENG Chaofan. Medical Imaging Center, First Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming, Yunnan Province 650032, China

Corresponding author: WANG Tao, E-mail: kmtaowang@126.com

【Abstract】 Silent magnetic resonance angiography(silent MRA) is an optimization and supplement to the follow-up methods that are usually adopted after routine endovascular interventional therapy under the guidance of DSA, CTA and conventional MRA. With its unique advantages of arterial spin labeling(ASL) technique and zero echo time(ZTE) radiation acquisition technique, silent MRA has achieved non-invasive angiography with low magnetic susceptibility artifacts, low acquisition noise and high diagnostic performance. Therefore, silent MRA provides more options for clinical follow-up of patients. This article introduces the imaging technique of Silent MRA, and discusses its application value in the follow-up of patients with intracranial aneurysm after embolization treatment. (J Intervent Radiol, 2022, 31: 825-828)

【Key words】 silent magnetic resonance angiography; intracranial aneurysm; image quality; follow-up

随着近年介入器材和成像设备不断发展,支架辅助弹簧圈栓塞术或血流导向装置植入术均已成为颅内动脉瘤治疗的可选择策略^[1-2]。然而许多研究表明,一些体积大和宽颈动脉瘤虽在介入栓塞后完全闭塞,但仍有复发或新发动脉瘤可能,一些初次介入治疗后栓塞不完全患者需要二次治疗^[3-6],因而需要对颅内动脉瘤栓塞术后患者进行定期随访,以评估动脉瘤闭塞情况或新发动脉瘤。目前常用于颅内动脉瘤介入栓塞术后随访方法有 DSA、CTA、MRA 等^[7]。DSA 作为一种有创方法,仍是目前栓塞术后动脉瘤随访的金标准^[3,8]。时间飞跃(time-of-flight, TOF)-MRA 作为 DSA 的一种无创性替代成像方法,已广泛应用于动脉瘤栓塞术后随访。然而

由于磁化率和射频屏蔽原因,它在显示术后部位血流流动方面受到很大限制,甚至会出现术后部位扫描信号丢失^[9-11]。因此,静音 MRA(silent MRA)被引入作为随访栓塞后颅内动脉瘤的一种成像方式。现对 silent MRA 在颅内动脉瘤介入栓塞术后随访中的应用价值进行阐述。

1 颅内动脉瘤介入栓塞术后随访方法

1.1 DSA

目前 DSA 被认为是评估颅内动脉瘤栓塞术后随访的金标准。DSA 具有高空间分辨率、三维成像及获得连续动态图像等优势,可清晰地显示出弹簧圈和支架位置、支架形态及其与载瘤动脉之间的关

系,并能多角度显示出动脉瘤瘤颈情况,同时还具有不受金属伪影影响的优势,这意味着无论使用何种弹簧圈、支架或腔内血流导向装置,其对动脉瘤残余血流的分析均较为准确^[7,12]。但是作为一项有创性检查,一些不利因素限制了它的发展,如不可避免的电离辐射、对比剂过敏或不良反应、穿刺部位血肿以及血栓栓塞或其他原因引起的神经系统并发症。Willinsky 等^[13]对 2 899 例接受脑血管 DSA 造影术患者资料进行前瞻性研究,结果有 39 例出现神经系统并发症,发生率为 1.3%,其中 15 例(0.5%)为永久性神经功能缺失,包括 7 例(0.25%)严重或致残性脑卒中。可见,重复手术会使手术相关风险不断增加,无创性成像技术才应该是术后随访首选。

1.2 CTA

CTA 技术具有成本低、检查时间短、无创伤性等优点,在临床上应用广泛。该技术诊断颅内动脉瘤的灵敏度可达到 DSA 造影术的 95%^[14]。对于外科夹闭动脉瘤影像学随访,CTA 可作为一种 DSA 替代方案^[15-16]。但对于颅内动脉瘤栓塞术后随访,CTA 存在射线束硬化伪影问题,同时辐射暴露和对比剂应用等缺点也使其应用受限^[3,7,12]。随着消除金属伪影算法的开发或双能量 CT 应用,可能会扩大 CTA 在术后随访中的应用范围^[17]。今后研究中需要大样本数据评价 CTA 随访颅内动脉瘤支架或血流导向装置植入术后表现,并与其他成像方法作对照。

1.3 MRA

MRA 是首选的无创性成像技术,其检查绝对禁忌证有铁磁性金属植入物和起搏器等。MRA 包括对比增强 MRA(contrast-enhanced MRA,CE-MRA)、TOF-MRA 等。有研究表明,TOF-MRA 在评估栓塞术后颅内动脉瘤方面具有较高灵敏度和特异性,并作为一种不需应用对比剂的可行成像方法得到越来越多关注。但由于磁化率和射频屏蔽的原因,它在显示治疗后载瘤动脉节段血流方面仍受到限制,一些学者对其诊断准确性持怀疑态度^[18-19]。Akkaya 等^[20]研究表明,CE-MRA 对颈动脉瘤残余和瘤颈残余的显示与 DSA 一样清晰,在支架通畅性显示方面也具有高灵敏度,同时与 TOF-MRA 相比更具特异性。近年来 MRI 对比剂应用相关并发症如肾源性全身纤维化、过敏性休克、齿状核和苍白球中钆剂沉积等,始终是关注焦点^[12,21]。因此,CE-MRA 不适合作为动脉瘤栓塞术后患者常规随访手段。与上述两种成像技术相比,silent MRA 可能是一种评估残余动脉瘤和支架内腔情况的更好无创方法。

2 silent MRA 在颅内动脉瘤介入栓塞术后的应用

2.1 silent MRA 技术成像实现

silent MRA 扫描算法尚未公开,但其主要采用动脉自旋标记(arterial spin labeling,ASL)技术和零回波时间(zero echo time,ZTE)放射采集技术^[12,22],将内源性氢质子作为对比剂,使湍急或缓慢流动的血液信号引起的伪影和与磁化率相关伪影最小化,提升了图像质量及诊断准确率。

ASL 技术通常被用作显示血流的准备脉冲,silent 扫描中先在标记脉冲前利用 ZTE 技术扫描目标区域并获得未标记图像,随后在近心端标记层面对动脉血进行连续式自旋标记,当被标记的动脉血流流入靶区域,再利用 ZTE 技术扫描目标区域获得标记图像,最后通过从对照图像中减去已标记图像得到最终剪影图像。

静音扫描采用 ZTE 技术,先施加梯度,然后进行射频激励。梯度对射频激励产生的横向磁化度立即进行编码且无时间延迟,这样可减短激励持续时间,减小翻转角,并最大限度减少发射射频脉冲与接收切换间时间延迟,实现 ZTE 成像。此外,ZTE 脉冲序列应用三维径向中心向外扫描采集方案,从而减轻流动血液信号引起的伪像和与磁化率相关伪影。

2.2 silent MRA 应用于术后随访的价值

有关 silent MRA 在颅内动脉瘤介入栓塞术后随访的研究较为有限,其临床应用并不广泛。但目前研究显示,silent MRA 有望成为动脉瘤栓塞术后随访的一线无创性成像手段。随着介入手术方式不同,介入器材及置入物应用多种多样,对 silent MRA 成像技术提出了更高要求。本节主要综述 silent MRA 在颅内动脉瘤支架辅助弹簧圈治疗和血流导向装置治疗后随访中的应用。

近年已有很多研究证明血流导向装置的有效性和安全性,临床应用也在不断增加,但传统支架辅助弹簧圈治疗颅内动脉瘤,尤其是治疗宽颈动脉瘤,仍然是常规术式^[23]。支架辅助弹簧圈栓塞术后仍存在血栓形成和支架内再狭窄风险。日常临床实践中三维 TOF-MRA 广泛应用于颅内动脉瘤栓塞术后随访,也常被认为是一种 DSA 无创替代方案。为了克服 TOF-MRA 自身缺点,如很难显示支架内血流,silent MRA 作为一种新型随访工具进入大众视野。已有一些研究评估 silent MRA 对于不同支架植入颅内动脉瘤的临床应用价值。Takano 等^[24]报道一项低剖面可视化腔内支撑装置(LVIS) Jr 辅助弹簧圈栓塞术后 silent MRA 研究,共 31 枚颅内前循环

动脉瘤中植入 41 枚 LVIS Jr, 结果表明 silent MRA 能显示重建动脉,且显示质量优于三维 TOF-MRA,同时对动脉瘤闭塞检测与 DSA 有很强的一致性。Takano 等^[25]报道对 7 例接受 Y 形支架辅助弹簧圈栓塞治疗后的基底动脉尖部动脉瘤患者进行 silent MRA、三维 TOF-MRA 和 DSA 检查,结果表明 silent MRA 与三维 TOF-MRA 相比能更清晰显示支架内血流情况;认为其可能成为 Y 形支架辅助弹簧圈栓塞治疗基底动脉尖部动脉瘤后一种常用随访手段。以上不同研究均表明,silent MRA 的可视化能力优于三维 TOF-MRA。

近年血流导向装置应用越来越广泛,具有高金属覆盖率和低网孔率,通过对载瘤动脉内血流进行重塑减少流入动脉瘤血液,促进血栓形成,从而防止动脉瘤破裂。目前常用血流导向装置主要有 Pipeline Flex、Tubridge 及 Silk。由于贴壁不良导致支架内皮化失败^[26]、动脉瘤闭塞率下降及支架内形成血栓风险增大,需要定期通过影像学随访检查动脉瘤闭塞情况和载瘤动脉通畅性^[27],而 silent MRA 作为栓塞术后动脉瘤随访的一线无创性成像手段成为可能。Oishi 等^[18]以 DSA 影像作为参考标准,对比 silent MRA 与 TOF-MRA 评估载瘤动脉和动脉瘤栓塞状态时的有效性,78 例符合入组标准患者分别接受 DSA、silent MRA 和 TOF-MRA 评估动脉瘤闭塞情况,结果显示 silent MRA、TOF-MRA 与 DSA 的符合率分别为 91.0%、80.8%,表明 silent MRA 在显示动脉瘤闭塞情况方面优于 TOF-MRA;TOF-MRA 在显示宽颈动脉瘤且植入 Pipeline Flex 较长影像时评分较低,可能与 Pipeline Flex 产生金属伪影有关。但不论是动脉瘤大小和位置,还是 Pipeline Flex 直径和长度,是否使用额外弹簧圈,silent MRA 均显示出优越的可视化效果。这得益于 silent MRA 特有的 ASL 技术和 ZTE 放射采集技术。鉴于这些结果,silent MRA 技术评估 Pipeline Flex 植入后动脉瘤内血流变得更加有效。

2.3 silent MRA 局限性

目前,silent MRA 存在一定的局限性。首先其包含的 ZTE 采集技术对硬件系统及配套设备要求很高。Ryu 等^[12]为尽可能缩短扫描时间,使用了 48 通道头线圈,同时还对扫描参数进行优化。其次,silent MRA 图像采集时间比常规 TOF-MRA 长。Oishi 等^[18]应用 silent MRA 成像需要 12 min 13 s,应用 TOF-MRA 成像需要 4 min 45 s。因此,对于幽闭恐惧症患者、儿童或老年人以及病情不稳定患者,TOF-

MRA 更可取。第三,整体诊断图像质量低于 TOF-MRA。该观点在 Holdsworth 等^[28]、Ryu 等^[12]研究报道中均有提到,发现 silent MRA 采集到的图像显示血管壁较为模糊,这可能是动脉管腔外层血流流速慢于管腔中心及扫描时间较长所致。

3 总结与展望

随着介入器材和 MR 软硬件不断发展,silent MRA 凭借特有的 ASL 技术和 ZTE 放射采集技术优势,克服了部分传统 MRA 的缺陷。与 CE-MRA 相比,具有无创伤性和无对比剂等优势;与 TOF-MRA 相比,具有磁化率伪影小、诊断性能更高及采集噪音低等技术优势。同时,silent MRA 回波时间极短,可最大限度减少血流信号相位离散,并且受金属磁化伪影影响较小,因此与 TOF-MRA 相比能更清晰地显示脑动静脉畸形成分,尤其是病灶、引流静脉及微小动静脉畸形^[29],有望成为脑动静脉畸形的一种有效的筛查和随访方式。但在未来 silent MRA 技术应用中如何解决扫描图像血管壁边缘粗糙模糊问题,提高整体诊断图像质量,进一步缩短扫描时间,扩大日常临床应用至关重要,仍需探讨。目前研究报道多为回顾性单中心研究,且样本量相对较小,需要进一步研究明确这项技术的临床应用。

[参考文献]

- [1] Briganti F, Leone G, Cirillo L, et al. Postprocedural, midterm, and long-term results of cerebral aneurysms treated with flow-diverter devices: 7-year experience at a single center[J]. *Neurosurg Focus*, 2017, 42: E3.
- [2] Ahmed SU, Mocco J, Zhang X, et al. MRA versus DSA for the follow-up imaging of intracranial aneurysms treated using endovascular techniques: a meta-analysis[J]. *J Neurointerv Surg*, 2019, 11: 1009-1014.
- [3] Song Y, Qi P, Huang J, et al. Application of zero echo time MR angiography in follow-up of intracranial aneurysm remnant and in-stent lumen after embolization: a comparison study with digital subtraction angiography[J]. *Acta Radiol*, 2020, 61: 480-486.
- [4] Crobeddu E, Lanzino G, Kallmes DF, et al. Review of 2 decades of aneurysm-recurrence literature, part 1: reducing recurrence after endovascular coiling[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2013, 34: 266-270.
- [5] Brilstra EH, Rinkel GJ, van der Graaf Y, et al. Treatment of intracranial aneurysms by embolization with coils: a systematic review[J]. *Stroke*, 1999, 30: 470-476.
- [6] Arrese I, Sarabia R, Pintado R, et al. Flow-diverter devices for intracranial aneurysms: systematic review and meta-analysis[J].

- Neurosurgery, 2013, 73: 193-199.
- [7] Soize S, Gawlitza M, Raoult H, et al. Imaging follow - up of intracranial aneurysms treated by endovascular means: why, when, and how?[J]. Stroke, 2016, 47:1407-1412.
 - [8] Lubicz B, Neugroschl C, Collignon L, et al. Is digital subtraction angiography still needed for the follow - up of intracranial aneurysms treated by embolisation with detachable coils? [J]. Neuroradiology, 2008, 50: 841-848.
 - [9] Cho WS, Kim SS, Lee SJ, et al. The effectiveness of 3T time-of-flight magnetic resonance angiography for follow-up evaluations after the stent-assisted coil embolization of cerebral aneurysms [J]. Acta Radiol, 2014, 55: 604-613.
 - [10] Hayashi K, Kitagawa N, Morikawa M, et al. Long-term follow-up of endovascular coil embolization for cerebral aneurysms using three-dimensional time-of-flight magnetic resonance angiography [J]. Neurol Res, 2009, 31: 674-680.
 - [11] Cho YD, Kim KM, Lee WJ, et al. Time - of - flight magnetic resonance angiography for follow - up of coil embolization with enterprise stent for intracranial aneurysm: usefulness of source images[J]. Korean J Radiol, 2014, 15: 161-168.
 - [12] 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: 220-228.
 - [13] Willinsky RA, Taylor SM, Terbrugge K, et al. Neurologic complications of cerebral angiography: prospective analysis of 2,899 procedures and review of the literature[J]. Radiology, 2003, 227: 522-528.
 - [14] happell ET, Moure FC, Good MC. Comparison of computed tomographic angiography with digital subtraction angiography in the diagnosis of cerebral aneurysms: a meta-analysis[J]. Neurosurgery, 2003, 52:624-631.
 - [15] Lee JH, Kim SJ, Cha J, et al. Postoperative multidetector computed tomography angiography after aneurysm clipping: comparison with digital subtraction angiography[J]. J Comput Assist Tomogr, 2005, 29: 20-25.
 - [16] Kunert P, Prokopienko M, Gola M, et al. Assessment of long-term results of intracranial aneurysm clipping by means of computed tomography angiography[J]. NeurolNeurochirPol, 2013, 47: 18-26.
 - [17] Psychogios MN, Scholz B, Rohkohl C, et al. Impact of a new metal artefact reduction algorithm in the noninvasive follow-up of intracranial clips, coils, and stents with flat-panel angiographic CTA: initial results[J]. Neuroradiology, 2013, 55: 813-818.
 - [18] Oishi H, Fujii T, Suzuki M, et al. Usefulness of silent MR angiography for intracranial aneurysms treated with a flow - diverter device[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2019, 40: 808-814.
 - [19] Boddu SR, Tong FC, Dehkharghani S, et al. Contrast-enhanced time - resolved MRA for follow - up of intracranial aneurysms treated with the pipeline embolization device [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2014, 35: 2112-2118.
 - [20] Akkaya S, Akca O, Arat A, et al. Usefulness of contrast - enhanced and TOF MR angiography for follow - up after low - profile stent-assisted coil embolization of intracranial aneurysms [J]. Interv Neuroradiol, 2018, 24: 655-661.
 - [21] Kanda T, Ishii K, Kawaguchi H, et al. High signal intensity in the dentate nucleus and globus pallidus on unenhanced T1 - weighted MR images: relationship with increasing cumulative dose of a gadolinium - based contrast material [J]. Radiology, 2014, 270: 834-841.
 - [22] 嵇 昀,徐 凯,吴 琛,等. Silent MRA 与 3D TOF MRA 对颈内动脉海绵窦段的成像质量比较[J]. 临床放射学杂志, 2019, 38:923-926.
 - [23] 陈衍江,权 涛,徐浩文,等. 多支架辅助弹簧圈栓塞和密网支架治疗颅内宽颈大动脉瘤效果比较[J]. 介入放射学杂志, 2020, 29:871-875.
 - [24] 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: 1610-1616.
 - [25] 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: 577-581.
 - [26] Kato N, Yuki I, Ishibashi T, et al. Visualization of stent apposition after stent-assisted coiling of intracranial aneurysms using high resolution 3D fusion images acquired by C-arm CT[J]. J Neurointerv Surg, 2020, 12: 192-196.
 - [27] Naganuma T. Acute stent malapposition: harmful or harmless? [J]. Int J Cardiol, 2020, 299:106-107.
 - [28] Holdsworth SJ, Macpherson SJ, Yeom KW, et al. Clinical evaluation of silent T1-weighted MRI and silent MR angiography of the brain[J]. AJR Am J Roentgenol, 2018, 210: 404-411.
 - [29] Arai N, Akiyama T, Fujiwara K, et al. Silent MRA: arterial spin labeling magnetic resonant angiography with ultra-short time echo assessing cerebral arteriovenous malformation [J]. Neuroradiology, 2020, 62: 455-461.

(收稿日期:2021-08-23)

(本文编辑:边 皓)