

磁共振3D TOF-MRA和ZTE-MRA在脑血管成像的对比

宋宇¹, 晁迎九², 徐运军¹

1. 安徽医科大学附属省立医院影像科, 安徽 合肥 230001; 2. 中国科学技术大学附属第一医院神经外科, 安徽 合肥 230036

【摘要】目的:比较3D TOF-MRA和ZTE-MRA技术在脑血管的成像质量。**方法:**收集安徽医科大学附属省立医院2019年3月~2020年1月在放射科行脑血管3D TOF-MRA及ZTE-MRA的31例病人的影像资料,进行血管可视化及饱和伪影的质量评分,采用Kappa检验评估两名阅片者评分的一致性,并使用Wilcoxon符号秩检验对两种MRA成像的质量评分进行比较。测量并计算图像的信噪比、对比噪声比和对比度,采用配对样本 t 检验评估各项客观评价指标。**结果:**两名阅片者的质量评分结果具有较强的一致性($Kappa>0.6$);ZTE-MRA成像血管可视化的评分与3D TOF-MRA无显著差异($P>0.05$),在饱和伪影方面ZTE-MRA成像有显著优势($P<0.05$);除在动脉瘤介入术后栓塞段成像的信噪比,ZTE-MRA成像客观评估的各项指标均高于3D TOF-MRA成像($P<0.05$)。**结论:**ZTE-MRA与传统3D TOF-MRA成像技术相比,脑血管的成像质量明显提高。

【关键词】磁共振血管成像;3D TOF-MRA;ZTE-MRA;脑血管;成像质量

【中图分类号】R816.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2020)12-1529-05

Comparison between 3D TOF-MRA and ZTE-MRA in the imaging of cerebral vessels

SONG Yu¹, CHAO Yingjiu², XU Yunjun¹

1. Department of Imaging, The Affiliated Provincial Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230001, China; 2. Department of Neurosurgery, the First Affiliated Hospital of University of Science and Technology of China, Hefei 230036, China

Abstract: Objective To compare the imaging quality of 3D TOF-MRA and ZTE-MRA for cerebral vessels. **Methods** The imaging data from 31 patients who accepted cerebrovascular 3D TOF-MRA and ZTE-MRA in the radiology department of the Affiliated Provincial Hospital of Anhui Medical University from March 2019 to January 2020 were collected to evaluate the imaging quality of vessel visualization and saturation artifacts. Kappa test was used to evaluate the consistency of the two image readers, and Wilcoxon signed-rank test was used to compare the quality scores of the two kinds of MRA. Signal to noise ratio, contrast to noise ratio and contrast ratio of images were measured and calculated. Matched samples t -test was used to evaluate the objective evaluation indexes. **Results** The quality scores from the two readers have a strong consistency, with $Kappa>0.6$. There was no statistically significant difference in vessel visualization scores between ZTE-MRA and 3D TOF-MRA ($P>0.05$), and ZTE-MRA has significant advantages in saturation artifacts ($P<0.05$). Except for the SNR of the imaging of embolization segment after aneurysm intervention, all the objective evaluation indexes of ZTE-MRA were significantly better than those of 3D TOF-MRA ($P<0.05$). **Conclusion** Compared with traditional 3D TOF-MRA, ZTE-MRA showed significant advantages in the quality of cerebrovascular imaging.

Keywords: magnetic resonance angiography; 3D TOF-MRA; ZTE-MRA; cerebral vessels; imaging quality

前言

脑血管疾病是指脑血管阻塞或脑循环障碍,导

致缺血性或出血性脑卒中的各种疾病,包括缺血或出血性脑血管病、动脉粥样硬化性疾病、高血压脑病、颅内动脉瘤等,在当前人群中发病率很高,约5%~10%^[1-2]。颅内动脉瘤是高发的脑血管疾病之一,易破裂出血,存在极高的风险,目前临床常用的治疗手段包括支架辅助弹簧圈栓塞、动脉瘤夹闭术等^[3]。颈内动脉虹吸部由于存在多个生理性弯曲,血管走行迂曲,是血管狭窄与动脉瘤的好发部位^[4-5]。

数字减影血管造影(Digital Subtraction

【收稿日期】2020-07-10

【基金项目】安徽省自然科学基金(1708085ME114);中央高校基金(WK9110000062)

【作者简介】宋宇,在读硕士,研究方向:放射诊断,E-mail: 18133677851@163.com

【通信作者】徐运军,博士,主任医师,研究方向:放射诊断,E-mail: xyj23018@ustc.edu.cn

Angiography, DSA)是目前评价脑血管的金标准,但由于是导管血管造影,存在一定的神经系统并发症、对比剂过敏、X线辐射等风险^[6]。磁共振血管成像(Magnetic Resonance Angiography, MRA)无需注射对比剂,具有非创伤性、无辐射等优势,逐渐成为临床常规评估脑血管病变的手段之一。然而传统的三维时间飞跃法 MRA (3D Time-of-Flight MRA, 3D TOF-MRA)在一些情况下可能会造成血管内部分信号丢失,如血液流速较慢、因血管走行迂曲造成的湍流、血管栓塞术后的磁化率伪影等^[7]。ZTE-MRA 成像将零回波时间技术(Zero Echo Time, ZTE)与伪连续动脉自旋标记技术(Pseudocontinuous Arterial Spin Labeling, PCASL)相融合,有效地避免血流速度、血流方向及磁化率伪影等的干扰^[8]。本研究将 ZTE-MRA 成像与传统 3D TOF-MRA 成像进行对比,探究 ZTE-MRA 在脑血管成像上的应用,比较两种 MRA 成像技术在脑血管的成像质量。

1 材料与方法

1.1 一般资料

收集 2019 年 3 月至 2020 年 1 月于安徽医科大学附属省立医院放射科行 3D TOF-MRA 及 ZTE-MRA 成像的患者 31 例,其中,男 13 例,女 18 例,年龄 23~72 岁;其中颅内动脉瘤 5 例,颅内动脉瘤介入栓塞术后 4 例,右侧大脑中动脉狭窄闭塞 1 例,颅内血管畸形 1 例,其余患者脑血管未见明显异常。

1.2 MRI 检查设备及扫描方法

采用美国 GE Discovery MR750W 3.0T MR 扫描仪,8 通道头线圈。3D TOF-MRA 扫描参数:TR/TE 19/3.4,FOV 220 mm×220 mm,矩阵 416×416,扫描层厚 1.4 mm,翻转角 20°,扫描时间为 6 min 49 s。ZTE-MRA 扫描参数:TR/TE 862.45/0.016,FOV 200 mm×200 mm,矩阵 166×166,扫描层厚 1.2 mm,翻转角 3°,扫描时间为 6 min 51 s。

1.3 图像处理

将所有数据传送至 GE ADW 4.6 工作站,使用固有最大密度投影(MIP)、多平面重建(MPR)软件对原始图像进行后处理。

1.4 影像评估方法

1.4.1 主观评价 分别由两名具有神经影像诊断工作经验的放射科医师,分别对 3D TOF-MRA 及 ZTE-MRA 成像的图像进行血管可视化及饱和伪影两方面的质量评分,首先对两名医师的评分结果进行 Kappa 一致性检验,后以两名医师商讨达成一致的评分作为最终评分。我们采用四分制^[9]的评分标准进行主

观评估,评分内容包括血管可视化及饱和伪影两方面,具体评分标准如下,①血管可视化:无法诊断或不可见,1分;结构可见、有明显模糊或伪影、不能明确诊断,2分;尚可诊断、轻微的模糊或伪影,3分;可明确诊断、血管边界清晰,4分。②饱和伪影:重度信号丢失、无法诊断,1分;中度信号丢失、诊断准确性降低,2分;轻度信号丢失、不影响诊断,3分;无明显饱和伪影,4分。

1.4.2 客观评价 由两名医师在 3D TOF-MRA 及 ZTE-MRA 序列的原始图像上,使用专用工作站测量图像的信噪比(SNR)、对比噪声比(CNR)、对比度(C)。我们采用改良的 SNR、CNR 及 C 的计算方式^[10],将感兴趣区(ROI,大小 0.05~0.10 cm²)分别放置在颈内动脉虹吸部、动脉瘤瘤体、动脉瘤介入术后栓塞段,避开血管及脑脊液,以邻近均匀的脑组织作为背景组织(2.5 cm²)。取两名医师在各部位测量值的平均值作为最终值。按如下公式计算 SNR、CNR、C:

$$\begin{aligned} \text{SNR} &= \text{SI}_{\text{ROI}} / \text{SD}_{\text{Tissue}} \\ \text{CNR} &= (\text{SI}_{\text{ROI}} - \text{SI}_{\text{Tissue}}) / \text{SD}_{\text{Tissue}} \\ \text{C} &= \text{SI}_{\text{ROI}} / \text{SI}_{\text{Tissue}} \end{aligned} \quad (1)$$

其中,SI_{ROI}是指感兴趣区的信号强度,SI_{Tissue}是指邻近脑组织的信号强度,SD_{Tissue}是指邻近脑组织(背景组织)信号强度的标准差。

1.5 统计学分析

采用 SPSS 26.0 软件对影像评估结果进行统计学分析。采用 Kappa 检验评估两名放射科医生对图像质量评分的一致性。Kappa 值评判一致性强度的标准:<0.2 时为一致性较差,0.21~0.40 时为一致性一般,0.41~0.60 时为一致性中等,0.61~0.80 为一致性较强,0.81~1.00 为一致性很强。采用 Wilcoxon 符号秩检验比较两种 MRA 成像技术的质量评分,并采用配对样本 *t* 检验评价两组客观半定量资料的 SNR、CNR 及 C。*P*<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 图像质量主观评价

两名医师对两种 MRA 技术的血管可视化及饱和伪影质量评分的 Kappa 值如下:ZTE-MRA 分别为 0.682、0.635,3D TOF-MRA 分别为 0.705、0.785,均具有较强的一致性(Kappa>0.6),两名医师对两种 MRA 技术的质量评分中,血管可视化的评分差异无统计学意义(*P*>0.05),但在饱和伪影评分方面,ZTE-MRA 技术质量评分显著优于 3D TOF-MRA 技术(*P*<0.05),见表 1。

表1 两种MRA技术主观评分比较结果($\bar{x} \pm s$)

Tab.1 Comparison of subjective scores between two MRA techniques (*Mean*±*SD*)

扫描序列	血管可视化/分	饱和伪影/分
ZTE-MRA	3.65±0.49	3.94±0.25
3D TOF-MRA	3.61±0.56	2.81±0.54
Z值	-0.258	-4.882
P值	0.796	<0.05

2.2 图像质量客观评价

ZTE-MRA技术在颈内动脉虹吸部成像、动脉瘤瘤体处成像的SNR、CNR及C均高于3D TOF-MRA技术,在动脉瘤介入术后栓塞段成像的CNR及C均高于3D TOF-MRA技术,且两者差异均具有统计学意义(P 均<0.05),见表2。

3 讨论

根据世界卫生组织(WHO)发布的最新数据,脑

表2 两种MRA技术图像客观评价指标对比($\bar{x} \pm s$)

Tab.2 Comparison of objective evaluation indexes between two MRA techniques (*Mean*±*SD*)

扫描序列	颈内动脉虹吸部			动脉瘤瘤体			动脉瘤介入术后栓塞段		
	SNR	C	CNR	SNR	C	CNR	SNR	C	CNR
ZTE-MRA	66.152±8.869	12.621±1.437	60.913±8.702	66.842±14.446	12.936±2.476	61.688±14.268	35.928±10.818	7.356±2.355	31.011±10.956
3D TOF-MRA	33.800±9.237	3.820±0.796	24.927±8.340	33.764±7.863	3.820±1.238	27.463±9.198	22.201±6.983	2.282±0.405	12.358±4.419
t值	15.282	17.697	29.094	4.808	5.978	9.197	3.146	4.602	5.001
P值	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.051	<0.05	<0.05

SNR:信噪比;CNR:对比噪声比;C:对比度

血管疾病已经成为全球最大杀手之一,造成的死亡人数仅次于缺血性心脏病。早期、准确诊断脑血管疾病,具有重要的临床意义。颅内动脉瘤是较为常见的脑血管疾病,且易破裂出血,早期准确检出小动脉瘤能有效地降低破裂风险^[11]。颈内动脉虹吸部是海绵窦段、膝段及前床突上段的合称,该部分血管走行迂曲,血流动力学复杂,好发动脉狭窄闭塞及动脉瘤等病变^[4, 12]。

临床工作中常用DSA、CT血管造影(CT Angiography, CTA)和对比增强MRA(Contrast-Enhanced MRA, CE-MRA)等进行脑血管病变的评估,DSA普遍被认为是金标准,CTA及CE-MRA也是常用手段,但上述方法均有一定的风险性,作为有创性检查,除存在创伤性的风险外,小部分对含钆或碘对比剂过敏者或有肾功能衰竭的患者无法进行相关检查。

TOF-MRA成像无辐射、无创、无需对比剂,避免了穿刺、对比剂带来的不适和潜在的不良反应风险,成为脑血管成像的优势选择^[13]。3D TOF-MRA基于GRE梯度回波序列中扰相T₁WI序列,采用短TR的重复射频激励脉冲,反复激发血管周围的背景,使静止的背景组织中的质子饱和,从而实现背景抑制,而当新鲜的血液流入成像容积时,未经上述射频激励脉冲饱和,血管显示出高信号,因而血管与背景组织

形成了鲜明的高低信号对比^[7]。3D TOF-MRA成像的原理是假设血流的方向与成像层面相垂直,且血流处于平流的状态,因此对成像容积内血流方向、速度及血流状态的变化敏感度高。当血流速度降低时,在成像容积内停留时间较长,被射频脉冲反复激发,信号也随之减低。在血管狭窄、分叉等部位,血液由层流变成湍流状态,信号相位发散导致信号减低甚至丢失,从而夸大狭窄程度^[14]。颈内动脉虹吸部血管走行曲折,血流方向变化多端,复杂的血流状态扰乱了磁场的均匀性,质子失相位而导致信号强度下降,因此在颈内动脉虹吸部成像时血管信号不均(图1)。

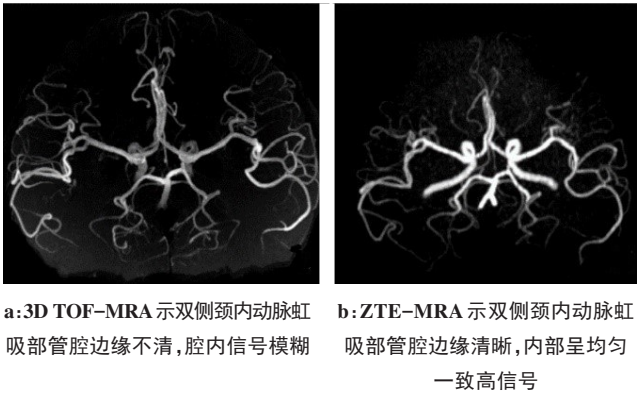


图1 颈内动脉虹吸部

Fig.1 The siphon of the internal carotid artery

ZTE-MRA 结合了PCASL 动脉自旋标记技术与 ZTE 技术,是一种全新的MRA 成像技术,又称静音血管成像技术 Silent MRA。PCASL 动脉自旋标记成像以动脉血中的水质子为内源性标记物,无需外源性对比剂,通过减去标记前后扫描的图像而获得灌注图像,只包含标记的血流信号,对血流方向没有限制,有效地避开了TOF MRA 的慢血流饱和抑制效应,提高了慢血流的显像效果,对于严重狭窄、微动脉瘤和侧支血管的精准显像具有深远意义^[15];且PCASL 通过对标记时间的控制,对动脉选择性成像,避免了静脉污染,背景抑制效果明显^[16]。由于ZTE-MRA 对磁场的不均匀性及血流状态的改变不敏感,可以在颈内动脉虹吸部狭窄或动脉瘤等血管病变中获得更均匀的血流信号^[17]。

ZTE 技术的采集过程先将投影梯度设置为所需的方向和振幅,然后施加硬脉冲的射频激励,射频结束后立刻开始信号编码,从而达到零回波时间的效果。为了缩短总扫描时间,ZTE 技术通常在磁化稳定状态下以较短的脉冲重复时间(TR)和较小的翻转角操作。ZTE 技术采用全新的微动式连续梯度编码技术,在连续射频激励之间仅对梯度幅度进行细微调整,实现最小的梯度变化,显著降低了扫描产生的噪声,同时改善了涡流效应。目前,ZTE 技术已经在脑血管、骨肌、腹部等部位的成像上得到了初步的研究及应用,证实了 ZTE 成像在多个系统中的应用潜能^[15-16, 18-20]。

本次研究中,我们发现 ZTE-MRA 技术在颈内动脉虹吸部成像效果较 3D TOF-MRA 有着明显的优

势,在 3D TOF-MRA 序列上部分病例在血管弯曲段,尤其是在颈内动脉虹吸部,成像的血管边缘模糊、不连续,内部信号欠均匀,可见部分信号缺失(图 1a);而在 ZTE-MRA 序列所有病例的颈内动脉虹吸段均呈现均匀的高信号,且边缘清晰光整(图 1b);但 3D TOF-MRA 在其余血管平直部位的血管边缘显示更为清晰锐利,且对血管远端末梢小分支的显示比 ZTE-MRA 更清晰,尤其是在血流速度较快的年轻人的脑血管;同时 ZTE-MRA 成像的背景存在一定的颗粒感。此外,我们收集的 5 例颈内动脉虹吸部动脉瘤的成像中,较 3D TOF-MRA, ZTE-MRA 成像显示的瘤体更清晰,内部信号也更均匀(图 2a~2b)。同时,在 4 例动脉瘤介入术后栓塞段后病人的影像中,ZTE-MRA 较 3D TOF-MRA 显示的磁化率伪影更少(图 3a~3c),从而更清晰准确地显示载瘤血管结构和评估栓塞治疗效果,这与之前 Shang 等^[16]研究结果一致。

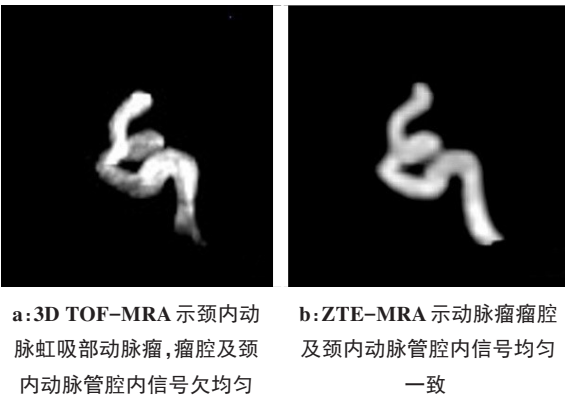


图2 颈内动脉瘤
Fig.2 Carotidal aneurysms



图3 动脉瘤介入术后
Fig.3 Aneurysm after transcatheter arterial coil embolization

本次研究的不足之处:(1)样本量较少,且疾病类型较少,需后期进一步增加疾病类型及病例数量;(2)

参与血管质量评估的医师较少,且无法做到盲法评估,因两种成像技术的影像特点较为明显,极易分辨。

【参考文献】

- [1] 王宽, 孟凯龙, 田志勇. 高分辨核磁检查在颅内动脉血管疾病的应用及临床意义[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(10): 1207-1210.
- WANG K, MENG K L, TIAN Z Y. Application and clinical significance of high-resolution magnetic resonance imaging in diagnosis of intracranial arterial diseases[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(10): 1207-1210.
- [2] 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国各类主要脑血管病诊断要点2019[J]. 中华神经科杂志, 2019, 52(9): 710-715.
- Chinese Society of Neurology, Chinese Stroke Society. Diagnostic criteria of cerebrovascular diseases in China[J]. Chinese Journal of Neurology, 2019, 52(9): 710-715.
- [3] RAZAGHI R, BIGLARI H, KARIMI A. Risk of rupture of the cerebral aneurysm in relation to traumatic brain injury using a patient-specific fluid-structure interaction model[J]. Comput Methods Programs Biomed, 2019, 176: 9-16.
- [4] WAIHRICH E, CLAVEL P, MENDES G A, et al. Influence of carotid siphon anatomy on brain aneurysm presentation[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2017, 38(9): 1771-1775.
- [5] 赵俊, 向祥, 张红霞, 等. 颈内动脉弯曲与颅内动脉瘤发生的相关性研究[J]. 重庆医科大学学报, 2019, 44(3): 313-316.
- ZHAO J, XIANG X, ZHANG H X, et al. Relationship between internal carotid artery curvature and intracranial aneurysm[J]. Journal of Chongqing Medical University, 2019, 44(3): 313-316.
- [6] 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.
- [7] SINGHAL A, CURÉ J K. Absent vascular signal on time-of-flight magnetic resonance angiography due to recent ferumoxytol infusion[J]. J Comput Assist Tomogr, 2017, 41(2): 334-335.
- [8] 周立媛, 彭涛, 牛翔科, 等. 零回波成像原理及研究进展[J]. 中国医学影像学杂志, 2017, 25(5): 398-400.
- ZHOU L S, PENG T, NIU X K, et al. The principle and research progress of zero echo time imaging[J]. Chinese Journal of Medical Imaging, 2017, 25(5): 398-400.
- [9] WU H, BLOCK W F, TURSKI P A, 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.
- [10] BUERKE B, ALLKEMPER T, KUGEL H, et al. Qualitative and quantitative analysis of routinely postprocessed (CLEAR) CE-MRA data sets[J]. Acad Radiol, 2008, 15(9): 1111-1117.
- [11] ETMINAN N, RINKEL G J. Unruptured intracranial aneurysms: development, rupture and preventive management[J]. Nat Rev Neurol, 2016, 12(12): 699-713.
- [12] 伏亚红. 脑动脉狭窄分布特点及病因分析[J]. 中国实用神经疾病杂志, 2016, 19(19): 36-38.
- FU Y H. Distribution characteristics and etiological analysis of cerebral artery stenosis[J]. Chinese Journal of Practical Nervous Diseases, 2016, 19(19): 36-38.
- [13] TOMURA N, KOKUBUN M, HORIUCHI K, et al. Comparison of TOF-MRA and silent scan-MRA in depicting cerebral arteries in patients with Moyamoya disease[J]. Acta Radiol, 2019, 60(10): 1321-1328.
- [14] 潘缘逸. ZTE-MRA对脑动脉狭窄诊断价值的研究[D]. 大连: 大连医科大学, 2019.
- PAN Y Y. The value of ZTE-MRA in the diagnosis of cerebral artery stenosis[D]. Dalian: Dalian Medical University, 2019.
- [15] 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.
- [16] SHANG S A, 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.
- [17] SATOH T, HISHIKAWA T, HIRAMATSU M, et al. Visualization of aneurysmal neck and dome after coiling with 3D multifusion imaging of silent MRA and FSE-MR cisternography[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2019, 40(5): 802-807.
- [18] ENGSTRÖM M, MCKINNON G, COZZINI C, et al. In-phase zero TE musculoskeletal imaging[J]. Magn Reson Med, 2019, 83(1): 195-202.
- [19] IWADATE Y, NOZAKI A, NUNOKAWA Y, et al. Silent navigator-triggered silent MRI of the abdomen[J]. Magn Reson Med, 2018, 79(4): 2170-2175.
- [20] BAE K, JEON K N, HWANG M J, et al. Comparison of lung imaging using three-dimensional ultrashort echo time and zero echo time sequences: preliminary study[J]. Eur Radiol, 2018, 29(5): 2253-2262.

(编辑:陈丽霞)