

0.35T 磁共振心脏成像技术及其应用

王彩云, 孔阿照, 张国华, 刘克成, 王健

【摘要】 目的: 探索低场磁共振成像系统心脏成像的可行性、技术和方法。方法: 将高场心脏成像序列和技术进行调整和优化, 用于 0.35T 磁共振成像系统, 进行心脏结构和功能的显示。结果: 在硬件、软件优化设计的低场磁共振成像系统获得的显示心脏结构和功能的图像, 可满足临床诊断的需求。结论: 低场磁共振成像系统进行心脏检查, 包括冠状动脉成像和心肌灌注成像等, 值得进一步探索和期待。

【关键词】 磁共振成像; 心脏; 诊断显像

【中图分类号】 R445.2; R540.4 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2004)08-0546-04

Techniques and applications of cardiac imaging on 0.35T MRI system WANG Caiyun, KONG A' zhao, ZHANG Guo-hua, et al. Department of Clinical Support, Siemens Mindit Magnetic Resonance Ltd, Shenzhen 518057, P. R. China

【Abstract】 Objective: To investigate the feasibility of cardiac imaging on low field MRI system and corresponding requirements for techniques and applications. **Methods:** Cardiac imaging on 0.35T MRI system to visualize the morphology and function of the heart were performed with the techniques and sequences, which were applicable on high field system after some adjustments and optimization. **Results:** The cardiac images obtained on 0.35T MRI system could provide sufficient information for clinical diagnosis. **Conclusion:** It is expectable to perform cardiac examination, including coronary artery angiography and myocardium perfusion, on low field MRI system.

【Key words】 Magnetic resonance imaging; Heart; Diagnostic imaging

心脏的节律性跳动及呼吸运动使磁共振(MR)心脏成像远较其他器官困难。近年来, 随着 MR 技术的发展, 高场(场强 $\geq 1.5T$) 系统上的心脏成像已不再是难题^[1]。但在低场(场强 $< 0.5T$) 系统上的获得有临床诊断价值的图像却一度被认为是不可能的, 在仔细分析了临床诊断对图像的信息要求及其相对应系统硬、软件的要求之后, 我们成功地将高场心脏成像技术移植到低场并获得高品质的图像, 现就低场心脏成像技术特点及临床应用进行探讨。

材料与与方法

1. MRI 系统

西门子迈迪特(深圳)磁共振有限公司生产的 NOVUS 0.35T C 型开放式永磁 MR 系统, 磁场强度: 0.35T, 磁场均匀性(diameter of sphere volume, DSV): 36 cm ≤ 4.0 ppm, 24 cm ≤ 0.4 ppm, 单轴梯度场强和切换率: 22 mT/m, 60 mT/m/ms。

2. 扫描序列及技术

扫描序列: 定位像采用 True-FISP(true fast imaging with steady state procession)序列, TR 4.13 ms, TE 2.07 ms,

翻转角 70° , 层厚 8.0 mm, 视野 360 mm \times 300 mm, 矩阵 128 \times 112, 可快速获得对比度良好的 3 个正交的标准位像和二腔室观, 4 腔室观, 短轴观图像。心脏电影成像采用 Cine-True-FISP (TR 15.2 ms, TE 2.5 ms, 翻转角 70° , 层厚 6.0 mm, 视野 300 mm \times 300 mm, 矩阵 256 \times 200) 和 Cine-FLASH (TR 33 ms, TE 7 ms, 翻转角 65° , 层厚 6.5 mm, 视野 330 mm \times 300 mm, 矩阵 256 \times 200)。显示心脏结构选用带有黑血准备脉冲的 TSE 序列(TR 1~3 个 R-R 间期, TE 12~110 ms, 翻转角 180° , 层厚 7~8 mm, 视野 306 mm \times 248 mm, 矩阵 256 \times 200)。

ECG-Trigg(心电触发或心电门控): 有 Prospective(正向)或 Retrospective(反向)两种方式, 定位像和黑血 TSE 序列扫描均采用正向 ECG-Trigg。心脏电影成像采取 Cine-True-FISP 和 Cine-FLASH 分别采用两种方式的 ECG-Trigg 各扫描一次进行比较。对于心率快的受试者, 采用相位共享技术, 以提高心脏电影成像的时间分辨率。

3. 扫描步骤

扫描前先贴好心电检测电极片并接好导联线, 获得满意的心电信号后, 常规激光灯定位, 开始扫描 3 个标准方向的定位像。选取显示有室间隔的横轴位像, 使片层与室间隔平行, 获得二腔室观图像。然后, 在二腔室观的图像上使片层与左室长轴平行, 并通过心尖

作者单位: 518057 广东深圳, 西门子迈迪特(深圳)磁共振有限公司(王彩云、刘克成、王健); 317300 浙江, 仙居县人民医院放射科(孔阿照、张国华)

作者简介: 王彩云(1963-), 女, 陕西人, 硕士, 主要从事磁共振心血管成像研究工作。

和二尖瓣,扫描获得四腔室观图像。在四腔室观图像上,使片层与室间隔及左、右心室壁垂直,同时在二腔室观的图像上与左室前后壁垂直,从而获得短轴位观图像。基于以上定位像,采用 Cine-True-FISP 和 Cine-FLASH 序列,采集整个心动周期某观面的连续动态图像,以观察心脏各室壁及瓣膜的运动和功能状态。或用 TSE-DB 序列观察心脏各腔室的结构。

结果

1. 各种扫描序列的心脏各观面图像

图 1 和图 2 为两组心脏短轴观面电影像中选择的图像,其中图 1 为 Cine-FLASH 序列所采集的心脏收缩末期(end of systole, ES)像,图 2 为 Cine-True-FISP 序列所采集的心脏舒张末期(end of diastole, ED)像;这两帧图像可清楚显示左右心室,尤其是左心室各壁的厚度,该断面的电影像用于动态观察左右心室壁的舒缩运动。图 3 为 True-FISP 序列采集的四腔室观面的电影图像,二尖瓣、三尖瓣和主动脉瓣环清晰可见,该观面图像主要适用于观察心尖部及二尖瓣、三尖瓣的运动和病变。

2. 临床应用实例

瓣膜改变:图 4、5 为同一受试者的二腔室观面和四腔室观面像,该受试者临床听诊二尖瓣区有收缩期杂音,怀疑二尖瓣关闭不全,采用 Cine-Trufi 序列分别进行二腔室观和四腔室观电影成像。从不同角度观察二尖瓣的开合运动,未发现二尖瓣狭窄或关闭不全,但可见二尖瓣松弛,可能是瓣膜弹性降低所致。

陈旧性心肌梗死:图 6 为一女性陈旧性心肌梗死患者(1 年前因心绞痛入院,经 ECG 和心肌酶谱确诊)

的 Cine-True-FISP 序列所采集心动周期不同时相的图像,通过动态观察发现箭头所指区域心肌张力减低,收缩力减弱。用黑血 TSE 序列以相同的片层定位扫描(图 7),可见该区域室壁变薄,并见肌层内高低信号区,再用黑血抑脂 TSE 序列扫描(图 8),见该区域内的高信号消失,表明这些高信号为脂肪浸润,低信号则为纤维瘢痕组织。

心肌肥厚:图 9 为 Cine-FLASH 序列采集的心肌肥厚患者的图像,从短轴观面可看出,左室壁肥厚以前间隔和下壁为著,从二腔室和四腔室观像上可看出,心室腔呈近似三角形,尤以二腔室观像明显。

3. 高低场心脏图像比较

黑血 TSE 序列图像:图 10~12 三组图像比较可看出,0.35T 的图像信噪比(signal to noise ratio, SNR)较 1.5T 低,但心脏运动伪影及化学位移伪影也较 1.5T 图像轻,整体评价 0.35T 图像的诊断信息与 1.5T 相当。

4. 不同序列心脏成像的比较

我们在仙居县人民医院共进行了 30 例心脏扫描,将扫描图像分为满意(信噪比足够、心室壁与心室腔血液对比度好、无运动伪影或有轻度伪影但不影响心脏结构的分辨)和不满意(信噪比、对比度和运动伪影,某一项影响或三项综合作用,致心脏结构难以分辨),三种序列的初步统计结果如表 1。通过对不满意图像的分析,总结出三种扫描序列的优劣势见表 2。

表 1 三种扫描序列的心脏成像图像质量比较

扫描序列	图像满意	图像不满意
Cine-True-FISP	30	0
Cine-FLASH	22	8
TSE-DB	25	5

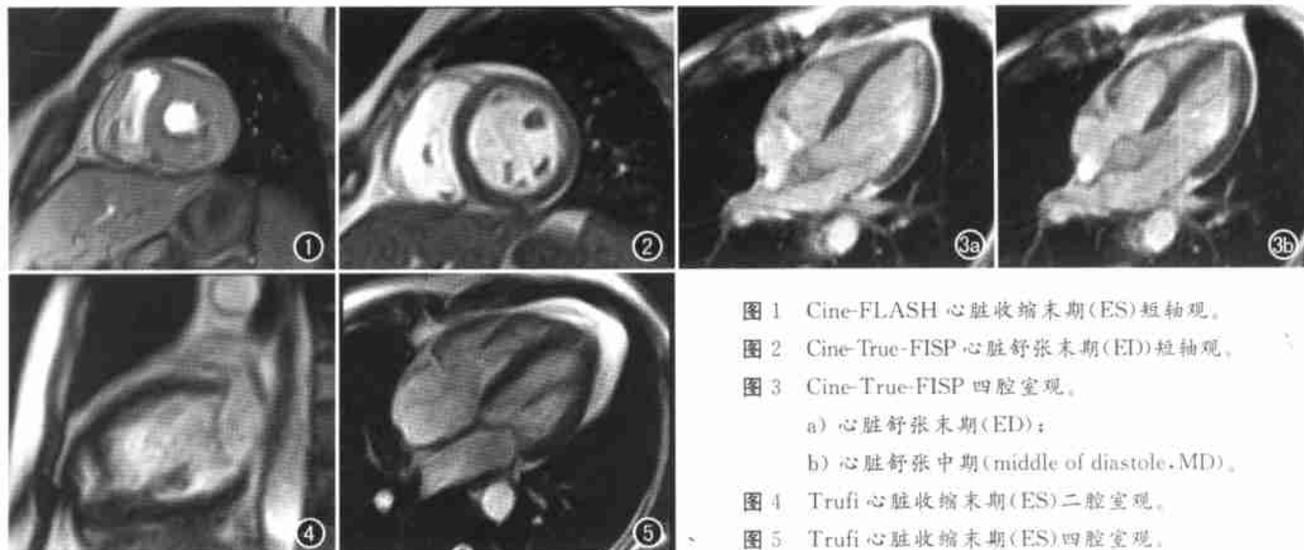


图 1 Cine-FLASH 心脏收缩末期(ES)短轴观。
图 2 Cine-True-FISP 心脏舒张末期(ED)短轴观。
图 3 Cine-True-FISP 四腔室观。
a) 心脏舒张末期(ED);
b) 心脏舒张中期(middle of diastole, MD)。
图 4 Trufi 心脏收缩末期(ES)二腔室观。
图 5 Trufi 心脏收缩末期(ES)四腔室观。

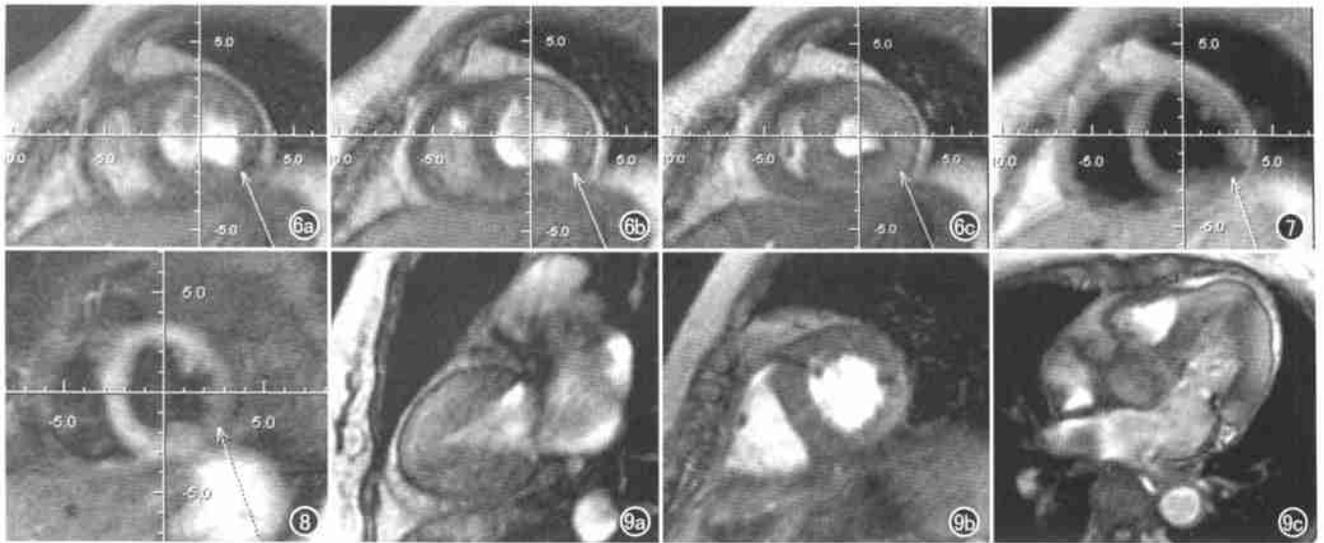


图 6 Cine-Trufi 短轴位观。a) 心脏舒张末期(ED); b) 心脏收缩中期(middle of systole, MS); c) 心脏收缩末期(ES)。图 7 TSE-DB 短轴观。图 8 TSE-DB-FS 短轴观。图 9 Cine-FLASH 图像。a) 心脏舒张中期(MD)二腔室观; b) 心脏舒张末期(ED)短轴观; c) 心脏舒张中期(MD)四腔室观。

表 2 三种扫描序列的心脏成像优劣势比较

扫描序列	对比度	运动伪影	成像时间
Cine-True-FISP	好	搏动伪影明显	最短
Cine-FLASH	欠佳	搏动伪影不明显, 呼吸运动伪影明显	较长
TSE-DB	好	呼吸运动伪影较明显	最长

从表 1 可看出, Cine-True-FISP 的图像质量最稳定, 临床应用中, 只要片层定位正确, 就可获得满意的 SNR 和良好的心室壁、心室腔对比度, 3 例扫描中, 主

动脉搏动伪影叠加到心脏结构上, 影响心脏结构的观察, 通过改变相位编码方向即可避免。影响 Cine-FLASH 图像质量的最常见原因是心室壁、心室腔对比度欠佳, 尤其是在二腔室观和四腔室观成像时, 需对扫描参数作适当调整以获得较好的对比度。此外, 由于扫描时间较长, 患者不可能屏气配合, 呼吸运动伪影有时也会影响心脏结构的显示。导致 TSE-DB 图像不满意的原因主要是 SNR 太低, 其次是心室壁、心室腔对比度欠佳。

讨论

1. 临床诊断对心脏 MR 图像的要求

临床上常见的心脏疾患主要有冠心病、高血压性心脏病、先天性心脏病、心肌炎和风湿性心脏病, 与这些疾病相关的心脏病理改变包括弥漫性或局灶性室壁厚度改变、心肌舒缩功能改变、心脏瓣膜改变以及心肌血流灌注改变。所以用作临床诊断的 MR 心脏图像需具备良好的室壁心肌和心室腔血液的对比度, 以清楚显示心脏的结构改变,

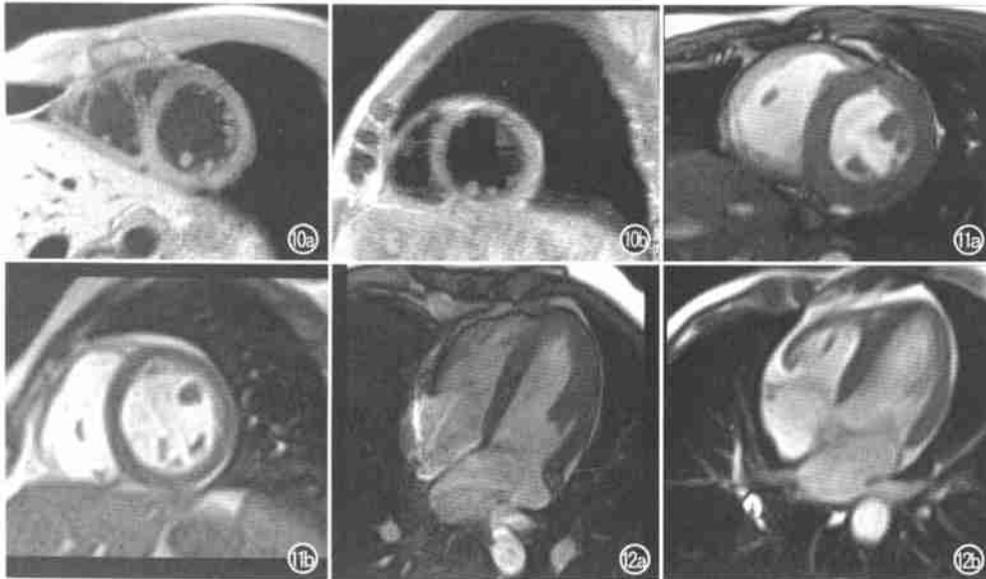


图 10 黑血 TSE 序列图像。a) 1.5T 图像; b) 0.35T 图像。图 11 Cine-True-FISP 序列。a) 1.5T 图像; b) 0.35T 图像。图 12 四腔室观。a) 1.5T 图像; b) 0.35T 图像。

用于心脏功能分析和反映心肌血流灌注成像需具有足够的时间分辨率,可采集心动周期不同时相的心脏图像和瞬时心肌血流灌注像,提供反映心脏舒缩功能、心脏瓣膜开闭和血供的动态信息。

2. MR 心脏成像的难点

MR 心脏成像受心脏跳动和呼吸运动的双重影响,为了解决心脏成像中的运动伪影,需采用心电门控和屏气或 PACE,这就要求采用快速的成像序列以及高的梯度配置和快速的图像重建系统。由于心脏成像对 MR 系统软、硬件的这些要求,加之低场系统较低的信噪比,使得在场强低于 0.5T 的系统上行心脏成像是不可可能的,一度成为普遍的看法。

3. 低场 MR 系统用于心脏成像的优劣势

高、低场 MRI 系统性能指标的比较见表 3。从表 3 中可看出,对心脏成像影响大的梯度配置、图像重建系统及快速扫描序列的采用不受系统场强高低的制约,也就是说,低场系统可采用与高场系统相同的配置。同时心脏成像时,为了保证一定的时间分辨率,通常体素较大,故在低场系统上,SNR 已达到诊断的要求,高场系统上更高的 SNR 并不能提供更多的具有临床意义的信息。而低场永磁磁场相对较差的均匀性,在先进硬件设计的基础上,可通过先进的匀场技术补偿获得良好的场均匀性,还可通过高阶匀场保证小范围内更高的场均匀性,从而不影响心脏图像的质量。此外,低场系统对 ECG 信号影响小,有利于在采用目前很受推崇的反向 ECG 门控时,获得稳定而可靠的 ECG 信号。低场系统运动伪影不明显使在相同时间分辨率的前提下,心室壁与心室腔的分界更清楚;心脏成像耗时相对较长,低场系统的低噪声和低射频吸收率(specific absorption rate, SAR),可提高患者对心脏成像,尤其是采集用于心脏功能分析的容积图像(volume imaging)数据的耐受性。

表 3 高、低场 MRI 系统性能指标比较

性能指标	高场	低场
磁场方向	水平	垂直
ECG 门控	波形畸变	波形畸变小
图像 SNR	高	稍低
运动伪影	明显	不明显
化学位移伪影	明显	不明显
扫描噪声	大	小
SAR	高	低
梯度系统性能	不依赖于场强	
软件配置	不依赖于场强	
计算机配置	不依赖于场强	

我们在永磁低场系统采用无源匀场和有源高阶匀场技术以及先进的匀场计算和计算机指导下的高精匀场技术,确保了永磁磁场的均匀性。同时配置了高性能的梯度系统和计算机系统。这样,在低场系统上应用高场系统适用的快速扫描序列成为可能,从而使心脏成像得以实现。临床应用开发中,我们根据低场的特点,对成像参数进行相应的调整,从而获得具有临床诊断价值的图像。

5. 心脏成像的序列选择和成像技术选用

True-FISP 序列成像快,信噪比高,可提供良好的心肌和心室腔对比度,而且图像质量对扫描参数不敏感,故在心脏成像中最多采用,可用来做定位像及电影成像扫描,观察心脏结构和舒缩功能,特别适合于扫描心功能分析用的全心电影图像。FLASH 序列通过扫描参数调整,也可获得良好的心肌和心室腔的对比度,尤其是可清楚地显示心脏瓣膜,但成像时间较长,故主要用来进行电影成像观察心脏瓣膜的功能;此外,心脏的线、格标记成像序列也是以 Cine-FLASH 为基础的。TSE-dark-blood 序列采用优化的扫描参数可获得最好的心脏结构显示。相对于 ECG-Trigg, ECG-Retro-Trigg 可采集一个心动周期中任何时相的图像,更有利于观察、评价心脏舒张功能,同时,由于 ECG-Retro-Trigg 没有触发死期,对心律不齐的受试者同样适用。相位共享技术可提高成像效率增加心脏成像的时间分辨率,而空间分辨率无明显减低,对低场系统的心脏成像尤其有用。

综上所述,在优化设计的低场系统上进行心脏形态学成像和功能成像是可能的,而且在一些方面比高场系统还有一定的优越性。但目前,高场系统上已开展的冠脉成像、心肌灌注成像以及血流定量分析,在低场系统上,由于信噪比和运动伪影的限制,尚未获得满意的结果,相信随着硬件的进一步改进、呼吸运动补偿技术的发展和应用经验的积累,低场系统上进行这些应用也将由可能变为现实,我们期待着 MR 成像在心脏疾患诊断中发挥越来越重要的作用,NOVUS 0.35T MRI 系统为越来越多的医院创造效益,为越来越多的患者提供服务。

参考文献:

- [1] Manning WJ, Pennell DJ. Cardiovascular magnetic resonance [M]. Churchill Livingstone, 2002. 18.

(收稿日期: 2004-03-31 修回日期: 2004-06-07)