

• 综 述 •

## 主动脉瓣成形术治疗主动脉瓣关闭不全的研究进展\*

赵勇杰<sup>1</sup>, 马宪鲁<sup>2</sup>, 石亚飞<sup>2</sup>, 张培喜<sup>2△</sup>

(1. 济宁医学院临床医学院, 山东 济宁 272013; 2. 济宁市第一人民医院心脏大血管外科, 山东 济宁 272011)

**[摘要]** 主动脉瓣关闭不全(AI)是一种常见的心脏瓣膜病, 外科手术治疗作为常用的诊疗手段。过去主动脉瓣置换术一直是 AI 的常用手术方式。近年来, 随着手术诊疗技术的逐步提高, 主动脉瓣成形术(AVP)的应用逐渐增多并取得良好的手术效果。该文通过对主动脉瓣的解剖和生理功能、AI 的病理生理及其手术指征进行详细的描述, 就 AVP 治疗 AI 的研究进展进行综述。

**[关键词]** 主动脉瓣关闭不全; 主动脉瓣成形术; 外科治疗; 综述

**DOI:** 10.3969/j.issn.1009-5519.2025.01.044 **中图法分类号:** R542.5<sup>+2</sup>

**文章编号:** 1009-5519(2025)01-0205-05 **文献标识码:** A

## Research progress of aortic valvuloplasty in the treatment of aortic insufficiency\*

ZHAO Yongjie<sup>1</sup>, MA Xianlu<sup>2</sup>, SHI Yafei<sup>2</sup>, ZHANG Peixi<sup>2△</sup>

(1. School of Clinical Medicine, Jining Medical University, Jining, Shandong 272013, China; 2. Department of Cardiovascular Surgery Jining NO. 1 People's Hospital, Jining, Shandong 272011, China)

**[Abstract]** Aortic insufficiency(AI) is a common valvular heart disease, and surgical treatment is commonly used in diagnosis and treatment. Aortic valve replacement has been a common surgical procedure for AI in the past. In recent years, with the gradual improvement of surgical diagnosis and treatment techniques, the application of aortic valvuloplasty(AVP) has gradually increased and achieved good surgical results. This article reviewed the research progress of AVP in the treatment of AI by describing the anatomy and physiological function of the aortic valve, the pathophysiology of AI and its surgical indications in detail.

**[Key words]** Aortic insufficiency; Aortic valvuloplasty; Surgical treatment; Review

主动脉瓣关闭不全(AI)是指心脏舒张期主动脉内的血液经病变的主动脉瓣(AV)反流入左心室, 是一种常见的心脏瓣膜病变, 约占瓣膜外科手术的 25%<sup>[1]</sup>。AI 可通过多种方法治疗, 如成形术、置换术或矫正主动脉根部或升主动脉结构。根据不同患者的不同情况, 可以使用综合的手术方法来治疗 AI。虽然主动脉瓣置换术(AVR)仍然是 AI 最主要的治疗方法, 并且随着医学技术的提高, 胸腔镜下 AVR、经股动脉导管 AVR 及经心尖导管 AVR 等微创介入技术越来越多地应用在 AI 的外科治疗中。但是对于年轻患者来说, 主动脉瓣成形术(AVP)的应用也越来越多, 因为自体瓣膜无须终生抗凝, 并且降低生物瓣膜的衰败发生率, 但其对技术的手术要求相对较高。此外, 与假体瓣膜相比, 自体瓣膜修复治疗理论上可延缓瓣膜变性, 这对有 AVR 史、出血风险高和需要反复

手术的年轻患者尤为重要<sup>[2]</sup>。

本文将从 AV 的解剖和生理功能、AI 的病理生理学表现、手术指征等方面对 AI 进行描述, 同时对成形术的选择、成形术和置换术的结局及 AVP 后对患者的评估等角度进行综述。

### 1 主动脉根部和 AV 的解剖结构

主动脉根部不仅是心脏解剖结构的中心, 还连接了左心室和升主动脉, 主动脉根部边界在解剖学上的定义指的是来自心室的壁层组织向血管壁纤维组织移行的位置<sup>[3]</sup>。在主动脉根部, 纤维环形成了主动脉瓣叶附着的纤维骨架。每一个主动脉瓣叶远侧段分别形成了一个主动脉壁的膨大, 称为 Valsalva 窦, 每一个窦主要由主动脉壁组织构成, 其根部逐渐缩窄, 在窦管交界(STJ)处与主动脉直径一致, 此处常有一脊状凸起, 是主动脉根部的末端和升主动脉的起

\* 基金项目: 济宁市重点研发计划项目(2023YXNS194)。

△ 通信作者, E-mail: zhangpeixi@163.com。

始<sup>[4]</sup>。正常的 AV 是由 3 个半月形的主动脉瓣叶组成的,3 个瓣叶在彼此交界处分离,其中无冠瓣是最大的,右冠瓣次之,左冠瓣最小,每个主动脉窦和它相对的 AV 同名,在左冠窦和右冠窦内部分别为左、右冠状动脉的开口。

SUBRAMANIAN 等<sup>[5]</sup>通过解剖尸体标本,得出主动脉瓣环处的平均内径为 $(23.4 \pm 1.2)$ mm,窦部的平均内径为 $(22.4 \pm 1.7)$ mm,STJ 处的平均内径为 $(18.9 \pm 0.9)$ mm。CAPPS 等<sup>[6]</sup>研究发现,成年男性主动脉内径的平均值为 $(23.1 \pm 2.0)$ mm,而成年女性主动脉内径的平均值为 $(21.0 \pm 1.8)$ mm,AV 的面积则与性别无关,相对于体表面积约为 $(2.02 \pm 0.52)$ cm/m<sup>2</sup>,主动脉窦部的内径相对于体表面积其最大值为 2.1 cm/m<sup>2</sup>。

## 2 AV 的生理功能

AV 的主要作用是确保动脉血从左心室到升动脉的单向血流,当血流通过主动脉根部时,AV 关闭以阻止血液反流,随后左心室和主动脉根部之间的血压差可引起 AV 的开放,随着瓣膜的开放,血液通过 AV 进入升主动脉<sup>[7]</sup>。血流通过主动脉根部流向 STJ 的隆起处,沿管壁最后回至中心血流,这样可确保主动脉瓣叶不被挤压在主动脉管壁上<sup>[8]</sup>。主动脉瓣叶和主动脉窦分离有 2 个优点:一是避免堵塞冠状动脉开口;二是有足够的空间以保证心脏由收缩期向舒张期过渡时瓣膜两侧的压力差,进而引起瓣膜的关闭。主动脉瓣叶和窦壁的分离合可以血液自由通过,然后再紧密闭合以阻止血液反流。因此,主动脉根部的每一部分的形状和尺寸都能对通过主动脉根部的血流起到调控作用,同时对瓣膜功能也起决定性作用<sup>[9]</sup>。

## 3 AI 的病理生理学分类及病理基础

AI 指的是心脏舒张期发生的血液反流,这种现象的产生主要是因为主动脉瓣叶对合不良阻止了在压力梯度下的前向血流,最终通过主动脉根部反流入左心室。临床上可以根据其性质和反流量对 AI 进行分级。在反流量方面,通过超声测量血液反流入左心室的高度进行分级。测量值 $<25\%$ 为轻度反流;测量值为 $25\% \sim <47\%$ ,为中度反流;测量值为 $47\% \sim <65\%$ 为中重度反流;测量值 $\geq 65\%$ 为重度反流<sup>[10]</sup>。

AI 导致的一系列异常可能会影响自身瓣膜的功能。LANSAC 等<sup>[11]</sup>通过 AI 的喷射方式决定了其类型:中心性喷射为 I 型,偏心性喷射为 II 型。I 型可再分为仅 STJ 膨大的 Ia 型及 STJ 和另一维度主动脉管束膨大的 Ib 型;II 型病变可再分为瓣口脱垂的 IIa 型,瓣口回缩的 IIb 型及瓣口穿孔的 IIc 型。DE KERCHOVE 等<sup>[12]</sup>通过主动脉瓣口活动性分型为:I 型为活动正常,II 型为脱垂型,III 型为活动受限型。

I 型可再分为 Ia(STJ 和升主动脉扩张)、Ib(Val-salva 窦和 STJ 膨大)、Ic(主动脉-心室连接处扩张)和 Id(瓣口穿孔)4 种类型。

引起 AI 的原因分为慢性改变及急性改变,无论何种原因,瓣口接合良好对保证瓣膜的代偿作用是必需的。慢性 AI 的病变发生后,为维持充足的心输出量,心脏出现代偿性左心室扩张和偏心性肥大。主动脉扩张、先天性 AV 缺损、系统性高血压、黏液瘤样变性、升主动脉解剖异常及马凡综合征等多原因均可造成 AI<sup>[13]</sup>。其他少见原因包括创伤导致的 AV、强直性脊柱炎、梅毒性主动脉炎、风湿性关节炎、成骨不全症、巨细胞主动脉炎、Ehlers-Danlos 综合征、Reiter 综合征、分散性主动脉瓣下缩窄和室间隔缺损合并主动脉瓣口脱垂等<sup>[14]</sup>。急性改变导致的 AI 发生时,心脏来不及产生代偿性的生理学变化,这样的情况下会发生急性且严重的反流、舒张期左心室压力急剧升高及心输出量降低,引起 AI 急性改变的原因包括感染性心内膜炎、创伤及主动脉夹层等<sup>[15]</sup>。

## 4 AI 的手术指征

AI 会导致射血分数逐渐下降,此时需要及时修正,AV 的修复指征需要使用超声心动图检查 AV 的当前状况、AI 的严重程度及主动脉反流情况<sup>[16]</sup>。压力性超声心动图检查用于患者的术前及预后评估<sup>[17]</sup>。值得注意的是,直到心室功能出现障碍再进行瓣膜置换术可能会导致心血管疾病发生率和死亡率升高<sup>[18]</sup>。当病变瓣膜需要处理时,需根据病变的严重程度决定手术方式。AVR 中置换的瓣膜包括机械瓣膜和生物瓣膜 2 种。对机械瓣膜来说,术后需要长期服用抗凝药物,因为出血风险大,抗凝治疗限制了患者的活动,并且妊娠期女性禁忌使用抗凝药物,因此想要生育的育龄期妇女不可使用机械瓣膜<sup>[19]</sup>。抗凝治疗过程中需要持续监测国际标准化比率,这可能为许多患者带来不便。

AVP 相对 AVR 有许多优势,主要的优势在于 AVP 后无须进行长期的抗凝治疗。尽管临床研究还未证明,相对于生物置换瓣膜来说,修复原始瓣膜的生理解剖结构可降低瓣膜变性发生率<sup>[20]</sup>。对预期寿命要求长、要求活动性多的生活方式或有生育要求的年轻患者,瓣膜成形术有更多优点<sup>[19]</sup>。受限于瓣膜解剖结构和术者的经验,有些成形术并不可行。在这种状况下,接受常规 AVP,其结局应与 AVR 的“金标准”进行比较。DE MEESTER 等<sup>[21]</sup>利用倾向性评分匹配法比较了单纯 AVP 与 AVR 的远期结果,研究表明患者 9 年生存率 AVP 组优于 AVR 组。另外,马金磊等<sup>[22]</sup>在常规因 AI 接受 AVP 或 AVR 治疗的研究中表明,与 AVR 相比,AVP 治疗 AI 具有良好的近期

手术效果。同时,国外的注册研究,也为 AVP 具有良好的手术效果提供了循证依据<sup>[23]</sup>。

## 5 AVP 手术方式的选择

AVP 可以大致分为瓣膜后成形(I a、I b 和 I c 型)和瓣膜成形(I d、II 和 III 型)。瓣膜成形术的选择取决于患者的瓣膜解剖学基础<sup>[4]</sup>。

I 型 AVP 使瓣膜恢复正常瓣口活动。AI 的发生可能是主动脉根部的扩张导致的,在 I a 到 I c 型 AI 中,恢复主动脉根部的特性可达到血流动力学和瓣口接合正常。I a 型 AVP 可使未接合的瓣叶恢复正常状态,包括在 STJ 水平或更高处的升主动脉替换,同时重塑 STJ<sup>[24]</sup>。一些 I a 型 AI 患者在 STJ 重塑后仍存在 AI,这时需要接合处下瓣膜成形术(SCA)或接合处下瓣环植入<sup>[25]</sup>。I b 型 AVP 适用于整个主动脉根部、升主动脉和 STJ 扩张等,在这种情况下,有多种机制造成 AI,手术方式也更复杂,需要考虑主动脉根部和心室-主动脉接合处的情况,可使用 DAVID 等<sup>[26]</sup>提出的瓣膜根部再植入,或 SARSAM 等<sup>[27]</sup>提出的主动脉窦重塑和 SCA。无论心室-主动脉接合处扩张程度如何,都可使用 DAVID 等<sup>[26]</sup>提出的瓣膜根部再植入术,采用 2-0 瓣膜缝线来稳定心室-主动脉接合并缩小小叶间三角形交界的宽度。DAVID 等<sup>[28]</sup>报道瓣膜根部再植入手术 12 年后免于再手术率为 97%,手术效果较好。SARSAM 等<sup>[27]</sup>提出的主动脉窦重塑更适用于 STJ 扩张同时伴有冠状动脉窦口扩张,可采用直径合适的涤纶织物主动脉人工血管,或在 STJ 处进行折叠缝合。此时可能对瓣叶有一定程度的牵拉,而心室-主动脉接合处不扩张。I d 型 AI 发生时需要对瓣膜结构直接进行修复,可以选择直接缝闭或使用自体心包补片修补穿孔瓣叶,瓣口组织缺失时可增加心包补片的使用,瓣叶缺失处可用经戊二醛固定的自体心包组织填补<sup>[2]</sup>。II 型 AVP 主要纠正瓣口脱垂,大多三叶瓣膜的脱垂多由瓣口游离缘活动幅度大导致的病变造成,瓣口游离缘偏离正常接合水平会造成经瓣膜的反流,为了纠正这一缺陷,需要对瓣口行成形术以确保瓣叶在合适的高度接合,维持瓣膜的正常功能<sup>[29]</sup>。修复 II 型 AI 的方法有 AV 叶中央折叠法、主动脉瓣叶悬吊法、主动脉瓣叶三角形切除法、心包补片法及 SCA 等。折叠术用于瓣口脱垂的修复,特别适用于瓣口活动功能良好的患者,该方法通常需要对脱垂瓣口或整个瓣口进行测量,折叠缝合瓣口多余的组织,通过折叠多余组织并使用 6-0 的 polylen 线恰当缝合,减小瓣口的有效尺寸从而预防脱垂发生<sup>[30]</sup>。AICHER 等<sup>[31]</sup>报道了 275 例因 AV 脱垂行 AV 游离缘中央折叠术,术后 5 年免于 AV 复发 II 级及以上反流率为 92%,5 年免于再手术率为 95%,手术效果令

人满意。AV 悬吊法需要应用聚四氟乙烯缝线沿瓣口游离缘连续缝合,通过缝合臂缩短瓣口,达到合适的位置后锁定,尤其适用于瓣口游离缘质地脆或对称性三叶脱垂的患者<sup>[32]</sup>。三角切除有相似的原理,切除多余瓣口组织后缝合新的游离缘,此方法适用于有或没有心包补片扩大的患者。III 型 AVP 用于瓣口活动受限的患者,此方法主要在于恢复瓣口的活动性,包括在病变处切除多余的纤维化组织、对瓣口进行脱钙处理、切除多余组织和使用心包补片等<sup>[33]</sup>。通过去钙化、瓣叶削薄处理,使瓣叶获得足够的几何高度,可达到满意的远期修复效果<sup>[23]</sup>。

## 6 AVP 的结局

AVP 的结局应与标准的 AVR 结局相比较。对 AVP 的评估时,应将重心放在关于栓塞、出血时间、心内膜炎的发生、瓣膜变性的发生率、AI 的复发及对后续 AV 手术的需求等方面,所有类型成形术的栓塞事件发生率约为 1.1%<sup>[34]</sup>。在未使用抗凝剂的情况下,AVP 和使用生物假体的置换术结局相似<sup>[35]</sup>。在 5 年的随访中,AVP 后心内膜炎的发生率为 0.6%,使用生物假体的置换术后心内膜炎发生率较前者升高 1.1%~2.3%<sup>[36]</sup>。

AVP 后的持久性是重要的指标,这为未来的手术决策提供了依据。需要强调的是,术后的持久性与术者的经验和术前瓣膜的解剖状况有关。WENSTRUP 等<sup>[37]</sup>提出 80% 的先天性 AV 畸形病变的患者可通过修复或成形的治疗方式治疗其 AI。MIYAHARA 等<sup>[38]</sup>报道,对 90% 以上的非狭窄性 AV 二叶畸形患者,可以行 AVP 治疗,术后随访 18 年时免于再手术患者超过 70%,因而他们认为 AVP 的治疗效果优于 AVR。也有报道显示 AVP 后瓣膜的耐久性达到并超过 20 年<sup>[39]</sup>。DELLGREN 等<sup>[40]</sup>对 758 例患者研究指出,在平均 5 年的随访时间内,AVP 后需要再次手术的 AI 发生率为 9.7%,术后 5 年和 10 年免于再次手术的发生率分别为 75% 和 55%。用经导管的超声心动图对病变进行分级,其分级与手术探查和术后瓣膜可修复率的结局呈正比<sup>[41]</sup>。AI 复发的危险因素包括缝线裂开、心内膜炎、与成形术有关的疾病进展和 III 型 AI 瓣口活动受限等<sup>[42]</sup>。MINAKATA 等<sup>[43]</sup>评估了 160 例患者接受 AVP 的效果,随访表明 AVP 后的死亡率和发病率都很低,术后 3、5 年和 7 年需要再次 AVR 的发生率分别为 9%、11% 和 15%。

无效的 AVP 不仅可能导致 AV 反流再次发生,而且会导致 AV 发生进展性狭窄<sup>[44]</sup>。患者是否可进行 AVP 需要考虑两方面因素:瓣膜的解剖情况和患者的年龄,前者在 AVP 的结局中有更重要的影响<sup>[45]</sup>。同时研究发现,活动受限的钙化瓣膜口或有缺



损的瓣膜口不能进行 AVP<sup>[46]</sup>。

## 7 结 论

AVP 治疗 AI 的主要目的在于恢复主动脉根部的正常结构和 AV 的功能,避免机械瓣膜或生物瓣膜置换术带来的不良影响。随着业内学者对主动脉根部的解剖学形态及 AV 的生理病理学特征的理解逐渐深入,AVP 被更多的心外科医师所接受。

目前,与 AVR 结局相比,AVP 是较安全并可行的手术方式,多个大样本研究中心与临床应用提供的随访结果也证明了 AVP 具有良好的早中期临床结局。但因术者经验少、进行成形患者数量有限等原因限制了 AVP 开展,也缺乏与 AVR 的多中心随机对照研究,以至于 AVP 远期临床效果尚不确切。因此,需要投入更多的精力进行 AVP 远期的临床随访研究,从而使更多的 AI 患者受益。

## 参考文献

- [1] DANIAL P, GIRDAUSKAS E, AISSANI A, et al. Outcomes of surgical bioprosthetic aortic valve replacement for aortic insufficiency[J]. Arch Cardiovasc Dis, 2022, 115(11):588-597.
- [2] YOUSSEFI P, EL-HAMAMSY I, LANSAC E. Rationale for aortic annuloplasty to standardise aortic valve repair [J]. Ann Cardiothorac Surg, 2019, 8(3):322-330.
- [3] MAZINE A, CHU M W A, EL-HAMAMSY I, et al. Valve-sparing aortic root replacement; a primer for cardiologists[J]. Curr Opin Cardiol, 2022, 37(2):156-164.
- [4] AL-ATASSI T, BOODHWANI M. Aortic valve insufficiency in aortic root aneurysms: consider every valve for repair[J]. J Vis Surg, 2018, 4:60.
- [5] SUBRAMANIAN S, BORGER M A. Aortic valve reconstruction; current status[J]. Herz, 2010, 35(2):88-93.
- [6] CAPPS S B, ELKINS R C, FRONK D M. Body surface area as a predictor of aortic and pulmonary valve diameter [J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2000, 119(5):975-982.
- [7] KAISER A D, SHAD R, HIESINGER W, et al. A design-based model of the aortic valve for fluid-structure interaction[J]. Biomech Model Mechanobiol, 2021, 20(6):2413-2435.
- [8] FAURE E, BERTRAND E, GASTÉ A, et al. Side-dependent effect in the response of valve endothelial cells to bidirectional shear stress[J]. Int J Cardiol, 2021, 323:220-228.
- [9] VOGL B J, DARESTANI Y M, LILLY S M, et al. Impact of blood pressure on coronary perfusion and valvular hemodynamics after aortic valve replacement[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2022, 99(4):1214-1224.
- [10] 郑育聪, 陆敏杰, 尹刚, 等. 心血管 MRT-1 mapping/iECV 定量分析在主动脉瓣关闭不全评价中的价值[J]. 中华放射学杂志, 2021, 55(3):269-275.
- [11] LANSAC E, DI CENTA I, RAOUX F, et al. A lesional classification to standardize surgical management of aortic insufficiency towards valve repair[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2008, 33(5):872-878; discussion 878-80.
- [12] DE KERCHOVE L, GLINEUR D, PONCELET A, et al. Repair of aortic leaflet prolapse; a ten-year experience [J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2008, 34(4):785-791.
- [13] SALEM R, ZIERER A, KARIMIAN-TABRIZI A, et al. Aortic valve repair for aortic insufficiency or dilatation: technical evolution and long-term outcomes [J]. Ann Thorac Surg, 2020, 110(6):1967-1973.
- [14] KUNIHARA T. Aortic valve repair for aortic regurgitation and preoperative echocardiographic assessment[J]. J Med Ultrason(2001), 2019, 46(1):51-62.
- [15] NG V G, KHALIQUE O K, NAZIF T, et al. Treatment of acute aortic insufficiency with a dedicated device[J]. JACC Case Rep, 2021, 3(4):645-649.
- [16] GUO M H, BOODHWANI M. Aortic valve repair: from concept to future targets[J]. Semin Thorac Cardiovasc Surg, 2019, 31(4):650-655.
- [17] KHVAN D S, SIROTA D A, ZHUL' KOV M O, et al. Remote results of florida sleeve technique in patients with ascending aortic aneurysms and aortic insufficiency[J]. Angiol Sosud Khir, 2020, 26(4):108-118.
- [18] IMAMURA T, NARANG N, KIM G, et al. Aortic insufficiency during heartmate 3 left ventricular assist device support[J]. J Card Fail, 2020, 26(10):863-869.
- [19] CHAKRAVARTY T, PATEL A, KAPADIA S, et al. Anticoagulation after surgical or transcatheter bioprosthetic aortic valve replacement [J]. J Am Coll Cardiol, 2019, 74(9):1190-1200.
- [20] FU B, LIU X K, WEI R S, et al. Bovine pericardial versus porcine stented replacement mitral valves; early hemodynamic performance and clinical results of a randomized comparison of the perimount and the mosaic valves[J]. J Thorac Dis, 2021, 13(1):262-269.
- [21] DE MEESTER C, PASQUET A, GERBER B L, et al. Valve repair improves the outcome of surgery for chronic severe aortic regurgitation: a propensity score analysis [J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2014, 148(5):1913-1920.
- [22] 马金磊, 徐高俊, 张崇, 等. 主动脉瓣成形术在主动脉瓣关闭不全外科治疗中的近期效果分析[J]. 中国心血管病研究, 2022, 20(4):323-328.
- [23] SCHNEIDER U, HOFMANN C, SCHÖPE J, et al. Long-term results of differentiated anatomic reconstruction of bicuspid aortic valves [J]. JAMA Cardiol, 2020, 5(12):1366-1373.
- [24] JAWITZ O K, RAMAN V, ANAND J, et al. Aortic valve repair with a newly approved geometric annuloplasty ring

- in patients undergoing proximal aortic repair; early results from a single-centre experience [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2020, 57(6): 1137-1144.
- [25] BENHASSEN L L, HEDENSTED J H, SH-ARGHBIN M, et al. Altered stresses and dynamics after single and double annuloplasty ring for aortic valve repair [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2020, 57(6): 1210-1217.
- [26] DAVID T E, FEINDEL C M. An aortic valve-sparing operation for patients with aortic incompetence and aneurysm of the ascending aorta [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1992, 103(4): 617-621.
- [27] SARSAM M A, YACOUB M. Remodeling of the aortic valve annulus [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1993, 105(3): 435-438.
- [28] DAVID T E, MAGANTI M J A, ARMSTRONG S. Aortic root aneurysm: principles of repair and long-term follow-up [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2010, 140(6 Suppl): S14-S19.
- [29] TABRIZI N S, STOUT P, RICHVALSKY T, et al. Aortic valve repair using HAART 300 geometric annuloplasty ring; a review and echocardiographic case series [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2022, 36(11): 3990-3998.
- [30] JAHANYAR J, APHRAM G, MUNOZ D E, et al. Congenital unicuspid aortic valve repair without cusp patch augmentation [J]. *J Card Surg*, 2022, 37(8): 2477-2480.
- [31] AICHER D, LANGER F, ADAM O, et al. Cusp repair in aortic valve reconstruction: does the technique affect stability? [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2007, 134(6): 1533-1538.
- [32] RATHORE K. Aortic valve repair as a subspecialty: still an institutional practice or open for all? [J]. *Braz J Cardiovasc Surg*, 2022, 37(5): 769-775.
- [33] 李岩, 付金涛, 焦玉清, 等. 主动脉瓣修复术治疗风湿性主动脉瓣病变的术后中期疗效评估 [J]. *中华胸心血管外科杂志*, 2021, 37(8): 467-471.
- [34] ZAKKAR M, BRUNO V D, ZACEK P, et al. Isolated aortic insufficiency valve repair with external ring annuloplasty: a standardized approach [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2020, 57(2): 308-316.
- [35] CAHILL T J, KIRTANE A J, LEON M, et al. Subclinical leaflet thrombosis and anticoagulation after transcatheter aortic valve replacement: a review [J]. *JAMA Cardiol*, 2022, 7(8): 866-872.
- [36] BRESCIA A A, WATT T M F, ROSENBLOOM L M, et al. Patient and surgeon predictors of mitral and tricuspid valve repair for infective endocarditis [J]. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 2022, 34(1): 67-77.
- [37] WENSTRUP R J, MEYER R A, LYLE J S, et al. Prevalence of aortic root dilation in the Ehlers-Danlos syndrome [J]. *Genet Med*, 2002, 4(3): 112-117.
- [38] MIYAHARA S, SCHNEIDER U, MORGENTHALER L, et al. (Almost) all nonstenotic bicuspid aortic valves should be preserved or repaired [J]. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 31(4): 656-660.
- [39] SCHNEIDER U, FELDNER S K, HOFMANN C, et al. Two decades of experience with root remodeling and valve repair for bicuspid aortic valves [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2017, 153(4): S65-S71.
- [40] DELLGREN G, DAVID T E, RAANANI E, et al. Late hemodynamic and clinical outcomes of aortic valve replacement with the carpentier-edwards perimount pericardial bioprosthesis [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2002, 124(1): 146-154.
- [41] RAM E, ORLOV B, SHINFELD A, et al. Clinical and echocardiographic outcomes after aortic valve repair surgery [J]. *Innovations (Phila)*, 2019, 14(3): 209-217.
- [42] CHAUVETTE V, WILLIAMS E E, EL-HAMAMSY I. Risk factors for recurrence of aortic regurgitation after aortic valve repair [J]. *J Cardiovasc Surg (Torino)*, 2021, 62(1): 25-34.
- [43] MINAKATA K J, SCHAFF H V, ZEHR K J, et al. Is repair of aortic valve regurgitation a safe alternative to valve replacement? [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2004, 127(3): 645-653.
- [44] LUO X K, LI B T, JU F, et al. Risk factors for aortic regurgitation progression after repair of sinus of valsalva aneurysm [J]. *Heart Lung Circ*, 2022, 31(3): 358-364.
- [45] YADGIR S, JOHNSON C O, ABOYANS V, et al. Global, regional, and National burden of calcific aortic valve and degenerative mitral valve diseases, 1990 - 2017 [J]. *Circulation*, 2020, 141(21): 1670-1680.
- [46] CARLSON L, PICKARD S, GAUVREAU K, et al. Preoperative factors that predict recurrence after repair of discrete subaortic stenosis [J]. *Ann Thorac Surg*, 2021, 111(5): 1613-1619.

(收稿日期: 2024-04-26 修回日期: 2024-09-23)