

• 专家共识 •

先天性心脏病外科治疗中国专家共识（二）：
小儿先天性主动脉瓣狭窄

贾兵¹, 李守军² 代表国家心血管病专家委员会先天性心脏病专业委员会

1. 复旦大学附属儿科医院 心血管中心 (上海 201102)

2. 中国医学科学院阜外医院 小儿外科中心 (北京 100037)

【关键词】 主动脉瓣狭窄；先天性心脏病；外科治疗；专家共识

主动脉瓣狭窄 (aortic valve stenosis, AS) 是一种左室流出道梗阻性病变, 发生率为 0.03 ~ 0.34/1 000 存活新生儿, 占有先天性心脏病的 3% ~ 5%^[1]。AS 约占左室流出道狭窄的 75%, 男性多见, 男性发生率要高于女性 3 ~ 5 倍, 常合并室间隔缺损、动脉导管未闭、左心室发育不良综合征、主动脉缩窄等^[2-3]。

小儿主动脉瓣病变可累及多个瓣叶, 瓣叶病变复杂严重, 个体差异大, 手术难度大, 再干预率高, 成为小儿心脏病治疗领域的难点之一^[4]。合并其它复杂畸形的 AS 不在本共识讨论范围内, 如合并心室圆锥连接异常的畸形: 主动脉弓离断合并室间隔缺损、完全大动脉转位合并室间隔缺损、右室双出口、房室间隔缺损、单心室、纠正性大动脉错位、糖原储存异常疾病导致的间隔异常肥厚等。

主动脉瓣叶形态结构可以为单瓣叶、双瓣叶、三瓣叶、四瓣叶, 最常见的 AS 为双瓣叶^[5]。严重 AS 通常难以区分是单叶还是双叶主动脉瓣, 瓣叶组织原始, 呈黏液或者胶质状, 常伴多个水平的左心室结构异常^[6]。

AS 可导致左心室后负荷增加, 造成左心室肥厚、舒张功能减弱, 冠状动脉灌注减少, 造成心内膜下心肌纤维化, 可进一步导致心肌梗塞、心律失常, 甚至猝死。导管依赖型 AS, 由于前向血流受阻, 患者体循环血流主要依靠动脉导管右向左分流供应, 患儿可有紫绀、代谢性酸中毒等表现^[3]。部分重度狭窄患儿出生后早期即出现严重心力衰竭, 左心室重度扩大, 射血分数降低, 此时压差往往被低估。

1 方法与证据

本共识采用国际通用的 Delphi 程序, 检索 Medline、The Cochrane Library、万方数据库及美国国立综合癌症网络 (National Comprehensive Cancer Network, NCCN) 指南等, 回顾性分析 1978 年 1 月至 2019 年 2 月关于小儿 AS 外科治疗的文献, 通过专家讨论结果筛选存在争议的调查项目, 根据文献提供的资料和专家讨论意见, 最终形成以下共识。

共识采用的推荐级别为: I 类: 已证实和/或一致公认有效, 专家组有统一认识; II a 类: 有关证据/观点倾向于有用或有效, 应用这些操作或治疗是合理的, 专家组有小争议; II b 类: 有关证据/观点尚不能被充分证明有用或有效, 但可以考虑使用, 专家组有一定争议; III 类: 已证实和/或公认无用或无效, 不推荐使用。

2 主动脉瓣狭窄分级

目前, AS 程度分级方法包括两种。(1) 美国心脏瓣膜病指南推荐, 根据心脏超声检查结果, 一般分为轻度、中度、重度和极重度, 分级如下^[7]: 轻度 AS: 峰值流速 (Vmax) 2.0 ~ 2.9 m/s, 平均跨瓣压差 < 20 mm Hg; 中度 AS: Vmax 3.0 ~ 3.9 m/s, 平均跨瓣压差 20 ~ 39 mm Hg; 重度 AS: Vmax ≥ 4.0 m/s, 平均跨瓣压差 ≥ 40 mm Hg; 极重度 AS: Vmax ≥ 5.0 m/s, 平均跨瓣压差 ≥ 60 mm Hg。

(2) 国内根据主动脉瓣跨瓣峰值压力阶差, 将 AS 程度分为轻度、中度、重度狭窄。一般认为峰值压力阶差 < 50 mm Hg 为轻度狭窄, 峰值压力阶差 50 ~ 75 mm Hg 为中度狭窄, 峰值压力阶差 > 75 mm Hg 为重度狭窄。另可以瓣口面积指数为指标, 瓣口面积 > 0.85 cm²/m² 为轻度; 0.6 ~ 0.85 cm²/m² 为中度;

DOI: 10.7507/1007-4848.201912073

通信作者: 贾兵, Email: jiabing2012@hotmail.com; 李守军, Email: drlishoujun@yahoo.com



$<0.6 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 为重度狭窄^[8]。

推荐 (IIa)：AS 程度主要依据主动脉瓣跨瓣峰值压力阶差评估，主动脉瓣口流速作为参考，分为轻度狭窄（跨瓣峰值压力阶差 $<50 \text{ mm Hg}$ ）、中度狭窄（ $50\sim 75 \text{ mm Hg}$ ）和重度狭窄（ $>75 \text{ mm Hg}$ ）。

3 干预指征

对于小儿 AS 的干预指征目前虽然还存在一定争议，但大多数学者认为跨瓣峰值压力阶差是判断干预时机的重要指标，当峰值压力阶差 $>50 \text{ mm Hg}$ 时应当进行手术。但也有学者认为峰值压力阶差 $<50 \text{ mm Hg}$ ，但伴有明显临床症状者，也应尽早临床干预^[9]。

在重症新生儿或者小婴儿患者中，已经存在严重心力衰竭或动脉导管依赖性体循环，此时跨瓣峰值压力阶差往往被低估，应当结合临床症状来决定手术时机^[10-11]。

术前应评估左心发育情况，评估患儿目前是否适合行双心室矫治手术，当左心室发育不良，不能承担体循环功能时需行 Norwood 类手术，而不可直接行双心室修补^[3,12]，此类患儿不在本共识中讨论。

推荐 (I)：（1）心力衰竭、动脉导管未闭依赖性体循环需要急诊或限期手术，尤其是射血分数值低于 50%、左室严重扩张者；（2）跨瓣峰值压力阶差 $>50 \text{ mm Hg}$ 应行手术，或者未达到 50 mm Hg ，但伴有临床症状也考虑手术。

4 手术方式

手术方式主要包括主动脉瓣球囊扩张成形术、主动脉瓣外科交界切开成形术、其它主动脉瓣成形术和瓣膜置换术。

4.1 主动脉瓣外科交界切开成形术 (IIa)

此术式是最常用的成形方式，目前我国以外科手术切开成形为主，适用于大多数 AS 患儿初次干预。其效果往往取决于瓣叶病变的程度，对于主动脉瓣发育较好，尤其是三叶式主动脉瓣具有较好的治疗效果。主动脉瓣交界切开成形时，通常是有限地切开，而不完全切开至血管壁，以免产生严重的主动脉瓣反流^[13-14]。

4.2 主动脉瓣球囊扩张成形术 (IIb)

该术式经心导管球囊扩张主动脉瓣，降低跨瓣峰值压力阶差，促进患儿生长发育，但通常无法彻底解除狭窄^[15]。其优点是无需体外循环，术后早期效果满意，相对于外科手术而言，球囊扩张更适用于新生儿、小婴儿、心功能降低的危重症患儿（低

射血分数）。此手术可能造成瓣叶撕裂、反流等，再手术率高；同时狭窄解除不完全，有多次扩张可能；并且有损伤二尖瓣的风险^[16-17]。

4.3 其它主动脉瓣成形术

4.3.1 瓣叶延长扩大 (IIb) 无论直视手术或球囊扩张，当其不能有效解除狭窄，或导致明显关闭不全时，应当考虑成形手术；或主动脉瓣叶病变严重无法行单纯交界切开，二叶式主动脉瓣行三瓣化治疗等情形，常需要行瓣叶延长、折叠、悬吊、瓣叶交界重建等。瓣叶延长扩大也被称为主动脉瓣尖扩大成形术或主动脉瓣缘延长术^[18]，适用于瓣叶活动度尚可，但存在瓣叶增厚挛缩的患者，在延长瓣叶的同时往往需要进行交界的悬吊成行。

对 AS 患儿采用主动脉瓣缘延长术，使得心包片在瓣缘高度比原来增加 10%~15%，而宽度比原来增加 25%，三瓣的瓣缘能更高地在中点相遇，甚至与瓣交界在同样高度，以增加瓣叶的接触面积，减少瓣膜反流。瓣交界的悬吊固定结合要适当，避免过多的组织影响瓣膜开合^[18]。

瓣叶延长扩大术虽然相对简单，但是仍有较高的再手术率^[19]。

4.3.2 瓣叶置换及重建术 (IIb) 瓣叶置换手术最早由 Duran 等^[20] 提出，适用于瓣叶病变严重或者多瓣叶病变的复杂主动脉瓣病变患者。一般采用自体心包完全替代病变的主动脉瓣从而完成新主动脉瓣叶的再造重建，适用于难以修复的复杂主动脉瓣病变。包括单瓣叶或多瓣叶置换，本方法仅适用于瓣环及窦部发育尚好、不需同期行瓣环及窦部加宽的 AS 患儿。

4.4 Ross 手术 (IIa)

Ross 手术是将自体肺动脉瓣移植于主动脉瓣位置，缺失的肺动脉瓣则应用带瓣外管道来替代。术中建议采用针线比 1:1 的 hemoseal 缝线，以减少出血。该手术优势是新主动脉瓣可生长，不需要终生抗凝，在处理主动脉瓣疾病和复杂左心室流出道梗阻中有很大的优势，即可以同时进行 Konno 手术，扩大主动脉瓣环和狭窄的主动脉瓣。因此 Ross 手术在儿童等低龄 AS 患儿中有不可替代的作用，适用于瓣膜条件差、成形效果不佳、成形失败以及成形后需要再次干预的患儿。该术式在新生儿中的手术死亡率较高，应慎重选择。青少年 AS 患者行 Ross 手术可能因升主动脉扩张导致的主动脉瓣反流需要再次手术行瓣膜置换，但近年来已开始采用加固 Ross 手术技术降低再手术率。右心室外管道包括同种移植物，异种生物带瓣管道以及

Gore-Tex 带瓣管道。

4.5 人工瓣膜置换 (II b)

对于较大年龄的青少年,或者自体肺动脉存在病变不适合 Ross 手术或者 Ross 手术失败的患儿,则需要考虑人工瓣膜置换。机械瓣不可生长,存在终生抗凝引起的出血、抗凝不全引起血栓等问题;而生物瓣膜也面临着早期钙化、早期退化和结构失效的风险^[21]。因此在儿童病例中,建议机械瓣置换为主,效果更为持久。对于主动脉瓣环发育小和/或 AS 患儿,需要同时扩大主动脉瓣环,同期行 Konno 手术。

4.6 主动脉瓣环狭窄和/或窦部发育不良的手术纠治 (II a)

部分患儿同时伴有主动脉瓣环的狭窄和/或窦部发育不良,在进行瓣膜成形、Ross 术或者瓣膜置换的同时行主动脉瓣环的扩大以及窦部扩大成形。一般认为当存在以下情况时需进行主动脉瓣环的扩大:在人工瓣膜置换时,无法放入最小号的人工瓣膜;生长期儿童为避免成年后再次行心瓣膜置换;伴有左心室流出道梗阻行 Ross 手术,同时扩大主动脉瓣环;预计存在主动脉瓣环大小与体重不匹配,即瓣口有效面积/体表面积 $<0.85\text{ cm}^2/\text{m}^2$,需扩大主动脉瓣环。

传统的手术方法有 3 种: Nicks 术、Manougnian 术和 Konno 术^[22]。Konno 术可有效扩大狭窄的主动脉瓣环和左心室流出道^[23-24],完全性房室传导阻滞发生率较低,能提高手术的成功率,改善远期疗效,在儿童中应用较多。

4.7 心脏移植 (II b)

对于合并有严重心肌病变或者多发左心室流出道梗阻和主动脉弓病变手术效果不佳的患儿,需考虑心脏移植。

4.8 胎儿期干预 (III)

近年来胎儿心脏彩超的普及能更早地发现主动脉瓣狭窄,将干预的时间提早至胎儿期。通常在孕期 21~34 周,应用 15~20 cm 长的细针在超声引导下穿刺入胎盘,进入胎儿主动脉瓣,采用 2~4 mm 冠状动脉球囊来扩张。其治疗价值是可以促进左心室发育,增加出生后双心室手术的机会及改善远期预后,但是相关并发症的发生率较高^[25]。

5 近远期并发症及其影响因素

目前上述干预方式均可能发生相关并发症,甚至需要再干预。

先天性 AS 术前可能发生心律失常、心脏猝

死、体循环栓塞等,以及手术干预引起的并发症,如残余梗阻、术后主动脉瓣反流、冠状动脉及二尖瓣损伤等。定位准确、轻柔的球囊扩张有助于减少术后反流以及二尖瓣损伤的可能。各种手术方式均需重视冠状动脉的保护。

5.1 主动脉瓣球囊扩张术 (II b)

球囊扩张术是治疗中重度儿童先天性 AS 安全有效的姑息性手术,术后血流动力学、左心室形态及收缩和舒张功能均有明显改善,其术后近期并发症主要有心律失常、心力衰竭等。随着近年来医疗水平的提高、双球囊等技术的改进,早期死亡率明显降低。中远期并发症主要为残余狭窄和反流^[26],其中需再次干预率高达 50%~70%。

5.2 主动脉瓣外科交界切开成形术 (II b)

直视下主动脉瓣外科交界切开成形术具有经皮球囊扩张术所不具备的操作精确性,可以有效避免球囊扩张导致的瓣叶撕裂和医源性主动脉瓣反流。即使这样,其 5 年再手术率仍然高达 10% 以上^[13]。其中远期并发症仍为残余狭窄和反流,术前瓣叶病变程度与预后密切相关,单个瓣膜的简单病变,10 年内出现残余狭窄或反流约为 10%~20%。对于复杂病变或累及多个瓣叶者,10 年内 1/3 以上患者需再手术。低年龄、二叶式主动脉瓣被认为是主动脉瓣交界切开术后干预的危险因素^[27]。

5.3 瓣叶置换及重建术 (II b)

自体心包主动脉瓣叶置换重建术是近年来较为关注的主动脉瓣成形方法,以 Ozaki 技术为代表,起初多应用于成人主动脉瓣病变,早期随访结果良好^[28-29],但缺乏儿童及小婴儿应用及长期随访资料。国内也开展了这项技术,对主动脉瓣严重病变或累及多瓣叶者进行瓣叶三瓣化修复^[30],取得了良好的效果,但是随访时间短,需要进一步评估新主动脉瓣功能。

5.4 Ross 手术 (II a)

Ross 手术对于儿童优势明显,但是操作复杂,技术要求高,风险较高^[31],手术死亡率为 4.2%,远期随访 20 年的生存率为 85%~90%^[32]。近年来随着手术技术的成熟应用,早期死亡率进一步降低。中远期并发症主要有新主动脉瓣根部扩张反流和右心室流出道外管道衰败,是再次手术的主要原因。外管道材料的更新将有助于降低 Ross 术后再干预率。其它远期并发症还包括血栓栓塞、出血和心内膜炎,但发生率较人工瓣膜置换术低。儿童 Ross 手术的中远期生存率仍优于机械瓣和生物瓣置换,可以作为儿童主动脉病变的治疗选择^[33]。

5.5 机械瓣置换术 (IIb)

对于小儿主动脉瓣病变,机械瓣由于其不可生长性和抗凝相关并发症,在低龄儿童中应用明显受限。其早期并发症主要为心功能不全,手术死亡率为 2%~13%,15 年生存率为 75%~88%。低年龄、低体重、左心室功能不全、合并复杂畸形是死亡相关的危险因素。有研究^[34]发现心功能状态、体外循环时间和主动脉阻断时间是影响机械瓣膜置换手术疗效的重要因素。人工瓣膜置换术^[35]中远期由于终生抗凝而存在出血、血栓栓塞、感染性心内膜炎等问题,一般作为成形手术失败、成形术后残余/复发狭窄或反流、Ross 术后新主动脉瓣衰败等情况下采取的手术方式。

6 小结

儿童 AS 是一个终生问题,所有术式均可认为是姑息手术。适度的缓解狭窄、促进患儿生长发育是手术最主要的目的。近年来外科主动脉瓣膜修复技术的发展和成熟应用,可有效延缓人工瓣膜置换时间,但部分患儿最终需要人工瓣膜置换,中远期并发症、生存率和再干预率值得关注。

主笔专家: 贾兵 (复旦大学附属儿科医院心胸外科)、张惠锋 (复旦大学附属儿科医院心胸外科)、王坤 (复旦大学附属儿科医院心胸外科)

审稿专家: 杨一峰 (中南大学湘雅二医院)、岑坚正 (广东省人民医院)

临床问题提出专家及讨论专家 (按姓氏拼音排序): 安琪 (四川大学华西医院)、曹华 (福建省妇幼保健院)、岑坚正 (广东省人民医院)、陈寄梅 (广东省人民医院)、陈良万 (福建医科大学附属协和医院)、陈瑞 (青岛市妇女儿童医院)、陈欣欣 (广州市妇女儿童医疗中心)、崔虎军 (广东省人民医院)、丁以群 (深圳市儿童医院)、董念国 (华中科技大学同济医学院附属协和医院)、赁可 (四川大学华西医院)、杜心灵 (华中科技大学同济医学院附属协和医院)、范太兵 (华中阜外医院)、顾海涛 (江苏省人民医院)、花中东 (中国医学科学院阜外医院)、黄鹏 (湖南省儿童医院)、贾兵 (复旦大学附属儿科医院)、李建华 (浙江大学医学院附属儿童医院)、李守军 (中国医学科学院阜外医院)、李晓峰 (首都医科大学附属北京儿童医院)、李炘 (苏州大学附属儿童医院)、罗毅 (首都儿科研究所附属儿童医院)、明腾 (江西省儿童医院)、莫绪明 (南京医科大学附属儿童医院)、彭帮田 (华中阜外医院)、孙国成 (空军军医大学西京医院)、王辉山 (中国人民解放军北部战区总医院)、吴忠仕 (中南大学湘雅二医院)、闫军 (中国医学科学院阜外医院)、杨克明 (中国医学科学院阜外医院)、杨一峰 (中南大学湘雅二医院)、张本青 (中国医学科学院阜外医院)、张海波 (上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心)、张浩 (上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心)、张辉 (首都儿科研究所附属儿童医院)、张近宝 (中国人民解放军西部战区总医院)、张泽伟 (浙江大学医学院附属儿童医院)、郑景浩 (上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心)、祝忠群 (上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心)、周诚 (华中科技大学同济医学院附属协和医院)

院)、吴忠仕 (中南大学湘雅二医院)、闫军 (中国医学科学院阜外医院)、杨克明 (中国医学科学院阜外医院)、杨一峰 (中南大学湘雅二医院)、张本青 (中国医学科学院阜外医院)、张海波 (上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心)、张浩 (上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心)、张辉 (首都儿科研究所附属儿童医院)、张近宝 (中国人民解放军西部战区总医院)、张泽伟 (浙江大学医学院附属儿童医院)、郑景浩 (上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心)、祝忠群 (上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心)、周诚 (华中科技大学同济医学院附属协和医院)

参考文献

- 1 van der Linde D, Konings EE, Slager MA, *et al.* Birth prevalence of congenital heart disease worldwide: a systematic review and meta-analysis. *J Am Coll Cardiol*, 2011, 58(21): 2241-2247.
- 2 Maher KO, Tweddell JS. Aortic and mitral valve disease and left ventricular dysfunction in children. *Pediatr Crit Care Med*, 2016, 17(8 Suppl 1): S131-S139.
- 3 张善通, 陈张根, 贾兵, 等, 主编. 小儿胸心外科学. 上海科学技术文献出版社, 2017. 349-355.
- 4 Wang K, Jia B. Progress of surgical treatment for aortic valve diseases in children. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi*, 2018, 56(6): 414-417.
- 5 杨思源, 主编. 小儿心脏病学. 北京: 人民卫生出版社, 2005. 214-216.
- 6 黄萍, 王宏伟, 李艳萍, 等. 儿童先天性主动脉瓣畸形 32 例病理组织学特征. *中国循证儿科杂志*, 2006, 1(2): 130-133.
- 7 Rick AN, Catherine MO, Robert OB, *et al.* 2014 AHA/ACC guideline for the management of patients with valvular heart disease: Executive summary a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Circulation*, 2014, 129: 2440-2492.
- 8 许迪. 主动脉瓣狭窄程度的超声评估及分级. 厦门: 2018 海峡两岸医药卫生交流与合作会议暨第十届海峡两岸超声医学高端论坛论文集. 2018. 17-41.
- 9 Atik SU, Eroğlu AG, Çınar B, *et al.* Comparison of balloon dilatation and surgical valvuloplasty in non-critical congenital aortic valvular stenosis at long-term follow-up. *Pediatr Cardiol*, 2018, 39(8): 1554-1560.
- 10 朱鲜阳, 李奋. 常见先天性心脏病介入治疗中国专家共识 (四): 经皮球囊肺动脉瓣与主动脉瓣成形术. *介入放射学杂志*, 2011, 20(4): 253-260.
- 11 解启莲. 2006 美国心脏病学会/美国心脏协会心脏瓣膜病治疗指南有关儿童先天性心脏瓣膜疾病处理纲要. *实用儿科临床杂志*, 2008, 23(1): 73-75.
- 12 陈丽君, 张玉奇. 超声心动图评估单心室患儿心功能的新进展. *医学影像学杂志*, 2009, 19(3): 359-361.
- 13 Kalangos A, Myers PO. Aortic cusp extension for surgical correction of rheumatic aortic valve insufficiency in children. *World J Pediatr Congenit Heart Surg*, 2013, 4(4): 385-391.
- 14 Hraška V, Sinzobahamvya N, Haun C, *et al.* The long-term outcome of open valvotomy for critical aortic stenosis in neonates. *Ann Thorac Surg*, 2012, 94(5): 1519-1526.
- 15 Vergnat M, Asfour B, Arenz C, *et al.* Contemporary results of

- aortic valve repair for congenital disease: lessons for management and staged strategy. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2017, 52(3): 581-587.
- 16 Torres A, Vincent JA, Everett A, *et al*. Balloon valvuloplasty for congenital aortic stenosis: Multi-center safety and efficacy outcome assessment. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2015, 86(5): 808-820.
- 17 Al Marshafawy H, Al Sawah GA, Hafez M, *et al*. Balloon valvuloplasty of aortic valve stenosis in childhood: midterm results in a Children's Hospital, Mansoura University, Egypt. *Clin Med Insights Cardiol*, 2012, 6: 57-64.
- 18 郑景浩, 徐志伟, 刘锦纷, 等. 儿童主动脉瓣整形术的临床疗效. *上海交通大学学报 (医学版)*, 2011, 31(9): 1254-1257.
- 19 Polimenakos AC, Sathanandam S, Elzein C, *et al*. Aortic cusp extension valvuloplasty with or without tricuspidization in children and adolescents: long-term results and freedom from aortic valve replacement. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2010, 139(4): 933-941.
- 20 Duran CM, Gallo R, Kumar N. Aortic valve replacement with autologous pericardium: surgical technique. *J Card Surg*, 1995, 10(1): 1-9.
- 21 David TE. Aortic valve replacement in children and young adults. *J Am Coll Cardiol*, 2016, 67(24): 2871-2873.
- 22 杨建, 张尔永, 肖锡俊, 等. 主动脉瓣环扩大成形在双瓣膜置换术中的应用. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2005, 12(4): 303-304.
- 23 杨建, 安琪, 张尔永, 等. 主动脉根部扩大技术在主动脉瓣置换术中的应用. *中华胸心血管外科杂志*, 2008, 24(4): 275-276.
- 24 陈奇梅, 张镜芳, 吴若彬, 等. 瓣环扩大在儿童主动脉瓣膜置换术中的应用. *中华小儿外科杂志*, 2007, 28(4): 181-183.
- 25 Kovacevic A, Öhman A, Tulzer G, *et al*. Fetal hemodynamic response to aortic valvuloplasty and postnatal outcome: a European multicenter study. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2018, 52(2): 221-229.
- 26 吴琳, 齐春华, 何岚, 等. 经皮球囊瓣膜成形术治疗儿童主动脉瓣狭窄的临床疗效观察. *中华儿科杂志*, 2014, 52(9): 699-702.
- 27 Ridley C, Sohmer B, Vallabhajosyula P, *et al*. Aortic leaflet billowing as a risk factor for repair failure after aortic valve repair. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2017, 31(3): 1001-1006.
- 28 Mourad F, Shehada SE, Lubarski J, *et al*. Aortic valve construction using pericardial tissue: short-term single-centre outcomes. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2019, 28(2): 183-190.
- 29 Hosseinpour AR, Adsuar-Gómez A, González-Calle A, *et al*. Follow-up of a simple method for aortic valve reconstruction with fixed pericardium in children. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2017, 25(6): 983-984.
- 30 单亚平, 贾兵, 张惠锋, 等. 自体心包修复儿童主动脉瓣狭窄9例病例系列报告. *中国循证儿科杂志*, 2017, 12(4): 268-272.
- 31 李温斌, 张建群, 王胜洵, 等. Ross手术的临床应用. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2003, 10(2): 111-113.
- 32 Takkenberg JJ, Klieverik LM, Schoof PH, *et al*. The Ross procedure: a systematic review and meta-analysis. *Circulation*, 2009, 119(2): 222-228.
- 33 Zimmermann C, Attenhofer Jost C, Prêtre R, *et al*. Mid-term outcome of 100 consecutive ross procedures: excellent survival, but yet to be a cure. *Pediatr Cardiol*, 2018, 39(3): 595-603.
- 34 褚恒, 唐杨烽, 徐志云, 等. 儿童主动脉瓣置换术近远期疗效分析. *国际心血管病杂志*, 2017, 44(4): 236-240.
- 35 张芑, 郭少先, 沈向东, 等. 先天性主动脉瓣膜狭窄患儿行直视下主动脉瓣交界切开术的早中期结果. *中国分子心脏病学杂志*, 2013, 13(3): 529-531.

收稿日期: 2019-12-04 修回日期: 2020-01-09

本文编辑: 刘雪梅