

❖ 心脏、血管影像学

### 3. 0T phase contrast MRI for assessment of pulmonary regurgitation and its relation to right ventricle volume and systolic function in patients with repaired tetralogy of Fallot

LIU Hui<sup>1</sup>, WANG Qiu-shi<sup>1</sup>, LIANG Chang-hong<sup>1\*</sup>, HUANG Mei-ping<sup>1</sup>,  
XIE Zhao-feng<sup>2</sup>, ZHENG Jun-hui<sup>1</sup>, TAN Shao-heng<sup>1</sup>

(1. Department of Radiology, 2. Department of Pediatric Cardiology, Guangdong General Hospital, Guangdong Academy of Medical Sciences, Guangzhou 510080, China)

[Abstract] **Objective** To compare pulmonary regurgitation (PR) measured with 3. 0T phase contrast MRI (PC-MRI) and echocardiography, in order to evaluate the relationship between PR and right ventricle (RV) volume as well as RV systolic function. **Methods** Cardiac MRI and echocardiography were performed within a month after surgical correction of tetralogy of Fallot (TOF) in 42 patients. The pulmonary regurgitation fraction (PRF) was calculated with PC-MRI. Correlation analysis for mild, moderate and severe PRF was performed between PC-MRI and echocardiography. Right ventricle end diastolic volume index (RV-EDVI), right ventricle end systolic volume index (RV-ESVI) and right ventricle ejection fractions (RVEF) were compared among different degrees of PRF. **Results** Degrees of PR measured with PC-MRI had positive correlation with the results of echocardiography ( $r_s=0. 606, P<0. 001$ ). RV-EDVI of mild, moderate and severe PRF was 89. 45, 108. 05 and 133. 50 ml/m<sup>2</sup>, while RV-EDSI was 50. 40, 64. 85 and 81. 30 ml/m<sup>2</sup>, respectively. RV-EDVI and RV-ESVI had statistical difference among mild, moderate and severe PRF ( $\chi^2=12. 530, 13. 173$ , both  $P<0. 01$ ), but no difference of RVEF was found ( $\chi^2=0. 032, P>0. 05$ ). **Conclusion** PRF measured with 3. 0T PC-MRI has good correlation with results of echocardiography. RV-EDVI and RV-ESVI have close relationship with PR. RV-EDVI and RV-ESVI increase with PR deteriorates, but RV-EF keeps stable.

[Key words] Magnetic resonance imaging; Tetralogy of fallot; Pulmonary regurgitation; Systole; Echocardiography

### 3. 0T MR 相位对比法评价法洛四联症根治术后肺动脉反流与右心室容量及收缩功能关系

刘 辉<sup>1</sup>, 王秋实<sup>1</sup>, 梁长虹<sup>1\*</sup>, 黄美萍<sup>1</sup>, 谢兆丰<sup>2</sup>, 郑君惠<sup>1</sup>, 谭绍恒<sup>1</sup>

(1. 广东省医学科学院 广东省人民医院放射科,  
2. 心血管儿科, 广东 广州 510080)

[摘要] **目的** 通过 3. 0T 相位对比磁共振(PC-MRI)定量测量法洛四联症(TOF)术后远期患者的肺动脉反流程度, 并与超声心动图结果进行分析, 评价肺动脉反流与右心室容量及收缩功能的关系。 **方法** 对 42 例 TOF 根治术后患者于 1 个月内先后接受超声心动图及心脏 MR 检查。以 PC-MRI 测量肺动脉反流分数(PRF), 分为轻度、中度、重度; 对 PC-MRI 所见与超声心动图测量的 PRF 程度进行相关分析。比较不同 PRF 程度间右心室舒张末容积指数(RV-EDVI)、右心室收缩末容积指数(RV-ESVI)、右心室射血分数(RVEF)的差异。 **结果** PC-MRI 与超声心动图显示的肺动脉反流严重程度呈正相关( $r_s=0. 606, P<0. 001$ )。轻度、中度及重度 PRF 组 RV-EDVI 中位数分别为 89. 45、108. 05 及 133. 50 ml/m<sup>2</sup> ( $\chi^2 =$

[基金项目] 广东省科技计划项目(2011B031800045)、广东省医学科研基金(A2010035)。

[作者简介] 刘辉(1973—), 男, 黑龙江讷河人, 博士, 副主任医师。研究方向: 心血管影像诊断。E-mail: liuhuijiujiu@gmail. com

[通讯作者] 梁长虹, 广东省医学科学院 广东省人民医院放射科, 510080。E-mail: cjr. lchh@vip. 163. com

[收稿日期] 2012-03-03 [修回日期] 2012-09-29

12.530,  $P=0.002$ ), RV-ESVI 中位数分别为 50.40、64.85 及 81.30 ml/m<sup>2</sup> ( $\chi^2=13.173$ ,  $P<0.01$ ), 但三组间 RVEF 差异均无统计学意义 ( $\chi^2=0.032$ ,  $P>0.05$ )。结论 3.0T PC-MRI 测量肺动脉反流严重程度与超声心动图有良好相关性。RV-EDVI 及 RV-ESVI 与肺动脉反流程度密切相关; 随反流严重程度加重, RV-EDVI 及 RV-ESVI 增大, 而 RVEF 保持稳定。

[关键词] 磁共振成像; 法洛四联症; 肺动脉反流; 收缩; 超声心动描记术

[中图分类号] R445.2; R541 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2012)11-1982-05

法洛四联症(tetralogy of Fallot, TOF)是最常见的紫绀型先天性心脏病<sup>[1]</sup>。TOF 根治术通过修补室间隔缺损和解除右心室流出道梗阻来建立接近正常生理状态的血流动力学。但解除右心室流出道梗阻常累及肺动脉瓣膜和瓣环功能, 导致肺动脉反流, 影响右心室功能。以往研究<sup>[2-3]</sup>中对 TOF 术后肺动脉血流动力学改变与心功能及心脏结构变化的关系仍存在争议。本研究通过 3.0T 相位对比磁共振(phase contrast magnetic resonance imaging, PC-MRI)定量测量肺动脉血流, 并与超声心动图结果进行相关分析, 验证两者的相互关系, 同时评价 PC-MRI 测量的肺动脉反流与右心室容量及右心室收缩功能的关系。

## 1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2008 年 3 月—2009 年 2 月共 42 例 TOF 根治术随访患者, 于术后 1 个月内先后接受心脏超声心动图及心脏 MR 检查; 其中男 26 例, 女 16 例, 年龄 10~51 岁, 平均(18.7±7.2)岁, 均无心脏 MR 检查禁忌证。

1.2 仪器与方法 采用 GE Signa Excite HD 3.0T 超导型 MR 仪, 专用 8 通道心脏相控阵线圈, WHOLE 模式信号采集 S 时梯度场强为 23 mT/m, 切换率为 80 mT/m/ms; ZOOM 模式信号采集时梯度场强为 50 mT/m, 切换率为 150 mT/m/ms。多普勒超声测

量设备为 Philips iE33 型超声诊断仪, 频率 1.7~4.3 MHz。

1.3 MR 检查序列及方法 患者仰卧在检查床上, 线圈中心平第 3 前肋间, 头部先进。主要扫描序列相应参数: ①电影 Fiesta 扫描序列(TR/TE 为 Min full/Min full, 翻转角 45°, 带宽 125 kHz, FOV 35 cm×35 cm, 矩阵 160×224, 扫描层厚 8 mm, 层间距 0, NEX 1, phase FOV 0.75-1, 扫描时相为 20 个相位), 包括平行于室间隔的左心室垂直长轴两腔心及右心室垂直长轴两腔心, 四腔心, 多层短轴、三腔心切面及右心室流出道电影扫描; ②FastCine PC 序列(TR/TE 为 Min full 重复时间/Min full, 翻转角 20°, 带宽 31.25 kHz, FOV 40 cm×40 cm, 矩阵 256×128, 扫描层厚 5 mm, NEX 1, 流速编码值 150 cm/s 并在此基础上进行适当增加, 扫描时相为 30 个相位)测量主肺动脉血流。其中 FastCine PC 序列在血流方向上施加速度编码梯度场, 以得到传统幅度图及反映血流信息的相位图(图 1)。

1.4 多普勒超声检查 以脉冲多普勒、连续多普勒、彩色多普勒测定血流速度及彩色血流。采用半定量标准评定肺动脉瓣反流程度: 轻度, 舒张期逆向血流局限于肺动脉瓣环; 中度, 肺动脉主干可见舒张期逆向血流, 但不超过肺动脉分支水平; 重度, 肺动脉分支内也

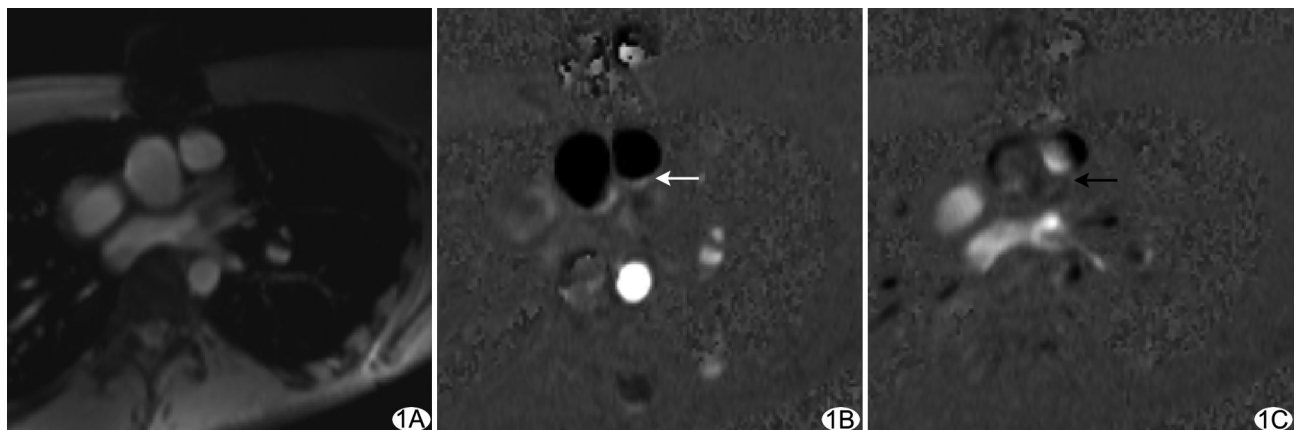


图 1 FastCine PC 扫描得到同一层面的幅度图(A)及收缩期(B)、舒张期(C)相位图, 收缩期显示肺动脉前向血流低信号(白箭), 舒张期肺动脉内见高信号反向血流(黑箭)

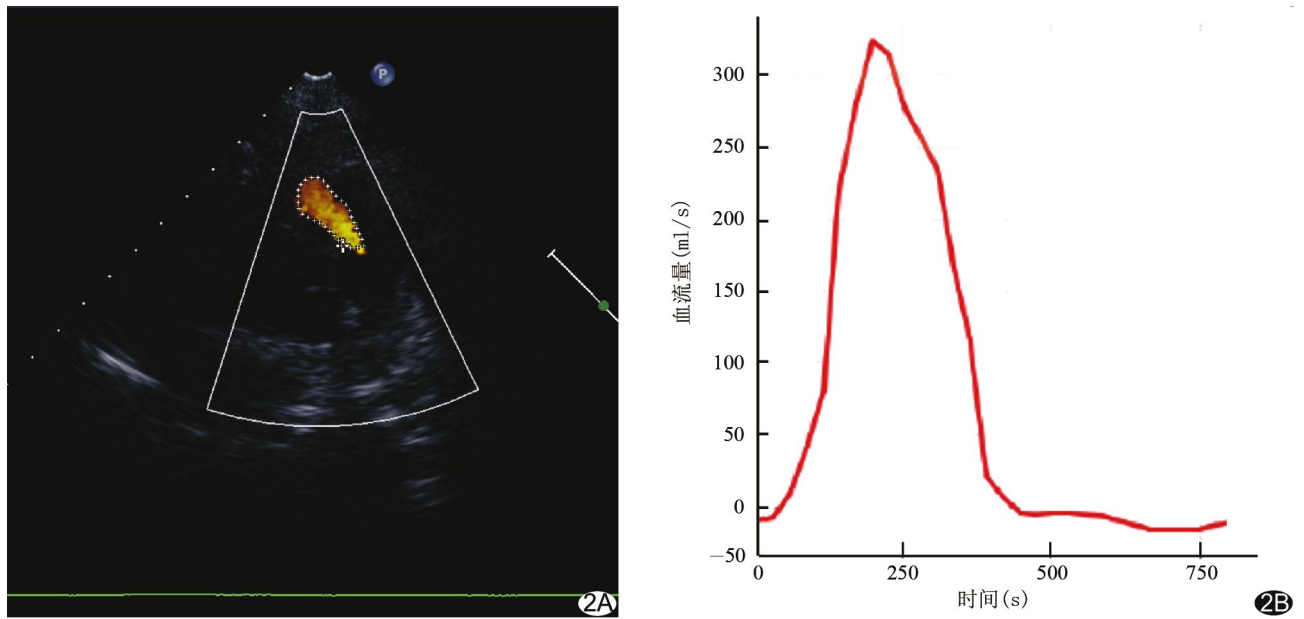


图 2 肺动脉轻度反流 A. 超声心动图显示舒张期逆向血流局限于肺动脉瓣环周围; B. PC-MRI 获得的一个心动周期内肺动脉时间-血流曲线, APF 为 69.00 ml/beat, ANF 为 8.80 ml/beat, PRF=12.75%

可见舒张期逆向血流。

1.5 MR 图像处理 将所有图像数据传至 AW 4.3 MR 工作站, 使用 Reportcard 软件进行数据分析。分析血流时, 在相位图上确定 ROI 位置, 软件自动计算平均正向血流量 (average positive flow, APF)、平均反向血流量 (average negative flow, ANF) 及一个心动周期内的时间-血流量曲线。计算肺动脉反流分数 (pulmonary regurgitation fraction, PRF):  $PRF = (ANF/APF) \times 100\%$ , 并按照 PRF 将反流程度分为轻度 ( $<20\%$ )、中度 ( $20\% \sim 40\%$ ) 和重度 ( $>40\%$ )。在短轴上定量测量右心室功能。分别在舒张期及收缩期时相各个层面右心室内膜上勾画出相应心内膜轮廓, 软件自动算右心室舒张末容积指数 (right ventricle end diastolic volume index, RV-EDVI)、右心室收缩末容积指数 (right ventricle end systolic volume index, RV-ESVI)、右心室射血分数 (right ventricle ejection fractions, RVEF) 及右心室每搏量 (right ventricle stroke volume, RVSV)。

1.6 统计学分析 采用 SPSS 13.0 统计软件包, 计量资料均以  $\bar{x} \pm s$  表示。采用 explore 进行描述性统计学分析。采用 Spearman 等级相关检验观察 PC-MRI 测量的肺动脉反流严重程度与超声心动图显示的肺动脉反流程度, 及 PRF 与 RV-EDVI、RV-ESVI、RVEF、RV SV 的相关关系。

采用 Kappa 检验分析 PC-MRI 测量的肺动脉反流

程度分级与超声心动图所见的符合程度,  $Kappa \leq 0.4$ : 差,  $0.4 < Kappa < 0.8$ : 较好,  $Kappa \geq 0.8$ : 优秀。

采用 Kruskal-Wallis H 检验比较不同 PRF 程度 (轻度、中度、重度) 组间 RV-EDVI、RV-ESVI、RVEF、RVSV 的差异。检验水准均为  $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果

PC-MRI 测量的肺动脉反流程度 (轻度、中度、重度) 与超声心动图结果呈正相关 ( $r_s = 0.606, P < 0.001$ )。超声心动图显示轻度肺动脉反流 10 例 (10/42, 23.81%, 图 2), 中度 32 例 (32/42, 76.19%, 图 3), 无重度肺动脉反流。PC-MRI 显示的轻度肺动脉反流与超声心动图一致 (10/42, 23.81%); 并可 将 32 例超声心动图诊断为中度反流者进一步区分为中度 (8/42, 19.05%) 及重度 (24/42, 57.14%) 反流。按照肺动脉反流分为轻度及中重度两组, PC-MRI 与超声心动图的一致性较好 ( $kappa$  值 = 0.606,  $P < 0.001$ )。

PRF 与 RV-EDVI 及 RV-ESVI 均呈正相关 ( $r_s = 0.500, 0.518, P$  均  $< 0.01$ ); PRF 与 RVEF、RVSV 均无显著相关 ( $r_s = 0.055, 0.248, P$  均  $> 0.05$ )。轻度、中度及重度 PRF 组 RV-EDVI 中位数分别为 89.45、108.05 及 133.50 ml/m<sup>2</sup>, 平均秩次分别为 10.60、19.38 及 26.75 ( $\chi^2 = 12.530, P = 0.002$ ), 表明随肺动脉反流严重程度加重, 右心室舒张末容积增大。轻度、中度及重度 PRF 组 RV-ESVI 中位数分别为 50.40、64.85 及 81.30 ml/m<sup>2</sup>, 平均秩次分别为 10.05、20.13

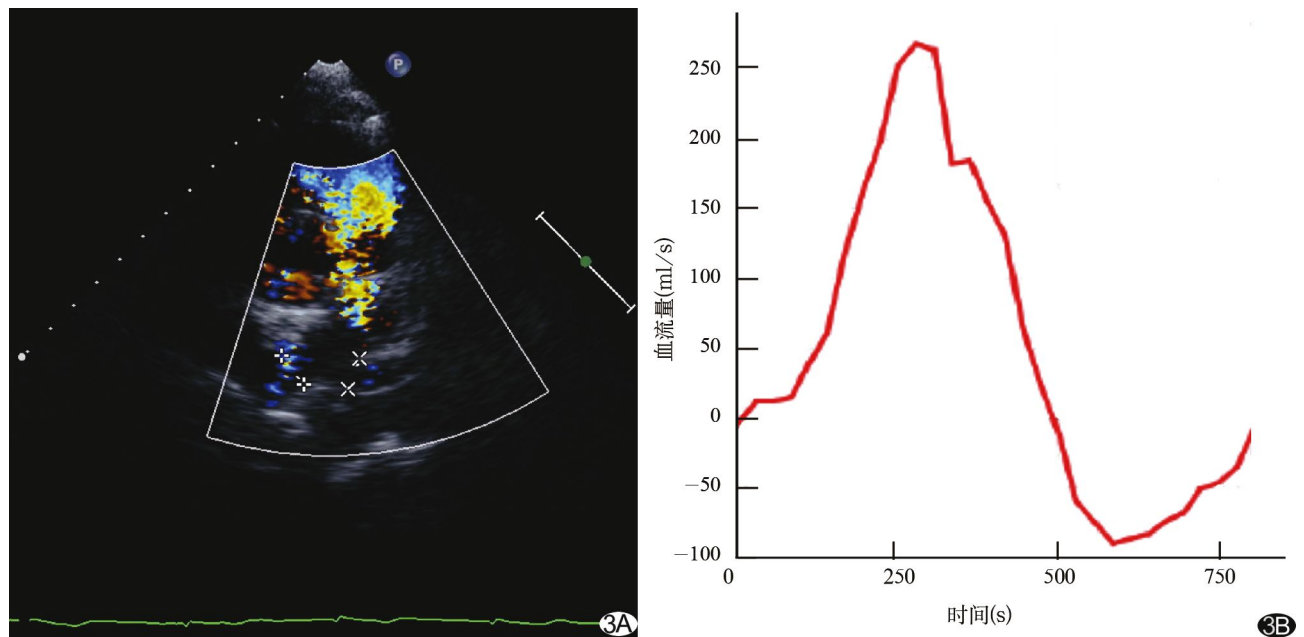


图3 肺动脉中度反流 A. 超声心动图显示舒张期逆向血流局限于肺动脉主干内; B. PC-MRI 获得的一个心动周期内肺动脉时间-血流曲线, APF 为 63.20 ml/beat, ANF 为 23.70 ml/beat。PRF=37.50%, 为中度反流

及 26.73 ( $\chi^2=13.173, P=0.001$ ), 表明随肺动脉反流严重程度加重, 右心室收缩末容积增大。三组间 RVEF (中位数分别为 41.30%、39.55% 及 41.80%)、RVSV (中位数分别为 61.30、58.35 及 80.85 ml) 差异均无统计学意义 ( $\chi^2=0.032, 4.292, P$  均  $>0.05$ )。

### 3 讨论

评价肺动脉反流及心室大小、功能是 TOF 根治术后随访的重要内容之一<sup>[4-5]</sup>。超声心动图是随访中最常用的无创性检查方法<sup>[6]</sup>, 但受透声窗限制, 显示心底血管及分支、右心室大小和功能的能力欠佳。MR 心血管系统成像不受成像平面及透声窗影响, 能提供反映解剖结构及心脏功能的高质量图像, MR 流动分析技术为无创检测肺动脉血流动力学变化提供了一种行之有效的新方法。

由于跨瓣环补片术拓宽了原有的肺动脉瓣环, 或术中切除流出道大块肌束, 引起漏斗部扩张, 导致支撑肺动脉瓣的肌柱失去稳定性, 形成肺动脉瓣关闭不全而产生反流<sup>[7]</sup>。超声心动图多采用半定量标准评价肺动脉瓣反流程度, 根据舒张期逆向反流束的位置判断反流程度, 但尚无准确的定量指标。本研究结果显示, 超声心动图的半定量指标与 PC-MRI 在判断肺动脉反流严重程度方面具有很好的相关性。文献<sup>[8]</sup>报道, TOF 术后几乎每例患者均存在反流, 出现重度肺动脉反流者可高达 30% 以上。本组 PC-MRI 显示所有患者均有不同程度反流, 轻度、中度及重度肺动脉反流分

别为占总数的 23.81%、19.05% 及 57.14%, 与 Borowski 等<sup>[8]</sup>报道相符。

本研究结果显示, 更多的 PRF 伴随着更大的 RV-EDVI 及 RV-ESVI, PRF 与 RV-EDVI 及 RV-ESVI 具有明显正相关关系, 与多项研究<sup>[2-3]</sup>结果相符。肺动脉反流增加右心室容量负荷, 长期发展必然导致右心室扩张、容量增大, 继之引起右心功能不全。但肺动脉反流不是导致右心室增大的唯一原因, 术中大块切除右心室流出道肌束致漏斗部扩张同样可致整个右心室扩张, 而小范围切除右心室流出道肌束则可降低远期右心室扩张的发生率<sup>[9]</sup>。本研究结果表明, 不同程度肺动脉反流组间 RV-EDVI 及 RV-ESVI 扩大程度存在差异 ( $P<0.05$ ), 随着肺动脉反流严重程度加重, RV-EDVI 及 RV-ESVI 扩张程度增加, 提示肺动脉反流在 TOF 术后右心室扩张方面扮演着重要角色。文献报道关于肺动脉反流对右心室收缩功能的影响尚存争议。Niezen 等<sup>[3]</sup>认为肺动脉反流与 RVEF 呈负相关, 而另有研究<sup>[2]</sup>认为肺动脉反流与 RVEF 无明确相关关系。本研究结果显示, PRF 与 RVEF 无明显相关性, 不同肺动脉反流程度组间 RVEF、RVSV 差异无统计学意义。RVEF 为评价右心室收缩功能的指标, 右心室通过增加 RVSV 来克服容量负荷增加及随之增大的容量, 保证了射血分数的稳定。本研究中 RVSV 在轻度、中度、重度肺动脉反流间差异无统计学意义, 但重度肺动脉反流的 RVSV 中位数为 80.85 ml, 明显

大于轻度及中度(中位数分别为 61.30 ml, 58.35 ml); RV-EDVI 随着肺动脉反流程度加重, 扩张程度增大, 使 RVEF 保持稳定(中位数分别为 41.30%、39.55% 及 41.80%), 也在一定程度上说明了这一点。Davlouros 等<sup>[10]</sup>指出, 除了肺动脉反流外, 右心室流出道节段性瘤样扩张或无运动对 RVEF 有反作用, 更进一步证实 TOF 术后患者的 RVEF 和 LVEF 之间存在显著相关关系, 两者间可能存在心室-心室交互作用。TOF 术后右心室收缩功能的评价和解释是一项十分复杂的工作, 可能需要综合分析多种因素, 才能得出正确结论。

综上所述, 3.0T PC-MRI 测量肺动脉反流严重程度与超声心动图有良好相关性。肺动脉反流程度与 RV-EDVI 及 RV-ESVI 密切相关, 随着反流程度加重, RV-EDVI 及 RV-ESVI 增大, 而 RVEF 保持稳定。但本组样本量相对偏小, 有待增大样本量进一步研究。

[参考文献]

[1] Hoffman JI, Kaplan S. The incidence of congenital heart disease. J Am Coll Cardiol, 2002, 39(12):1890-1900.  
 [2] Geva T, Sandweiss BM, Gauvreau K, et al. Factors associated with impaired clinical status in long-term survivors of tetralogy of Fallot repair evaluated by magnetic resonance imaging. J Am Coll Cardiol, 2004, 43(6):1068-1074.  
 [3] Niezen RA, Helbing WA, van der Wall EE, et al. Biventricular

systolic function and mass studied with MR imaging in children with pulmonary regurgitation after repair for tetralogy of Fallot. Radiology, 1996, 201(1):135-140.  
 [4] Helbing WA, de Roos A. Clinical applications of cardiac magnetic resonance imaging after repair of tetralogy of Fallot. Pediatr Cardiol, 2000, 21(1):70-79.  
 [5] 雷芳, 林毅, 王海永, 等. 实时三维超声心动图评价法洛四联症患者右心室功能. 中国医学影像技术, 2010, 26(12):2296-2298.  
 [6] 李颖, 任卫东, 杨华, 等. 实时三维超声心动图评价法洛四联症患者手术前后右心室收缩功能. 中国介入影像与治疗学, 2011, 8(6):521-524.  
 [7] Vliegen HW, van Straten A, de Roos A, et al. Magnetic resonance imaging to assess the hemodynamic effects of pulmonary valve replacement in adults late after repair of tetralogy of Fallot. Circulation, 2002, 106(13):1703-1707.  
 [8] Borowski A, Ghodsizad A, Litmathe J, et al. Severe pulmonary regurgitation late after total repair of tetralogy of Fallot: Surgical considerations. Pediatr Cardiol, 2004, 25(5):466-471.  
 [9] dUdekem Y, Ovaert C, Grandjean F, et al. Tetralogy of Fallot: Transannular and right ventricular patching equally affect late functional status. Circulation, 2000, 102(19 Suppl 3): III 116-III 122.  
 [10] Davlouros PA, Kilner PJ, Hornung TS, et al. Right ventricular function in adults with repaired tetralogy of Fallot assessed with cardiovascular magnetic resonance imaging: Detrimental role of right ventricular outflow aneurysms or akinesia and adverse right-to-left ventricular interaction. J Am Coll Cardiol, 2002, 40(11):2044-2052.

《医学影像设备与工程》已出版

由甘泉、王骏主编的高等医学院校教材《医学影像设备与工程》由江苏大学出版社出版发行 (ISBN: 978-7-81130-375-9)。该书邀请院校、医院及相关企业的有关专家以及临床工程的一线人员组成编委会, 内容涵盖了医学影像设备结构、原理、电路分析、故障检修、质量控制等 17 个章节, 本书在对传统知识进行梳理的基础上, 增加了医学影像设备的最新信息, 力求在内容上与新设备、新技术同步并与临床接轨。

该书图文并茂, 约 60 万字, 330 页, 适合于医学影像诊断、医学影像技术、生物医学工程、医疗器械等专业使用。

欲购此书者请联系信箱: ganquan5706@163.com

