

Advantages of dual-source parallel radiofrequency transmission in 3.0T MR cardiac imaging

WANG Cui-yan, ZHAO Bin, WANG Guang-bin*, JIA Hai-peng, QU Lei
(Shandong Medical Imaging Research Institute, Jinan 250021, China)

[Abstract] **Objective** To assess the advantages of dual-source parallel radiofrequency (RF) transmission in 3.0T MR cardiac imaging, esp. in increasing RF homogeneity and image quality. **Methods** With institutional review board approval and written informed consent, 14 healthy volunteers underwent cardiac imaging using 3.0T MR scanner equipped with dual-channel parallel RF transmission technology. B1 calibrations and balanced-turbo field echo (B-TFE) cine imaging of left ventricular short-axial plane were performed with conventional single-source and dual-source RF transmission, respectively, and three groups acquisition were obtained with different TR/TE and FA B-TFE. A paired *t*-test was performed to compare RF homogeneity data. The contrast ratios (CR) were compared with one-way ANOVA. The artifacts were assessed by two doctors and then analyzed with non-parametric *Wilcoxon* signed rank test. Inter-observer agreement was evaluated with *Kappa* test. **Results** Dual-source RF transmission improved RF homogeneity and increased CR of short-axis B-TFE ventricular cine images significantly ($P < 0.05$). Dual-source RF transmission with shorter TR significantly reduced the artifacts ($P < 0.05$). Inter-observer agreement was highly consistent. **Conclusion** Dual-source parallel RF transmission has observable advantages in 3.0T cardiac MR imaging, which can improve the homogeneity of RF field, increase contrast between blood pool and myocardium and reduce artifacts.

[Key words] Dual-source parallel radiofrequency transmission; Cardiac imaging techniques; Magnetic resonance imaging

双源射频发射技术在 3.0T MR 心脏成像中的优势

王翠艳, 赵 斌, 王光彬*, 贾海鹏, 曲 蕾
(山东省医学影像学研究所, 山东 济南 250021)

[摘要] **目的** 评价双源射频发射技术在提高 3.0T MR 心脏局部射频场均匀性和心脏成像质量中的优势。**方法** 对 14 名健康成年志愿者行双源和单源射频发射左心室短轴位射频场均匀性和电影成像(B-TFE 序列), 其中双源电影成像采用不同 TR/TE 和 FA 分别得到 3 组图像。利用配对 *t* 检验评价射频场的均匀性, 以单因素方差分析比较心室腔-室间隔信号对比度(CR)之间的差异。由 2 名医师对图像伪影进行评分, 采用 *Wilcoxon* 秩和检验比较评分差异, 对评价者间的一致性采用 *Kappa* 检验。**结果** 双源射频发射技术显著改善了 B1 场的均匀性, 提高了 B-TFE 序列心室腔-室间隔的 CR ($P < 0.05$), 应用短 TR 双源射频发射技术图像伪影明显减少 ($P < 0.05$), 评价者间的一致性均高度一致。**结论** 双源射频发射技术在 3.0T MR 心脏成像中有一定优势, 可以提高射频场均匀性, 增加血池-心肌 CR, 减少伪影。

[关键词] 双源射频发射; 心脏成像技术; 磁共振成像

[中图分类号] R331; R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2013)10-1715-05

[基金项目] 山东省自然科学基金(ZR2012HM042)。

[作者简介] 王翠艳(1975—), 女, 山东淄博人, 博士, 副主任医师。研究方向: 乳腺及心血管疾病磁共振诊断。E-mail: wcyzhang@163.com

[通讯作者] 王光彬, 山东省医学影像学研究所, 250021。E-mail: cjr.wanguangbin@vip.163.com

[收稿日期] 2013-03-28 **[修回日期]** 2013-07-04

高场强可提高信噪比、空间分辨力和扫描速度, 3.0T MR 在心脏成像中的应用一度引起热议, 但随之而来的射频场(B1 场)的不均匀性、特殊吸收率(specific absorption rate, SAR)值增高以及条带伪影(band artifacts)增加的问题却一直难以解决, 使其优势不能尽显。双源射频发射技术可以在局部进行 B1 场匀场, 并根据个体差异进行自动调整, 近期该技术在腹部、盆腔和脊柱的应用都大大提高了图像质量^[1-4], 已有作者尝试将此技术用于心脏 MR 成像^[5-6]。心脏电影成像采用的平衡稳态自由进动序列(balanced-turbo field echo, B-TFE)对 B1 场的不均匀最敏感^[7]。本研究利用 B-TFE 序列评价双源射频发射技术在 3.0T MR 心脏成像中的优势。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2011 年 5 月—7 月健康成年志愿者 14 名, 男 9 例, 女 5 名, 年龄 28~69 岁, 中位年龄 45 岁, 参与此项目之前均无与心血管相关疾病史; 心律齐, 60~90 次/分, 平均(67.5±11.3)次/分。所有志愿者在 MR 扫描前均签署知情同意书。

1.2 仪器与方法 采用 Philips Achieva 3.0T Tx 扫描仪及双源射频发射系统, 单、双源两种射频发射模式, 应用两个 16 通道的腹部阵列线圈作为接收线圈, 同时放置心电门控和呼吸门控。B1 场校正扫描: 在心脏电影扫描之前采用回波平面成像(echo planar imaging, EPI)序列饱和-恢复、双 FA 方法^[8], 得到 FA 分布图(B1-Map), 取垂直于室间隔的左心室短轴位, 应用双源和传统单源射频发射技术分别进行屏气扫描。心脏电影成像: 应用 B-TFE 序列, 取垂直于室间隔的左心室短轴位进行屏气扫描, 从心室基底部至心尖部连续扫描 6 层, 层厚 10 mm, 间隔 0, 矩阵 200×256, FOV 320 mm×320 mm。根据扫描参数不同分为 4 组, M0 组为传统单源射频发射, M1~M3 组均为双源射频发射, 在心脏局部进行实时射频匀场, 其中 M1 组与 M0 组扫描参数完全相同: TR 3.4 ms, TE 1.7 ms, 翻转角 45°; M2 组在 TR/TE 不变的前提下将翻转角从 45°增加到 58°; M3 组保持翻转角不变, TR 减少到 2.8 ms, TE 相应减少到 1.4 ms。每名志愿者均接受所有

4 组参数扫描。

1.3 数据分析 B1-Map: 在幅度图上描绘心脏轮廓作为 ROI, 拷贝到相位图, 系统自动计算出所达到的平均 FA 的百分比 \bar{x} 和标准差 σ , 再计算变异系数(CV), $CV = \sigma / \bar{x}$, 评价 B1 场的均匀性。

图像质量: 从左、右心室腔/室间隔的信号对比度(contrast ratio, CR)和条带伪影两方面进行评价。① CR 比较: 取左心室乳头肌层面进行测量, 先在室间隔描绘面积约为 120 mm² 的 ROI, 拷贝到左心室腔(避开乳头肌)、右心室腔, 分别测出相应位置的平均信号强度。由同 1 名医师先后测量 3 次, 取平均值。 $CR = (SI_{blood} - SI_{myo}) / (SI_{blood} + SI_{myo})$, 其中 SI_{blood} 为心室内血液平均信号强度, SI_{myo} 为室间隔心肌平均信号强度。② 伪影评价: 由 2 名影像科医师(A、B)各自独立对 4 组图像的条带伪影进行评分, 分为 4 级。4: 无伪影; 3: 轻度伪影, 不影响诊断; 2: 中度伪影, 可以诊断; 1: 伪影明显, 不能诊断。采用心电门控及屏气扫描, 心脏及呼吸运动伪影较少, 且易与条带伪影相鉴别。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 17.0 统计软件, 以配对 *t* 检验比较双源和单源 B1 场的均匀性, 以单因素方差分析和 SNK 检验比较不同组心脏电影图像之间 CR 的差异。行 Wilcoxon 秩和检验评估图像伪影; $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。采用 Kappa 检验观察 2 名评价者之间的一致性: Kappa 值 0~0.20 时一致性微弱; Kappa 值 0.21~0.40 时一致性弱; Kappa 值 0.41~0.60 时中度一致; Kappa 值 0.61~0.80 时高度一致; Kappa 值 0.81~1.00 为极高度一致。

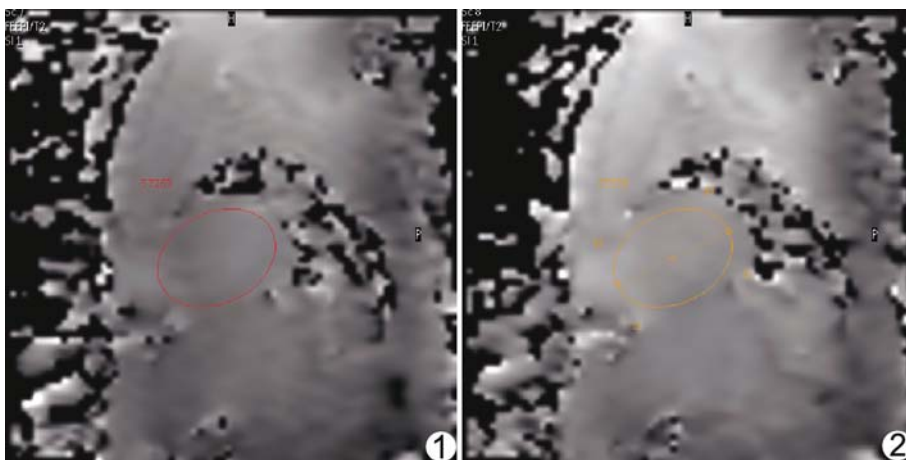


图 1 单源 B1 场匀场所得左心室短轴位 B1-Map, 描绘心脏轮廓得到 ROI 图 2 双源 B1 场匀场所得左心室短轴位 B1-Map, 描绘心脏轮廓得到 ROI

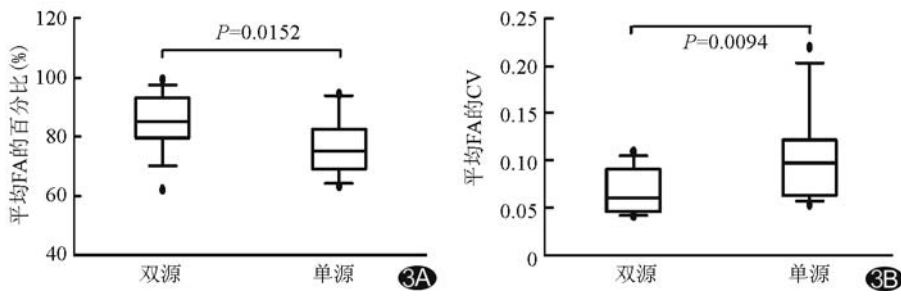


图 3 双源和单源 B1 场匀场所达平均 FA 的百分比(A)和 CV 的箱式图(B),心脏区域双源 B1 场具有更高的百分比和更小的 CV

2 结果

2.1 B1-Map 双源 B1 场所达平均 FA 的百分比 (85.38 ± 9.46)% 高于单源 B1 场 (76.74 ± 9.70)% ($t = 2.79, P = 0.02$)。双源 B1 场所达平均 FA 的 CV 明显低于单源 B1 场(双源: 0.07 ± 0.02 , 单源: 0.10 ± 0.05 ; $t = -3.04, P = 0.01$, 图 1~3)。

2.2 图像质量

2.2.1 CR 比较 左、右心室/室间隔 CR: M1、M2、

M3 组 CR 均高于 M0 组 (P 均 < 0.05); 3 组双源序列中, 均以 M2 组 CR 最大, 高于 M1 和 M3 组 (P 均 < 0.05), 而 M3 组与 M1 组 CR 间差异均无统计学意义 (表 1)。

2.2.2 伪影比较 2 名医师对 M1、M2、M3 组图像伪影评分均高于 M0 组, 但仅 M3 组与 M0 组差异有统计学意义 (P 均 $<$

0.01 , 表 1)。3 组双源序列中, M3 组图像伪影评分最高, 高于 M1 和 M2 组 (P 均 < 0.01 , 图 4)。

2.2.3 一致性 2 名医师对 M0、M1、M2 组图像伪影评分均高度一致 ($Kappa = 0.65, 0.72, 0.69$), 对 M3 组一致性最高 ($Kappa = 0.85$), 见表 1。

3 讨论

3.1 传统单源射频发射 3.0T MR 心脏成像的局限性 近年来, 3.0T 或更高场强 MR 越来越多地应用于临

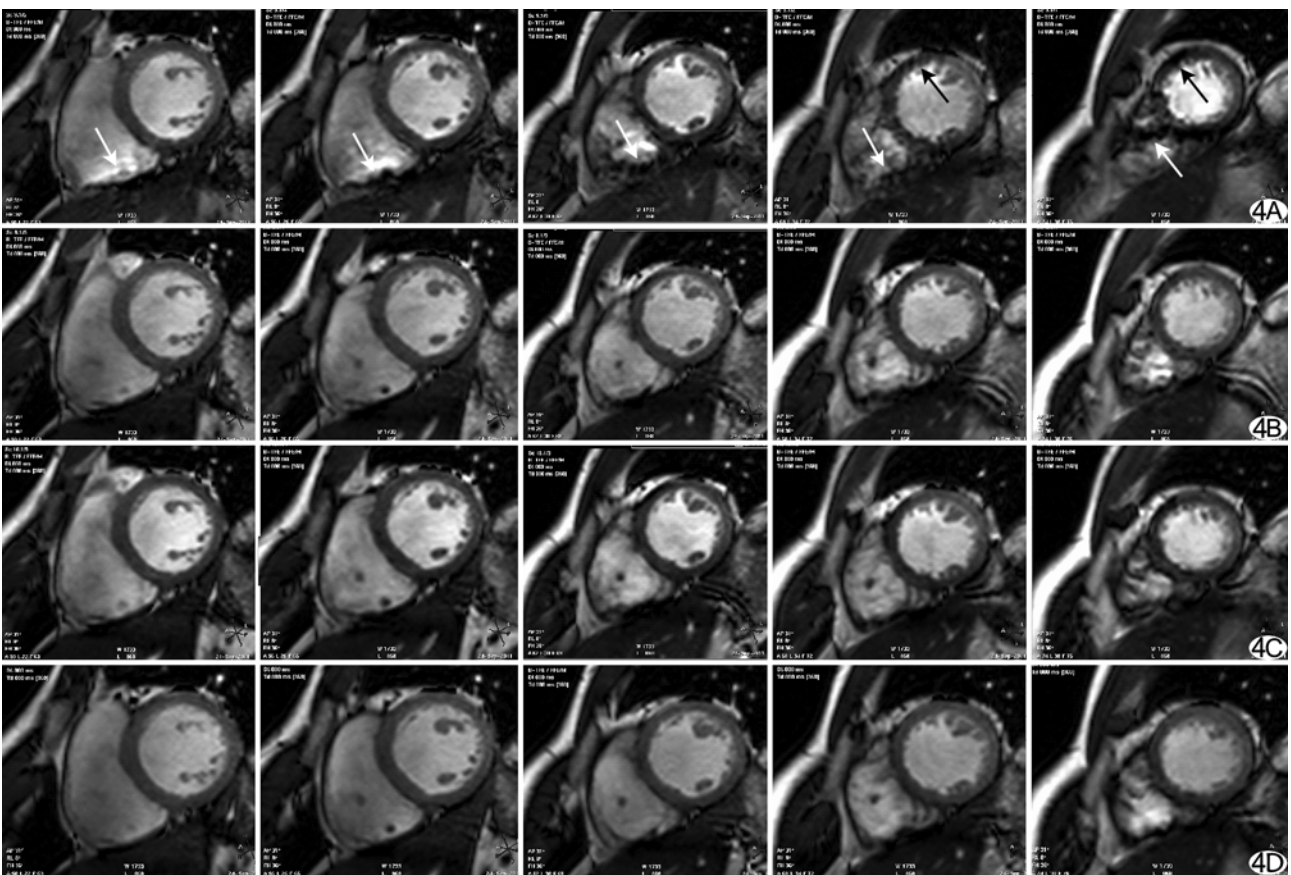


图 4 同一志愿者左心室短轴电影图像(B-TFE) 采用单源射频技术(M0, A), 箭示明显条带伪影, 影响心肌观察; 采用双源射频不同参数(M1: B, M2: C, M3: D), 与 M0 相比: 心室腔/心肌 CR 增加, 以 M2 最为显著; 条带伪影减少, 以 M3 最为显著

表 1 左(右)心室/室间隔 CR 比较及 2 名医师对图像伪影评分的比较

组别	左心室/室间隔 CR		右心室/室间隔 CR		一致性		
	$\bar{x} \pm s$	95%可信区间	$\bar{x} \pm s$	95%可信区间	A 医师(分)	B 医师(分)	Kappa 值
M0	0.45±0.06	0.42~0.49	0.34±0.06	0.30~0.38	2.14±0.36	2.28±0.46	0.65
M1	0.55±0.05*	0.51~0.58	0.47±0.07*	0.43~0.51	2.36±0.49	2.71±0.72	0.72
M2	0.62±0.06*	0.59~0.66	0.54±0.09*	0.49~0.60	2.50±0.52	2.50±0.76	0.69
M3	0.54±0.06*	0.51~0.58	0.48±0.07*	0.44~0.52	3.57±0.51*	3.64±0.49*	0.85

注: * :与 M0 组比较, P<0.05

床疾病的诊断与研究,但同时面临着 B1 场不均匀、抗电阴影以及局部较高 SAR 值等问题^[9]。B1 场不均匀导致成像区域内 FA 不均匀,从而降低图像质量及组织间的对比度;尤其是体部 MR 成像时,组织器官间差异较大,B1 场不均匀尤为突出。有学者^[10]采用绝缘垫或应用后处理技术等方法改善 B1 场均匀性,但结果并不令人满意。

随着 B1 场局部匀场技术的发展,出现了根据解剖位置预设固定匀场的正交模式,即采用单一射频发射源配合 90°移相器,将射频输送到射频线圈两个端口,对扫描野内的局部 ROI 行 B1 场的匀场^[2]。然而 B1 场的不均匀性受磁场中不同人体位置和解剖结构的影响。心脏成像时,不仅心脏局部结构差异大,而且患者的体型、胸部手术后胸骨内遗留的金属丝和胸腔积液、心包积液等都会影响局部 B1 场,使得固定匀场模式并不能满足心脏成像的要求。

3.2 双源射频发射在 3.0T MR 心脏成像中的优势

双源射频发射技术采用完全独立的两个射频发射系统,所发射射频脉冲的波形、幅度、相位、频率等参数可随个体差异进行实时调整,即采用实时匀场模式。本研究采用该技术在心脏区域进行基于个体化差异的局部射频匀场,明显提高了 B1 场的均匀性,使成像 ROI FA 更高,更均匀;同时提高了组织间(心室腔/室间隔)对比度,减少了心脏和周围组织之间的条带伪影。通过双源射频发射系统对 B1 场的局部匀场、校正,所达到的平均 FA 的百分比明显高于单源 B1 场(P<0.05),因此在成像时能够获得相对较高、更接近理想的 FA。双源 B1 场平均 FA 的 CV 明显低于单源(P<0.01),提示双源射频发射明显提高了 B1 场的均匀一致性,可获得相对较高、均匀、稳定的 FA,有利于改善心脏 MR 成像质量。另外双源 B1 场的高均匀性降低了局部高 SAR,从而降低了平均 SAR,使进一步增加 FA 和(或)降低 TR 成为可能,为提高扫描速度创造了条件^[1-4]。

B-TFE 序列是用来评价心室整体功能和节段运

动情况的主要序列,可产生较扰相梯度回波序列更高的 SNR 及血池-心肌对比度^[11];同时也是对 B1 场不均匀性最敏感的序列,易受条带伪影(又称失谐共振伪影)干扰^[7],尤其是在 3.0T MR 仪,B1 场不均匀使 B-TFE 序列中血池-心肌组织间的对比度降低,在右心室、室间隔处尤其明显;另外也使 B-TFE 序列成像更易受到条带伪影的干扰,图像质量下降,从而使其在心脏成像中的应用受到限制^[5,12]。本研究通过比较 4 组扫描参数,发现应用双源射频发射技术的 M1、M2、M3 组中左、右心室腔-室间隔 CR 均高于应用单源技术的 M0 组,其中 M2 组(翻转角 58°)CR 最大,由此证实了双源射频发射可以通过个体化 B1 匀场增大 FA,进一步显著提高图像组织间的对比度;M3 组采用与 M1 组相同的翻转角,降低了 TR 时间,两组 CR 差异无统计学意义,但扫描时间明显缩短,有利于患者、特别是耐受力差者配合检查,提高检查成功率。

减少 B-TFE 序列条带伪影的方法包括两方面,一是增加磁场 B0 或 B1 的均匀性;二是缩短 TR^[12]。为增加磁场的均匀性,传统单源系统主要采用射频跟踪和移频技术;研究^[12-14]表明采用高阶 B0 局部匀场以及心脏周期实时跟踪匀场技术可减少图像条带伪影。采用双源射频发射技术不仅可提高体部成像区域 B1 场的均匀性,降低 SAR 值,还使增加 FA、缩短 TR 成为可能,从而减少条带伪影干扰、提高图像质量。本研究中 2 名医师对 B-TFE 序列不同参数下成像伪影的判断均具有较高一致性(Kappa>0.65)。M1、M2、M3 组明显较 M0 组图像伪影少,提示双源射频发射技术可通过增加 B1 场均匀性、缩短 TR 而明显减少图像条带伪影,为提高心功能评价和疾病诊断的准确性创造条件。

总之,利用双源射频发射技术可以明显提高 3.0T MR 心脏成像 B1 场的均匀性,增加血池-心肌对比度,减少伪影。

(致谢:感谢 Philips 公司 Queenie Chan 和陈伟波为本研究提供的巨大支持和帮助!)

[参考文献]

- [1] Nelles M, König RS, Gieseke J, et al. Dual-source parallel RF transmission for clinical MR imaging of the spine at 3.0T: Intra-individual comparison with conventional single-source transmission. *Radiology*, 2010, 257(3):743-753.
- [2] Willinek WA, Gieseke J, Kukuk GM, et al. Dual-source parallel radiofrequency excitation body MR imaging compared with standard MR imaging at 3.0 T: Initial clinical experience. *Radiology*, 2010, 256(3):966-975.
- [3] Guo L, Liu C, Chen W, et al. Dual-source parallel RF transmission for diffusion-weighted imaging of the abdomen using different b values: Image quality and apparent diffusion coefficient comparison with conventional single-source transmission. *J Magn Reson Imaging*, 2013, 37(4):875-885.
- [4] Hwang J, Kim YK, Park MJ, et al. Liver MRI at 3.0 tesla: Comparison of image quality and lesion detectability between single-source conventional and dual-source parallel radiofrequency transmissions. *J Comput Assist Tomogr*, 2012, 36(5):546-553.
- [5] Mueller A, Weisser TJ, Philip NC, et al. Clinical CMR at 3.0 Tesla using parallel RF transmission with patient-adaptive B1 shimming: Initial experience. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2010, 12 (Suppl 1):72.
- [6] Mueller A, Kouwenhoven M, Naehle CP, et al. Dual-source radiofrequency transmission with patient-adaptive local radiofrequency shimming for 3.0-T cardiac MR imaging: Initial experience. *Radiology*, 2012, 263(1):77-85.
- [7] Hussain S, Chiribiri A, Ishida M, et al. A comparison of single-channel and multi-channel RF transmit coil for SSFP cine imaging at 3 Tesla. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2011, 13(Suppl 1):10.
- [8] Cunningham CH, Pauly JM, Nayak KS. Saturated double-angle method for rapid B1+ mapping. *Magn Reson Med*, 2006, 55 (6):1326-1333.
- [9] Dietrich O, Reiser MF, Schoenberg SO. Artifacts in 3-T MRI: Physical background and reduction strategies. *Eur J Radiol*, 2008, 65(1):29-35.
- [10] Franklin KM, Dale BM, Merkle EM. Improvement in B1-inhomogeneity artifacts in the abdomen at 3T MR imaging using a radiofrequency cushion. *J Magn Reson Imaging*, 2008, 27(6):1443-1447.
- [11] Barkhausen J, Ruehm SG, Goyen M, et al. MR evaluation of ventricular function: True fast imaging with steady-state precession versus fast low-angle shot cine MR imaging—feasibility study. *Radiology*, 2001, 219(1):264-269.
- [12] Wieben O, Francois C, Reeder SB. Cardiac MRI of ischemic heart disease at 3 T: Potential and challenges. *Eur J Radiol*, 2008, 65(1):15-28.
- [13] Kubach MR, Bornstedt A, Hombach V, et al. Cardiac phase-specific shimming (CPSS) for SSFP MR cine imaging at 3 T. *Phys Med Biol*, 2009, 54(20):467-478.
- [14] Schär M, Kozerke S, Fischer SE, et al. Cardiac SSFP imaging at 3 Tesla. *Magn Reson Med*, 2004, 51(4):799-806.

消息

《中国医学影像技术》编辑部于 2010 年 5 月 4 日开始启用远程编辑系统办公,作者投稿请登录本刊网站(www.cjmit.com)主页,点击左上角“作者登录”进入,第一次投稿需完成作者注册;专家审稿请点击“审稿登录”进入。

为了便于广大作者、读者查阅本刊文献,本站提供从 1985 年起的过刊全文检索,现刊摘要检索。