

# 主动脉瓣病变合并小主动脉瓣环的治疗现状

黄恺辰 杨溢 朱云鹏 赵强

**【摘要】** 小主动脉瓣环的存在对严重主动脉瓣疾病患者的治疗构成极大的威胁与挑战。目前针对此类患者的最佳治疗方案仍具争议。该文介绍目前可用于改善主动脉瓣病变合并小主动脉瓣环的血流动力学和临床预后的治疗策略,包括使用传统外科机械瓣、有支架或无支架生物瓣、免缝合及快速置入瓣膜、自体或同种异体瓣膜等进行主动脉瓣置换术,主动脉瓣环扩大术及经导管主动脉瓣置换术治疗进展。

**【关键词】** 主动脉瓣病变;小主动脉瓣环;主动脉瓣置换术;主动脉瓣环扩大术

doi: 10.3969/j.issn.1673-6583.2023.06.010

心脏瓣膜病是常见的心脏疾病,瓣膜手术在所有心血管外科手术中占 20%~30%。心脏瓣膜病中最常见的是主动脉瓣病变,占比超过 60%<sup>[1-2]</sup>。应用人工心脏生物瓣膜或机械瓣膜进行外科主动脉瓣置换术(SAVR)是治疗严重主动脉瓣疾病的常规方式<sup>[3]</sup>。小主动脉瓣环(SAA)是特殊的主动脉瓣疾病高危因素。SAA 会增加处理主动脉瓣病变的复杂性和术后人工瓣膜-患者不匹配(PPM)的发生率,影响人工主动脉瓣的血流动力学<sup>[4]</sup>。一些新型人工瓣膜被用于 SAA 的治疗,包括无支架生物瓣膜、免缝合及快速置入瓣膜(SRDV)等,而主动脉瓣环扩大术(AAE)也被广泛应用于合并 SAA 的主动脉瓣病变患者。目前经导管主动脉瓣置换术(TAVR)日益成熟,已成为治疗中高风险重度主动脉瓣狭窄患者的治疗方案。研究表明 SAA 能够从 TAVR 中额外获益,这为 SAA 的治疗提供了新思路<sup>[5-6]</sup>。

## 1 SAA 定义及临床特征

主动脉瓣环是心脏纤维骨架的一部分,是复杂的三维冠状结构。临床通常把解剖上左心室和主动脉连接处定义为主动脉瓣环,发生 SAA 时,患者仅可接受直径≤21 mm 的人工主动脉瓣<sup>[7]</sup>。在欧美国家,SAA 占全部接受主动脉瓣置换术(AVR)患者的 12.0%~44.3%<sup>[8-10]</sup>,而在南欧部分国家及亚洲,人群平均主动脉瓣环直径较小,SAA 占

比可达 49.8%~56.4%,甚至更高<sup>[11-12]</sup>。伴有 SAA 的患者中,女性居多,可达 88%~91%,且合并症(如肥胖、2 型糖尿病、心房颤动、慢性肾功能不全等)发生率更高,手术风险更大<sup>[7]</sup>。

## 2 SAA 与 PPM 的关系

PPM 的概念最早由 Rahimtoola<sup>[13]</sup> 提出,是指当植入瓣膜有效开口面积(EOA)相较于患者的体型过小,会导致心输出量不足和功能性主动脉瓣狭窄。一般认为瓣膜有效开口面积指数(EOAI)= $0.85 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  是 PPM 的阈值, $0.65 \sim 0.85 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  为中度 PPM, $<0.65 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  为重度 PPM。PPM 导致跨瓣压差持续升高,影响左心室质量指数回归,是患者 AVR 后远期全因死亡的独立危险因素(HR=1.26, 95% CI: 1.16~1.36),且与心力衰竭再住院、主动脉瓣二次干预等不良事件显著相关<sup>[14]</sup>。SAA 患者行 SAVR 时更容易接受较小的人工瓣膜,术后更容易受 PPM 的困扰<sup>[15]</sup>。

## 3 外科治疗现状

### 3.1 机械瓣

相比生物瓣,同等瓣环尺寸的机械瓣 EOA 更大,因此更适合应用于合并 SAA 的主动脉瓣疾病患者的治疗。Garatti 等<sup>[16]</sup> 对 78 例行 17 mm 机械瓣(索林公司 Bicarbon-Slim 瓣膜和美敦力公司 Medical-HP 瓣膜)置换术后的患者进行了随访,随访(86±44)个月,发现接受小尺寸机械瓣治疗的患者具有良好的中远期疗效,5 年和 10 年生存率为 83.7% 和 65.3%,左心室质量指数显著降低。

其他回顾性研究也得出一致结论<sup>[15,17-18]</sup>。

然而, Kobayashi 等<sup>[19]</sup>则发现合并 SAA 的主动脉瓣病变患者在 SAVR 后 PPM 的发生率较高, 且在中期随访(平均随访时间 60.6 个月)中, 部分植入 16 mm 机械瓣(美敦力公司 ATS-AP 环上瓣)的患者左心室舒张功能没有改善。Hu 等<sup>[20]</sup>随访发现, 对 106 例合并 SAA 的主动脉瓣病变患者使用小尺寸机械瓣进行 SAVR 后, 43.4% 的患者出现中度以上 PPM, 且患者全因死亡率增加。Feier 等<sup>[15]</sup>回顾性分析 670 例接受 SAVR 的合并 SAA 的主动脉瓣病变患者, 通过倾向性匹配发现与使用 21 mm 的机械瓣相比, 使用 19 mm 机械瓣的患者术后 PPM 发生率更高(87.30% 对 57.94%,  $P<0.01$ ), 但 2 组 10 年全因死亡率的差异无统计学意义(54.35% 对 56.00%,  $P=0.33$ )。该研究还发现 PPM 发生率在手术 10 年之后呈急剧增加的趋势, 可能影响患者远期生存。

Berreklouw 等<sup>[21]</sup>设计了具有较高创新性的免缝合及快速置入机械瓣, 该瓣膜具有更好的血流动力学表现并能够减少手术时间, 在 SAA 群体中有应用潜力。

### 3.2 生物瓣

3.2.1 有支架生物瓣膜 有支架生物瓣膜仍是目前可选择的主流生物瓣, 包括环内瓣和环上瓣。与环内瓣相比, 环上瓣具有更优异的血流动力学特点, 更低的 PPM 发生率, 但二者在患者生存率和再次手术率方面的差异无统计学意义<sup>[22]</sup>。对于合并 SAA 的主动脉瓣病变患者, 雅培公司 Trifecta 瓣膜可能是一种较好的选择, 与索林公司 Mitroflow 瓣膜及爱德华公司 Perimount Magna 瓣膜相比, 其具有更高的 EOAI ( $1.14 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  对  $0.96 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  和  $1.07 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ ,  $P<0.001$ )、更低的跨瓣压差 ( $11.4 \text{ mmHg}$  对  $16.9 \text{ mmHg}$  和  $14.1 \text{ mmHg}$ ,  $P<0.001$ ) 及更低的 PPM 发生率 ( $1.3\%$  对  $5.8\%$  和  $3.2\%$ ,  $P=0.048$ )<sup>[23]</sup>。

3.2.2 无支架生物瓣膜 与有支架生物瓣膜相比, 无支架主动脉生物瓣膜可以提供更大的 EOA、更低的跨瓣压差<sup>[24]</sup>。Yang 等<sup>[25]</sup>对 614 例植入有支架生物瓣和 559 例植入无支架生物瓣的患者进行了中远期随访(平均随访时间 6.6 年), 结果表明无支架生物瓣的患者平均跨瓣压差更低 ( $7 \text{ mmHg}$  对  $11 \text{ mmHg}$ ,  $P<0.001$ ), 但 2 组中远期生存率及二次手术干预事件发生率的差异均无统计学意义, 同时该研究表明 SAA 是使用生物瓣 SAVR 的独立危险

因素 ( $\text{HR}=2.49$ ,  $95\% \text{ CI}: 1.38\sim 4.50$ )。在合并 SAA 的主动脉瓣病变患者中, 无支架生物瓣膜的血流动力学优势能否使患者生存获益尚待研究。由于无支架生物瓣膜手术操作相对复杂且术后二次干预难度大, 风险高, 目前临床应用率低。

3.2.3 SRDV 置入 SRDV 是目前中高风险主动脉瓣病变患者的重要治疗策略, SRDV 和 TAVR 共同完善了 SAVR 的临床治疗体系<sup>[26]</sup>。SRDV 比有支架生物瓣膜具有更大的 EOA, 更低的术后跨瓣压差和 PPM 发生率, 且手术操作相对简单, 手术时间更短<sup>[27]</sup>。以理诺珐公司 Perceval 瓣膜和爱德华公司 Intuity 瓣膜为代表的 SRDV 在合并 SAA 的主动脉瓣病变患者中显示出良好的血流动力学特点<sup>[27-28]</sup>。与有支架生物瓣相比, SRDV 目前已知的缺点是术后永久起搏器植入事件的风险更高 ( $\text{OR}=2.41$ ,  $95\% \text{ CI}: 1.93\sim 3.01$ ,  $P<0.0001$ )<sup>[29]</sup>, 发生率为  $3\%\sim 9\%$ <sup>[30-31]</sup>, 但这对术后早中期生存率无显著影响<sup>[32]</sup>。SRDV 置入术与 TAVR 术后永久起搏器植入率的差异无统计学意义, SRDV 置入术后主动脉瓣反流发生率更低 ( $5.8\%$  对  $26.9\%$ ,  $P=0.013$ ), 2 组术后 1 年生存率的差异无统计学意义, 但存在差异化趋势 [ $(73\pm 9)\%$  对  $(94\pm 3)\%$ ,  $P=0.058$ ], SRDV 可能会为患者提供更高的中远期生存获益<sup>[26,33]</sup>。

### 3.3 同种异体主动脉瓣膜及自体肺动脉瓣膜

同种异体主动脉瓣膜目前多用于治疗复杂先天性心脏病及感染性心内膜炎患者, 瓣膜耐用性良好, 手术死亡率低, 患者中远期预后良好。Galeone 等<sup>[34]</sup>研究表明同种异体 AVR 后 5 年和 10 年生存率可达  $71.1\%$  和  $60.1\%$ 。在儿童和年轻人中, 自体肺动脉瓣-主动脉瓣置换术(Ross 手术)比机械瓣、生物瓣和同种异体主动脉瓣膜置换术更具优势, 中远期死亡率、瓣膜相关并发症的发生率更低<sup>[35]</sup>。同种异体主动脉瓣膜及自体肺动脉瓣膜均为合并 SAA 的主动脉瓣病变患者的潜在瓣膜选择, 但由于瓣膜来源少、手术难度高等原因目前临床应用率较低。

## 4 主动脉瓣环扩大术

临床常见的 AAE 术式有 4 种, 分别为 Nicks 术式、Manouguian 术式、Nunez 术式(改良 Manouguian)和 Kanno-Rastan 术式<sup>[36]</sup>。Nicks 术式自无冠窦向二尖瓣方向斜行切开主动脉瓣环, 可扩大瓣环直径约  $1 \text{ mm}$ 。Manouguian 术式横向切开主

动脉并延伸至无冠窦和左冠窦之间, 切开左房顶并延伸至二尖瓣前叶, 可扩大瓣环直径约 2~3 mm。Nunez 术式切口与 Manouguian 术式相同, 延伸到纤维三角、左心房壁和二尖瓣环, 可扩大瓣环径约 2 mm。Konno-Rastan 术式通过对主动脉根部和左室流出道进行双补片修补, 可以根据手术需求最大限度地增加主动脉瓣环径, 但操作复杂, 耗时长, 且可能损伤前降支动脉和传导系统。

与单纯 AVR 相比, 接受 AVR 联合 AAE 的合并 SAA 的主动脉瓣病变患者的 EOA 明显增加, PPM 的发生率降低, 但手术难度与时间也相应增加<sup>[37]</sup>。Rocha 等<sup>[38]</sup>对 1 854 例行 AVR 联合 AAE 治疗的主动脉瓣病变患者分析发现, AAE 对患者院内死亡率、早期不良事件和二次手术干预发生率无显著负面影响。Okamoto 等<sup>[39]</sup>进行的中长期随访(平均随访时间 57 个月)研究表明, 与单纯 AVR 相比, AVR 联合 AAE 能够有效减少患者心血管相关不良事件发生(10 年免于心血管相关不良事件生存率 89.5% 对 82.8%,  $P=0.076$ ), AAE 对患者中远期全因死亡率亦无显著影响。AAE 还能对未来再次干预主动脉瓣提供更加充裕的选择余地<sup>[7]</sup>。对于未来具有潜在高 TAVR 二次干预风险的合并 SAA 的主动脉瓣病变患者, 在初次手术时建议联合 AAE 植入 23 mm 及以上尺寸的主动脉瓣生物瓣, 为 TAVR 二次干预提供有利条件。

## 5 TAVR

在合并 SAA 的主动脉瓣狭窄患者中, 有越来越多的证据表明 TAVR 可以获得令人满意的结果<sup>[6,40-42]</sup>。OCEAN-TAVI 亚组研究显示直径为 20 mm 的介入瓣膜(如爱德华公司 SAPIEN 3 瓣膜)可为 SAA 主动脉瓣疾病患者提供令人满意的早期治疗效果, 1 年生存率为 85.5%, 平均跨瓣压差为 12.3 mmHg, 平均 EOAI 为  $1.08 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ <sup>[40]</sup>。WIN-TAVI 研究发现 SAA 女性患者与非 SAA 女性患者相比, TAVR 术 1 年全因死亡率、心肌梗死率、心力衰竭再住院率的差异无统计学意义<sup>[41]</sup>。PARTNER I 亚组研究表明, 接受 TAVR 的合并 SAA 的主动脉瓣病变患者与行 SAVR 的患者术后早期全因死亡率的差异无统计学意义, 但前者具有更大的 EOAI ( $0.89 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  对  $0.79 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ ,  $P=0.05$ ) 和更低的 PPM 发生率 (19.7% 对 37.5%,  $P=0.03$ )<sup>[43]</sup>。然而在 SAA 主动脉瓣疾病患者中, TAVR 组术后主动脉瓣反流发生率有高于 SAVR 组的趋势, 并伴有

更高的早期卒中发生率 (6.3% 对 0,  $P=0.02$ )<sup>[43]</sup>, 且行 SAVR 的患者早期左心室质量指数下降更明显 (19.3% 对 6.4%,  $P<0.001$ )<sup>[44]</sup>。随着介入瓣膜的日益发展, 以最新一代介入瓣膜(爱德华公司 SAPIEN 3 Ultra 瓣膜)为代表的有更低术后主动脉瓣反流发生率的第三代球囊膨胀瓣膜, 可能是未来合并 SAA 的主动脉瓣病变患者接受 TAVR 治疗更好的选择。

## 6 小结

合并 SAA 的主动脉瓣病变患者手术难度更高, 风险更大, 制定最佳治疗策略对获得良好的预后至关重要。不同类型的新型人工瓣膜和外科手术技术, 已在临床实践中取得了令人满意的成果。近年来, SRDV 置入术和 TAVR 作为极具潜力的治疗策略进入临床应用, 以其优异的血流动力学结果和良好的早中期临床疗效为 SAA 主动脉瓣疾病患者的治疗提供了新的可能性。

## 参 考 文 献

- [1] Virani SS, Alonso A, Aparicio HJ, et al. Heart disease and stroke statistics—2021 update: a report from the American Heart Association[J]. *Circulation*, 2021, 143(8):e254-e743.
- [2] In China TWCOTROCHAD, Hu SS. Report on cardiovascular health and diseases in China 2021: an updated summary[J]. *J Geriatr Cardiol*, 2023, 20(6):399-430.
- [3] Otto CM, Nishimura RA, Bonow RO, et al. 2020 ACC/AHA guideline for the management of patients with valvular heart disease: executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines[J]. *Circulation*, 2021, 143(5):e35-e71.
- [4] Vaidya YP, Cavanaugh SM, Sandhu AA. Surgical aortic valve replacement in small aortic annulus[J]. *J Card Surg*, 2021, 36(7):2502-2509.
- [5] Yashima F, Yamamoto M, Tanaka M, et al. Transcatheter aortic valve implantation in patients with an extremely small native aortic annulus: the OCEAN-TAVI registry[J]. *Int J Cardiol*, 2017, 240:126-131.
- [6] Ferrara J, Theron A, Porto A, et al. Prosthesis-patient mismatch in small aortic annuli: self-expandable vs. balloon-expandable transcatheter aortic valve replacement[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(7):1959.
- [7] Freitas-Ferraz AB, Tirado-Conte G, Dagenais F, et al. Aortic stenosis and small aortic annulus[J]. *Circulation*, 2019, 139(23):2685-2702.
- [8] Fallon JM, DeSimone JP, Brennan JM, et al. The incidence and consequence of prosthesis-patient mismatch after surgical aortic valve replacement[J]. *Ann Thorac Surg*, 2018, 106(1):14-22.



- [9] Miyasaka M, Tada N, OCEAN-SHD family. Prosthesis-patient mismatch after transcatheter aortic valve implantation[J]. *Cardiovasc Interv Ther*, 2022, 37(4):615-625.
- [10] Guimarães L, Voisine P, Mohammadi S, et al. Valve hemodynamics following transcatheter or surgical aortic valve replacement in patients with small aortic annulus[J]. *Am J Cardiol*, 2020, 125(6):956-963.
- [11] Kapetanakis EI, Athanasiou T, Mestres CA, et al. Aortic valve replacement: is there an implant size variation across Europe?[J]. *J Heart Valve Dis*, 2008, 17(2):200-205.
- [12] Nakamura H, Yamaguchi H, Takagaki M, et al. Rigorous patient-prosthesis matching of Perimount Magna aortic bioprosthesis[J]. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*, 2015, 23(3):261-266.
- [13] Rahimtoola SH. The problem of valve prosthesis-patient mismatch[J]. *Circulation*, 1978, 58(1):20-24.
- [14] Joury A, Duran A, Stewart M, et al. Prosthesis-patient mismatch following aortic and mitral valves replacement—a comprehensive review[J]. *Prog Cardiovasc Dis*, 2022, 72:84-92.
- [15] Feier H, Grigorescu A, Falnita L, et al. Long-term results (up to 20 years) of 19 mm or smaller prostheses in the aortic position. Does size matter? A propensity-matched survival analysis[J]. *J Clin Med*, 2021, 10(10):2055.
- [16] Garatti A, Mori F, Innocente F, et al. Aortic valve replacement with 17-mm mechanical prostheses: is patient-prosthesis mismatch a relevant phenomenon?[J]. *Ann Thorac Surg*, 2011, 91(1):71-77.
- [17] Kato Y, Hattori K, Motoki M, et al. Optimal results of aortic valve replacement with small mechanical valves (< 19 mm) [J]. *J Heart Valve Dis*, 2013, 22(4):468-475.
- [18] Mizoguchi H, Sakaki M, Inoue K, et al. Mid-term results of small-sized St. Jude Medical Regent prosthetic valves (21 mm or less) for small aortic annulus[J]. *Heart Vessels*, 2013, 28(6):769-774.
- [19] Kobayashi Y, Fukushima Y, Hayase T, et al. Clinical outcome of aortic valve replacement with 16-mm ATS-advanced performance valve for small aortic annulus[J]. *Ann Thorac Surg*, 2010, 89(4):1195-1199.
- [20] Hu J, Qian H, Li YJ, et al. Seventeen-millimeter St. Jude Medical Regent valve in patients with small aortic annulus: does moderate prosthesis-patient mismatch matter?[J]. *J Cardiothorac Surg*, 2014, 9:17.
- [21] Berreklouw E, Vogel B, Fischer H, et al. Fast sutureless implantation of mechanical aortic valve prostheses using Nitinol attachment rings: feasibility in acute pig experiments[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2007, 134(6):1508-1512.
- [22] Kim SH, Kim HJ, Kim JB, et al. Supra-annular versus intra-annular prostheses in aortic valve replacement: impact on haemodynamics and clinical outcomes[J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2019, 28(1):58-64.
- [23] Ugur M, Suri RM, Daly RC, et al. Comparison of early hemodynamic performance of 3 aortic valve bioprotheses[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2014, 148(5):1940-1946.
- [24] Tavakoli R, Danial P, Oudjana AH, et al. Biological aortic valve replacement: advantages and optimal indications of stentless compared to stented valve substitutes. A review[J]. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*, 2018, 66(5):247-256.
- [25] Yang B, Makkinejad A, Fukuhara S, et al. Stentless versus stented aortic valve replacement for aortic stenosis[J]. *Ann Thorac Surg*, 2022, 114(3):728-734.
- [26] Zubarevich A, Szczechowicz M, Amanov L, et al. Non-inferiority of sutureless aortic valve replacement in the TAVR era: David versus Goliath[J]. *Life(Basel)*, 2022, 12(7):979.
- [27] Borger MA, Dohmen PM, Knosalla C, et al. Haemodynamic benefits of rapid deployment aortic valve replacement via a minimally invasive approach: 1-year results of a prospective multicentre randomized controlled trial[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2016, 50(4):713-720.
- [28] Chiariello GA, Bruno P, Villa E, et al. Aortic valve replacement in elderly patients with small aortic annulus: results with three different bioprotheses[J]. *Innovations(Phila)*, 2019, 14(1):27-36.
- [29] Salmasi MY, Ramaraju S, Haq I, et al. Rapid deployment technology versus conventional sutured bioprotheses in aortic valve replacement[J]. *J Card Surg*, 2022, 37(3):640-655.
- [30] D'Onofrio A, Salizzoni S, Rubino AS, et al. The rise of new technologies for aortic valve stenosis: a comparison of sutureless and transcatheter aortic valve implantation[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2016, 152(1):99-109.e2.
- [31] de Varennes B, Lachapelle K, Cecere R, et al. North American single-center experience with a sutureless aortic bioprosthesis[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2016, 151(3):735-742.
- [32] Sohn SH, Jang MJ, Hwang HY, et al. Rapid deployment or sutureless versus conventional bioprosthetic aortic valve replacement: a meta-analysis[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2018, 155(6):2402-2412.e5.
- [33] Al-Maisary S, Farag M, Te Gussinklo WH, et al. Are sutureless and rapid-deployment aortic valves a serious alternative to TA-TAVI? A matched-pairs analysis[J]. *J Clin Med*, 2021, 10(14):3072.
- [34] Galeone A, Trojan D, Gardellini J, et al. Cryopreserved aortic homografts for complex aortic valve or root endocarditis: a 28-year experience[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2022, 62(3):ezac193.
- [35] Nappi F, Iervolino A, Avtaar Singh SS. The effectiveness and safety of pulmonary autograft as living tissue in Ross procedure: a systematic review[J]. *Transl Pediatr*, 2022, 11(2):280-297.
- [36] Bortolotti U, Celiento M, Milano AD. Enlargement of the aortic annulus during aortic valve replacement: a review[J]. *J Heart Valve Dis*, 2014, 23(1):31-39.

- [37] Sá MPBO, Zhigalov K, Cavalcanti LRP, et al. Impact of aortic annulus enlargement on the outcomes of aortic valve replacement: a meta-analysis[J]. Semin Thorac Cardiovasc Surg, 2021, 33(2):316-325.
- [38] Rocha RV, Manlhiot C, Feindel CM, et al. Surgical enlargement of the aortic root does not increase the operative risk of aortic valve replacement[J]. Circulation, 2018, 137(15):1585-1594.
- [39] Okamoto Y, Yamamoto K, Sugimoto T, et al. Early and late outcomes of aortic valve replacement with aortic annular enlargement: a propensity analysis[J]. Thorac Cardiovasc Surg, 2016, 64(5):410-417.
- [40] Hase H, Yoshijima N, Yanagisawa R, et al. Transcatheter aortic valve replacement with Evolut R versus Sapien 3 in Japanese patients with a small aortic annulus: the OCEAN-TAVI registry[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2021, 97(6):E875-E886.
- [41] Pivato CA, Cao D, Spirito A, et al. Impact of small valve size on 1-year outcomes after transcatheter aortic valve implantation in women (from the WIN-TAVI registry)[J]. Am J Cardiol, 2022, 172:73-80.
- [42] Voigtländer L, Kim WK, Mauri V, et al. Transcatheter aortic valve implantation in patients with a small aortic annulus: performance of supra-, intra- and infra-annular transcatheter heart valves[J]. Clin Res Cardiol, 2021, 110(12):1957-1966.
- [43] Rodés-Cabau J, Pibarot P, Suri RM, et al. Impact of aortic annulus size on valve hemodynamics and clinical outcomes after transcatheter and surgical aortic valve replacement: insights from the PARTNER Trial[J]. Circ Cardiovasc Interv, 2014, 7(5):701-711.
- [44] Nishigawa K, Onga Y, Uemura K, et al. Surgical aortic valve replacement provides better left ventricular mass regression than transcatheter aortic valve replacement in patients with small aortic annulus[J]. Gen Thorac Cardiovasc Surg, 2023, 71(3):167-174.

(收稿:2023-04-17 修回:2023-09-23)

(本文编辑:洪玮)

