

· 论著 · 先天性心脏病 ·

人工肺动脉瓣重建技术在右室流出道重建中的应用



张勇, 许刚, 温树生, 岑坚正, 崔虎军, 刘晓冰, 庄建, 陈寄梅

广东省心血管病研究所 广东省华南结构性心脏病重点实验室 广东省人民医院心外科 广东省医学科学院 (广州 510100)

【摘要】 目的 评估一种人工肺动脉瓣重建技术在右心室流出道重建手术中的可行性及可靠性。方法 回顾性分析我中心自 2012 年 2 月至 2016 年 12 月之间右室流出道重建手术 35 例患儿术中人工肺动脉瓣重建技术的情况, 并随访其近中期临床结局。男 19 例、女 16 例, 平均接受手术年龄 10 岁 (5 个月至 42 岁), 体重 26 (8~62) kg。人工肺动脉瓣重建技术类型包括: 人工单瓣技术 21 例, 人工双瓣技术 6 例, 综合成形法 8 例。结果 平均体外循环时间 75~251 (120±37) min, 主动脉阻断时间 32~185 (72±28) min, 术后呼吸机辅助时间 6~68 (24±18) h, 重症监护室停留时间 14~225 (59±51) h, 术后早期死亡 3 例均与人工肺瓣重建技术无明显相关性。平均随访时间 15 个月。术前瓣膜反流情况: 无反流 22 例, 轻度 1 例、中度 7 例、重度 3 例。术后随访终点瓣膜反流情况: 无瓣膜反流 8 例, 轻度反流 22 例, 中度反流 5 例, 无重度反流患者。术后肺动脉瓣相关狭窄 2 例, 均为轻度狭窄。无瓣膜相关再次手术, 延迟关胸 3 例。术后早期死亡 3 例, 未随访到远期死亡患者。存活 32 例患者, 纽约心功能评级 I 级 20 例, II 级 10 例, III 级 2 例。结论 在右室流出道重建手术中运用人工肺动脉瓣重建技术, 可以减轻术后早期右心室容量负荷, 使患者平稳度过围术期, 其外科技术简便易施行, 费用低廉, 近中期安全性较好, 但远期仍需进一步观察随访。

【关键词】 人工肺动脉瓣; 右室流出道重建; 肺动脉瓣反流

Pulmonary valve reconstruction technology in the application of the right ventricular outflow tract reconstruction

ZHANG Yong, XU Gang, WEN Shusheng, CEN Jianzheng, CUI Hujun, LIU Xiaobing, ZHUANG Jian, CHEN Jimei

Department of Cardiac Surgery, Guangdong Cardiovascular Institute, Guangdong General Hospital Guangdong Academic of Medical Science) Guangdong Provincial Key Laboratory of South China Structural Heart Disease, Guangzhou, 510100, P.R.China

Corresponding author: CHEN Jimei, Email: jimei1965@gmail.com

【Abstract】 Objective To evaluate the technique of artificial pulmonary valve reconstruction in right ventricular outflow tract reconstruction of possibility and reliability. **Methods** We retrospectively analyzed the clinical data of 35 patients with artificial pulmonary valve reconstruction of right ventricular outflow tract reconstruction surgery in our hospital between February 2012 and December 2016. There were 35 patients with 19 males and 16 females at age of 10 years ranged 5 months to 42 years and body weight of 26 (8–62) kg. There were 21 patients with artificial single example, 6 patients with artificial disc technology, 8 patients with comprehensive forming method. **Results** Average extracorporeal circulation time was 75–251 (120±37) min. Aorta blocking time minutes was 32–185 (72±28) min. ICU stay time was 14–225 (59±51) hours. Breathing machine auxiliary time was 6–68 (24±18) hours. There were 3 early postoperative death. There was no death during the long term following-up time. Thirty-two patients survived with heart function of class I in 20 patients, class II in 10 patients, class III in 2 patients. **Conclusion** In right ventricular outflow tract reconstruction using the technique of artificial pulmonary valve reconstruction in the operation, can reduce early postoperative right ventricular volume load increased significantly, to smooth out perioperative patients, the surgical technique is simple easy, cheap, recent security is good, but long-term follow-up still need further observation.

DOI: 10.7507/1007-4848.201802031

基金项目: 广东省科技计划项目 (编号: 2013B03040001)

通信作者: 陈寄梅, Email: jimei1965@gmail.com

【Key words】 Artificial pulmonary valve reconstruction technology; right ventricular outflow tract reconstruction; pulmonary valve regurgitation

右室流出道重建 (right ventricle outflow tract reconstruction, RVOTR) 是许多复杂先天性心脏病的基本外科治疗措施, 早期强调彻底疏通的重要性, 随着临床患者的积累, 随访数据的进一步增加, 越来越多的学者意识到在右室流出道重建时, 肺动脉瓣的破坏引起中度及以上肺动脉瓣反流对右心室功能的损害。已有不少中心开始开展此类患者的进一步外科手术治疗, 如何减少右室流出道重建手术后肺动脉瓣反流的发生, 越来越受到临床一线医生的重视, 有专家提倡在一期右室流出道重建手术时行肺动脉瓣置换, 目前肺动脉瓣置换多采用商品化的机械瓣或者生物瓣, 受制于患者年龄限制, 商品化瓣膜置换一般用于成年患者^[1]。国外有中心在本世纪初开始尝试使用聚四氟乙烯 (PTTE) 人工心包补片缝制不同形式的人工瓣膜 (包括人工单叶瓣和人工双叶瓣) 植入右室流出道切口当中, 以期减少术后早期肺动脉瓣反流, 取得了比较满意的早期临床效果^[2]。我中心自 2012 年来开始尝试使用聚四氟乙烯 (PTTE) 人工心包补片缝制人工瓣膜植入右心室流出道, 初期多使用人工单叶瓣, 后期尝试使用人工双叶瓣技术, 其技术简便, 费用低廉, 术后早期抗反流作用明显, 在近中期的随访中未观察到影响右心室流出道发育的情况。

1 资料与方法

1.1 临床资料

2012 年 2 月至 2016 年 12 月, 我中心共实施 35 例人工肺动脉瓣重建相关的右室流出道重建手术, 平均接受手术年龄 10 岁 (5 个月至 42 岁), 体重 26 (8 ~ 62) kg, 其中男 19 例、女 16 例, 再次手术 5 例。人工肺动脉瓣重建技术类型包括: 人工单瓣技术 21 例, 人工双瓣技术 6 例, 综合成形法 8 例。35 例患者当中初次手术 30 例, 再次手术 5 例。所有患者术前均行心脏多普勒超声检查, 明确术前诊断。

1.2 外科技术要点

手术均在全身麻醉, 中低温体外循环下进行。手术常规采用胸骨正中切口, 于上下腔静脉, 升主动脉常规插管建立体外循环, 在完成心内其他畸形矫治后, 在手术最后阶段实施右心室流出道重建, 本组患者有 3 例在主动脉开放后实施肺动脉瓣重建技术, 余均在主动脉开放前实施人工瓣膜重建。

右室流出道重建技术遵循通畅原则, 在彻底疏通肌束后行人工肺动脉瓣重建技术。

1.2.1 人工肺动脉瓣单瓣技术要点 在完成右室流出道彻底疏通后, 取 0.1 mm 厚度聚四氟乙烯 (PTTE) 人造血管补片剪成舌壮, 其大小应与流出道出口大小相适应, 底边长度约为标准体重肺动脉瓣瓣环直径 (简化公式为: 患儿公斤体重+3) 的 1.8 倍, 固定底边在两侧肺动脉瓣与肺动脉交界处, 连续缝合瓣窦基底部, 其舌段缝合至右室流出道前壁, 再持心包补片完成右室流出道重建, 以期形成一个单瓣窦, 右心室在收缩时血液射向肺动脉, 在舒张期瓣窦阻挡肺动脉血液的回流, 以发挥肺动脉瓣的作用, 手术的关键技术点在于保证瓣叶开放的灵活性^[3-4]。

1.2.2 人工肺动脉瓣双瓣技术要点 人工双叶瓣同样使用 0.1 mm 厚度聚四氟乙烯 (PTTE) 人造血管补片, 首先把人造血管补片折叠成双层结构, 在硬底板上使用尖刀片画出瓣窦的形状, 同为舌型, 在交界折叠的地方做切口, 注意切口两端各留置约 3mm 连接, 不要完全切开, 首先在流出道补片 3 点钟 9 点钟的位置缝置吊线, 然后按顺序完成前后瓣叶的吻合成形, 其相较于单叶瓣具有抗反流确实的优点, 但是理论上其远期对右室流出道的限制较单叶瓣明显^[5-7]。

1.2.3 综合成形法技术要点 综合成形法是指除构建人工单叶瓣, 双叶瓣以外的其他成形方法, 主要技术手段有: (1) 心包修补残缺的瓣叶, 主要在感染性心内膜炎的患者中运用, 此类患者本身瓣叶条件尚可, 瓣环也无明显扩张, 瓣膜反流主要是因为瓣叶的破损, 心包修补破损的瓣叶后, 瓣膜反流可以明显减轻。(2) 瓣环环缩, 对于部分单纯瓣环扩张的患者。可以使用瓣环环缩的方法, 以增加瓣叶对合面积从而减少瓣膜反流的目的, 综合成形法多应用于保留瓣环的肺瓣保护策略中, 对于需要跨瓣环补片的患者不适用。

2 结果

35 例患儿中, 人工肺动脉瓣重建技术类型包括: 人工单瓣技术 21 例, 人工双瓣技术 6 例, 综合成形法 8 例, 体外循环时间 75 ~ 251 (120±37) min, 主动脉阻断时间 32 ~ 185 (72±28) min, 术后呼吸机辅助时间 6 ~ 68 (24±18) h, 重症监护室停留时间

14 ~ 225 (59±51) h, 平均随访时间 15 (4.6 ~ 68) 个月。术前瓣膜反流情况: 无反流 22 例, 轻度 1 例, 中度 7 例, 重度 3 例。术后随访终点瓣膜反流: 无瓣膜反流 8 例, 轻度反流 22 例, 中度反流 5 例, 无重度反流患者。术后肺动脉瓣相关狭窄 2 例, 均为轻度狭窄。无瓣膜相关再次手术, 延迟关胸 3 例。术后早期死亡 3 例, 未随访到远期死亡患者。存活 32 例患者, 纽约心功能评级 I 级 20 例, II 级 10 例, III 级 2 例。死亡 3 例患儿均为体重 < 5 kg 的小婴儿, 两例是永存动脉干合并重度肺高压, 其中 1 例是 23 d 的新生儿, 两例患儿术前共同动脉干瓣膜重度反流和狭窄, 分别于术后 26 h、43 h 死于重度低心排血量, 低心排血量考虑与手术时间过长, 心肌缺血时间过长相关。术后评估经食管超声心动图 (TEE): 人工肺动脉瓣功能良好, 均为轻度反流, 人工瓣膜无明显压差。另 1 例是 4 个月的 TGA/PS 镜面右位心患儿, 术后评估 TEE 人工肺动脉瓣功能良好, 为轻度反流, 人工瓣膜无明显压差, 术中心脏收缩乏力无法撤离体外循环, 术中即刻体外膜肺转流 (ECMO) 辅助, 撤除 ECMO 后患儿反复低心排血量, 术后 26 h 死于重度低心排血量。3 例死亡均与人工瓣膜重建技术无明显相关性。

3 讨论

3.1 右室流出道重建手术人工肺动脉瓣重建的重要性

右心室流出道重建是许多复杂先心外科手术的重要组成部分, 早期多强调彻底疏通的重要性, 随着患者数的积累增加, 越来越多的外科医生意识到彻底疏通的右室流出道, 如果没有肺动脉瓣的保护, 持续的肺动脉瓣反流将对右心室功能造成重要影响。随着右心室容量负荷的进一步增加, 右心室出现舒张障碍, 右心室心肌纤维化导致右心室日渐扩张, 开始出现各种右心功能不全的表现, 严重患者多会出现严重的心律失常, 偶有猝死患者发生^[8]。出现右心衰竭后再进行瓣膜外科干预, 往往效果不够理想, 很多情况无法逆转右心衰竭的进展, 目前更多学者倾向于在一期右室流出道重建时进行肺动脉瓣的干预, 早期多尝试进行人工瓣膜的植入, 目前可供选择的人工瓣膜包括人工机械瓣, 人工生物瓣, 因商品化因素, 目前在小儿患者当中很难全部实现商品化瓣膜的植入, 其临床应用受到限制。而且其费用相对高昂, 术后需要规范严格的抗凝, 这也进一步限制了其在临床中的应用^[9-12]。人工

肺动脉瓣重建技术是本世纪初在国外兴起的一种瓣膜重建技术, 其利用各种组织材料, 包括戊二醇处理过的自体心包补片, 牛心包补片, 猪心包补片, 聚四氟乙烯 (PTTE) 人造血管补片等, 使用人工缝制的方法建立一个单向阀, 早期多运用单瓣窦技术, 考虑到效率问题, 后期有学者开始尝试双叶瓣缝制技术, 近期部分学者尝试三叶瓣技术都取得了一定的临床效果。国内也开始探索类似的外科技术, 取得了一定的经验积累, 基本达成了在右心室流出道重建时对肺动脉瓣进行同期干预的共识, 但部分学者仍对瓣膜功能的持久性与安全性持有怀疑的态度, 特别是这类技术应用在低体重患者中无生长潜能, 远期可能成为右室流出道新的梗阻部位, 有可能需要再次手术干预^[13-17]。这需要更多的临床患者进行随访观察。我中心自 2012 年开展肺动脉瓣人工瓣膜重建手术, 早期应用于一些复杂患者, 期望有效的减少肺动脉瓣反流可以使患者平稳的度过术后早期, 我们在早期的随访观察中确实观察到此类患者相较于未行人工肺动脉瓣植入的患者其术后呼吸机使用时间 & ICU 停留时间均有较明显的优势。随访期间未观察到需要再次外科手术干预的患者, 安全性有效性初步得到验证。

3.2 右室流出道重建中肺动脉瓣重建的技术选择

3.2.1 保留自体肺动脉瓣的相关技术 一部分患者自体肺动脉瓣发育虽然偏差, 但通过外科处理技术可使其达到最低使用要求, 最常见的是二叶肺瓣。二叶肺瓣的患者, 多有交界融合, 在这类患者中可以考虑尝试交界切开, 扩大瓣环直径。需要值得注意的是, 此类患者在行交界切开瓣环扩大时, 虽然可以通过一定直径的探条, 但术后仍可能残余狭窄, 这主要与二叶瓣的生理特性相关, 在一些需要彻底疏通的患者中尤其要注意, 但目前也有学者主张宁窄勿漏, 这一技术在特定条件下仍有一定的临床应用情景。

3.2.2 自体肺动脉瓣为主的瓣膜修整技术 在部分特殊患者中, 如感染性心内膜炎或者单个瓣叶发育不良的患者中使用人工材料行瓣叶的修补或者瓣叶的延长, 以期恢复瓣膜的抗反流功能, 对于肺动脉高压引起的瓣环扩大患者, 可以使用瓣环环缩的方法。此类患者由于瓣膜破坏不严重或者保留绝大多数瓣膜结构, 所以术后瓣膜功能保护良好, 而且术后抗凝要求不严格, 对生活质量无明显影响, 但是病种的特殊限制了其在临床中的规模应用。

3.2.3 商品化的肺动脉瓣机械瓣, 生物瓣植入 在早期的患者中, 多考虑行商品化的瓣膜植入, 其具

有技术可靠的优点,但是瓣膜植入也存在一些问题,首先是患者群体的选择上相对比较局限,一般用于成人患者或者一些体重较大的儿童患者。目前绝大多数专家已达成共识,一旦出现比较明确的右心衰竭的证据,再行肺动脉瓣置换手术往往无法逆转右心室功能,这限制了其在临床上的规模应用,另外瓣膜自身的衰败和术后严格规律的抗凝要求也限制了其在部分临床患者中的应用^[18-21]。

3.2.4 人工材料缝制肺动脉瓣 由于右心室的低压力特性决定了可在右室流出道缝制人工瓣膜,可以利用各种组织材料,包括戊二醇处理过的自体心包补片,牛心包补片,猪心包补片,聚四氟乙烯(PTFE)人造血管补片等,使用人工缝制的方法建立一个单向阀,早期多运用单瓣窦技术,缝制一个宽大的单瓣窦在右室流出道,以期其在舒张期可以阻挡肺动脉返回的血流,后有部分学者开始尝试人工双瓣叶技术和三瓣叶技术,动物实验和临床观察效果都比较确切,其最大的优点在于患者选择较广泛,不受年龄段的限制,可以用在从新生儿,婴儿到成人所有的患者群体,其最大的缺点在于持久性较差,人工瓣叶很容易钙沉积,导致瓣叶功能障碍进而失功能,还有一个值得重视的问题是在小体重患者应用此类技术时,远期流出道再狭窄的问题。虽然在近中期的临床随访中并没有观察到狭窄的患者,理论上随着患者体重的增长,时间的延长,无生长能力的人工瓣膜组织将会成为右室流出道新的限制^[21-23]。

3.3 右室流出道重建中远期人工肺动脉瓣功能的随访

人工肺动脉瓣构建在右室流出道重建中的近中期临床效果已经得到临床上的肯定和支持,但是远期效果的评估仍需要积累更多的临床数据,人工肺动脉瓣远期最重要的问题是瓣膜的失功能及瓣膜钙化活动障碍导致的流出道梗阻问题,特别在部分小婴儿患者中,随着患儿的生长发育其人工瓣膜无法随之生长发育,可能会成为流出道新的限制,进而导致迟发性流出道狭窄,虽然本组患者并未观察到此类现象,推测主要是随访时间过短,但仍不能排除这一潜在的风险,同时也期待更多的中心加入到这一临床研究队列中以期提供更多的临床证据支持。但也有学者指出即使远期出现瓣叶的限制,也可以考虑使用介入的手段行瓣叶的扩张,但临床上并未大规模开展^[24-28]。

3.4 有效的右心室功能评估手段

构建人工肺动脉瓣的最直接目的是减少肺动

脉瓣反流以减少右心室容量超负荷。目前最直接的评估手段是经胸多普勒超声监测,对肺动脉瓣的反流情况进行连续性观测,以获得最直接的数据,经胸多普勒超声除了可以最直接的观察肺动脉瓣的反流情况以外还可以评估右心室容量负荷情况,可以测量右心室舒张末直径,测算右心室射血分数,其具有经济,简便,高效的优势^[29]。目前普遍认为右心功能评估的金标准是心脏磁共振成像(MRI)检查,其可以定量评估右心室功能,但其检查时间长,费用高,无法规模应用是其劣势所在。本组患者由于条件限制,仅进行了经胸多普勒超声的随访,期望在以后的临床观察中可以借助MRI手段可以实现右心室功能的更精确评估。

综上所述,人工肺动脉瓣重建在右心室流出道重建中的应用有效、安全、经济,可行,其远期结果仍需要更多的临床数据支持,需要进一步延长随访时间,同时使用更精确的评估手段评估右心室功能将是未来一个时期的研究方向。

参考文献

- Göber V, Berdat P, Pavlovic M, *et al.* Adverse mid-term outcome following RVOT reconstruction using the Contegra valved bovine jugular vein. *Ann Thorac Surg*, 2005, 79(2): 625-631.
- He GW. A new technique of transannular monocusp patch-repair of the right ventricular outflow tract in repair of Tetralogy of Fallot. *Heart Lung Circ*, 2007, 16(2): 107-112.
- Reyes KG, Cuaso CC, Tan RB. Double-barrel right ventricular outflow: tetralogy of Fallot annulus preservation technique. *Ann Thorac Surg*, 2012, 94(3): 1023-1025.
- Kalfa D, Bel A, Chen-Tournoux A, *et al.* A polydioxanone electrospun valved patch to replace the right ventricular outflow tract in a growing lamb model. *Biomaterials*, 2010, 31(14): 4056-4063.
- Quintessenza JA, Jacobs JP, Morell VO, *et al.* Initial experience with a bicuspid polytetrafluoroethylene pulmonary valve in 41 children and adults: a new option for right ventricular outflow tract reconstruction. *Ann Thorac Surg*, 2005, 79(3): 924-931.
- Lee C, Kim YM, Lee CH, *et al.* Outcomes of pulmonary valve replacement in 170 patients with chronic pulmonary regurgitation after relief of right ventricular outflow tract obstruction: implications for optimal timing of pulmonary valve replacement. *J Am Coll Cardiol*, 2012, 60(11): 1005-1014.
- Turrentine MW, McCarthy RP, Vijay P, *et al.* PTFE monocusp valve reconstruction of the right ventricular outflow tract. *Ann Thorac Surg*, 2002, 73(3): 871-879.
- Turrentine MW, McCarthy RP, Vijay P, *et al.* Polytetrafluoroethylene monocusp valve technique for right ventricular outflow tract reconstruction. *Ann Thorac Surg*, 2002, 74(6): 2202-2205.
- Luo QZ, Lin L, Gong Z, *et al.* Positive association of major histocompatibility complex class I chain-related gene A polymorphism with leukemia susceptibility in the people of Han

- nationality of Southern China. *Tissue Antigens*, 2011, 78(3): 178-184.
- 10 Nath DS, Nussbaum DP, Yurko C, *et al.* Pulmonary homograft monocusp reconstruction of the right ventricular outflow tract: outcomes to the intermediate term. *Ann Thorac Surg*, 2010, 90(1): 42-49.
 - 11 Ootaki Y, Welch AS, Walsh MJ, *et al.* Medium-term outcomes after implantation of expanded polytetrafluoroethylene valved conduit. *Ann Thorac Surg*, 2018, 105(3): 843-850.
 - 12 Lee C, Lee CH, Kwak JG, *et al.* Bicuspid pulmonary valve implantation using polytetrafluoroethylene membrane: early results and assessment of the valve function by magnetic resonance imaging. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2013, 43(3): 468-472.
 - 13 Lee C, Lee CH, Kwak JG. Polytetrafluoroethylene Bicuspid Pulmonary Valve Replacement: A 5-Year Experience in 119 Patients With Congenital Heart Disease. *Ann Thorac Surg*, 2016, 102(1): 163-169.
 - 14 Kumar M, Turrentine MW, Rodefeld MD, *et al.* Right Ventricular Outflow Tract Reconstruction With a Polytetrafluoroethylene Monocusp Valve: A 20-Year Experience. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 2016, 28(2): 463-470.
 - 15 Bacha E. Valve-Sparing or Valve Reconstruction Options in Tetralogy of Fallot Surgery. *Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu*, 2017, 20: 79-83.
 - 16 Brown JW, Ruzmetov M, Rodefeld MD, *et al.* Valved bovine jugular vein conduits for right ventricular outflow tract reconstruction in children: an attractive alternative to pulmonary homograft. *Ann Thorac Surg*, 2006, 82(3): 909-916.
 - 17 Ando M, Takahashi Y. Ten-year experience with handmade trileaflet polytetrafluoroethylene valved conduit used for pulmonary reconstruction. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2009, 137(1): 124-131.
 - 18 Belli E, Salihoğlu E, Leobon B, *et al.* The performance of Hancock porcine-valved Dacron conduit for right ventricular outflow tract reconstruction. *Ann Thorac Surg*, 2010, 89(1): 152-157.
 - 19 Gil-Jaurena JM, Ferreiros M, Castillo R, *et al.* Use of a pulmonary neovalve with a transannular patch for repair of tetralogy of fallot. *Rev Esp Cardiol*, 2010, 63(12): 1438-1443.
 - 20 Salem AM. Right ventricle to pulmonary artery connection: Evolution and current alternatives. *J Egypt Soc Cardio-Thorac Surg*, 2016, 24(1): 47-57.
 - 21 Brown JW, Ruzmetov M, Vijay P, *et al.* Right ventricular outflow tract reconstruction with a polytetrafluoroethylene monocusp valve: a twelve-year experience. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2007, 133(5): 1336-1343.
 - 22 Papadopoulos N, Esmaeili A, Zierer A, *et al.* Secondary repair of incompetent pulmonary valves. *Ann Thorac Surg*, 2009, 87(6): 1879-1884.
 - 23 Bove T, François K, De Wolf D. New Insights into the Surgical Management of Tetralogy of Fallot: Physiological Fundamentals and Clinical Relevance. *Curr Pediatr Rev*, 2015, 11(2): 72-86.
 - 24 Geva T, Gauvreau K, Powell AJ, *et al.* Randomized trial of pulmonary valve replacement with and without right ventricular remodeling surgery. *Circulation*, 2010, 122: 5201-5208.
 - 25 Tweddell JS, Simpson P, Li SH, *et al.* Timing and technique of pulmonary valve replacement in the patient with tetralogy of Fallot. *Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu*, 2012, 15(1): 27-33.
 - 26 Hallbergson A, Gauvreau K, Powell AJ, *et al.* Right ventricular remodeling after pulmonary valve replacement: early gains, late losses. *Ann Thorac Surg*, 2015, 99(2): 660-666.
 - 27 Valente AM, Gauvreau K, Assenza GE, *et al.* Contemporary predictors of death and sustained ventricular tachycardia in patients with repaired tetralogy of Fallot enrolled in the INDICATOR cohort. *Heart*, 2014, 100(3): 247-253.
 - 28 Cheatham JP, Hellenbrand WE, Zahn EM, *et al.* Clinical and hemodynamic outcomes up to 7 years after transcatheter pulmonary valve replacement in the US Melody Valve Investigational Device Exemption Trial. *Circulation*, 2015, 131(22): 1960-1970.
 - 29 Kogon BE, Rosenblum JM, Mori M. Current readings: issues surrounding pulmonary valve replacement in pediatric cardiac disease: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 2011, 123: 2607-2652.

收稿日期: 2018-02-23 修回日期: 2018-04-16

本文编辑: 刘雪梅