

# 心肺运动试验在心脏瓣膜病的运用进展

蒋昭隆<sup>1</sup> 刘剑雄<sup>1,2</sup>

(1. 遵义医科大学研究生院, 贵州 遵义 563003; 2. 遵义医科大学附属成都市第二人民医院心内科, 四川 成都 610017)

**【摘要】**心肺运动试验是一项相对无创的评估患者心肺功能的检测方法, 目前在心血管疾病领域的运用主要集中在对冠心病与心力衰竭等疾病的筛查、诊断、病情评估、预后预测等方面, 但其在心脏瓣膜疾病的临床运用仍很少, 有很大的探索空间, 现总结心肺运动试验在心脏瓣膜疾病的临床研究进展, 期待其在心血管疾病领域有更广阔的临床运用。

**【关键词】**心肺运动试验; 心脏瓣膜疾病; 运用进展

**【DOI】**10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2019.06.028

## Application of Cardiopulmonary Exercise Test in Valvular Heart Disease

JIANG Zhaolong<sup>1</sup>, LIU Jianxiong<sup>1,2</sup>

(1. Zunyi Medical University Graduate School, Zunyi 563003, Guizhou, China; 2. Department of Cardiology, Chengdu Second People's Hospital Affiliated to Zunyi Medical University, Chengdu 610017, Sichuan, China)

**【Abstract】**The cardiopulmonary exercise test is a relatively non-invasive method for assessing the cardiopulmonary function of patients. Currently, the application in the field of cardiovascular disease mainly focuses on the screening, diagnosis, disease assessment and prognosis prediction of diseases such as coronary heart disease and heart failure, but its clinical application in valvular heart disease is still very few, there is a great space for exploration. This article summarizes the clinical research status of cardiopulmonary exercise test in valvular heart disease, and expects it to have a broader clinical application in cardiovascular disease field.

**【Key words】**Cardiopulmonary exercise testing; Valvular heart disease; Application progress

心肺运动试验 (cardiopulmonary exercise testing, CPET) 的临床价值在众多循证医学与临床实践中已得到证实, 其综合运用了患者在运动过程中实时心电图、血压、血流动力学、呼吸气体交换、主观症状等变化情况, 准确定量评估患者心肺适能, 描述生理系统运动反应, 判断运动受限的病理生理机制, 更有助于根据心肺功能参数做出临床决策, 目前 CPET 被认为是评价心肺功能的金标准<sup>[1]</sup>。2016 年 EACPR/AHA 在特殊人群 CPET 评估建议声明在 2012 年基础上做出更新, 首次将 CPET 在心脏瓣膜疾病 (valvular heart disease, VHD) 的临床运用写入专家共识<sup>[2]</sup>。现总结 CPET 在 VHD 的临床运用。

### 1 CPET 在主动脉瓣病变的运用

#### 1.1 CPET 与主动脉瓣狭窄

主动脉瓣狭窄 (aortic stenosis, AS) 的常见病因为老年心脏瓣膜钙化, 目前 CPET 在 VHD 中 AS 的临床研究最广。对于明确因瓣膜狭窄而导致症状的重度 AS 患者 (主动脉瓣口面积  $< 1 \text{ cm}^2$  或主动脉瓣口面积指数  $\leq 0.6 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ ), 2017 年 AHA/ACC 指南<sup>[3]</sup> 建议需积极手术干预 (I、B)。然而, 确定患者是否有 AS 的症状往往是复杂和模棱两可的, 因为呼吸困难、心绞痛并非特异性临床表现, 当 AS 是患者症状的罪魁祸首时, 潜在的病理生理学通常包括不能维持或增加心脏每搏量, 从而减少运动期间的心输出量和氧气输送。van Le 等<sup>[4]</sup> 认为 CPET 通过在 AS 患者中测定心肺参数, 包括峰值氧耗量 ( $\text{PVO}_2$ ) 和峰值氧脉冲, 能很好地反映心输出量和每搏量, 对症状性重度 AS 患者手术做出有价值的临床指导。对比 AS 患者有无症

状的传统检测方法如常规运动试验、运动应激超声心动图等, Domanski 等<sup>[5]</sup>认为 CPET 对 AS 患者的临床决策更可靠, 同时 CPET 检测安全、可行、重复性好。Levy 等<sup>[6]</sup>在一项前瞻性临床研究中, 对 43 例无症状或可疑症状的重度 AS 患者进行 CPET 检测随访, 发现二氧化碳通气斜率 ( $VE/VCO_2$ )  $>34$  和  $PVO_2 \leq 14$  mL/(kg·min) 是瓣膜置换的独立预测因子。在另一项研究中, Dominguez-Rodriguez 等<sup>[7]</sup>对 35 例无症状的重度 AS 患者进行 6 个月的随访(观察主要不良心血管事件发生), 认为  $VE/VCO_2$  升高是这部分患者失代偿性心力衰竭或死亡率的重要预测因子。但这两项研究都是小样本临床试验, 需更大规模的研究来确认 CPET 在 AS 患者中的临床运用价值。

## 1.2 CPET 与主动脉瓣关闭不全

主动脉瓣关闭不全(aortic regurgitation, AR)最常见的病因是瓣膜退行性病变, 约占西方国家 AR 潜在病因的 2/3。对于严重有症状的慢性 AR 患者, 2017 年 AHA/ACC 指南同样建议需要积极手术治疗(I、B)。中度至重度慢性 AR 患者, 为保持较长稳定期且无临床症状, 心脏将发生适应性变化, 包括左心室舒张末期容积增加、心室顺应性增加、左心室肥厚, 确保了净正向心输出。Broch 等<sup>[8]</sup>在一项对于慢性中度至重度无症状 AR 且无手术指征的患者进行 CPET 的研究中表明, 这部分患者最大运动能力和  $PVO_2$  与左室舒张末期容积有明显的正相关性, 说明早期的心室重构是适应性变化, CPET 在主动脉瓣手术时机的选择上能做出一定参考意见, 可避免不必要的手术干预和相关并发症; 同时作者认为在对慢性无症状 AR 患者的随访中, 若最大运动能力和  $PVO_2$  在随访中较前轻微走低, 这部分患者心功能可能有早期受损表现, 需积极手术干预, 但目前尚无指南推荐。另一项对于 21 例平均年龄( $49 \pm 13$ )岁的 AR 患者瓣膜置换术后进行 CPET 评估心功能的研究中, Hedman 等<sup>[9]</sup>发现在( $49 \pm 15$ )个月随访中, 患者术后  $PVO_2$  并未得到明显改善, 但 CPET 有助于 AR 患者置换术后定时和身体活动需求的评估, 为这部分患者做出精准心脏康复运用计划。

## 2 CPET 在二尖瓣病变的运用

### 2.1 CPET 与二尖瓣狭窄

目前风湿性二尖瓣狭窄(mitral stenosis, MS)发病率在中国已逐渐下降, 瓣膜退行性病变已是 MS 的主要病因。临床上评估 MS 程度最常用的是经胸超声心动图, 但 MS 患者临床症状并不总是与超声心动图数据相符, Omedè 等<sup>[10]</sup>认为 CPET 能为这

部分患者提供客观准确的临床信息, 同时在 43 例临床症状与超声心动图数据不相符的 MS 患者中, Omedè 发现  $PVO_2 >$  最大预测值的 70% 的 MS 患者, 其跨瓣梯度和肺动脉压相对偏低。风湿性疾病是多系统疾病, 而心脏瓣膜受损是其中一部分, Laufer-Perl 等<sup>[11]</sup>在运用 CPET 探索风湿性 MS 患者运动受限原因时, 发现瓣膜功能受损越严重, 患者运动峰值心率反应(心脏变时功能不全)与  $PVO_2$ (心脏每搏量)越差, 心脏功能受损程度越重, 但其并不是导致患者运动能力下降的唯一因素, 除了瓣膜狭窄程度外, 肺限制性受损也是重要原因。在评估 MS 患者经皮球囊二尖瓣成形术(percutaneous balloon mitral valvuloplasty, PMBV)治疗后改善情况方面, Dayi 等<sup>[12]</sup>对 29 例 MS 患者进行研究, 有 19 例接受 PMBV 治疗, PMBV 治疗组 MS 患者术前与术后 5 d 分别进行 CPET 测试, 发现  $PVO_2$  从术前( $1\ 035 \pm 392$ ) mL/min 升至术后( $1\ 178 \pm 373$ ) mL/min ( $P=0.000\ 1$ ), 无氧阈从术前( $667 \pm 286$ ) mL/min 升至术后( $772 \pm 268$ ) mL/min ( $P=0.006$ ), 峰值氧脉冲从术前( $10.97 \pm 6.10$ ) mL/min 升至术后( $12.24 \pm 7.36$ ) mL/min ( $P=0.001$ ), 可看出经 PMBV 治疗后早期心脏功能都有明显改善, 而无 PMBV 治疗组 10 例 MS 患者未观察到显著差异。目前 CPET 在 MS 的研究相对较少, 相信不久的将来会出现更多相关研究。

### 2.2 CPET 与二尖瓣关闭不全

二尖瓣关闭不全(mitral regurgitation, MR)在 VHD 中是欧美国家需外科手术干预的第二常见疾病, 其发病原因常分为原发性 MR(如瓣膜退行性病变)与继发性 MR(如继发性扩张型心肌病或缺血性心肌病)。在对无症状中重度 MR 患者进行 CPET 检测时, Suzuki 等<sup>[13]</sup>发现有低  $PVO_2$  与高  $VE/VCO_2$  斜率的 MR 患者在运动时可出现肺动脉高压, 认为运动介导的肺动脉高压是中重度无症状 MR 患者运动受限的原因。对于射血分数降低的心力衰竭(HFrEF)患者, 常伴有 MR, MR 在左心房产生容积和压力超负荷可进一步扩大左心室, 使其失去收缩储备, 进一步加重心力衰竭。Bandera 等<sup>[14]</sup>对 112 例 HFrEF 合并 MR 的患者, 根据经胸超声心动图评估其休息和运动状态下二尖瓣反流程度分三组: A 组休息和运动均无严重反流[有效反流口(ERO)  $<20$  mm<sup>2</sup>], B 组运动时出现严重反流( $ERO \geq 20$  mm<sup>2</sup>), C 组休息时就出现严重反流( $ERO \geq 20$  mm<sup>2</sup>), 三组患者在接受 CPET 测试后, Bandera 发现 B 组和 C 组患者表现出较差运动能力: 最大运动负荷 A 组与 B 组[( $70 \pm 24$ ) W vs ( $56 \pm 21$ )

W,  $P=0.001$ ], A 组与 C 组 [(70±24) W vs (50±17) W,  $P=0.001$ ]; PVO<sub>2</sub> A 组与 B 组 [(13.7±3.6) mL/(kg·min) vs (11.8±3.2) mL/(kg·min),  $P=0.019$ ], A 组与 C 组 [(13.7±3.6) mL/(kg·min) vs (11.5±3.0) mL/(kg·min),  $P=0.016$ ], 可以看出不管运动时出现的重度 MR 还是休息时就存在重度 MR, 其负荷心脏功能都有明显受损, MR 进一步加重 HFrEF 患者运动不耐受。同时在 (12.8±6.8) 个月的随访中, B 组与 C 组患者死亡率和心力衰竭再住院率明显高于 A 组。在对慢性无症状 MR 患者进行外科手术干预时, Togni 等<sup>[15]</sup>发现 47 例平均年龄 48.5 岁的患者术后 6~12 个月峰值氧脉冲较术前有提高 [(11.9±3.2) vs (11.1±3.2) mL/beat,  $P=0.003$ ], 提示术后患者心脏功能有恢复。同时对于术前合并心律失常如心房颤动或心房扑动的慢性 MR 患者, Lee 等<sup>[16]</sup>发现在术后 6 个月的随访中, 恢复窦性心律患者 PVO<sub>2</sub> 较术前有明显改善 [(19.3±5.9) mL/(kg·min) vs (23.2±6.4) mL/(kg·min),  $P=0.016$ ], 而未恢复窦性心律患者术前术后 PVO<sub>2</sub> 并无明显变化。

### 3 CPET 在肺动脉瓣相关疾病的运用

#### 3.1 CPET 与肺动脉瓣狭窄

孤立的肺动脉瓣狭窄 (pulmonary valve stenosis, PS) 是常见的先天性心脏病 (congenital heart disease, CHD)。轻度 PS 自然演变多被认为是良性的, de Meester 等<sup>[17]</sup>在对轻中度 PS 患者进行 CPET 检查来评估运动能力和血流动力时, 通过与健康倾向匹配受试者进行比较, 发现两组在最大运动负荷 [(199±66) W vs (263±68) W,  $P=0.006$ ]、PVO<sub>2</sub> [(31.2±9.9) mL/(kg·min) vs (39±7.4) mL/(kg·min),  $P=0.011$ ]、氧气吸收效率斜率 [(2 430±913) (mL/min)/(L/min) vs (3 292±943) (mL/min)/(L/min),  $P=0.007$ ] 和 VE/VCO<sub>2</sub> 斜率 [(26.8±5.2) vs (22.6±4.3),  $P=0.01$ ] 都有显著统计学差异。对于 PS 患者通过经皮肺动脉瓣植入术治疗后, Müller 等<sup>[18]</sup>在对比 46 例 PS 患者经皮肺动脉瓣植入术前与术后 6 个月运动能力时, 发现 PVO<sub>2</sub> 显著改善, 从平均值 27.2 (18.9~34.0) mL/(kg·min) 增加到 29.2 (22.4~35.3) mL/(kg·min) ( $P<0.000 1$ )。法洛四联症 (tetralogy of Fallot, TOF) 也是 CHD, TOF 患者基本伴有 PS, Luijnenburg 等<sup>[19]</sup>在对 27 例年龄 (14±4) 岁的 TOF 患者 [手术矫正年龄 (0.8±0.4) 岁] 5 年的随访中, 发现在基线时多巴酚丁胺应激试验期间, 患者右室射血分数增加不明显和随访期间 PVO<sub>2</sub> 较大的相对减少明显相关 ( $r=0.59$ ,  $P=0.004$ )。

#### 3.2 CPET 与肺动脉瓣关闭不全

CHD 如原发性瓣膜小叶异常和肺动脉狭窄球

囊瓣膜成形术后引起的原发性肺动脉瓣关闭不全 (pulmonary valve regurgitation, PR) 较后天性瓣膜病更为常见<sup>[20]</sup>。TOF 在外科手术治疗后患者普遍存在 PR, Meierhofer 等<sup>[21]</sup>对 TOF 术后存在 PR 的患者进行了 CPET 测试, 发现 PVO<sub>2</sub> 显著降低 [占预测值 (68.5±14.4) %], 同时根据 PR 反流严重程度分层, 发现反流严重程度与 PVO<sub>2</sub> 呈明显负相关。对于 TOF 术后有 PR 的年轻无症状患者, CPET 对于再次手术干预 PR 的时间选择和危险分层均具有潜在临床价值<sup>[22]</sup>。Legendre 等<sup>[23]</sup>对 24 例平均年龄 (27±11) 岁的 TOF 外科矫正术后合并 PR 的患者进行肺动脉瓣置换 (PVR), 在平均 (1.7±1.3) 年随访中, 患者右心室容积明显减少, 但 PVO<sub>2</sub> 较 PVR 术前 [(24.6±6.1) mL/(kg·min) vs (24.8±6.7) mL/(kg·min),  $P=0.79$ ] 并无明显改善。在对右心室流出道疾病进行手术矫正后同样多数患者存在 PR, Ho 等<sup>[24]</sup>对 26 例这部分患者 PVR 术前与术后同时进行了 CPET 检查, 发现术后患者 PVO<sub>2</sub> 较术前并无明显改善 [(28.3±7.9) mL/(kg·min) vs (27.8±8.1) mL/(kg·min),  $P=0.71$ ], 但在年龄 <25 岁的患者中, 其右心室与左心室舒张末期容积比和 PR 反流分数有显著下降, Ho 等认为对这部分患者早期干预可能会保留运动能力, 而 CPET 参数可作为右心室流出道修复后严重 PR 患者恶化的运动能力识别和需 PVR 干预的早期指标。上述 Legendre 与 Ho 的研究可以看出在其他基础疾病合并 PR 进行手术干预后, 在随访期间并未改善患者 PVO<sub>2</sub>, 但患者心脏结构状态却有明显改善, 可以假设在更长时间的随访中患者运动心脏功能可能较前有恢复, 但需更多研究来证实。

#### 4 CPET 在三尖瓣病变的运用

三尖瓣关闭不全 (tricuspid regurgitation, TR) 多继发于右室压力超负荷后体积变大使三尖瓣相对关闭不全, 而原发性 TR 如感染性心内膜炎、风湿性心脏病、Ebstein 异常和先天性瓣膜发育异常也不占少数。Nakade 等<sup>[25]</sup>对 TR 患者进行 CPET 测试时, 发现 TR 反流量越大的患者, 其 VE/VCO<sub>2</sub> 值也偏大。Müller 等<sup>[26]</sup>对 21 例 Ebstein 畸形导致 TR 的患者进行手术干预后, 在 6~18 个月随访期间, 发现手术前后患者 CPET 参数有明显改善, PVO<sub>2</sub> 从术前预测值的 68.4% 增加到术后预测值的 77.3% ( $P=0.009$ ), VE/VCO<sub>2</sub> 斜率从术前 32.5 降低到术后 29.3 ( $P=0.001$ )。同样 Ibrahim 等<sup>[27]</sup>在 27 例 Ebstein 畸形的重度 TR 患者中也得出相似的结论, 在中位随访时间 (2.7±1.5) 年期间, 发现术后患者运动量有明显改善, PVO<sub>2</sub> 从术前预测值的



( $54 \pm 18$ )% 增加到术后预测值的 ( $66 \pm 22$ )% ( $P < 0.02$ )。

## 5 前景展望

CPET 在心血管疾病领域的临床运用已日益广泛,其全面、客观、定量的特点已被大量临床试验证实,目前为评估心肺功能的重要手段。本文总结了近期国内外 CPET 在 VHD 临床实践运用相关文献,然而并未发现 CPET 在三尖瓣狭窄的相关临床研究,可以看出其在心脏病学领域仍有探索空间,同时期待 CPET 在心血管疾病领域有更广阔的运用前景。

## 参考文献

- [1] Guazzi M, Bandera F, Ozemek C, et al. Cardiopulmonary exercise testing: what is its value[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2017, 70(13): 1618-1636.
- [2] Guazzi M, Arena R, Halle M, et al. 2016 focused update: clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations[J]. *Circulation*, 2016, 133(24): e694-711.
- [3] Nishimura RA, Otto CM, Bonow RO, et al. 2017 AHA/ACC focused update of the 2014 AHA/ACC guideline for the management of patients with valvular heart disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines[J]. *Circulation*, 2017, 135(25): e1159-e1195.
- [4] van Le D, Jensen GV, Carstensen S, et al. Cardiopulmonary exercise testing in patients with asymptomatic or equivocal symptomatic aortic stenosis: feasibility, reproducibility, safety and information obtained on exercise physiology[J]. *Cardiology*, 2016, 133(3): 147-156.
- [5] Domanski O, Richardson M, Coisne A, et al. Cardiopulmonary exercise testing is a better outcome predictor than exercise echocardiography in asymptomatic aortic stenosis[J]. *Int J Cardiol*, 2017, 227: 908-914.
- [6] Levy F, Fayad N, Jeu A, et al. The value of cardiopulmonary exercise testing in individuals with apparently asymptomatic severe aortic stenosis: a pilot study[J]. *Arch Cardiovasc Dis*, 2014, 107(10): 519-528.
- [7] Dominguez-Rodriguez A, Abreu-Gonzalez P, Mendez-Vargas C, et al. Ventilatory efficiency predicts adverse cardiovascular events in asymptomatic patients with severe aortic stenosis and preserved ejection fraction[J]. *Int J Cardiol*, 2014, 177(3): 1116-1118.
- [8] Broch K, Urheim S, Massey R, et al. Exercise capacity and peak oxygen consumption in asymptomatic patients with chronic aortic regurgitation[J]. *Int J Cardiol*, 2016, 223: 688-692.
- [9] Hedman K, Tamás É, Nylander E. Decreased aerobic capacity 4 years after aortic valve replacement in male patients operated upon for chronic aortic regurgitation[J]. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2012, 32(3): 167-171.
- [10] Omedè P, Bucca C, Rolla G, et al. Cardiopulmonary exercise testing and exhaled nitric oxide in the assessment of patients with mitral stenosis[J]. *Minerva Cardioangiol*, 2004, 52(1): 29-35.
- [11] Laufer-Perl M, Gura Y, Shimaia J, et al. Mechanisms of effort intolerance in patients with rheumatic mitral stenosis: combined echocardiography and cardiopulmonary stress protocol[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2017, 10(6): 622-633.
- [12] Dayi SU, Akbulut T, Hobikoğlu G, et al. Evaluation of success of mitral valvuloplasty in the early period with cardiopulmonary exercise test[J]. *Anadolu Kardiyol Derg*, 2002, 2(2): 108-112, AXVI.
- [13] Suzuki K, Izumo M, Yoneyama K, et al. Influence of exercise-induced pulmonary hypertension on exercise capacity in asymptomatic degenerative mitral regurgitation[J]. *J Cardiol*, 2015, 66(3): 246-252.
- [14] Bandera F, Generati G, Pellegrino M, et al. Mitral regurgitation in heart failure: insights from CPET combined with exercise echocardiography[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2017, 18(3): 296-303.
- [15] Togna DJ, Abizaid AA, Meneghelo RS, et al. Effect of mitral valve repair on cardiopulmonary exercise testing variables in patients with chronic mitral regurgitation[J]. *Arq Bras Cardiol*, 2013, 100(4): 368-375.
- [16] Lee SP, Kim YJ, Lee JM, et al. Association of heart rhythm with exercise capacity after operation for chronic mitral regurgitation[J]. *Ann Thorac Surg*, 2012, 93(6): 1888-1895.
- [17] de Meester P, Buys R, van de Bruaene A, et al. Functional and haemodynamic assessment of mild-to-moderate pulmonary valve stenosis at rest and during exercise[J]. *Heart*, 2014, 100(17): 1354-1359.
- [18] Müller J, Engelhardt A, Fratz S, et al. Improved exercise performance and quality of life after percutaneous pulmonary valve implantation[J]. *Int J Cardiol*, 2014, 173(3): 388-392.
- [19] Luijnenburg SE, Mekic S, van den Berg J, et al. Ventricular response to dobutamine stress relates to the change in peak oxygen uptake during the 5-year follow-up in young patients with repaired tetralogy of Fallot[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2014, 15(2): 189-194.
- [20] Zoghbi WA, Adams D, Bonow RO, et al. Recommendations for noninvasive evaluation of native valvular regurgitation: a report from the American Society of Echocardiography developed in collaboration with the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance[J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2017, 30(4): 303-371.
- [21] Meierhofer C, Tavakkoli T, Kühn A, et al. Importance of non-invasive right and left ventricular variables on exercise capacity in patients with tetralogy of Fallot hemodynamics[J]. *Pediatr Cardiol*, 2017, 38(8): 1569-1574.
- [22] Dallaire F, Wald RM, Marelli A. The role of cardiopulmonary exercise testing for decision making in patients with repaired tetralogy of Fallot[J]. *Pediatr Cardiol*, 2017, 38(6): 1097-1105.
- [23] Legendre A, Richard R, Pontnau F, et al. Usefulness of maximal oxygen pulse in timing of pulmonary valve replacement in patients with isolated pulmonary regurgitation[J]. *Cardiol Young*, 2016, 26(7): 1310-1318.
- [24] Ho JG, Schamberger MS, Hurwitz RA, et al. The effects of pulmonary valve replacement for severe pulmonary regurgitation on exercise capacity and cardiac function[J]. *Pediatr Cardiol*, 2015, 36(6): 1194-1203.
- [25] Nakade T, Adachi H, Murata M, et al. Characteristics of patients with a relatively greater minimum VE/VCO<sub>2</sub> against peak VO<sub>2</sub>% and impaired exercise tolerance[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2018, 118(8): 1547-1553.
- [26] Müller J, Kühn A, Vogt M, et al. Improvements in exercise performance after surgery for Ebstein anomaly[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2011, 141(5): 1192-1195.
- [27] Ibrahim M, Tsang VT, Caruana M, et al. Cone reconstruction for Ebstein's anomaly: patient outcomes, biventricular function, and cardiopulmonary exercise capacity[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2015, 149(4): 1144-1150.

收稿日期: 2019-03-04