·小儿影像学·

MRI 快速扫描技术在儿童先天性心脏病诊断中的应用

胡喜红，黄国英，帕米尔，李国平，杨皓玮

【摘要】 **目的**：探讨 MRI 半傅立叶采集单次激发快速 SE(HASTE)序列、真稳态进动快速成像(TrueFISP)序列和并行采集技术在儿童先天性心脏病诊断中的应用价值。**方法**：对 50 例经超声心动图检查的先天性心脏病患儿进行心脏大血管 MRI 检查，其中 26 例行 DSA 检查，全部病例经手术证实。扫描序列包括 HASTE、TrueFISP 序列以及回顾性心电门控心血管电影成像，并加用并行采集技术。分析各序列 MRI 图像质量，并将 MRI 检查结果与超声心动图、DSA 结果进行对照。**结果**：MRI 共检出 10 种复杂先心共 181 处心血管畸形。26 例行 DSA 检查共检出畸形 120 个并均与手术结果吻合，MRI 显示畸形 114 个(95.00%)，超声心动图检出畸形 110 个(92.67%)。TrueFISP 序列和 HASTE 序列利于显示血管畸形，电影序列有助于检出心内外分流。**结论**：HASTE 黑血技术、TrueFISP 亮血技术结合快速电影序列进行心脏 MRI 检查，可以获得高质量的图像以及较高的病变检出率，适用于儿童先天性心脏病的诊断。

【关键词】 磁共振成像；心脏缺损，先天性；儿童；血管造影

【中图分类号】R445.2；R814.43 【文献标识码】A 【文章编号】1000-0313(2007)11-1217-04

Application of Magnetic Resonance Fast Scan Techniques in the Diagnosis of Congenital Heart Diseases in Children HU Xi-hong, HUANG Guo-ying, PA Mi-er, et al. Department of Radiology, Heart Center, Children's Hospital of Fudan University, Shanghai 200032, P. R. China

【**Abstract**】 **Objective**: To explore the clinical application of MR fast scan techniques, such as half-Fourier acquisition single shot spin echo (HASTE), true fast imaging with steady-state precession (TrueFISP), ECG triggered cine and integrated parallel acquisition technique (iPAT) in the diagnosis of congenital heart diseases in children. **Methods**: Cardiac MRI, echocardiography and surgical operation were performed in 50 cases of pediatric patients with complex congenital heart diseases. HASTE, TrueFISP, ECG triggered cine and iPAT techniques were included in the cardiac MRI scanning protocols. X-ray angiography was performed in 26 cases. The image quality and the examination results of MR imaging were analyzed. MRI findings were correlatively compared with those of the X-ray angiography and echocardiography. **Results**: High quality images were obtained with HASTE and TrueFISP scanning sequences. 10 kinds of complex congenital heart diseases and 181 cardiovascular malformations were found by MRI in 50 cases. In the 26 cases with X-ray cardiovascular angiograms, 120 surgically proven malformations were all revealed on angiograms, 114 malformations (95%) were found on MRI scans, and 110 malformations (92.67%) on echocardiograms. The detection and diagnostic accuracy rates of MRI were higher than those of echocardiography. HASTE and TrueFISP sequences were beneficial for the detection of great vessel malformations and MR cardiovascular cine was helpful in the demonstration of shunts. **Conclusion**: Cardiovascular MRI scanning using a scanning protocol of dark blood HASTE and bright blood TrueFISP sequences in combination with cardiovascular cine technique, yielded high quality images and resulted in rather high malformation detection rate, therefore, it was recommended for the imaging examination and diagnosis of congenital heart diseases in children.

【**Key words**】 Magnetic resonance imaging; Heart defect, congenital; Children; Angiography

磁共振硬件、软件技术的不断更新，使心脏磁共振的临床应用得到了快速发展。快速成像技术可以提供高质量、少伪影的心脏磁共振图像，在诊断先天性心脏病，尤其是复杂畸形以及术后评价方面具有很大价值。但 MRI 在儿科的应用相对较少，尚需要积累更多的经验。笔者应用半傅立叶采集单次激发快速自旋回波(half-Fourier acquisition single shot turbo spin echo, HASTE)序列、真稳态进动快速成像序列(true fast imaging with steady-state precession, TrueFISP)以及并行采集技术(integrated parallel acquisition technique, iPAT)等对儿童先天性心脏病患者进行检查，以期缩短扫描时间，消除图像伪影，提高图像质量，优化扫描序列，进一步提高 MRI 在儿童先天性心脏病的诊断价值。

材料与方法

搜集 2006 年 1 月～2007 年 4 月本院 50 例先天

作者单位：200032 上海，复旦大学附属儿科医院放射科
作者简介：胡喜红(1974－)，女，上海人，硕士，主治医师，主要从事儿童影像诊断工作。
通讯作者：黄国英，E-mail：gyhuang@shmu.edu.cn

性心脏病患儿的病例资料，其中男 39 例，女 11 例，年龄 3 个月～6 岁，平均 3.5 岁。所有患儿行彩色多普勒超声心动图检查后进行心脏 MRI 检查，其中 26 例行 X 线心血管造影。全部病例均经手术证实。

24 例年龄小于 4 岁不能合作的患儿，MR 检查前 20～30 min 给予 10%水合氯醛溶液口服或灌肠，剂量 0.5 ml/kg。采用 1.5T 磁共振成像仪(Magnetom Avanto, Siemens AG, Germany)，梯度场强 45 mT/m，切换率 200 mT/(m·s)。信号采集应用阵列表面线圈，同时有 32 个独立的信号接收通道，使用无线心电门控或外周脉搏门控。扫描方位包括横断面、冠状面、矢状面、垂直于室间隔的心脏短轴位、平行于室间隔的心脏短轴位、平行于室间隔的心脏长轴位、双斜位和四腔位，根据具体病变可作适当选择。怀疑存在心内分流、瓣膜畸形者在病变方位加扫 1～3 层电影采集。

亮血图像采用 TrueFISP 序列，扫描参数：TR 40 ms，TE 1.2 ms，层厚 5～6 mm，翻转角 62°，并且采用并行采集技术，加速因子 2。黑血图像采用 HASTE 序列，扫描参数：TR 700 ms，TE 26 ms，层厚 5～6 mm，翻转角 160°。心脏电影成像采用回顾性心电门控 TrueFISP 序列，扫描参数：TR 40 ms，TE 1.2 ms，层厚 5～6 mm，翻转角 62°，单层电影成像采集时间 8～14 s，视野 340 mm×340 mm～420 mm×420 mm；对于无法屏气者，采用敏感度编码(sensitivity encoding, SENSE)技术电影序列在自由呼吸状态下采集图像，加速因子为 2。

将 TrueFISP 序列和 HASTE 序列的图像质量分为 3 级。Ⅰ级：图像清晰度高，亮血流与周围组织对比明显或血流抑制完全，无伪影，病变显示清晰；Ⅱ级：图像尚清晰，亮血流与周围组织对比欠清晰或血流抑制欠佳，有伪影，但尚能显示病变；Ⅲ级：图像清晰度差，伪影重，不能确定病变。将 MRI 诊断结果与超声心动图、DSA 及手术结果进行对照。由 2 位有经验的影像科医生独立对 MRI 图像进行分级、诊断。

结 果

50 例患儿 MRI 均检出畸形，共 10 种复杂性先天性心脏病，包括法洛氏四联症 15 例、右室双出口 11 例、右位心及纠正型大血管转位 2 例、主动脉缩窄 9 例、主动脉瓣上缩窄 5 例、肺动脉闭锁 3 例、主-肺动脉间隔缺损 2 例、三尖瓣闭锁、左肺动脉缺如及下腔静脉中断各 1 例。

1. 图像质量分级情况

50 例患儿的 TrueFISP 序列和 HASTE 序列图像质量的分级情况见表 1。2 种序列图像质量好(图 1、2)，均无Ⅲ级图像。

表 1 两种序列图像质量分级情况

图像分级	TrueFISP 序列	HASTE 序列
Ⅰ级	48(96%)	46(92%)
Ⅱ级	2(4%)	4(8%)
Ⅲ级	0	0

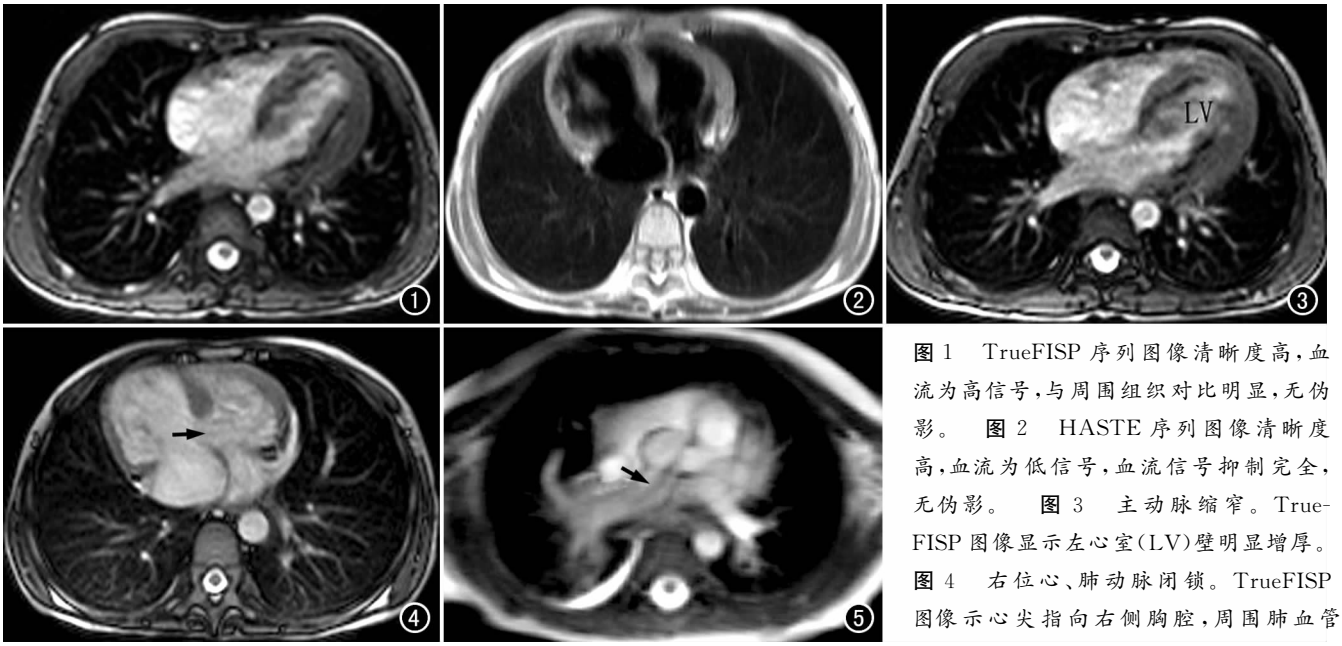

图 1 TrueFISP 序列图像清晰度高，血流为高信号，与周围组织对比明显，无伪影。 **图 2** HASTE 序列图像清晰度高，血流为低信号，血流信号抑制完全，无伪影。 **图 3** 主动脉缩窄。TrueFISP 图像显示左心室(LV)壁明显增厚。 **图 4** 右位心、肺动脉闭锁。TrueFISP 图像示心尖指向右侧胸腔，周围肺血管细小，合并室间隔缺损(箭)。 **图 5** 主肺动脉间隔缺损。电影成像显示主肺动脉内血流经缺损区流入右肺动脉起始段，呈现为右肺动脉内细条状低信号影(箭)。

2. 不同序列对畸形的检出情况

50 例患儿共检出 10 种复杂性先天性心脏病，MRI 共检出 181 个畸形，可分为大血管异常、房室改变、心内外分流和瓣膜畸形 4 大类（图 3～8）。TrueFISP 序列和 HASTE 序列可以显示各种畸形的形态学改变，其中 TrueFISP 序列成像时间更短，TrueFISP 电影采集则显示了血流动力学改变。不同序列对心血管畸形的检出情况见表 2。

表 2　不同序列对畸形的检出情况

畸形类型	TrueFisp	HASTE	TrueFisp 电影
心内外分流	30	28	35
瓣膜畸形	17	15	17
房室增大或肥厚*	48	48	—
大血管异常*	81	81	—

注：对于房室改变和大血管异常，本组病例未采用电影扫描。

3. 几种影像检查结果的比较

26 例患者行 DSA 检查，共检出畸形 120 个，与手术结果相符合。将 26 例患者的超声心动图、MRI 和 DSA 这三种影像学检查的诊断结果进行比较，检出畸形数目见表 3。MRI 漏诊 3 例小型房间隔缺损，1 例室间隔缺损，2 例动脉导管未闭。与 MRI 相比，超声心动图漏诊主-肺动脉窗、双向腔肺分流术后吻合口狭窄、左肺动脉缺如和右室双出口各 1 例。

表 3　三种影像学方法对畸形检出情况的比较

检查方法	检出畸形个数	百分比(%)
超声心动图	110	92.67
MRI	114	95.00
DSA	120	100.00

讨　论

本组病例联合使用 TrueFISP 亮血技术、HASTE 黑血技术加快速电影成像序列，对先天性心脏病患者心血管畸形的检出率高。而且该组病例多为复杂畸形，患儿年龄小，检查时合作程度欠佳，多不能配合屏气，但所采集的图像都能达到诊断要求。笔者分析原因，主要是由于采用了新的快速 MR 成像序列和技术，大大缩短了扫描时间，提高了图像质量。

1. MR 成像序列

本组 50 例患儿均存在血管发育异常，主要包括主动脉和肺动脉排列异常以及发育畸形，亮血图像能显示血管的形态结构，有利于此类畸形的检出。本组中亮血图像采用了 TrueFISP 序列，该序列是一种有均衡梯度结构的快速回波序列，由于选用了极短的重复时间（TR）和回波时间（TE），血液流动效应几乎可以忽略不计，组织的长 T_2 特点可以得到很好体现，使动脉、静脉都呈高信号，从而清晰地显示血管的解剖结构[1]。TrueFISP 序列快速成像的特点，使其在心血管成像中，尤其是不能配合屏气的小患儿心脏成像中发挥了重要作用。本组病例接近一半的患儿使用镇静剂，不能配合屏气，但均能顺利完成检查，TrueFISP 序列对主动脉和肺动脉排列异常、主动脉扩张以及肺动脉狭窄等畸形检出率高，与手术所见相符。

黑血技术可以提供心血管形态学方面的信息，显示心肌厚度、心室大小、异常通道、管腔狭小等的情况。以往常规黑血技术多采用 SE T_1WI，利用血液的流空效应成像，但心脏大血管流速以及心率变化复杂，导致重复时间不同，血流抑制不完全，并有明显的心脏搏动和呼吸运动伪影，故该序列在心脏检查中已很少使用。本组黑血技术采用 HASTE 序列，图像质量高，其中Ⅰ级图像占 92.0%，Ⅱ级图像占 8.0%，无Ⅲ级图像，均能达到诊断要求。HASTE 序列抑制血流信号完

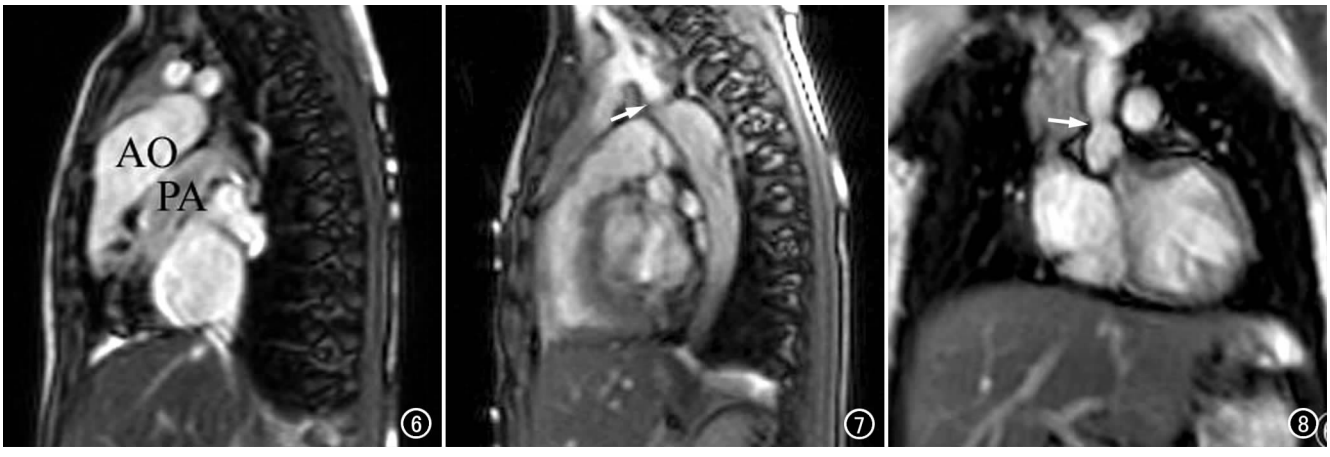

图 6　右室双出口。TrueFISP 图像显示主动脉（AO）、肺动脉（PA）均发自右室，升主动脉明显增宽，位于右前方，主肺动脉细小位于左后方。　**图 7**　男，3.5 岁，主动脉缩窄。TrueFISP 图像显示降主动脉与主动脉弓交界处狭窄（箭），伴主动脉弓发育不良。　**图 8**　主动脉瓣上狭窄伴主动脉瓣口狭窄。电影成像显示距主动脉瓣上约 1cm 处局限性狭窄（箭），主动脉瓣口狭窄。

全，成像时间较传统序列明显减少[2]。本组 24 例患儿使用镇静剂，不能配合屏气，采用了呼吸导航技术，在自由呼吸下采集图像，图像呼吸伪影小，仅 2 例非屏气患儿的黑血图像在心室瓣膜口层面，瓣膜分界线不如屏气锐利，基本不影响诊断。

电影序列不仅显示精确的解剖关系，而且提供心腔、心壁及血流关系的功能分析，可用来评估血液分流、瓣膜病变、大血管及心室功能、心肌运动等[3]。本组电影采集清晰显示了心内分流（房间隔缺损、室间隔缺损），与 TrueFISP、HASTE 序列相比，电影采集对分流的检出率明显增高。电影成像时，在右心室流出道肺动脉层面可以显示肺动脉瓣狭窄形成的喷射征；主动脉瓣狭窄病例，心室收缩时左室流出道射血入主动脉，瓣上可见由湍流所造成的混杂信号；另外，对合并有心外分流的，显示也十分确切。本组 2 例主-肺动脉间隔缺损，电影序列清晰地显示主动脉内血流经缺损区流入肺动脉，与常规心血管造影结果相符。传统 MRI 心脏电影采集是基于小角度激励梯度回波序列，使用前瞻性心电门控，在各 R-R 间期预期定好不同的采集触发点来获取相应心动周期动态图像，但触发前的信息缺失。而本组病例采用 TrueFISP 序列、回顾性门控数据重建及节段式 K 空间填充技术，以消除传统方法的不足，而且可以节省图像采集时间。TrueFISP 序列电影序列的图像清晰度高，时间分辨力高，适用于儿童心脏成像。

2. 成像技术

复杂先天性心脏病大多病情复杂，畸形多样，就诊年龄小，难以配合，应尽可能缩短检查时间以取得高质量的图像。朱铭等[4]提出若患儿合作欠佳或是使用镇静剂者首先行增强 MRA，以获得主要的诊断信息，但是增强 MRA 对心外畸形的检出率高，而对心内畸形的显示仍有限。该组病例采用的 HASTE 序列、TrueFISP 序列成像时间短，不能合作的患儿镇静后在自由呼吸状态下，加用 iPAT 并行采集技术，电影成像时采用 TSENSE 技术，可减少呼吸运动伪影。

iPAT 并行采集技术是高端 MRI 机中一种提高成像速度、改善图像质量的成像技术，主要是通过降低 k 空间填充率实现的，但是 k 空间填充率低于采样定理的限制会导致直接利用傅立叶重建后的图像出现伪影。平行成像[5]去除混叠伪影的重建方法大致可分为 SMASH（simultaneous acquisition of spatial harmonics）和 SENSE 两种，本组采用 SENSE 算法。SENSE 技术是利用不同敏感度的相阵控线圈放置目标周围，通过减少相位编码采样的步数，使成像速度加快，同时减少了运动和敏感性伪影。文献[6]报道，SENSE 加速因子提高到 3 时，图像对比噪声比就明显下降，因此权衡提高 SENSE 加速因子和获得最佳图像质量间的平衡是至关重要的。本组病例 SENSE 序列加速因子采用 2，所得图像质量高，结合血液流动信息，有助于心内外分流以及瓣膜病变的检出。

3. 成像注意事项

先天性心脏病复杂多样，正确选择扫描平面是提高诊断率的关键，笔者认为以横断面、冠状面、四腔位以及双斜位为主的黑血、亮血序列扫描和感兴趣层面快速电影成像，基本可以满足对复杂先天性心脏病诊断的要求。

对于不合作患儿，检查前 20～30 min 给予 10％水合氯醛（0.5 ml/kg）口服或灌肠是必要的，而且镇静效果较好，可以维持 30～90 min。

心电门控的放置直接影响扫描过程的进行以及图像的质量，扫描前应仔细检查电极的接触状态，确认心电图无严重杂波，对于心律严重不齐的患儿可以采用外周脉搏门控。

本研究采用 HASTE、TrueFISP 序列结合快速电影采集，对于小年龄的患儿进行心脏 MRI 检查，获得较满意的成像质量、较高的病变检出率和诊断准确性。相信随着 MR 设备及技术的不断发展，心脏 MRI，尤其是儿童复杂先天性心脏病的 MRI 检查会有更加引人注目的发展前景。

致谢：感谢复旦大学附属中山医院磁共振室工作人员的大力协助！

参考文献：

[1] Nummimen K, Halavaara J, Isoniemi H, et al. Magnetic Resonance Imaging of the Liver: True Fast Imaging with Steady State Free Precession Sequence Facilitates Rapid and Reliable Distinction between Hepatic Hemangiomas and Liver Malignancies[J]. J Comput Assist Tomogr, 2003, 27(4): 571-576.

[2] Chung HW, Chen CY, Zimmerman RA, et al. T_2-weighted Fast MR Imaging with True FISP Versus HASTE: Comparative Efficacy in the Evaluation of Normal Brain Maturation[J]. Am J Roentgenol, 2000, 175(5): 1375-1380.

[3] Constrantine G, Shan K, Flamm SD, et al. Role of MRI in Clinical Cardiology[J]. Lancet, 2004, 363(9427): 2162-2171.

[4] 朱铭，李玉华，钟玉敏，等. 复杂先天性心脏病手术后磁共振检查[J]. 临床放射学杂志，2002，21(2)：121-123.

[5] Martin B, Felix B, Matthias M, et al. SMASH, SENSE, PILS, GRAPPA How to Choose the Optimal Method[J]. Top Magn Reson Imaging, 2004, 15(4): 223-236.

[6] 顾欣，袁滨，袁飞，等. 3.0T 磁共振 SENSE 及 SPAIR 技术在腹部扫描中的优势及应用[J]. 医疗卫生装备，2005，26(9)：51-52.

（收稿日期：2007-04-17 修回日期：2007-09-27）