

· 血管成像的临床应用 ·

# 双向 Glenn 分流术后上腔静脉-肺动脉吻合口形态和血流的 MRI 与超声心动图对比测量分析

王荣品 梁长虹 黄美萍 刘辉 邓奇平 杨明放

**【摘要】 目的** 对比研究 MRI 与超声心动图(UCG)评估双向 Glenn 分流术(BGS)后上腔静脉-肺动脉吻合口(腔-肺吻合口)形态和血流的差异。**方法** 应用 3.0 T 相位对比(PC)-MRI 对 22 例 BGS 术后患者上、下腔静脉进行血流测量,应用对比增强(CE)-MRI 显示腔-肺吻合口及其邻近血管形态,用 Report Card 软件计算腔-肺吻合口宽度、峰值流速、压差,采用 UCG 进行对比测量分析。MRI 测量上、下腔静脉血流参数,以及 MRI 和 UCG 测量腔-肺吻合口宽度、峰值流速和压差值采用配对样本  $t$  检验和 Pearson 相关分析。**结果** 上腔静脉血流量 $[(1.002 \pm 0.208) \text{ L/min}]$ 显著低于下腔静脉血流量 $[(1.794 \pm 0.392) \text{ L/min}]$  ( $t = -15.148, P < 0.01$ ),上腔静脉反流分数 $[(26.54 \pm 12.82)\%]$ 显著高于下腔静脉反流分数 $[(17.44 \pm 10.17)\%]$  ( $t = 11.060, P < 0.01$ );CE-MRI 能清楚显示腔-肺吻合口及其邻近血管狭窄、血栓形成等形态异常改变,UCG 未显示上述形态异常改变。MRI 测量腔-肺吻合口宽度 $[(12.46 \pm 3.43) \text{ mm}]$ 显著大于 UCG $[(11.04 \pm 2.63) \text{ mm}]$  ( $t = 4.048, P < 0.01$ ),测量峰值流速 $[(47.77 \pm 10.44) \text{ cm/s}]$ 显著小于 UCG $[(52.19 \pm 9.63) \text{ cm/s}]$  ( $t = -2.237, P < 0.05$ ),测量压差 $[(0.95 \pm 0.42) \text{ mm Hg} (1 \text{ mm Hg} = 0.133 \text{ kPa})]$ 与 UCG $[(1.12 \pm 0.38) \text{ mm Hg}]$ 差异无统计学意义( $t = -2.010, P > 0.05$ );二者测量腔-肺吻合口宽度、峰值流速及压差呈显著正相关( $r$  值分别为 0.858、0.489、0.427,  $P$  值均  $< 0.05$ )。**结论** 3.0 T MRI 测量腔-肺吻合口宽度、峰值流速及压差与 UCG 具有较好相关性,但 MRI 显示腔-肺吻合口宽度及形态异常显著优于 UCG。

**【关键词】** 磁共振成像; 心脏缺损,先天性; 对比研究

**A comparative study of MRI and ultrasonic cardiography in morphology and blood flow of cavopulmonary anastomosis for patients with bidirectional Glenn shunt** WANG Rong-pin\*, LIANG Chang-hong, HUANG Mei-ping, LIU Hui, DENG Qi-ping, YANG Ming-fang. \*Department of Radiology, Guizhou Provincial People's Hospital, Guiyang 550002, China  
Corresponding author: LIANG Chang-hong, Department of Radiology, Guangdong General Hospital, Guangzhou 518000, China, Email: dr\_liang62@hotmail.com

**【Abstract】 Objective** To investigate the difference of morphology and blood flow of cavopulmonary anastomosis by MRI and that by ultrasonic cardiography (UCG) in patients with bidirectional Glenn shunt (BGS). **Methods** Phase-contrast MRI (PC-MRI) and contrast enhanced MRI (CE-MRI) were performed for superior vena cava (SVC) and inferior vena cava (IVC) in 22 patients with BGS on 3.0 T MR scanner. PC-MRI was used for measuring blood flow and CE-MRI for illustrating morphology. The width, peak flow velocity and gradient pressure of cavopulmonary anastomosis were calculated by using Report Card software. The similar data of UCG was collected. The parameters by MRI and that by UCG were compared statistically by  $t$  test and Pearson correlation. **Results** Based on the MRI data, the blood flow of SVC  $[(1.002 \pm 0.208) \text{ L/min}]$  was significantly lower than that of IVC  $[(1.794 \pm 0.392) \text{ L/min}]$  ( $t = -15.148, P < 0.01$ ), while the regurgitation fraction of SVC  $[(26.54 \pm 12.82)\%]$  was significantly higher than that of IVC  $[(17.44 \pm 10.17)\%]$  ( $t = 11.060, P < 0.01$ ). The morphology displayed with MRI angiography could not be detected with UCG. The width of cavopulmonary anastomosis measured by MRI  $[(12.46 \pm$

DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2011.11.002

作者单位: 550002 贵阳,贵州省人民医院放射科(王荣品、邓奇平、杨明放);广东省人民医院放射科(梁长虹、黄美萍、刘辉)

通信作者:梁长虹,518000 广州,Email:dr\_liang62@hotmail.com

3.43 mm] was significantly higher than that of UCG [(11.04 ± 2.63) mm] ( $t = 4.048, P < 0.01$ ), while the peak flow velocity of cavopulmonary anastomosis measured by MRI [(47.77 ± 10.44) cm/s] was significantly lower than that of UCG [(52.19 ± 9.63) cm/s] ( $t = -2.237, P < 0.05$ ). No significant difference was found in gradient pressure of cavopulmonary anastomosis between the values by MRI [(0.95 ± 0.42) mm Hg (1 mm Hg = 0.133 kPa)] and that by UCG [(1.12 ± 0.38) mm Hg] ( $t = -2.010, P > 0.05$ ). The width, peak flow velocity and gradient pressure of cavopulmonary anastomosis by MRI were closely correlated with those by UCG ( $r = 0.858, 0.489, 0.427$ , all  $P < 0.05$ ).

**Conclusions** A good correlation is found in the width, peak flow velocity, and gradient pressure of the cavopulmonary anastomosis obtained by 3.0 T MRI and UCG. MRI is more useful tool to display the width and abnormal morphology of cavopulmonary anastomosis than UCG.

**【Key words】** Magnetic resonance imaging; Heart defects, congenital; Comparative study

双向 Glenn 分流术 (bidirectional Glenn shunt, BGS) 常用于难以实施解剖学矫治的肺血减少型复杂先天性心脏病 (complex congenital heart defect, CCHD) 患者, 该手术为二期生理性矫治 (Fontan 术) 创造条件<sup>[1-2]</sup>。术后上腔静脉-肺动脉吻合口 (下称腔-肺吻合口) 宽度、压差、流速及反流情况是临床医师较为关注的问题, 是评估预后的关键<sup>[1-2]</sup>。既往临床上用于评价腔-肺吻合口情况的主要方法有超声心动图 (UCG)、CT 和心血管造影。MRI 相位对比法 (PC-MRI) 测量流速流量的准确性和可重复性已经较多的模型实验和在体血流测量证实<sup>[3-7]</sup>。笔者应用 MRI 和 UCG 进行对比测量分析, 以探讨 MRI 对腔-肺吻合口评估价值。

### 资料与方法

1. 检查对象: 选择 2008 年 3 月至 2009 年 2 月因 BGS 术后 1 年以上将拟行二期 Fontan 术的患者 22 例, 男 14 例, 女 8 例, 中位年龄 10 岁 (3 ~ 25 岁), BGS 术后时间 (3.09 ± 1.50) 年, 体表面积 (1.01 ± 0.29) m<sup>2</sup>。全部患者均于 MR 检查前后 2 周内行 UCG 检查, 其中 10 例进行了上腔静脉造影检查。所有患者均无 MR 检查禁忌证。

2. 成像设备: 采用美国 GE Signa 3.0 T 超导型

MR 仪, Whole 模式: 梯度场强 23 mT/m, 切换率每毫秒 80 mT/m。Zoom 模式: 梯度场强 50 mT/m, 切换率每毫秒 150 mT/m。采用 8 通道心脏相控阵线圈, 应用呼吸门控及回顾性心电门控。

3. MR 检查序列及定位方法: 采用三反转恢复序列 (Triple IR)、快速电影相位对比序列 (Fast Cine PC) 和 3D 时间决定对比剂动态成像法 (TRICKS) 扫描。先行 Triple IR 轴面、冠状面扫描, 所得解剖结构用于 Fast Cine PC 序列的定位扫描, 于冠状面腔-肺吻合口上缘 2 cm 处垂直上腔静脉层面定位扫描得到相应的相位图和幅度图 (图 1 ~ 3), 同时测量下腔静脉 (距右心房入口 1 ~ 2 cm 处) 作对比分析。主要扫描参数: Triple IR 序列: TR 1000.0 ms, TE 22.4 ms, TI 448.0 ms, 回波链长 16, 带宽 62.50 kHz, 层厚 4 mm。Fast Cine PC 序列: TR、TE 为自动选择最小重复时间 (min full), 反转角 20°, 带宽 31.25 kHz, FOV 40 cm × 40 cm, 矩阵 256 × 128, 扫描层厚 5 mm, 激励次数 1, 速度编码值 80 cm/s, 编码方向为层面选择方向 (slice), 采用回顾性心电门控触发分段 K 空间成像单层 30 个相位非屏气扫描。3D TRICKS 序列扫描对比剂用 Gd-DTPA, 总量按 0.2 mmol/kg 体质量, 采用双筒高压注射器, 经前臂静脉以 3 ml/s 流率注入, 随后以相同流率注入生



图 1~3 双上腔静脉定位图 (图 1) 及相应的相位图 (图 2) 和幅度图 (图 3)

理盐水 20 ml, 注入对比剂后 5 s 启动扫描。血管成像应用 MIP 重组以显示腔-肺吻合口及其邻近血管形态。不能配合患者, 于检查前口服 10% 水合氯醛 0.5 ~ 0.7 ml/kg 镇静后扫描。

4. MRI 血流测量和计算方法: 将扫描数据传至 AW 4.3 MR 工作站, 应用 Report Card 软件进行血流数据分析。在幅度图沿兴趣区血管轮廓内缘间隔一定距离手动描点, 软件自动勾画出兴趣区血管面积, 并在一个完整的心动周期 30 个时相自动追踪感兴趣区, 把兴趣区的位置完整复制到相应的相位图 (图 1 ~ 3)。确定兴趣区后, 经软件自动计算, 可得到包括正向峰值流速、反向峰值流速、平均血流量、

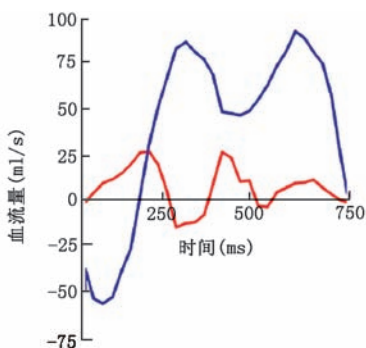


图 4 腔静脉时间-流量曲线。红色为上腔静脉, 蓝色为下腔静脉时间-流量曲线。下腔静脉收缩期 (250 ms 前) 反流量 (0 线下曲线内面积) 显著大于上腔静脉; 下腔静脉舒张早期血流量迅速增加, 舒张中后期出现第 2 次波峰 (高于第 1 次波峰); 上腔静脉出现 3 次波峰, 并于 3 次波峰之间存在 2 次反流

平均正向血流量、平均反向血流量及一个心动周期的时间-流量曲线 (图 4)。根据以上数据值计算反流分数 = (平均反向血流量/平均正向血流量) × 100%。根据简化的 Bernoulli 方程  $\Delta P = 4V_{max}^2$  计算腔-肺吻合口压差 ( $V_{max}$  为最大峰值流速)。

5. UCG 检查方法: 使用荷兰 Philips iE33 型超声诊断仪, 探头频率 5 MHz, 采用二维超声心动图测量腔-肺吻合口宽度, 脉冲多普勒超声测量腔-肺吻合口峰值血流速度, 根据简化 Bernoulli 方程计算腔-肺吻合口压差。

6. 统计学分析: 采用 SPSS 13.0 软件, 所有数据采用  $\bar{x} \pm s$  表示。PC-MRI 测量的上、下腔静脉血流量、反流分数, 以及 MRI 与 UCG 测量的腔-肺吻合口宽度、峰值流速及压差进行配对样本  $t$  检验, 采用 Pearson 相关分析研究两种方法对腔-肺吻合口测量的相关性。取  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 结 果

1. 上、下腔静脉血流差异: 所得上、下腔静脉一个心动周期的时间-流量曲线见图 4。下腔静脉于收缩期 (250 ms 前) 存在少量反流, 舒张早期血流量迅速增加, 舒张中后期出现第 2 次波峰, 略高于第

1 次波峰; 上腔静脉出现 3 次流量波峰, 并于 3 次波峰之间存在两次反流。上腔静脉平均血流量为  $(1.002 \pm 0.208)$  L/min, 明显低于下腔静脉平均血流量  $(1.794 \pm 0.392)$  L/min ( $t = -15.148, P < 0.01$ )。上腔静脉反流分数  $(26.54 \pm 12.82)\%$ , 明显高于下腔静脉反流分数  $(17.44 \pm 10.17)\%$  ( $t = 11.060, P < 0.01$ )。

2. 腔-肺吻合口情况: 22 例中, 对比增强 (CE)-MR 血管成像共显示 30 处腔-肺吻合口 (8 例为双上腔静脉); UCG 显示不清楚 2 处, 漏诊左上腔静脉 2 处, 误认存在左上腔静脉 1 处, UCG 判断正确 26 处。以二者均判断正确的 26 处腔-肺吻合口进行比较, 将 CE-MRI 测量所得宽度、PC-MRI 测量所得最大峰流速和压差进行配对样本  $t$  检验和 Pearson 相关分析, 所得结果见表 1。

表 1 2 种检查方法测量 26 处腔-肺吻合口宽度、峰值流速及压差结果 ( $\bar{x} \pm s$ )

检查方法	吻合口宽度 (mm)	峰值流速 (cm/s)	压差 (mm Hg)
MRI	12.46 ± 3.43	47.77 ± 10.44	0.95 ± 0.42
UCG	11.04 ± 2.63	52.19 ± 9.63	1.12 ± 0.38
$t$ 值	4.048	-2.237	-2.010
$P$ 值	<0.01	<0.05	>0.05

注: 1 mm Hg = 0.133 kPa; UCG: 超声心动图

MRI 显示腔-肺吻合口宽度和峰值流速与 UCG 差异存在统计学意义。MRI 显示腔-肺吻合口宽度显著大于 UCG, 峰值流速明显低于 UCG。二者显示腔-肺吻合口压差差异无统计学意义。经 Pearson 相关分析二者显示腔-肺吻合口宽度、峰值流速及压差呈明显正相关 ( $r$  值分别为 0.858、0.489、0.427,  $P$  值均  $< 0.05$ ), 以腔-肺吻合口压强相关性最好。CE-MRI 与上腔静脉造影所见腔-肺吻合口及肺动脉形态一致 (图 5, 6); MRI 显示 2 处腔-肺吻合口血栓形成 (图 7), 2 处吻合口轻度狭窄 (图 8), 左上腔静脉局限性狭窄 1 例 (图 9), 腔-肺吻合口邻近肺动脉局限性狭窄 2 例 (图 10)。在 CE-MRI 所显示的上述腔-肺吻合口及其邻近血管形态学异常中, UCG 均未明确提示异常。

## 讨 论

1. BGS 术后评估要求: BGS 术是临床治疗肺血减少型 CCHD 的有效姑息手术, 也是功能性单心室分期 Fontan 术中常用的手术<sup>[8]</sup>, 常用作肺血减少型 CCHD 患者改良 Fontan 术的过渡术式<sup>[1-2, 9]</sup>。术后需要定期了解腔-肺吻合口情况、肺血管的发育情况

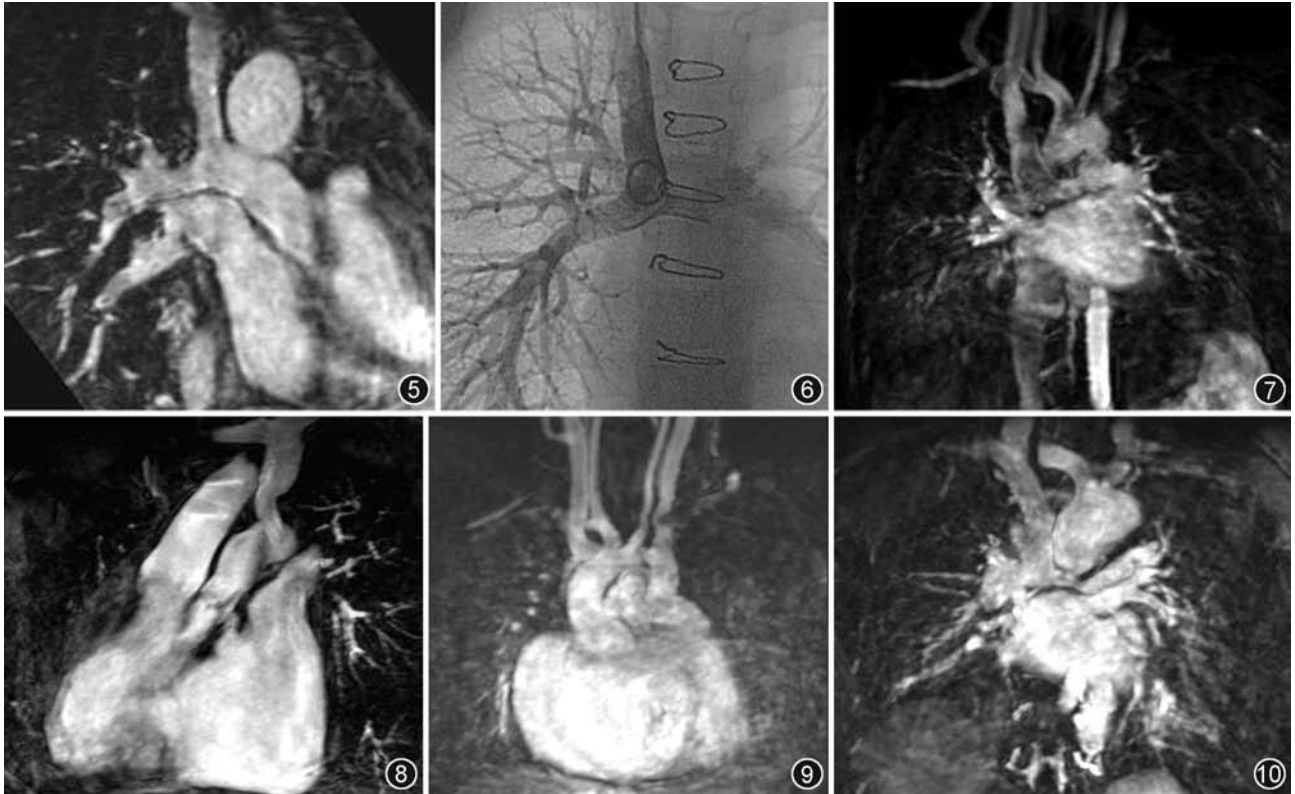


图 5,6 腔-肺吻合口形态显示。图 5 为 MIP 血管成像,腔-肺吻合口显示良好,主肺动脉近心端狭窄。图 6 为上腔静脉造影,腔-肺连接情况与图 5 相似 图 7 MIP 成像示上、下腔静脉、腔-肺吻合口及右肺动脉血栓形成 图 8 右位心、单心房、单心室患者,MIP 成像示腔-肺吻合口轻度狭窄,上腔静脉远端扩张 图 9 MIP 示左侧上腔静脉下端局限性狭窄,双上腔静脉吻合口显示良好 图 10 MIP 示腔-肺吻合口无狭窄,但邻近左肺动脉局限性狭窄

以及心脏功能改善情况,以便择期行二期 Fontan 术,达到生理性纠正血流动力学目的<sup>[1-2, 10]</sup>。BGS 术后腔-肺吻合口有无狭窄、有无血栓形成及压差大小是临床医师较为关注的问题,也是决定疗效的关键。

2. 时间-流量曲线意义:PC-MRI 所得到时间-流量曲线直接反映了一个心动周期血流量变化,并间接反映了心腔和大血管压力变化及功能状态。本组上、下腔静脉时间-流量曲线形态差异很大,其原因在于:收缩期右心房压力增加,使下腔静脉回心阻力增大而产生少量反流,舒张早期由于心室负压抽吸作用,此时右心房压力最低,故下腔静脉血流量迅速增加;由于该类患者右心房压力较正常人大,舒张中期出现下腔静脉流量下降,但尚不足以对抗下腔静脉回心血流动力,故而在舒张中后期出现明显二次流量波峰。上腔静脉因与心脏的连接中断,受心腔压力变化的影响相对较小,其内血流几乎是持续少量的流向右-左肺动脉,同时受右-左肺动脉压力和阻力的影响,腔-肺吻合口的压差决定了上腔静脉血流方式,故出现 3 个或以上波峰,并于 3 个主要波峰

之间出现 2 次明显反流,使一个心动周期内上腔静脉反流百分比明显大于下腔静脉。

3. MRI 与 UCG 评估腔-肺吻合口形态差异分析: MRI 有较高的空间分辨率,显示血管的连接及空间关系清楚,测量有标准的定位,故测量值可靠; UCG 透声窗受到肺气和胸廓骨骼影响,且空间分辨率相对较低,导致部分腔-肺吻合口显示不清楚,甚至受周围血管的干扰出现个别误判。二者测量腔-肺吻合口宽度呈显著正相关,说明 UCG 测量值尽管较 MRI 小,但测量吻合口大小与 MRI 测量值比例尚较一致。CE-MRI 不仅能清楚地显示腔-肺吻合口宽度,还能显示吻合口与上腔静脉及肺动脉是否匹配,邻近血管有无狭窄、有无血栓形成等;但 UCG 难以显示该类形态异常改变。

4. MRI 与 UCG 评估腔-肺吻合口血流差异分析:二者测量差异原因主要在于时间分辨率不同,UCG 流速时间分辨率仅为数毫秒;而 PC-MRI 为 25 ~ 35 ms,且为感兴趣区内各质子同一时相的平均流速,而非单个质子的最大流速。另外,二者测量原理不同,PC-MRI 使用跨平面技术,测量流速与流动

质子的速率成正比;而 UCG 是测量红细胞的反射速率来反映流速。Baltes 等<sup>[11]</sup>应用 PC-MRI 及 UCG 对狭窄瓣膜患者进行对比测量,亦得出 PC-MRI 较 UCG 低估峰值流速的结论。MRI 1 次测量不仅可得到正向峰值流速,还可得到反向峰值流速、平均血流量、平均正向血流量、平均反向血流量、反流分数以及时间-流量曲线,其信息量远较 UCG 大;而 UCG 只能得到最大峰值流速。二者测量吻合口压差无统计学意义且有较好相关性,显示了 PC-MRI 测量压差的准确性和可行性。

5. 影像方法比较:BCS 术后可选择的几种评价方法各有利弊。UCG 显示心内畸形尤其是心瓣膜病变具有较好的优越性,但显示纵隔和肺部血管受限。CT 能清楚显示腔-肺吻合口及肺血管形态,但存在一定辐射危害,不能进行血流测量。心导管检查和心血管造影虽被认为是“金标准”,但为有创性检查且费用高。MRI 具有多种序列优势互补且无电离辐射,PC-MRI 可评价大血管的血流动力学信息,CE-MRI 可清楚显示腔-肺吻合口形态及肺血管发育情况,电影 MRI 可评价心室和瓣膜功能,联合应用多序列“一站式”扫描可实现大血管形态和功能的整体评估,成为 CCHD 术后无创性评估最具潜力和价值的检查方法。

#### 参 考 文 献

[1] Ascuitto R, Ross-Ascuitto N, Wiesman J, et al. Bidirectional Glenn shunt as an adjunct to surgical repair of congenital heart disease associated with pulmonary outflow obstruction: relevance of the fluid pressure drop-flow relationship. *Pediatr Cardiol*, 2008,

- 29:910-917.
- [2] Tanoue Y, Kado H, Boku N, et al. Three hundred and thirty-three experiences with the bidirectional Glenn procedure in a single institute. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2007, 6: 97-101.
- [3] 王荣品, 刘辉, 梁长虹, 等. 3.0 T MRI 相位对比法对流体模型的定量测量研究. *放射学实践*, 2010, 25:474-477.
- [4] Beerbaum P, Barth P, Kropf S, et al. Cardiac function by MRI in congenital heart disease: impact of consensus training on interinstitutional variance. *J Magn Reson Imaging*, 2009, 30: 956-966.
- [5] Debl K, Djavidani B, Buchner S, et al. Quantification of left-to-right shunting in adult congenital heart disease: phase-contrast cine MRI compared with invasive oximetry. *Br J Radiol*, 2009, 82: 386-391.
- [6] Körperich H, Gieseke J, Barth P, et al. Flow volume and shunt quantification in pediatric congenital heart disease by real-time magnetic resonance velocity mapping: a validation study. *Circulation*, 2004, 109:1987-1993.
- [7] Beerbaum P, Körperich H, Barth P, et al. Noninvasive quantification of left-to-right shunt in pediatric patients: phase-contrast cine magnetic resonance imaging compared with invasive oximetry. *Circulation*, 2001, 103:2476-2482.
- [8] Day RW, Etheridge SP, Veasy LG, et al. Single ventricle palliation: greater risk of complications with the Fontan procedure than with the bidirectional Glenn procedure alone. *Int J Cardiol*, 2006, 106:201-210.
- [9] Tanoue Y, Sese A, Imoto Y, et al. Ventricular mechanics in the bidirectional glenn procedure and total cavopulmonary connection. *Ann Thorac Surg*, 2003, 76:562-566.
- [10] Tanoue Y, Sese A, Ueno Y, et al. Bidirectional Glenn procedure improves the mechanical efficiency of a total cavopulmonary connection in high-risk fontan candidates. *Circulation*, 2001, 103: 2176-2180.
- [11] Baltes C, Hansen MS, Tsao J, et al. Determination of peak velocity in stenotic areas; echocardiography versus k-t SENSE accelerated MR Fourier velocity encoding. *Radiology*, 2008, 246: 249-257.

(收稿日期:2010-12-05)

(本文编辑:任晓黎)