

3.0T 高时间分辨率对比增强 MRA 颅内血管成像

孔祥闯, 余建明, 孔祥泉, 刘定西, 杨明

【摘要】 目的:评价 3.0T 高时间分辨率对比增强磁共振血管成像(TR 3D CE-MRA)在颅内血管成像的技术可行性和临床应用价值。**方法:**经医院伦理委员会批准,回顾性搜集 21 例患者,采用 3.0T 磁共振,首先行常规序列 T_1 WI、 T_2 WI 和 TOF MRA 扫描,然后在确定病变处用 TR 3D CE-MRA 即快速小角度激发梯度回波序列(3D FLASH)。所有病例在检查后 1~3d 行高分辨率增强 MRA(HR CE-MRA),测量动脉的信噪比和对比噪声比,由 2 位影像专家对 TR CE-MRA 和 HR CE-MRA 图像质量进行评价,分别对图像伪影、静脉污染、脑动脉显示效果进行评分。评分结果采用 SPSS 13.0 进行统计学分析,差异具有统计学意义($P < 0.05$)。**结果:**21 例患者中动脉瘤 3 例,动静脉畸形 7 例,烟雾病 2 例,动脉狭窄 9 例。图像 SNR 和 CNR 测量均值分别为 237 ± 89 和 213 ± 94 ,Wilcoxon test 检验结果 $Z = -3.160, P = 0.002 < 0.05$,静脉污染组 $Z = -4.298, P = 0.001 < 0.01$,血管显示组 $Z = -4.491, P = 0.001 < 0.01$,差异有明显统计学意义。**结论:**TR CE-MRA 比 HR CE-MRA 具有严重伪影少,没有静脉污染,良好的血管对比,能够同时评价动脉血管和静脉血管,将是颅内血管疾病的首选。

【关键词】 磁共振血管造影术; 脑血管障碍; 图像增强

【中图分类号】 R445.2; R743 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2011)10-1089-04

Clinical application of time-resolved contrast-enhanced 3D MRA of intracranial vasculature with 3.0T MR scanner KONG Xiang-chuang, YU Jian-ming, KONG Xiang-quan, et al. Department of Radiology, Union Hospital, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430022, P. R. China

【Abstract】 Objective: To evaluate the feasibility and clinical value of time-resolved contrast-enhanced three-dimensional magnetic resonance (MR) angiography (TR 3D CE MRA) with 3.0T MR scanner of intracranial vasculature. **Methods:** Approved by the ethic committee of the hospital, 21 patients underwent routine T_1 WI, T_2 WI and TOF MRA with a 3.0T MR scanner were retrospectively studied. After the lesion was revealed, all patients underwent TR 3D CE MRA with 3D FLASH sequence, then, single-phase high-spatial resolution contrast-enhanced three-dimensional magnetic resonance angiography (HR CE 3D MRA) 1~3 days after was performed. The arterial signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR) were measured and the image quality were evaluated, as well as the image artifact, venous contamination and the contrast effect of cerebral arteries displayed on TR 3D CE MRA were compared to that of HR CE-MRA and scored by two radiologists. The results were analyzed with Wilcoxon test using SPSS13.0 software. **Results:** Of the 21 patients, there were aneurysm ($n=3$), arteriovenous malformation ($n=7$), moyamoya disease ($n=2$) and arterial stenosis ($n=9$). The mean value of SNR and CNR was 237 ± 89 and 213 ± 94 , respectively. The result of Wilcoxon test for the Group of artifact were $Z = -3.160, P = 0.002 < 0.05$; for Group of venous contamination were $Z = -4.298, P = 0.001 < 0.01$, and for the contrast effect of cerebral arteries were $Z = -4.491, P = 0.001 < 0.01$, with significant statistical differences. **Conclusion:** TR 3D CE-MRA showed lesser severe artifacts, lesser venous contamination, better contrast enhancement of cerebral vasculature, and evaluation of arterial and venous disease simultaneously was allowed, which could be used as the first choice for the diagnosis of intracranial vascular disease.

【Key words】 Magnetic resonance angiography; Cerebro vascular disorders; Image enhancement

三维对比增强磁共振血管成像(three-dimensional contrast-enhanced magnetic resonance angiography, 3D CE-MRA)克服了非增强 MRA 技术由于血流方向和速度不同而产生的伪影,已经逐渐成为血管疾病检查的主要方法^[1]。MRI 场强尤其是梯度系统性能的提高和数据采集方法的优化,加之顺磁性、超顺磁

性对比剂的广泛应用,使得高时间分辨率对比增强 MRA (time-resolved contrast-enhanced three-dimensional magnetic resonance angiography, TR 3D CE-MRA)成为可能。目前 3.0T 磁共振可以将 TR 3D CE-MRA 的时间分辨率提高至 2.5 s,也就意味着每 2.5 s 扫描一期血管数据,这在颅内血管疾病特别是动静脉畸形(intracranial arteriovenous malformations, AVMs)和动静脉瘘(intracranial arteriovenous fistulas, AVFs)有很大的应用价值。本文把 TR 3D CE-

作者单位: 430022 武汉,华中科技大学同济医学院附属协和医院放射科

作者简介: 孔祥闯(1980-),男,山东滕州人,硕士,主管技师,主要从事磁共振成像新技术和序列设计研究工作。

通讯作者: 余建明, E-mail: yujianming3210@sohu.com

MRA 技术应用在颅内血管成像上,探讨其技术可行性和临床应用价值。

材料与方法

1. 病历资料

经医院伦理委员会批准,回顾 21 例患者(男 13 例,女 8 例,平均年龄 24 岁)资料。全部病例均经 DSA 或 CTA 确诊,包含动脉瘤 3 例,动静脉畸形 7 例,烟雾病 2 例,动脉狭窄 9 例。

2. 检查方法

所有病例 3.0T 全身磁共振(Magnetom Trio, Siemens Medical Solutions, Erlangen, Germany)扫描,首先进行常规序列 T₁WI、T₂WI 和 TOF MRA 扫描,然后在确定病变处,采用快速小角度激发梯度回波序列(three-dimensional T₁-weighted fast low-angle shot gradient-echo, 3D FLASH),矢状面或冠状面扫描。扫描参数:TR 2.47 ms,TE 0.93 ms,翻转角 15°,视野 280 mm×200 mm,矩阵 320×224×195,带宽 820 Hz/Px,体素 1.3 mm×0.9 mm×2.5 mm,并行采集因子 GRAPPA 4 acceleration/30 reference lines, partial Fourier 6/8。时间分辨率 2.5 s,重复 29 次扫描,序列总扫描时间为 72.5 s。扫描范围根据病变所处位置调整,一般包含颅内主要血管分支。检查前肘静脉埋入 20G 留置针,采用注射器通过肘静脉注射,单倍剂量(0.1 mmol/kg)对比剂(马根维显),注射流率 2.5 ml/s,注射完后以相同流率注射 20 ml 生理盐水,注药开始 10 s 启动扫描,不需要透视触发。

所有病例在检查后 1~3d 行常规高空间分辨率(high-spatial resolution contrast-enhanced three-dimensional magnetic resonance angiography, HR CE-MRA)扫描。参数:TR 3.4 ms,TE 1.3 ms,翻转角 20°,视野 300 mm×169 mm×70 mm,矩阵 512×169×88,带宽 425 Hz/pixel,体素 0.6 mm×1.0 mm×0.8 mm,6/8 partial Fourier in all 3 dimensions,对比剂用量 0.2 mmol/kg,注射流率 2.5 ml/s。其它参数不变。

3. 数据处理

图像全部传到工作站 Leonardo(Siemens Medical Solutions)进行后处理,从 TR CE-MRA 所获取图像找到最佳一期图像数据测量正常一侧大脑中动脉的信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)和对比噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR)。方法如下:测量感兴趣区(regions of interest, ROI)的信号强度 SI_{ROI},周围空气部分平均信号强度 SD_{air},周围肌肉组织的信号强度 SI_{muscle},公式^[2]如下:

$$CNR = \frac{SI_{ROI} - SI_{muscle}}{SD_{air}}$$

由 2 位从事 MRI 诊断工作 10 年以上经验丰富的影像专家对 TR CE-MRA 和 HR CE-MRA 图像质量进行评价,按照图像伪影情况:1 分,没有伪影;2 分,存在少量伪影但不影响诊断;3 分,存在大量伪影,严重影响诊断。按照静脉污染情况:1 分,没有静脉污染;2 分,有静脉污染但不影响诊断;3 分,静脉污染重,影响诊断。按照脑动脉显示效果:1 分,血管显示清晰,细小分支可见;2 分,血管显示好,部分分支可见,但不影响诊断;3 分,血管显示差,严重影响诊断。

采用 SPSS 13.0 进行统计学分析,评分结果用配对 Wilcoxon test, P<0.05 具有统计学意义。

结 果

所有病例获得图像都能满足诊断要求,在 21 例患者中动脉瘤 3 例,动脉瘤的瘤体、瘤颈、来源血管及其关系都显示很清楚。动静脉畸形 7 例,供血动脉、引流静脉和血管巢的大小和形态显示清晰。烟雾病 2 例,动脉狭窄 9 例。TR CE-MRA 均能充分显示病变及与其周围血管关系,另外还提供了丰富的血管瘤血流动力学信息,为临床外科手术方案的制定提供了重要依据(图 1)。

尽管采用并行采集技术和部分傅立叶变换降低了信号强度,大脑中动脉峰值的 SNR 和 CNR 仍然很好,测量均值分别为 237±89 和 213±94。经 2 位影像专家评价,血管显示优良率为 95.2%,诊断结果 DSA 或 CTA 符合率为 95%。

表 1 TR CE-MRA 和 HR CE-MRA 成像质量评价

图像评价指标和等级	TR CE-MRA	HR CE-MRA
伪影		
1	18	14
2	3	6
3	0	1
静脉污染		
1	19	4
2	2	14
3	0	3
血管显示		
1	14	16
2	2	4
3	0	1

2 位影像专家对两种方法的成像质量评价结果见表 1,伪影组 Wilcoxon t 检验结果 Z=-3.160, P=0.002<0.05,差异有统计学意义。静脉污染组 Z=-4.298, P=0.001<0.01,差异有明显统计学意义。血管显示组 Z=-4.491, P=0.001<0.01,差异有明显统计学意义。

$$SNR = \frac{SI_{ROI}}{SD_{air}}$$

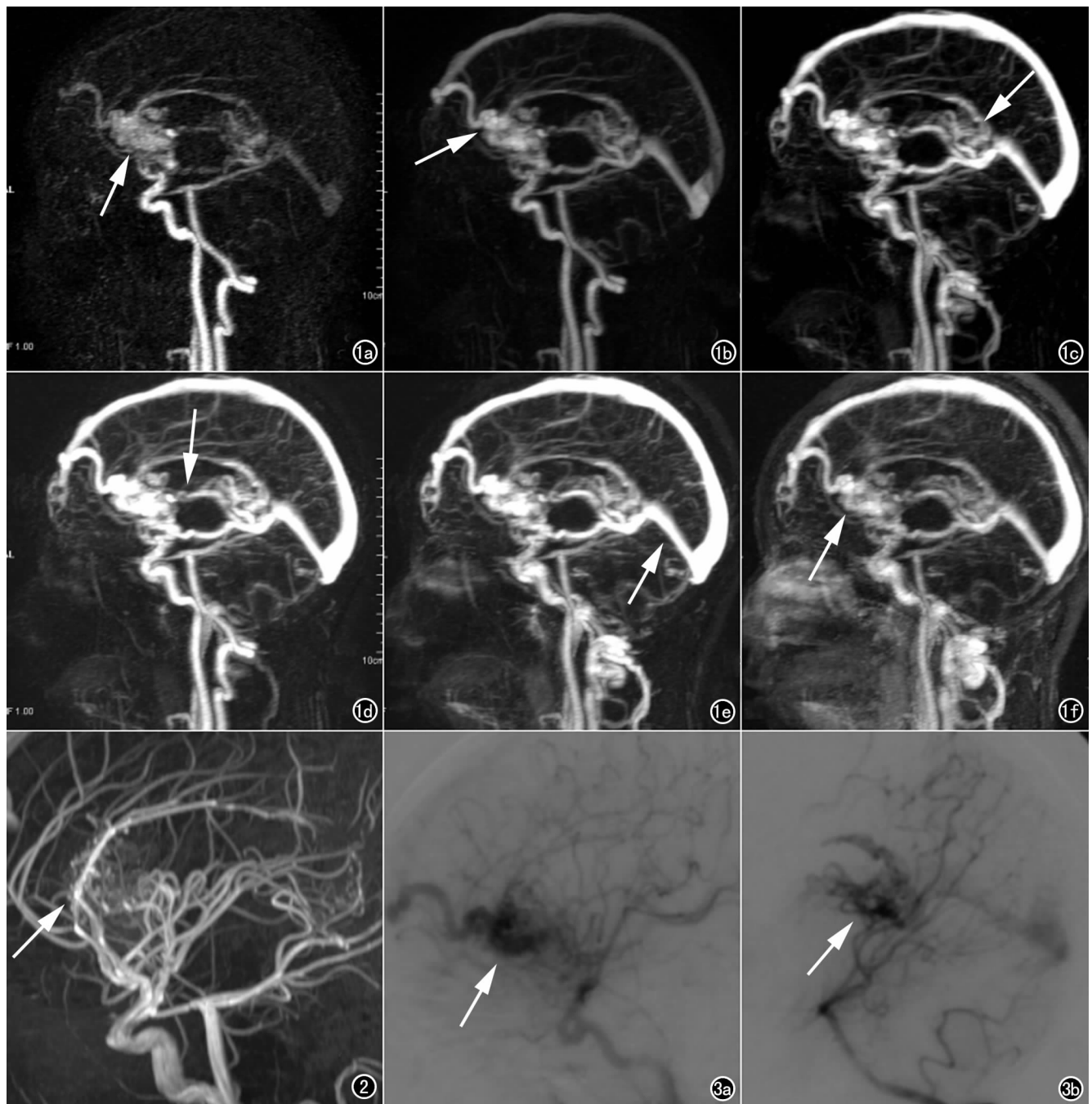


图1 女,16岁。颅内2处动静脉畸形。TR CE-MRA的MIP图像,时间分辨率2.5s,总共29期数据,这里截取6幅重要图像。a)早期强化的畸形血管团(箭)和大脑前动脉关系密切;b)畸形血管团(箭)更加明显,引流静脉逐步显示;c)位于大脑前部的动静脉畸形的引流静脉(箭)显示清晰,位于大脑后部的动静脉畸形强化明显;d)两处畸形血管团之间有连通(箭);e)引流静脉显示清晰(箭);f)畸形血管团强化减弱。图2 TOF-MRA图像能显示大脑前动脉周围的密集血管团(箭)。图3 DSA图像示前后2处动静脉畸形(箭)分别由大脑前动脉和大脑后动脉各分出血管供血,其供血动脉和引流静脉显示清楚,而常规MRA很难判断。

讨论

TR CE-MRA多采用三维扰相梯度回波序列(spoiled gradient echo,SPGR),极短的TR(<5 ms)、TE(1~2 ms)及回波间隔、薄层扫描,同时采用并行采集技术,并结合K空间填充的一系列新技术,以缩短扫描时间,并获得较高空间分辨率^[3]。目前最新的时

间分辨力CE-MRA技术热点是在获取高时间分辨率的同时不损失空间分辨率,像西门子的TREAT(time-resolved echo-shared angiographic technique)和TWIST(time-resolved angiography with interleaved stochastic trajectories)、GE的TRICKS(time-resolved imaging of contrast kinetics)、飞利浦的CENTRA-Keyhole Acquisition技术^[4-6],都是属于TR CE-

MRA 技术,有人也称 4D CE-MRA。本研究尝试用传统 3D FLASH 序列应用在颅内血管成像上。

TR CE-MRA 不仅显示血管巢的引流静脉,而且对供血动脉的显示与 DSA 对照有着很好的一致性,另外还提供丰富的血流动力学信息^[7,8]。Cashen 等^[2]利用高场 3.0T 磁共振 TREAT 序列对颅内血管病变的研究,空间分辨力为 $1.1\text{ mm} \times 1.1\text{ mm} \times 2.5\text{ mm}$,时间分辨力为 2.5 s/frame ,结论表明 3.0T 要比 1.5T 获得更高的信噪比和对比噪声比,对血管畸形诊断价值相当高。目前国外已有报道动态 TR CE-MRA 结合高场强、并行采集技术及各种 K 空间采集策略等,时间分辨力可以 $<1\text{ s}$,空间分辨力可以 $<1\text{ mm}$ 。这已经接近血管检查的金标准 DSA 的成像指标^[5,9]。

TR CE-MRA 序列设计适当降低空间分辨力和信噪比,大幅度提高时间分辨力的原则。尽可能降低 TR 和 TE 时间,本序列只有 2.47 s 和 0.93 s,适当增加带宽,800~1000 Hz/Px,头部常规视野即可,矩阵和体素保证同层分辨力,减小 Z 轴分辨力,控制在 $1.0\text{ mm} \times 1.0\text{ mm} \times 2.5\text{ mm}$ 左右;并行采集因子 GRAPPA 尽可大,因为它可以成倍的提高时间分辨力而不会降低空间分辨力,同时它也受采集通道的制约,一般 3~4 最好。partial Fourier 选择 6/8,时间分辨力根据头部血流时间窗控制在 2~3 s 左右最好。

TR CE-MRA 增强前首先扫描 3D 蒙片,团注对比剂后启动 15~29 个期相 3D 图像的采集,再用增强后的图像减去蒙片重组得到类似于 DSA 的图像,这种连续多期图像可进行电影回放,细致表现血流自动脉至静脉 MRA 数字减影图像,而且每一期图像都可以拿出来进行图像后处理,进行多方位观察,从中选择动脉期和静脉期最好的一期进行重建。因此它和常规高空间分辨力的 CE-MRA 相比其优势在于:①严重伪影少,动静脉分开显影,没有静脉污染;②对比剂用量少,只需要常规 CE-MRA 用量的一半,即 0.1 mmol/kg ;③不需测试对比剂到达时间或透视触发等技术,实际扫描方法更简单,除去注射等技术问题外,血管成像成功率几乎为 100%;④直接数字减影电影成像、背景抑制好^[1]。从本试验的结果看,TR CE-MRA 比 HR CE-MRA 在减少伪影,降低静脉污染,血管强化显示三方面差异都是显著的,是评价颅内血管病变和血管关系的首选。

TR CE-MRA 当然也有不足之处:①仍然需要注

射对比剂;②图像数据量非常大,一般都在 2000 多帧图像以上,图像后处理很费时间;③空间分辨力不够高,要更快的扫描,就要降低采集矩阵大小,二者很难兼顾^[10]。基于以上不足,目前多数临床应用中将 TR CE-MRA 作为传统 3D CEMRA 的一项补充。

综上所述,TR CE-MRA 对于显示血管性病变更具有相当重要的诊断价值,虽然目前仍有不足之处,但随着新技术、新型对比剂及高场强 3.0T 磁共振仪器的应用,会逐步取代传统的 3D CE-MRA 技术。

参考文献:

- [1] 孔祥闯,孔祥泉,刘定西,等. 3.0T 三维高时间分辨率对比增强 MRA 在四肢血管瘤的临床应用价值探讨[J]. 临床放射学杂志, 2010,29(4):527-529.
- [2] Ruhl KM, Katoh M, Langer S, et al. Time-resolved 3D MR angiography of the foot at 3T in patients with peripheral arterial disease[J]. AJR, 2008,190(6):360-364.
- [3] Krishnam MS, Tomasian A, Lohan DG, et al. Low-dose, time-resolved, contrast-enhanced 3D MR angiography in cardiac and vascular diseases correlation to high spatial resolution 3D contrast-enhanced MRA[J]. Clinical Radiology, 2008,63(7):744.
- [4] Cashen TA, Carr JC, Shin W, et al. Intracranial time-resolved contrast-enhanced MR angiography at 3T[J]. Am J Neuroradiol, 2006,27(4):822-829.
- [5] Lim RP, Shapiro M, Wang EY, et al. 3D time-resolved MR angiography (MRA) of the carotid arteries with time-resolved imaging with stochastic trajectories: comparison with 3D contrast-enhanced bolus-chase MRA and 3D time-of-flight MRA[J]. AJNR, 2008,29(9):1847-1854.
- [6] Korperich H, Gieseke J, Esdorn H, et al. Ultrafast time-resolved contrast-enhanced 3D pulmonary venous cardiovascular magnetic resonance angiography using SENSE combined with CENTRA-keyhole[J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2007,9(1):77-87.
- [7] Hook O, Johanson C. Intracranial arteriovenous aneurysms: a follow-up study with particular attention to their growth[J]. Arch Neurol Psychiatry, 1958,80(1):39.
- [8] Zou Z, Ma L, Cheng L, et al. Time-resolved contrast-enhanced MR angiography of intracranial lesions[J]. J Magnetic Resonance Imaging, 2008,27(4):692.
- [9] Petkova M, Gauvrit JY, Trystram D, et al. Three-dimensional dynamic time-resolved contrast-enhanced MRA using parallel imaging and a variable rate k-space sampling strategy in intracranial arteriovenous malformations[J]. J Magnetic Resonance Imaging, 2009,29(1):7.
- [10] 郭晴媛,林江. 时间分辨磁共振动态增强血管成像技术和临床应用[J]. 临床放射学杂志, 2010,29(5):701-703.

(收稿日期:2011-07-18 修回日期:2011-08-18)