

· 临床研究 ·

# 每搏做功指数对判断法洛四联症修复术后右心功能的价值

陈俞宏

(柳州市人民医院心胸血管外科, 广西柳州 545007)

**摘要:**目的 探讨使用右心室每搏做功指数(RVSWI)对法洛四联症(TOF)患者右心室功能评价的准确性及对肺动脉瓣置换(PVR)治疗时间选择的指导意义。**方法** 将该院 2006 年 2 月至 2011 年 3 月接受心外科治疗的心血管疾病患者 37 例,根据病情分为 TOF 组(已做 TOF 修复术患者,  $n=19$ )和对照组(右心室生理功能正常患者,  $n=18$ )。使用心脏磁共振成像和导管来检测右心室容积和压力,并比较两组患者 RVSWI 的差异。**结果** TOF 组患者和对照组的 RVSWI 分别为  $(0.18 \pm 0.06) \text{ J/m}^2$  和  $(0.09 \pm 0.03) \text{ J/m}^2$ , 两组比较差异有统计学意义( $P=0.002$ )。同时, TOF 组患者的体表面积(BSA)正常化右心室收缩末期容积(RVESV), 收缩末期压力(ESP), 和反流分数(RF)显著提高( $P<0.05$ )。与对照比较, TOF 组患者的射血分数(EF)和峰值射血率(心舒张末期容积/秒)显著降低( $P<0.05$ )。**结论** RVSWI 对于判断右心室的功能有重要的临床价值, 可以作为 TOF 修复术后进行 PVR 时机的判断指标之一。

**关键词:** 法洛四联症; 心脏功能试验; 心室功能, 右

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2013.13.013

文献标识码: A

文章编号: 1671-8348(2013)13-1476-04

## Value of stroke work on right heart function judgment after repair of tetralogy of Fallot

Chen Yuhong

(Department of Cardiothoracic Surgery, Liuzhou Municipal People's Hospital, Liuzhou, Guangxi 545007, China)

**Abstract: Objective** To investigate the accuracy of the right ventricular stroke work index (RVSWI) in evaluating the right ventricular (RV) function in the patients with tetralogy of Fallot (TOF) and its guidance significance to select the time of pulmonary valve replacement (PVR). **Methods** 37 patients with cardiovascular disease undergoing cardiac surgery in this hospital from February 2006 to March 2011 were divided into the TOF group (with TOF repair,  $n=19$ ) and the control group (normal RV function,  $n=18$ ) according to the disease condition. The RV volume and pressure were measured using cardiac magnetic resonance imaging and catheterization, respectively. Statistical analysis was performed to quantify the difference in RV SWI between the TOF and control groups. **Results** RV SWI in the TOF group was  $(0.18 \pm 0.06) \text{ J/m}^2$  and significantly higher than  $(0.09 \pm 0.03) \text{ J/m}^2$  in the controls, which in the TOF group was increased with statistical difference between the two groups ( $P=0.002$ ). Further, the TOF patients were found to have significantly higher body surface area (BSA), normalized RV end-systolic volume (ESV), end-systolic pressure (ESP) and regurgitation fraction (RF) than the control subjects. The ejection fraction (EF) and peak ejection rate (PER) in the TOF group were significantly decreased compared with the control group ( $P<0.05$ ). **Conclusion** RV SWI has important clinical value for the judgment of the RV function and may be used as one of the indicators for judging the time of PVR after TOF repair.

**Key words:** tetralogy of fallot; heart function tests; ventricular function, right

法洛四联症(tetralogy of fallot, TOF)修复术后出现右心室(RV)心肌功能障碍是一种短期危及生命的疾病。如果及早进行肺动脉瓣置换(pulmonary valve replacement, PVR)可以恢复恶化的右心室功能。但目前在进行 PVR 的时间选择上还缺乏客观的临床诊断参数。对 TOF 患者通过 TOF 修复术能显著提高年轻 TOF 患者的长期存活率, 但术后死亡的风险仍然存在, 其中肺功能不全是 TOF 修复后引起患者死亡的主要病因。产生的原因是肺动脉瓣功能障碍引起严重的肺动脉反流, 导致右心室心肌功能障碍、右心室肥厚。严重者会出现致死性心率失常、右心室衰竭, 甚至导致猝死<sup>[1]</sup>。如果能够及时进行 PVR 术可使负荷过重的右心室恢复正常。然而在进行 PVR 的时机选择上目前还没有一个临床的指标, 多由临床医生的经验所决定。由于人工肺动脉瓣无法随着患者身体的生长而生长, PVR 手术过早就有再次手术的风险。过晚则右心室心肌功能障碍会演变成不可逆转的状况<sup>[2]</sup>, 即使在 PVR 术

后也无法纠正。因此, 应用一个客观指标来指导治疗有重要的临床价值。心脏磁共振成像(CMR), 越来越多地用于临床实践来诊断 TOF 修复术后患者的右心室状况<sup>[3]</sup>。许多基于右心室容积的参数如右心室射血分数(右心室 EF)、右心室舒张末期容积指数(RVEDVI)和右心室收缩末期容积指数(RVESVI)临床上都能通过 CMR 进行可靠的测量<sup>[4]</sup>。有文献报道可以使用基于右心室压力的指数来诊断 TOF 修复术后患者的右心室功能<sup>[5-6]</sup>。而考虑到右心室压力与容积二方面对右心室功能的判断都有重要的作用。因此, 在本研究中, 观察了右心室每搏做功指数(RVSWI), 是一种结合了容积和压力的指标, 对 TOF 修复术后患者右心室功能的判断以及对 PVR 手术时机的选择有指导意义。

### 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 选择 2006 年 2 月至 2011 年 3 月在本院心外科接受治疗的心血管疾病患者 37 例, 其中, 男 17 例, 女 20 例。

有 19 例患者诊断为 TOF,并在本院经过了 TOF 修补术作为 TOF 组,TOF 组 19 例患者中,男 7 例,女 12 例,平均(14.9 ± 13.1)岁;另外 18 例为对照组,10 男 10 例,女 8 例,平均(12.4 ± 5.8)岁,平均体表面积(body surface area,BSA)为(1.3 ± 0.6)m<sup>2</sup>。包括了 5 例缩窄性心包炎,3 例川崎综合征,10 例动脉导管未闭;这 18 例患者的右心室收缩功能和左心室(LV)功能都正常。所有患者家属都签订了知情同意书,并经过本院的伦理委员会批准。

1.2 方法

1.2.1 CMR 检查 将每个心动周期分为 20~30 阶段,每阶段记录 13~18 片,切片的厚度为 5.5~8 mm,切片间的间隔最大为 1.2 mm。视野(FOV)参数为(222~444)mm × (230~360)mm,图像的分辨率为(144~288) × (192~288)像素,翻转角度为 43°~53°。磁共振相位对比:将心动周期分为 30 个阶段,切片厚度 5~6 mm,速度(VENC)150~450 cm/s 条件下获得磁共振相位对比数据。典型扫描参数为:FOV(200~280)mm × (210~360)mm,分辨率为(192~256) × (192~256)像素,翻转角度为 10°~20°。使用计算机软件 QMASS (version 7.2; Medis Medical Imaging Systems,莱顿,荷兰)的半自动化程序,采用标准核磁共振成像(MRI)平面几何技术分析每例患者的右心室容积、右心室质量、射血分数(EF)、峰值摄血率、峰值充盈率<sup>[7]</sup>。EF 为每搏输出量和舒张末期容积(EDV)的比例。右心室容积比随时间的变化用右心室容积随时间变化曲线进行观察<sup>[8]</sup>。收缩过程中右心室容积变化率的负峰成分为峰值摄血率。舒张过程中右心室容积变化率的正峰成分为峰值充盈率。每搏输出量通过 EDV 和收缩末期容量(ESV)之间的差值来获得。心输出量=每搏输出量 × 心率。使用软件 QFLOW (version 5.2; Medis Medical Imaging Systems)进行主肺动脉(MPA)流动的 MRI 相位对比来计算心动周期中 MPA 的流量。通过肺动脉或 MPA 的流量来计算反流分数(RF)。结合流动随时间变化曲线的正负流速来计算流出和回流量。RF=回流量/流出量 × 100%。

1.2.2 心脏导管(cardiac catheterization,CC)检测 使用充满液体的导管(Cook Medical,布卢明顿,印第安那,美国)来检测右心室和左心室压力。由心电图跟踪曲线来记录心动周期中右心室和左心室压力随时间变化情况。每搏心脏做功(SW)代表一个心动周期中右心室收缩时传递给血液的能量。计算 RVSWI 要求同时检测右心室的容积和压力。根据右心室压力和容积随时间变化数据来构建心脏右心室内压/速度(RVP-V 环)。RVSWI 通过计算 RVP-V 环封闭面积而得到<sup>[9]</sup>,由 SW/BSA 来计算 SWI,见图 1。

1.2.3 检测指标 包括年龄、BSA、心率,收缩末压力(ESP)、舒张末容积指数(EDVI)、收缩末容积指数(ESVI)、射血分数(EF)、反流分数[RF(%)]、峰值摄血率(EDV/s)、峰值充盈率(EDV/s)、右心室质量指数、每搏输出量指数(SVI)、心输出量(CO)、RVSWI 及舒张末压力(EDP)等。

1.3 统计学处理 所有数据均使用 SAS9.2 统计软件进行分析。计量资料用  $\bar{x} \pm s$  表示,组间比较采用 Student-t 检验(包括年龄、BSA、心率、ESP、EDVI、ESVI、EF、RF(%))、EDV/s、EDV/s、右心室质量指数、每搏输出量指数、心输出量和 RVSWI)。使用双侧 Wilcoxon 两样本检验比较两组的 EDP、ESP,通过检测 RVSWI 和右心室心脏终点的线性关系得到

SWI 和右心室心脏终点的 Pearson's 相关系数。以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

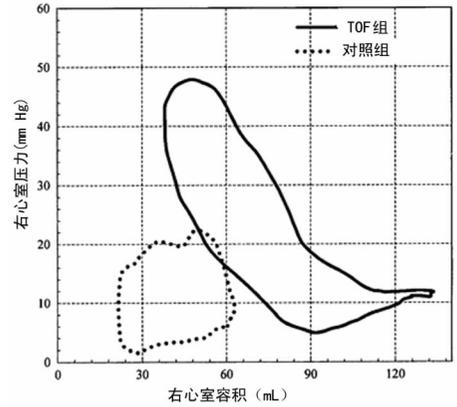


图 1 两组患者的 RVP-V 环

2 结果

2.1 两组患者相关资料比较 TOF 组心率变化为 9.43%,对照组为 8.91%,两组比较差异无统计学意义( $P > 0.05$ );两组患者 CMR 下心率(CMR-HR)、CC 下心率(CC-HR)及 BSA 等比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ),见表 1。

表 1 两组患者相关资料比较( $\bar{x} \pm s$ )

组别	n	年龄(岁)	BSA (m <sup>2</sup> )	CMR-HR (次/分)	CC-HR (次/分)
TOF 组	19	14.92 ± 13.14	1.32 ± 0.67	81.18 ± 24.42	79.05 ± 25.73
对照组	18	12.45 ± 5.82	1.53 ± 0.55	75.05 ± 14.71	74.42 ± 14.49
P		0.700	0.500	0.600	0.600

2.2 两组患者的右心室容积和压力特征比较 TOF 组 EDVI 均数、ESVI 均数明显高于对照组,但只有 ESVI 差异有统计学意义( $P = 0.021$ );TOF 组平均 RVESP 比对照组高 76.14%,差异有统计学意义( $P = 0.001$ ),TOF 组有 1 例 TOF 患者的 ESP 比例高于 0.704;TOF 组和对照组的 RVEDP 差异无统计学意义( $P = 0.325$ );TOF 组和对照组的平均 LVESP、SVI、CO 比较,差异无统计学意义( $P > 0.05$ );两组患者 RVSWI 比较,差异有统计学意义( $P = 0.002$ ),见表 2。

表 2 两组患者的右心室容积和压力特征比较( $\bar{x} \pm s$ )

项目	TOF 组(n=19)	对照组(n=18)	P
EDVI(mL/m <sup>2</sup> )	101.12 ± 25.74	76.80 ± 19.13	0.055
ESVI(mL/m <sup>2</sup> )	51.71 ± 19.51	29.13 ± 6.93	0.021
EF(%)	50.05 ± 8.04	61.03 ± 5.81	0.008
RF(%)	31.81 ± 9.67	0.71 ± 0.15	0.001
EDV/s	2.05 ± 0.51	3.14 ± 0.76	0.010
EDV/s	2.14 ± 0.82	2.92 ± 0.71	0.714
右心室质量指数(g/m <sup>2</sup> )	33.34 ± 13.15	22.83 ± 9.54	0.094
SVI(mL/beat/m <sup>2</sup> )	49.42 ± 9.96	47.71 ± 14.17	0.792
CO(L/min)	4.64 ± 1.41	5.05 ± 1.32	0.574
RVESP(mm Hg)	51.22 ± 6.03	29.14 ± 4.65	0.001
RVEDP(mm Hg)	5.46 ± 2.72	3.76 ± 3.62	0.325

续表 2 两组患者的右心室容积和压力特征比较( $\bar{x} \pm s$ )

项目	TOF 组	对照组	P
LVESP(mm Hg)	81.17±7.01	82.41±7.51	0.746
RV/LVESP 比例	0.63±0.06	0.32±0.05	0.001
RVSWI(J/m <sup>2</sup> )	0.18±0.06	0.09±0.03	0.002

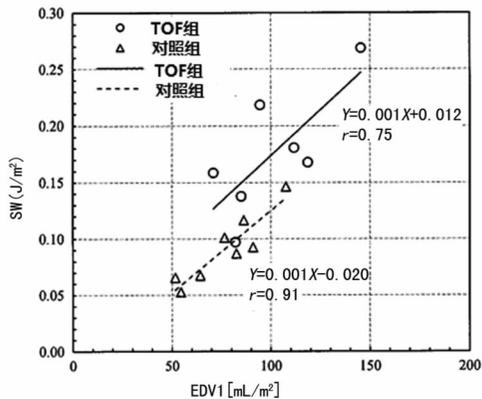


图 2 RVSWI 与 EDVI 的相关性

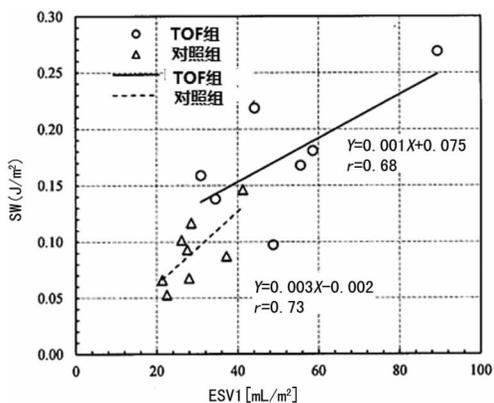


图 3 RVSWI 与 ESVI 的相关性

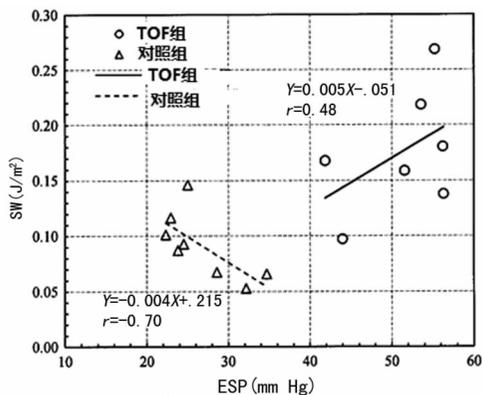


图 4 RVSWI 与 ESP 的相关性

2.3 RVSWI 与右心室容积和压力之间的关系 所有病例的 RVSWI 与 EDVI 和 ESVI 的变化。在对照组( $r=0.91, P=0.003$ )中 RVSWI 和 EDVI 显著相关,而在 TOF 组( $r=0.75, P=0.051$ )二者中度相关(图 2)。两组中的 RVSWI 和 ESVI 都呈中度正相关(TOF 组: $r=0.68, P=0.094$ ;对照组: $r=0.73, P=0.035$ )(图 3)。图 3 显示了 RVSWI 随 RVESP 和 EDP 的变化。TOF 组 RVSWI 与 ESP 表现出中度正相关( $r=$

$0.48, P=0.281$ ),而在对照组中二者却表现出中度负相关( $r=-0.70, P=0.061$ )(图 4)。在对照组中 RVSWI 与 EDP 呈现中度负相关( $r=-0.75, P=0.007$ ),而在 TOF 组中二者之间并无相关性(图 5)。在对照组中 RVSWI 与 SVI 之间表现出显著的正相关( $r=0.89, P=0.007$ ),而 TOF 组中二者仅表现出中度正相关( $r=0.59, P=0.15$ )。

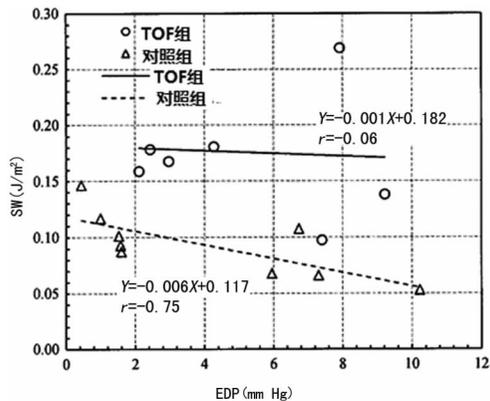


图 5 RVSWI 与 EDP 的相关性

2.4 TOF 组的右心室 EDVI 与 RVSWI 和其他基于右心室容积的指数间的相关性 RVSWI 与右心室 EDVI 有中度相关性( $r=0.75, P=0.054$ ),而右心室 EDVI 与其他基于右心室容积的指数间并无显著相关性或者相关性较弱。

表 3 TOF 组的 RVEDVI 与其他心脏指数的相关性分析

相关系数	RVSWI	EF	EF%	EDV/s
$r$	0.750	-0.560	0.140	0.420
$P$	0.054	0.182	0.819	0.412

3 讨论

TOF 属于一种比较常见的复杂的先天性心脏病,该病包括肺动脉狭窄、室间隔缺损、升主动脉骑跨及右心室肥厚等 4 个病理生理改变。肺动脉狭窄和表现为肺动脉瓣狭窄、右心室漏斗部(流出道)狭窄、瓣膜及漏斗部联合狭窄,甚至肺动脉闭锁。经手术的 TOF 预后明显改善,大部分患者可长期生存。然而,术后遗留的一些问题严重影响患者生活质量,已经引起重视。术后远期的主要病理生理改变是肺动脉瓣关闭不全、肺动脉反流、右心室扩张、右心功能不全和限制性右心室功能等。针对根治术后出现的病理生理改变,目前,一致的意见是进行再手术——PVR。确定 PVR 手术的正确时机是临床上 TOF 患者恢复右心室功能的一个疑难问题。迄今为止,大多是依据都是通过右心室 MRI 扫描结果的主观评估来确定 PVR 手术时机的。目前,临床上使用的一个确定 PVR 手术正确时机的量化标准是由 Therrien 等<sup>[10]</sup>提出的右心室 EDVI,依据 17 例患者的试验提出以 170 mL/m<sup>2</sup> 作为右心室 EDVI 的临界值,在试验中发现右心室 EDVI 一旦超过 170 mL/m<sup>2</sup> 的临界值就无法恢复右心室的正常功能。在本研究中发现 TOF 组和对照组中右心室 EDVI 均与 EDVI 显著相关(TOF 组: $r=0.750$ ;对照组: $r=0.910$ )。但 TOF 组患者的右心室 EDVI 均未超过 170 mL/m<sup>2</sup>(图 2、3),所以,无法确定临床值。本研究对其他确定进行手术(例如 PVR、球囊血管成形术,经皮肺动脉瓣植入)

时间的标准进行了观察, Warnes 等<sup>[11]</sup> 提出以 0.7 作为 RV/LVESP 比例的临界值, 并指出 RV/LVESP 比例超过 0.7 会导致右心室心肌功能障碍无法逆转。在本研究中, 只有 1 例 TOF 患者的 ESP 比例等于 0.704, 并且该病例经过肺动脉支架置入术后右心室高压得以缓解。表 2 中 TOF 组的 RV/LVESP 比例提高是由于本文中 TOF 患者的 RVESP 提高所致。而两组的 LVESP 的大小相似, TOF 组为 (81.17±7.01) mm Hg, 对照组为 (82.41±7.51) mm Hg。在本研究中观察到 TOF 组的 EF 要显著低于对照组 ( $P=0.008$ )。本文 EF 的结果与 Schamberger 等<sup>[12]</sup> 所得到的结果相似, 在他们的试验中 TOF 患者的 EF 显著降低; 同时, 与对照组相比 TOF 患者的主肺动脉 RF 更高。结果提示 TOF 患者 RVESP 提高的主要原因是由右心室过负引起的随时间进展性右心室功能障碍。因此, 单一运用心脏压力或者容量指标来衡量右心室的功能是不全面的, 而 RVSWI 是一个将右心室容积和压力合并为一个单一指数。另外, 与 EF、RF 和峰值摄血率相比, RVSWI 与右心室 EDVI 有更好的相关性, 提示了 TOF 患者的右心室容量过负(表 3)。测量 SWI 需要同时检测压力和容积, 由于在临床条件下很难同时进行心脏导管和 MRI, 所以, 本研究探索了一种方法<sup>[9]</sup>: 使用心电图门同步不同时检测临床右心室压力和容积数据来计算本研究中所有患者的 RVSWI (BSA 代表的 SW)。本结果显示 TOF 组 (0.18±0.06) J/m<sup>2</sup> 的 RVSWI 显著高于对照组 (0.09±0.03) J/m<sup>2</sup>, 两组比较差异有统计学意义 ( $P=0.002$ )。随着右心室的功能下降, RVSWI 逐渐升高, 但 RVSWI 进入多少范围后, 心功能已无法恢复, 在多少范围内是换瓣的最佳时机(临界值), 目前, 临床上还少有相关的研究和报导。因此, 本研究仅准确的确定了一个临床上在 TOF 修复术反应右心功能最佳指标。下一步还需要多中心大量的病例进行观察, 特别如果能对不同 RVSWI 患者换瓣后的手术效果进行分析和长期随访, 确定一个适合中国人的临界值指标将对临床应用有更大和明确的指导意义。

在本试验中, 使用了一种简单的不同步检测的方法来计算 RVSWI, 分别使用临床心脏 MRI 和心脏导管获得右心室容积和压力数据。本研究数据显示与对照组相比, TOF 组的右心室处在严重的右心室过负的条件下。右心室功能障碍的 TOF 患者所需的 RVSWI 显著高于正常右心室对照。同时, RVSWI 与右心室容积和压力数据相关。因此, 本研究认为相对于其他指标 RVSWI 不仅对量化 TOF 患者的右心室血流动力学特征, 也能作为进行肺动脉置换的客观指标。但其临界值还需要通过多中心的术后患者进行探讨。

#### 参考文献:

[1] Miyazaki A, Yamamoto M, Sakaguchi H, et al. Pulmonary valve replacement in adult patients with a severely dilated

right ventricle and refractory arrhythmias after repair of tetralogy of fallot[J]. *Circ J*, 2009, 73(11): 2135-2142.

- [2] Fiore AC, Rodefeld M, Turrentine M, et al. Pulmonary valve replacement: a comparison of three biological valves[J]. *Ann Thorac Surg*, 2008, 85(5): 1712-1718.
- [3] Therrien J, Siu SC, McLaughlin PR, et al. Pulmonary valve replacement in adults late after repair of tetralogy of fallot; are we operating too late[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2000, 36(5): 1670-1675.
- [4] Pohost GM, Hung L, Doyle M. Clinical use of cardiovascular magnetic resonance[J]. *Circulation*, 2003, 108(6): 647-653.
- [5] Richmond ME, Cabreriza SE, Van Batavia JP, et al. Direction of preoperative ventricular shunting affects ventricular mechanics after Tetralogy of Fallot repair[J]. *Circulation*, 2008, 118(23): 2338-2344.
- [6] Uebing A, Fischer G, Schmiel F, et al. Angiocardiographic pressure volume loops in the analysis of right ventricular function after repair of tetralogy of Fallot[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2005, 21(5): 469-480.
- [7] Knauth AL, Gauvreau K, Powell AJ, et al. Ventricular size and function assessed by cardiac MRI predict major adverse clinical outcomes late after tetralogy of Fallot repair[J]. *Heart*, 2008, 94(2): 211-216.
- [8] Bianco JA, Filiberti AW, Baker SP, et al. Ejection fraction and heart rate correlate with diastolic peak filling rate at rest and during exercise[J]. *Chest*, 1985, 88(1): 107-113.
- [9] Das A, Banerjee RK, Gottliebson WM. Right ventricular inefficiency in repaired tetralogy of Fallot: proof of concept for energy calculations from cardiac MRI data[J]. *Ann Biomed Eng*, 2010, 38(12): 3674-3687.
- [10] Therrien J, Provost Y, Merchant N, et al. Optimal timing for pulmonary valve replacement in adults after tetralogy of Fallot repair[J]. *Am J Cardiol*, 2005, 95(6): 779-782.
- [11] Warnes CA, Williams RG, Bashore TM, et al. ACC/AHA 2008 guidelines for the management of adults with congenital heart disease: executive summary[J]. *Circulation*, 2008, 118(13): 2395-2451.
- [12] Schamberger MS, Hurwitz RA. Course of right and left ventricular function in patients with pulmonary insufficiency after repair of Tetralogy of Fallot[J]. *Pediatr Cardiol*, 2009, 21(3): 244-248.

(收稿日期: 2012-11-08 修回日期: 2013-02-05)

**启事: 本刊对院士及 863、973 项目文章开通绿色通道, 欢迎投稿。**