

3.0T MR 颅脑的 3D-TOF MRA

尉传社, 袁飞, 顾欣, 冯凯琳, 龙森森, 吴胜勇

【摘要】 目的:比较 3D TOF MRA 在 3.0T 和 1.5T MR 中的血液-背景对比差异、3.0T MR 上应用 SENSE 技术的 3D-TOF MRA 血液背景对比差异,探讨 3.0T MRA 的优势及应用价值。**方法:**15 例健康志愿者分别在 3.0T 和 1.5T 上行 Willis 环 3D-TOF MRA 检查。20 例在 3.0T MR 上行 MRA 检查的患者选用加 SENSE 和未加 SENSE 两种方法。计算原始图像的血液背景对比、血液的信噪比和对比-噪声比。**结果:**15 例 Willis 环的平均血液-背景对比分别为:1.5T 上为 2.5 ± 0.5 , 3.0T 上为 4.0 ± 0.2 ; 对比噪声比分别为 39.7 ± 6.4 和 107.6 ± 10.9 。未加 SENSE 和加 SENSE 两种方法血液-背景对比、对比噪声比分别为 4.5 ± 0.2 和 3.3 ± 0.5 、 120.2 ± 22.5 和 72.4 ± 8.5 。3.0T 远端血管的可见度评分为 2.8 ± 0.4 , 1.5T 远端血管的可见度评分 1.3 ± 0.8 。3.0T 背景抑制为 0.8 ± 0.4 , 1.5T 为 0.6 ± 0.5 。**结论:**3.0T 上 T_1 时间的增加使其血液-背景的对比明显增加,使在灰质内穿行的远端血管的显示更加清晰。SENSE 技术在保证图像空间分辨力的基础上,缩短了扫描时间。使用 SENSE 技术的 3D-TOF MRA 是神经血管检查的一种快速的、首选的、可信的方法。

【关键词】 磁共振血管造影术; TOF 法; 颅内动脉疾病

【中图分类号】 R445.2; R651.1 **【文献标识码】** B **【文章编号】** 1000-0313(2005)10-0897-04

3D-TOF MRA of Intracranial Arteries at 3.0 Tesla MR WEI Chuan-she, YUAN Fei, GU Xin, et al, Department of Imaging, The Affiliated Hospital of Jiangsu University, Zhenjiang 212001, P. R. China

【Abstract】 Objective: The purpose of this study was to evaluate the advantage and the diagnostic potential of 3D-TOF MRA at 3.0T with SENSE technique by the examination of patients at 1.5T and 3.0T MR (with SENSE and without SENSE). **Methods:** 15 healthy volunteers were examined at 3.0T and 1.5T in ascending Willis circle using 3D TOF MRA. 20 patients referred to MRA were examined for intracranial arteries using 3D TOF MRA with SENSE (SENSE factor: 2) and without SENSE at 3.0T. All the resulting source images were examined to determine blood-to-background contrast, blood SNR and contrast-to-noise (CNR). **Results:** The average blood-to-background contrast of 15 volunteers were 2.5 ± 0.5 at 1.5T and 4.0 ± 0.2 at 3.0T; CNR were 39.7 ± 6.4 at 1.5T and 107.6 ± 10.9 at 3.0T. The average blood-to-background contrast and CNR of 20 patients with SENSE and without SENSE were 4.5 ± 0.2 and 3.3 ± 0.5 , 120.2 ± 22.5 and 72.4 ± 8.5 , respectively. The visualization of the distal intracranial vessels were 2.8 ± 0.4 at 3.0T and 1.3 ± 0.8 at 1.5T; and background suppression were 0.8 ± 0.4 at 3.0T and 0.6 ± 0.5 at 1.5T. **Conclusion:** For 3D-TOF MRA, the lengthened time for longitudinal T_1 relaxation at 3.0T over 1.5T leads to substantial increase in blood-to-background contrast. This increase in contrast is valuable for imaging distal intracranial vessels flowing through gray matter. Using SENSE technique MRA can reduce scan time without losing the spatial resolution. Consequently, 3D-TOF MRA with SENSE technique is proved to be a rapid, convincing choice for neurovascular examination.

【Key words】 Magnetic resonance angiography; Time-of-flight; Intracranial arterial diseases

3.0T MR 在功能性磁共振(function magnetic resonance imaging, fMRI)及磁共振波谱(magnetic resonance spectroscopy, MRS)中的优势已经得到广泛的认可,其对脑 MRA 的优势目前还未引起人们的注意。3.0T MR 图像的信噪比与 1.5T 相比提高 2 倍,3D-TOF MRA 在 3.0T 场强下, T_1 弛豫时间更长,背景的抑制效果更佳,但同时也可能引起慢血流快速饱和^[1]。本研究旨在通过比较 3D-TOF MRA 在

3.0T 和 1.5T MR 中的血液-背景对比差异,及 3.0T 3D-TOF MRA 应用和未应用敏感性编码(sensitivity encoding, SENSE)技术时的血液-背景对比差异,探讨 3.0T MRA 的优势及临床应用价值。

材料与方法

15 例健康志愿者(平均年龄 20~37 岁)分别在 3.0T 和 1.5T 上行 Willis 环 3D-TOF MRA 检查,同时在 3.0T 上应用 WATS 脂肪抑制技术观察 MRA 对眼动脉的显示;对 20 例(16~69 岁)在 3.0T MR 上行 MRA 检查的患者选用加 SENSE 和未加 SENSE 两种

作者单位: 212001 江苏,江苏大学附属医院影像科(尉传社); 300192 天津,天津医科大学附属第一医院(袁飞、龙森森、吴胜勇); 300162 天津,武警医学院附属医院(顾欣、冯凯琳)
作者简介:尉传社(1958-),男,安徽砀山人,博士,主任医师,副教授,主要从事神经影像学的研究。

方法。使用 Philips Intera 3.0T(梯度场为 33 mT/m, 梯度切换率为 160 T/s)和 Marconi Eclipse 1.5T 超导型机型。在 1.5T 应用阵列头线圈,矩阵 192×256 ,重建为 384×512 ,加磁化传递、流动补偿及静脉饱和。3.0T 上 MRA 序列参数:SENSE 头线圈,矩阵 368×512 。分别在层面选择和读出方向上施加流动补偿,静脉饱和,施加 TONE 脉冲技术,起始角度 17° ,余参数见表 1,因像素内的去相位是流空效应的主要原因,故本研究两种场强下的 TE 相同,以保证与流速有关的像素内的去相位作用相同。另外,两种场强下的翻转角及射频脉冲波形相同,以保证两种场强下射频脉冲对血液背景对比的饱和作用具有可比性。由于设备的限制,在同样视野、层数及层厚的情况下,1.5T 上 3D-TOF MRA 成像只能选用 2 个成像容积块,容积块之间重叠以减少伪影;3.0T 上 MRA 成像选用 4 个成像容积块。

表 1 D-TOF MRA 扫描参数

参数	1.5T	3.0T	SENSE/HR	Non-SENSE/HR
重复时间	30	30	16	16
回波时间	3.45	3.45	3.45	3.45
翻转角	20	20	20	20
视野	200×140	200×140	220×208	220×208
矩阵	384×256	368×243	496×284	496×284
重建矩阵	512×512	512×512	512×512	512×512
层数	100	100	100	100
层厚	1.00	1.00	1.00	1.00
扫描时间	11.39	5.22	2:53	5:42
SENSE 因子	—	2	2	—

20 例患者加 SENSE 和未加 SENSE 两种方法中施加 SENSE 方法的 SENSE 增速因子为 2,其余所有参数两者均相同。施加静脉饱和和 TONE 脉冲技术。按照公式

$$\text{血液的信号强度} = \frac{\text{背景的信号强度}}{\text{背景的信号强度}}$$

计算 3.0T 和 1.5T 上的原始图像、加 SENSE 和未加 SENSE 的图像原始图像的血液-背景对比;另外测量并计算原始图像信噪比和对比-噪声比。Willis 环测量的兴趣区(region of interest, ROI)放置在左右大脑中动脉的近端,背景的 ROI 放置在相同原始图像的同层面的灰白质交界区。

此外,由 1 位神经影像学专家对 3.0T 和 1.5T 上的原始图像和最大密度投影图像进行双盲法分析,评价大脑前动脉(A1、A2、A3 及前交通动脉)、大脑中动脉(M1、M2、M3,豆纹动脉及后交通动脉)、大脑后动脉(P1、P2、P3)的一级、二级、三级分支的可见度、背景抑制情况及血管显示的清晰度。分 4 级:3 级,血管分支显示佳,血管和背景组织对比佳;2 级,血管分支显

示较好,但血管和背景组织对比欠佳;1 级,血管分支显示较少;0 级,未显示血管分支。另外,按 4 级标准评价 SENSE 和 Non-SENSE MRA 对血管性疾病的显示程度:3 级,可明确诊断血管性疾病;2 级,血管性疾病显示较好,可以诊断;1 级,血管性疾病显示不佳,诊断较困难;0 级,血管性病未显示。

数据处理使用 SPSS 10.0 软件包,定量资料比较使用配对资料 t 检验, $P < 0.05$ 认为差异具有显著性意义;定性资料应用 Wilcoxon 检验。

结 果

15 例 Willis 环的血液-背景对比、信噪比及对比噪声比见表 2。神经影像专家评估结果显示 3.0T 可以显示颅内血管的远端,背景的抑制效果佳(图 1)。20 例患者加 SENSE 和未加 SENSE 的图像血液-背景对比、信噪比及对比噪声比见表 3,其中动静脉畸形合并出血 5 例(图 2),动脉硬化合并多发脑梗死 13 例(图 3),眼眶内肿瘤 2 例。3.0T 远端血管的可见度评分为 2.8 ± 0.4 ,1.5T 远端血管的可见度评分 1.3 ± 0.8 ;3.0T 背景抑制 0.8 ± 0.4 ,1.5T 加 MTC 背景抑制 0.6 ± 0.5 。3.0T 加 SENSE 和未加 SENSE 的图像远端血管的可见度及背景抑制无明显差异。

表 2 1.5T 与 3.0T Willis 环血液背景对比、信噪比及对比噪声比分析结果

项目	1.5T	3.0T	P
	均值±标准差	均值±标准差	
血液-背景对比	2.58 ± 0.54	4.01 ± 0.24	0.01
信噪比	55.21 ± 5.81	145.38 ± 14.31	0.01
对比噪声比	39.71 ± 6.44	107.60 ± 10.96	0.01

1.5T 与 3.0T Willis 环血液背景对比、信噪比及对比噪声比的 $P < 0.05$,故认为 3.0T MRA 的血液背景对比、信噪比及对比噪声比均优于 1.5T MRA。

表 3 两种图像血液背景对比、信噪比及对比噪声比分析结果

项目	SENSE	Non-SENSE	P
	均值±标准差	均值±标准差	
血液-背景对比	4.09 ± 0.48	3.39 ± 0.50	0.01
信噪比	122.88 ± 51.22	96.44 ± 11.81	0.05
对比噪声比	94.11 ± 37.90	79.40 ± 7.82	0.07

SENSE 和 Non-SENSE 的图像的血液-背景对比 $P < 0.05$,故认为 SENSE 血液-背景对比优于 Non-SENSE;SENSE 和 Non-SENSE 的图像的信噪比及对比噪声比的 $P > 0.05$,两者的信噪比及对比噪声比无明显差异。

讨 论

由于主磁场场强(B_0)的增加,3.0T MR 图像的信噪比与 1.5T MR 图像相比提高 2 倍^[2]。本研究显示 3.0T MRA 图像的信噪比较 1.5T MRA 图像提高了约 2.6 倍,血液-背景对比提高了约 1.4 倍,对比噪声

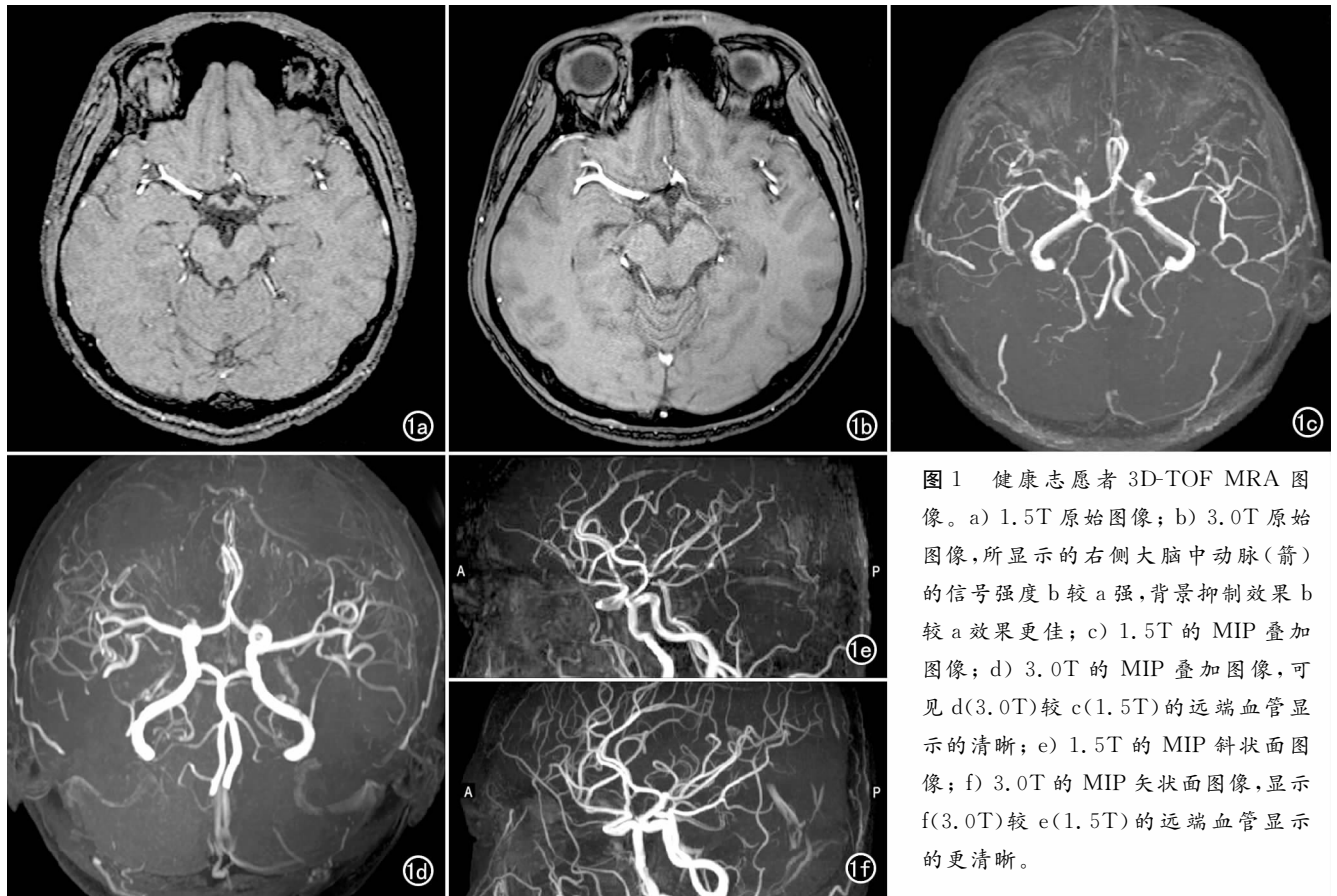


图1 健康志愿者 3D-TOF MRA 图像。a) 1.5T 原始图像; b) 3.0T 原始图像, 所显示的右侧大脑中动脉(箭)的信号强度 b 较 a 强, 背景抑制效果 b 较 a 效果更佳; c) 1.5T 的 MIP 叠加图像; d) 3.0T 的 MIP 叠加图像, 可见 d(3.0T)较 c(1.5T)的远端血管显示的清晰; e) 1.5T 的 MIP 斜状面图像; f) 3.0T 的 MIP 矢状面图像, 显示 f(3.0T)较 e(1.5T)的远端血管显示的更清晰。

比提高了约 1.7 倍;而且 3.0T MRA 可清晰的显示颅内血管的远端,背景的抑制效果佳,除场强增加的原因外,其原因还包括:①血液与灰质在 1.5T 与 3.0T 上的 T_1 时间分别为 1180 和 1260^[3]与 920 和 1330^[4],因此在一定的 TR 时间内,3.0T MR 的 T_1 弛豫时间更长,背景的抑制效果更佳,因而可显示更多的细节;②应用发射/接收 SENSE 头线圈,血液流经层块内所有流入的血液均未被饱和,故血管的形态显示良好;③应用多层块取代单层块,使较远成像层面的细小的血管显示清晰;④应用去相位 TE,抑制了脂肪的信号;⑤应用优化倾角非饱和激发(tilt optimized non-saturated excitation, TONE),保证了流入血液信号的强度和其信号的均匀性;⑥应用 SENSE 技术扫描时间大大的缩短,同时减少了运动及磁敏感性伪影。另外本研究还显示,3.0T MRA 上因噪声较小、背景较暗,小血管的显示更加清晰锐利。

3.0T 上使用 SENSE 技术可大大缩短扫描时间。一般情况下,磁共振成像的梯度编码一次只能对 K 空间一个位置采样,K 空间填充速率成为决定扫描时间长短的关键性因素,使 SNR 提高同时可减少扫描时间只能通过增加采样带宽和减少采样次数的方法^[5,6]。SENSE 是傅立叶成像中完全不同于梯度编码的成像

方法,它使用多个平行排列的不同接收线圈组成的协同线圈,利用一次性采样获得的所有线圈单元的信息及每个线圈单元的空间敏感性变化,重建出 MRI 图像,它是在保持 K 空间中心采样步数不变的情况下通过增加 K 空间周围采样位置之间的距离来实现的,因而可保持图像的空间分辨率而成倍减少扫描时间^[1]。扫描时间的减少倍数用缩减系数 R(reduction factor)来描述,R 与使用的线圈单元数目有关,一般 R 不超过使用的线圈单元数目^[7]。SENSE 技术的理论决定了噪声比是 SENSE 成像的关键问题,按造公式

$$SNR_{SENSE} = SNR_{full} / g\sqrt{R}$$

g 表示局部几何因子,描述因敏感性编码引起的噪声增强,与 FOV、R 值及线圈单元的构成有关,常等于或大于 1。

本研究中缩减因子取值为 2.0,扫描时间减少了 50%以上,SNR 提高 1.27 倍,CNR 提高了 1.19 倍,图像的对比提高了 1.2 倍,与公式不相符。可能是由于未加 SENSE 技术的扫描时间长,运动及血管波动伪影增加或/和血流部分饱和,血液信号降低有关,具体原因有待于进一步探讨。本研究中观察到应用 SENSE 后,原始图像和 MIP 图像的肉眼观察结果两者没有明显的差异。因此,SENSE 在大大减少扫描时

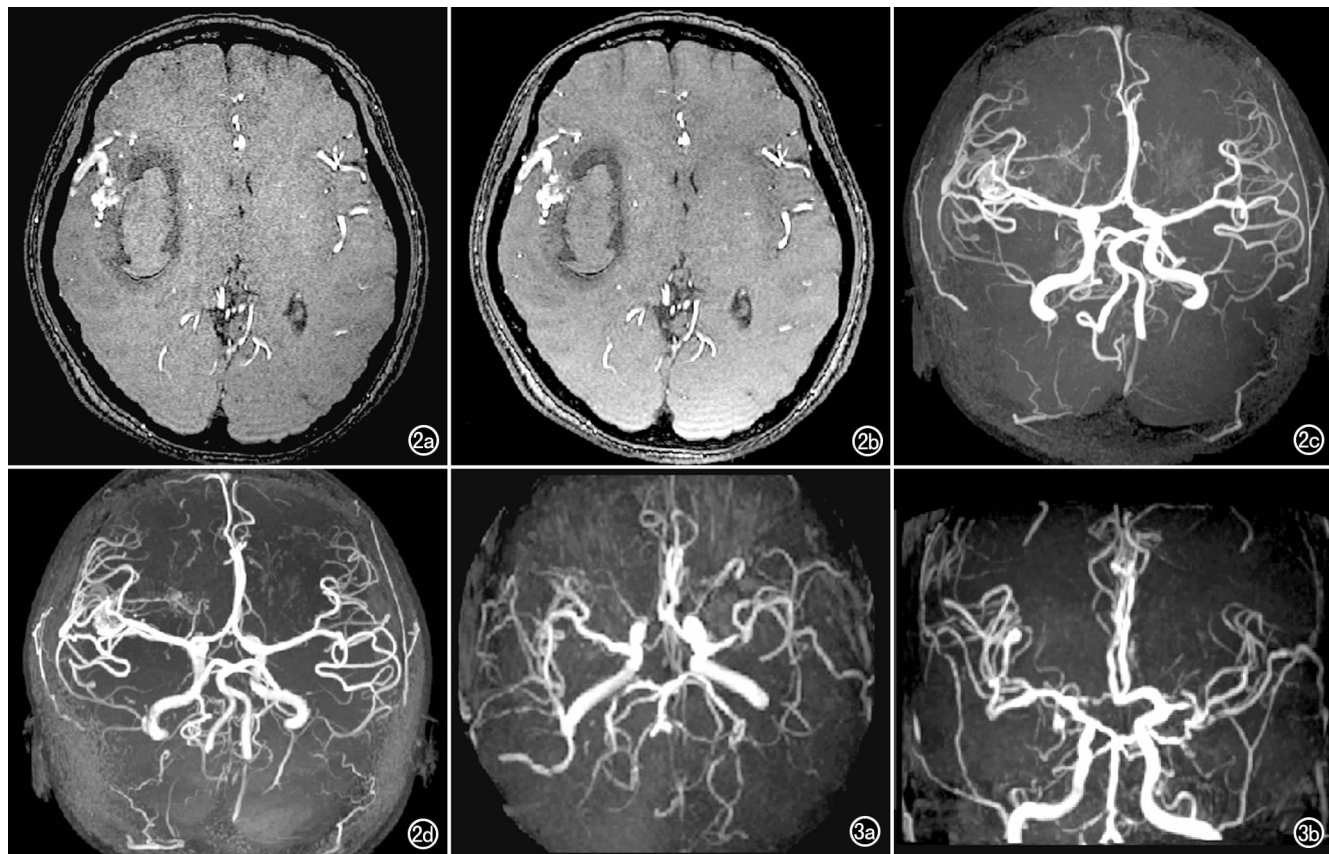


图 2 脑血管动-静脉畸形伴脑出血患者 3.0T 的 MR 图像。a) 加 SENSE 的 MRA 原始图像; b) 未加 SENSE 的 MRA 原始图像,肉眼观察二者背景的抑制程度和血管显示的清晰度无明显差别,可见增粗迂曲的引流静脉; c) 加 SENSE 的 MRA 的 MIP 图像; d) 未加 SENSE 的 MRA 的 MIP 图像,血管显示的清晰度及远端血管的显示无明显差别,引流静脉(箭)起自大脑中动脉水平段近端。图 3 多发性陈旧性脑梗死患者 3.0T 的 MR 图像。a、b 分别为 3D-TOF MRA 加 SENSE 的 MIP 图像,显示双侧大脑前、大脑中动脉、大脑后动脉及基底动脉管壁边缘不光整,右侧大脑前动脉水平段及左侧大脑中动脉水平段末端狭窄。

间的同时,不影响图像的空间分辨力及血液背景对比。

本研究还发现,3.0T MR 上 3D-TOF MRA 除动脉显影外,部分病人横窦、乙状窦及眼上静脉同时显影,其原因及改善方法有待于进一步探讨和研究。

总之,3.0T MR 因 T_1 弛豫时间的增加,使血液背景的对比明显增加,因而可使流经灰质内远端的小血管及病变的畸形血管显示得更加清晰;图像的 SNR 和 CNR 提高的同时,应用 SENSE 技术,可缩短扫描时间。因此,3.0T 3D-TOF MRA 是神经血管检查的一种准确、快速、无创性、可靠的方法。

参考文献:

- [1] Van den Brink JS, Watanabe Y, Kuhl CK, et al. Implications of SENSE MR in Routine Clinical Practice[J]. Eur J Radiol, 2003, 46 (1): 3-27.
- [2] Al-Kwif O, Emery DJ, Wilman AH. Vessel Contrast at Three Tesla in Time-of-Flight Magnetic Resonance Angiography of the

Intracranial and Carotid Arteries[J]. Magn Reson Imag, 2002, 20 (2): 181-187.

- [3] Bernstein MA, Huston J, Lin C, et al. High-Resolution Intracranial and Cervical MRA at 3.0T: Technical Considerations and Initial Experience[J]. Magn Reson Med, 2001, 46(5): 955-962.
- [4] Wansapura J, Holland S, Dunn R, et al. NMR Relaxation Times in the Human Brain at 3 Tesla[J]. Magn Reson Imag, 1999, 9(4): 531-538.
- [5] Chan JH, Tsui EY, Kwongb KL, et al. 3D Time of Flight MR Angiography: Acquisition with Small Field of View and Low Phase Encodes[J]. Comput Med Imag Graph, 2003, 27(4): 283-287.
- [6] Essig M, Reichenbach JR, Schad LR, et al. High-Resolution MR Venography of Cerebral Arteriovenous Malformation[J]. Magn Reson Imag, 1999, 17(10): 1417-1425.
- [7] Jaermann T, Crelie G, Pruessmann KP, et al. SENSE-DTI at 3T [J]. Magn Reson Med, 2004, 51(2): 230-236.

(收稿日期: 2004-12-27)