

# 经导管二尖瓣置换术的研究进展\*

李健<sup>1,2</sup> 贾若雪<sup>3</sup> 梅波<sup>1</sup>

**[摘要]** 尽管传统外科手术对二尖瓣疾病的治疗已非常成熟,但手术创伤较大、体外循环以及术中心肌缺血再灌注损伤等因素导致高龄高风险患者无法耐受。近年来,经导管二尖瓣置换术(transcatheter mitral valve replacement, TMVR)的积极发展让这类患者迎来曙光。TMVR通过微创介入途径即可完成手术治疗。目前,已有多种二尖瓣介入瓣膜进入大范围临床试验阶段,相关研究的初期结果良好,瓣膜安全性和有效性相对乐观,但TMVR仍面临诸多困难和挑战。本文就TMVR的研究进展和应用现状进行综述。

**[关键词]** 经导管二尖瓣置换术;介入治疗;人工瓣膜

**DOI:**10.13201/j.issn.1001-1439.2024.03.004

**[中图分类号]** R542.5 **[文献标志码]** A

## Research process on transcatheter mitral valve replacement

LI Jian<sup>1,2</sup> JIA Ruoxue<sup>3</sup> MEI Bo<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Department of Cardiovascular Surgery, Dazhou Central Hospital, Dazhou, Sichuan, 635000, China; <sup>2</sup>College of Clinical Medicine, Department of Clinical Medicine, Affiliated Hospital, North Sichuan Medical College; <sup>3</sup>College of Medical Imaging, North Sichuan Medical College)  
Corresponding author: MEI Bo, E-mail: drmeibo@163.com

**Abstract** Although the treatments of mitral valve diseases by traditional surgery are well developed, severe trauma, extracorporeal circulation, and intraoperative myocardial-ischemia reperfusion injury cause the failure of elderly and high-risk patients to receive surgical treatments. In recent years, the thriving development of transcatheter mitral valve replacement(TMVR) has brought hope to such patients. TMVR can be performed by minimally invasive intervention. Nowadays, a variety of mitral interventional valves are currently in extensive clinical trials. The safety and efficacy of prosthetic valves are optimistic. The initial results of relevant studies are positive. However, there are still many problems and challenges with TMVR. This article reviews the research progress and application status of TMVR.

**Key words** transcatheter mitral valve replacement; interventional therapy; prosthetic valve

心脏瓣膜类疾病是人口老龄化社会中的常见疾病,单纯二尖瓣病变占心脏瓣膜病的31.3%<sup>[1]</sup>。如未及时治疗,瓣膜病可导致进行性左室扩张、心力衰竭等的高发病率和病死率。随着再次瓣膜置换需求增长,亟需一种较传统外科瓣膜置换术侵害性更小的手术方法以适应高年龄基数和手术风险的患者。经导管主动脉瓣置换(transcatheter aortic valve replacement, TAVR)的稳步发展,为经导管二尖瓣置换(transcatheter mitral valve replacement, TMVR)打开了新的篇章,现已成功实现临床应用并细分为4个亚分类同向发展。下文将从这4个方向对TMVR的研究进展和应用现状进行综述。

### 1 瓣中瓣

瓣中瓣(valve-in-valve, ViV)植入是借助介入手段,利用已存在的生物瓣膜作为结构基础展开新的瓣膜,以恢复二尖瓣功能的方法。2016年Gualis团队首次报道Sapien3二尖瓣ViV植入的研究<sup>[2]</sup>。此后的多项研究中,高于80%的手术成功率、术后生存率及术后的心功能改善均初步证实了该瓣膜的有效性和安全性<sup>[3-4]</sup>。2020年,多中心Sapien3 TMVR-ViV研究纳入1 529例患者,手术成功率达96.8%,Sapien3的使用价值得到更有力的证实<sup>[5]</sup>。Sapien3 ViV植入的预后效果令人满意:①多数患者无或残留轻微的二尖瓣反流;②术后纽约心功能分级(NYHA)至少下降1级,且80%以上集中在I、II级;③90%的患者二尖瓣跨瓣压差<10 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa);④术后生活质量明显改善,术后30 d的平均堪萨斯城心力衰竭评分达到初始评分的两倍,且1年后还小幅提高<sup>[5-7]</sup>。

\*基金项目:四川省科技厅项目应用基础项目(No: 2021YJ0208)

<sup>1</sup>达州市中心医院心脏血管外科(四川达州,635000)

<sup>2</sup>川北医学院临床医学院·附属医院(临床医学系)

<sup>3</sup>川北医学院医学影像学院

通信作者:梅波, E-mail: drmeibo@163.com

鉴于 Sapien3 瓣膜的大规模成功应用,已有部分国人接受该瓣膜的 ViV 植入,国产瓣膜也相继上市<sup>[8-9]</sup>。张海波团队于 2019—2020 年进行系列国产 J-Valve 瓣膜 ViV 手术,共包含 29 例患者,美国胸外科医师协会(Society of Thoracic Surgeons, STS)评分 6 分以上,瓣膜置入成功率 $\geq 95\%$ ,早期术后平均二尖瓣跨瓣压差( $8 \pm 2$ ) mmHg,后期降至( $5.2 \pm 2.3$ ) mmHg。除 1 例患者合并感染和多脏器功能衰竭死亡,其余患者顺利恢复<sup>[10-11]</sup>。2021 年谢旭晶团队报道了 29 例同类型手术,手术操作成功率 96.6%,平均跨瓣压差( $7.6 \pm 2.2$ ) mmHg,1 例患者术后因多脏器功能衰竭死亡,随访期间大部分患者 NYHA 分级 I、II 级,无其他并发症<sup>[12]</sup>。2023 年,刘光辉团队回顾分析了 19 例 ViV 植入患者,尽管采用了多种瓣膜(佰仁思、J-Valve 等),但术后患者心功能呈进行性改善,术后 3 个月随访对比出院评估, NYHA 分级 I、II 级占比增加,二尖瓣反流从轻、中度到无反流<sup>[8]</sup>。国产瓣膜应用和相关研究显示其具有较稳定的安全性和有效性,也为患者提供了更多元的选择。

目前二尖瓣 ViV 植入应用众多、初步效果显著,其他瓣膜如 Melody、Lotus 和 Direct Flow 等都有相关应用,但研究进展缓慢,且缺乏较大规模的研究结果。

有观点认为经房间隔(transseptal, TS)途径虽术中损伤小,但术中瓣膜放置的同轴性不好掌握,相较之下经心尖(transapical, TA)途径学习曲线短,推广优势明显<sup>[12]</sup>。而国外的早期研究也显示手术 TS 和 TA 途径的手术成功率、30 d 死亡率等没有明显差异<sup>[6-7,13]</sup>。但 Whisenant 等<sup>[5]</sup>报道了首个证明 TS 途径优于 TA 途径的研究,术后 1 年全因死亡率(TS 15.8% vs TA 21.7%,  $P=0.03$ )、技术成功率(TS 97.1% vs TA 94.6%,  $P=0.08$ )等都提示 TS 途径更优。随着病例和术者操作熟练度的增加,于患者和这项技术长期的发展而言,TS 途径优势会更加明显,这与国外学界的观点和趋势不谋而合。

值得关注的高死亡率的并发症有:①血栓形成,二尖瓣瓣膜血栓形成风险高于主动脉瓣,以 ViV 的发生率最高,提示术后抗凝对预防血栓形成的必要性,在未有明确的抗凝指南的条件下,可参考外科瓣膜手术抗凝指南<sup>[5,7]</sup>;②心室穿孔:TS 途径中如果导丝发生扭转,可因形成的锋利缘致心室穿孔,因发生罕见且尚无有效规避方法,需术者完善术前评估并熟练掌握手术方式。

## 2 环中瓣

环中瓣(valve-in-ring, ViR)和 ViV 类似,区别在于瓣膜锚定的结构基础变为人工植入的二尖瓣环。ViR 技术晚于 ViV 出现,虽有一定的发展,但

相关研究的终点数据仍显逊色。Yoon 等<sup>[7,13]</sup>先后报道 ViR 的手术技术成功率为 80.9%~83.3%,1 年的全因死亡率为 28.7%~30.6%,说明 ViR 在术后 1 年内尚有一定的安全性和可靠性。一项 VIVID 注册研究的中期结果显示,ViR 术后的 4 年生存率仅为 49.5%,与 ViV 的 62.5%差距较大,这可能与术后明显的二尖瓣反流(MR)和左心室流出道梗阻(LOVTO)等并发症有关。二尖瓣学术研究联盟(Mitral Valve Academic Research Consortium, MVARC)要求二尖瓣跨瓣压差 $\leq 5$  mmHg,导致原始的装置成功率徘徊在 40%;当修正为 $\leq 10$  mmHg 后,ViV 和 ViR 的装置成功率均大幅提高(分别为 84.0%和 63.1%)。结合其他研究中 TMVR 术后二尖瓣跨瓣压差 $\leq 10$  mmHg 的普遍现象,提示此项修正在可接受范围内<sup>[14]</sup>。国内华西医院陈茂教授团队正在开展 highlife 系统 ViR 的可行性研究,并于 2021 年完成了亚洲首例该系统的 ViR 临床试验,为国内带来相关经验。

ViR 术后血流动力学相关并发症发生率高于 ViV。Simonato 等<sup>[7,14]</sup>的研究提示,明显的 MR 与较低的 4 年生存率以及再次二尖瓣置换直接相关,而目前 ViR 术后较高的中度 MR 发生率使其更不可被忽视。二尖瓣狭窄(MS)不直接影响术后的 4 年生存率,但仍存在再次二尖瓣置换和严重心力衰竭的可能。目前减少 MS 的策略包括寻找更多瓣膜放置位点和在特定可能的情况下破开瓣环<sup>[14]</sup>。但总的来说,相较传统开胸手术, TMVR 能改善因手术风险高、体外循环手术创伤较大而导致的低治疗率,使得基线情况更复杂的患者也能接受换瓣治疗。

鉴于 ViR 更复杂、更高风险的现状以及现阶段尚不理想的中期生存率,在患者的筛选上,同 ViV 一样,倾向于选择瓣膜(环)出现结构功能退化伴合并症,且因显著的发病率和死亡率风险排除重复开胸手术可能的患者。此外,对于 ViR 还应特别关注已存在的瓣环。Pirelli 等<sup>[15]</sup>总结了值得注意的 4 个要点:①二尖瓣环变成圆形环的能力;②能否为瓣膜提供可靠的锚定条件;③瓣环的真实内径大小;④瓣环的射线不透性。目前主要的几类二尖瓣环(如刚性环、半刚性环、柔性环、不完整环)可能无法变形成与瓣膜契合的形状,无法为瓣膜提供可靠的锚定,这就需要在术前对患者进行综合、个性化的评估。

## 3 自体环中瓣

自体环中瓣(valve-in-mitral annular calcification, ViMAC)的锚定基础为钙化的自体瓣环。严重的二尖瓣环钙化(mitral annular calcification, MAC)具有较高手术风险,尤其是房室沟破裂和严重的瓣周漏,曾一度作为 TMVR 设备早期试验的

排除标准<sup>[16]</sup>。随后一些严重的 MAC 患者成功地接受了使用球囊扩张经导管主动脉瓣膜的 TMVR,但其与高手术并发症率、30 d 死亡率和 1 年死亡率相关<sup>[17]</sup>;一些患者接受了自膨胀、完全可回收的经导管心脏瓣膜如 Tendyne,但目前只有经 TA 途径作为唯一输送选择<sup>[16]</sup>。因此,对于精心挑选的高风险或无法手术的 MAC 患者,TMVR 可能是一种替代方案,但相关的治疗方案与经验有限,TMVR 的作用和预后预测因素需要在临床试验中进一步评估。

相比 ViR 和 ViV,瓣膜及血流动力学相关的并发症在 ViMAC 中发病率最高。首先是瓣膜栓塞和移位。目前关于瓣膜栓塞或移位的危险因素知之甚少,但其发生在术中和晚期较频繁,值得进一步研究。相比常规经胸超声心动图,TMVR 术后的溶血性贫血和血小板减少可作为非明显瓣膜移位的指标<sup>[18]</sup>。其次是 LOVTO。目前,预防 LVOTO 的辅助技术包括酒精中隔消融(alcohol septal ablation, ASA)和二尖瓣前叶撕裂术(laceration of the anterior mitral leaflet to prevent LVOT obstruction, LAMPOON)。研究发现,ASA 可显著增加术后新 LVOT 面积,因 LVOTO 高风险而被排除的患者可由此安全地进行 TMVR<sup>[19-20]</sup>。Khan 等<sup>[21]</sup>首次报道了在 LOVTO 风险患者中应用 LAMPOON 和 Tendyne 相结合的病例。Tiwana 等<sup>[18]</sup>在 TMVR 术前联合实施 ASA 和 LAMPOON 治疗了 3 例新 LVOT 过小的患者,显示了该方法的可行性。此外,术前新 LVOT 的 MDCT 评估,TMVR 的二尖瓣环尺寸的评估以及 Guerrero 提出的基于心脏 CT 的 MAC 分级评分方法(评估平均钙化厚度、涉及的环周度、纤维三角处的钙化以及瓣叶的钙化)都有助于预测并发症的发生<sup>[22]</sup>。

ViMAC 对患者解剖挑选条件苛刻。首先,应评估患者潜在的 LVOTO 风险,即新 LVOT 区域的 MDCT 评估: $<1.7 \text{ cm}^2$  的临界点对 LVOTO 具有较高的预测价值,从实际角度来看,估计的新 LVOT 面积 $<2.0 \text{ cm}^2$  的患者应被认为是 TMVR 术后 LVOTO 的高危患者。其次,对于重度 MAC 患者,还应评估 TMVR 的二尖瓣环尺寸。由于目前 MAC 手术中的大多数瓣膜是用球囊扩张式瓣膜完成的,二尖瓣环的尺寸应在可用球囊扩张装置的范围内。然而,由于难以正确识别血池和钙化环段的边界,MAC 的存在对 MDCT 环的分割提出挑战。有些二尖瓣环的钙化极为密集和粗大,而干酪样钙化也较为常见。固定在二尖瓣环内的装置取决于 MAC 的类型和密度。故提出一种标准化的方法来测量二尖瓣环的钙化程度,并与下游手术结果相关联十分必要<sup>[10,14]</sup>。

TMVR 的程序技术分类较多,并取得了不同程度的研究进展。根据外科手术技术可分为 MAC 完全切除整块和 MAC 不完全切除或留在原位的技术<sup>[23]</sup>。根据装置和技术可分为传统的球囊扩张式瓣膜装置和自膨胀式主动脉回收装置。其中,球囊扩张式瓣膜如 Sapien 3 瓣膜,在未使用任何辅助技术下行直接植入术已成功治疗 1 例重度 MAC 患者<sup>[24]</sup>。自膨胀式瓣膜中的 Lotus、Direct Flow 和 Tendyne 亦成功用于严重 MAC 患者<sup>[25]</sup>。Tendyne 二尖瓣系统已在 9 例重度 MAC 患者中成功植入,其中 8 例取得了技术上的成功,显示了治疗严重 MAC 的希望。此外,一项阿波罗(使用 Intrepid TMVR 系统)试验正在进行,多达 300 例显著 MAC 患者被纳入研究。尽管目前对严重 MAC 患者的治疗经验有限,但这些早期结果与使用非标签式球囊扩张主动脉假体的患者相比展现出显著优势<sup>[17]</sup>。

#### 4 自体瓣中瓣

前 3 种手术中,人工瓣环或钙化的自体瓣环具有径向支撑作用,使用现 TAVR 瓣膜即可完成 TMVR 手术。而用于自体二尖瓣瓣环无明显钙化的 MR 患者的自体瓣中瓣手术才是真正意义上的 TMVR,该术式在国内仅为起步阶段。此类患者占二尖瓣病变患者的绝大多数。

目前 TMVR 手术大多在全身麻醉、透视和经食管超声心动图指导下 TA 或 TS 入路。其中,TA 入路装置包括 Intrepid、Tendyne、Tiara,TS 入路装置包括 Cardiovalve、Cephea、EVOQUE、HighLife、SAPIEN M3,和两种途径均涉及的 AltaValve<sup>[26]</sup>。这些装置的现有研究显示其手术成功率较高,从 86%到 100%不等,且绝大部分在 95%以上<sup>[27-30]</sup>。2018 年一项 meta 分析显示,TMVR 术后 30 d 的平均死亡率为 20.4%。目前有中期和远期结果数据的仅限于 Intrepid、Tendyne 两种瓣膜。在 6~12 个月的随访中,患者症状显著减轻,生活质量改善<sup>[28]</sup>。Tendyne 的近两年结果显示,术后幸存者的 MR 死亡率为 39%,持续降低,93%没有 MR 或轻微 MR。2020 年 1 月,Tendyne 瓣膜成为唯一经欧盟 CE 认证(Conformity with European)的经导管二尖瓣置入物。Tendyne 瓣膜目前正在 1 010 例患者中进行系统的安全性和有效性临床试验(NCT03433274),旨在比较 Tendyne 瓣膜与传统二尖瓣手术的差异,期待能在 2026 年完成该试验。

TMVR 是治疗有症状 MR 的有效和安全的方法<sup>[31]</sup>。2014 年开启的 Tendyne 系统的早期全球可行性研究在一组心脏手术高危的自体瓣膜 MR 患者中进行,器械植入成功后 30 d 无心血管死亡、脑卒中或器械故障的患者占 86.6%。成功的 TM-

VR 得益于 Tendyne 二尖瓣系统的几个特点:双框架设计对二尖瓣环的不对称形状的适应;稳定锚栓以减少移位或栓塞;应用心外膜垫安全闭合心尖;假体易于重新定位或取出。对于无法耐受经心尖 TMVR 的患者,Webb 等<sup>[32]</sup>的研究发现,经房间隔 TMVR 的早期手术成功率为 90%,入路创伤小、恢复时间短,可长期保持血流动力学稳定。

TMVR 仍面临诸多限制。患者选择上, TMVR 主要适用于被评估为再手术高风险、不能手术或经导管修复不太可能产生持久疗效的患者。若有既往行主动脉瓣置换术史,应评估确保与 TMVR 假体无相互作用<sup>[16]</sup>。置入方式上,早期 TMVR 设计采用 TA 入路,但需要考虑止血和心功能损伤的问题,下一代设备已在 TS 入路上投入大量开发工作。耐久性上,相比于主动脉瓣植入位置较少的组织活动,二尖瓣瓣环和腱索组织会随心动周期作收缩运动,可能导致术后远期瓣膜断裂的不良结局。

## 5 展望

目前,全球已完成或正在进行的多个 TMVR 系统大规模的临床研究,为 TMVR 技术提供了更多兼具安全性和有效性的高质量临床证据,同时也展现出 TMVR 的广阔前景。但作为一种新兴的技术, TMVR 术中复杂多变的手术挑战和术后高危的并发症,导致其适用范围受限。在一些细节上,如自身二尖瓣和早年置换瓣膜(环)口径的准确评估直接决定了新植入瓣膜是否完全扩张和术后反流程度,而目前缺乏统一的评估手段和标准,又如国内关于 TA 和 TS 途径的优劣比较还缺乏循证医学的支持,这些都已成为 TMVR 技术推广必须面对的问题。中国 TMVR 研究起步稍晚,国人心脏瓣膜病病种的构成也与西方国家有显著差异,所以国内 TMVR 的应用和推广需要符合我国人口特点的研究,同时也期待未来国内能有更多瓣膜介入相关产品上市。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

## 参考文献

- [1] 叶蕴青,许海燕,李喆,等.中国不同区域老年瓣膜性心脏病构成和病因分析[J].中华老年心脑血管病杂志,2019,21(7):676-682.
- [2] Gualis J, Estévez-Loureiro R, Alonso D, et al. Insertion of an Edwards Sapien 3 prosthesis as a mitral valve in valve implantation via a transapical approach [J]. J Card Surg, 2016, 31(9): 575-577.
- [3] Werner N, Kilkowski C, Sutor D, et al. Transcatheter Mitral Valve Implantation (TMVI) Using Edwards SAPIEN 3 Prostheses in Patients at Very High or Prohibitive Surgical Risk: A Single-Center Experience [J]. J Interv Cardiol, 2020: 9485247.
- [4] He C, Scalia G, Walters DL, et al. Transapical Transcatheter Mitral Valve-In-Valve Implantation Using an Edwards SAPIEN 3 Valve [J]. Heart Lung Circ, 2017, 26(4): e19-e21.
- [5] Whisenant B, Kapadia SR, Eleid MF, et al. One-Year Outcomes of Mitral Valve-in-Valve Using the SAPIEN 3 Transcatheter Heart Valve [J]. JAMA Cardiol, 2020, 5(11): 1245-1252.
- [6] Guerrero M, Vemulapalli S, Xiang Q, et al. Thirty-Day Outcomes of Transcatheter Mitral Valve Replacement for Degenerated Mitral Bioprostheses (Valve-in-Valve), Failed Surgical Rings (Valve-in-Ring), and Native Valve With Severe Mitral Annular Calcification (Valve-in-Mitral Annular Calcification) in the United States: Data From the Society of Thoracic Surgeons/American College of Cardiology/Transcatheter Valve Therapy Registry [J]. Circ Cardiovasc Interv, 2020, 13(3): e008425.
- [7] Yoon SH, Whisenant BK, Bleiziffer S, et al. Outcomes of transcatheter mitral valve replacement for degenerated bioprostheses, failed annuloplasty rings, and mitral annular calcification [J]. Eur Heart J, 2019, 40(5): 441-451.
- [8] 刘光辉,冯德广,王佳祥,等.二尖瓣生物瓣毁损介入瓣中瓣的早期效果分析[J].临床心血管病杂志, 2023, 39(1): 39-44.
- [9] 董琛,郑耀富,姜宇,等.运用 Sapien 3 瓣膜经导管股房间隔途径二尖瓣瓣中瓣置换 1 例[J].临床心血管病杂志, 2022, 38(8): 680-684.
- [10] 张海波,孟旭,王胜洵,等.经导管二尖瓣生物瓣毁损的瓣中瓣治疗技术[J].中华胸心血管外科杂志, 2019, 35(6): 331-333.
- [11] 张海波,孟旭,王胜洵,等.二尖瓣生物瓣毁损的 J-Valve 介入瓣中瓣技术短期随访临床经验[J].华西医学, 2020, 35(9): 1108-1112.
- [12] 谢旭晶,李力夫,黄焕雷,等.经心尖二尖瓣瓣中瓣手术的早期结果[J].中华胸心血管外科杂志, 2021, 37(10): 600-605.
- [13] Yoon SH, Whisenant BK, Bleiziffer S, et al. Transcatheter Mitral Valve Replacement for Degenerated Bioprosthetic Valves and Failed Annuloplasty Rings [J]. J Am Coll Cardiol, 2017, 70(9): 1121-1131.
- [14] Simonato M, Whisenant B, Ribeiro HB, et al. Transcatheter Mitral Valve Replacement After Surgical Repair or Replacement: Comprehensive Midterm Evaluation of Valve-in-Valve and Valve-in-Ring Implantation From the VIVID Registry [J]. Circulation, 2021, 143(2): 104-116.
- [15] Pirelli L, Hong E, Steffen R, et al. Mitral valve-in-valve and valve-in-ring: tips, tricks, and outcomes [J]. Ann Cardiothorac Surg, 2021, 10(1): 96-112.
- [16] Dahle G. Current Devices in TMVI and Their Limitations: Focus on Tendyne [J]. Front Cardiovasc Med, 2020, 7: 592909.
- [17] Guerrero M, Urena M, Himbert D, et al. 1-Year Out-

- comes of Transcatheter Mitral Valve Replacement in Patients With Severe Mitral Annular Calcification[J]. J Am Coll Cardiol, 2018, 71(17):1841-1853.
- [18] Tiwana J, Aldea G, Levin DB, et al. Contemporary Transcatheter Mitral Valve Replacement for Mitral Annular Calcification or Ring [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2020, 13(20):2388-2398.
- [19] Ukaigwe A, Gössl M, Cavalcante J, et al. Neo-Left Ventricular Outflow Tract Modification With Alcohol Septal Ablation Before Tendyne Transcatheter Mitral Valve Replacement [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2020, 13(17):2078-2080.
- [20] Wang DD, Guerrero M, Eng MH, et al. Alcohol Septal Ablation to Prevent Left Ventricular Outflow Tract Obstruction During Transcatheter Mitral Valve Replacement: First-in-Man Study [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2019, 12(13):1268-1279.
- [21] Khan JM, Lederman RJ, Devireddy CM, et al. LAM-POON to Facilitate Tendyne Transcatheter Mitral Valve Replacement [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2018, 11(19):2014-2017.
- [22] Guerrero M, Wang DD, Pursnani A, et al. A Cardiac Computed Tomography-Based Score to Categorize Mitral Annular Calcification Severity and Predict Valve Embolization [J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2020, 13(9):1945-1957.
- [23] Edelman JJ, Badhwar V, Larbalestier R, et al. Contemporary Surgical and Transcatheter Management of Mitral Annular Calcification [J]. Ann Thorac Surg, 2021, 111(2):390-397.
- [24] Albacker TB, Bakir B, Eldemerdash A, et al. Surgical mitral valve replacement using direct implantation of Sapien 3 valve in a patients with severe mitral annular calcification without adjunctive techniques, a case report [J]. J Cardiothorac Surg, 2020, 15(1):42.
- [25] Sorajja P, Gössl M, Bae R, et al. Severe Mitral Annular Calcification: First Experience With Transcatheter Therapy Using a Dedicated Mitral Prosthesis [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2017, 10(11):1178-1179.
- [26] 陈旭东, 张逸杰, 韦洋. 经导管二尖瓣置换治疗原发性二尖瓣反流的研究进展 [J]. 心血管病学进展, 2023, 44(2):137-141.
- [27] Webb J, Hensey M, Fam N, et al. Transcatheter Mitral Valve Replacement With the Transseptal EVOQUE System [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2020, 13(20):2418-2426.
- [28] Sorajja P, Moat N, Badhwar V, et al. Initial Feasibility Study of a New Transcatheter Mitral Prosthesis: The First 100 Patients [J]. J Am Coll Cardiol, 2019, 73(11):1250-1260.
- [29] Modine T, Vahl TP, Khalique OK, et al. First-in-Human Implant of the Cephea Transseptal Mitral Valve Replacement System [J]. Circ Cardiovasc Interv, 2019, 12(9):e008003.
- [30] Bapat V, Rajagopal V, Meduri C, et al. Early Experience With New Transcatheter Mitral Valve Replacement [J]. J Am Coll Cardiol, 2018, 71(1):12-21.
- [31] Dahle G, Helle-Valle T, Beitnes JO, et al. Single-centre first experience with transapical transcatheter mitral valve replacement with an apical tether: factors influencing screening outcomes [J]. Interact Cardiovasc Thorac Surg, 2019, 28(5):695-703.
- [32] Webb JG, Murdoch DJ, Boone RH, et al. Percutaneous Transcatheter Mitral Valve Replacement: First-in-Human Experience With a New Transseptal System [J]. J Am Coll Cardiol, 2019, 73(11):1239-1246.
- (收稿日期:2023-03-15)