

超声心动图在AS患者TAVR术后监测中的应用

彭松林¹, 廖福顺¹, 游宇光²

(1. 赣南医科大学第一临床医学院; 2. 赣南医科大学第一附属医院超声医学科, 江西 赣州 341000)

摘要: 超声心动图作为重度主动脉瓣狭窄(Aortic stenosis, AS)患者经导管主动脉瓣置换术(Transcatheter aortic valve replacement, TAVR)术后随访的首选影像学检查方法,在术后评估中具有重要临床价值。本文综述了超声心动图在TAVR术后监测中的应用,重点探讨其在人工经导管心脏瓣膜(Transcatheter heart valve, THV)功能评估、左心及右心室功能动态监测以及术后并发症早期识别等方面的作用。结果表明,超声心动图通过多参数、多切面分析,可为THV功能异常及术后并发症的诊断提供可靠依据,优化临床决策。此外,随着三维超声、应变成像等新技术的应用,超声心动图为TAVR术后管理的优化提供了新的视角。

关键词: 超声心动图; 经导管主动脉瓣置换术; 主动脉瓣狭窄

中图分类号: R445.1 文献标志码: A 文章编号: 2097-7174(2026)01-0036-07

DOI: 10.3969/j.issn.2097-7174.2026.01.006

The application of echocardiography in the follow-up of patients with severe AS after TAVR

PENG Songlin¹, LIAO Fushun¹, YOU Yuguang²

(1. The First Clinical Medical School of Gannan Medical University; 2. Department of Ultrasound Medicine, The First Affiliated Hospital of Gannan Medical University, Ganzhou, Jiangxi 341000)

Abstract: Echocardiography is the preferred imaging modality for follow-up in patients with severe aortic stenosis (AS) after transcatheter aortic valve replacement (TAVR). It plays a critical role in postoperative evaluation. This review systematically summarizes the application of echocardiography in post-TAVR monitoring, with a focus on its value in assessing transcatheter heart valve (THV) function, tracking dynamic changes in left and right ventricular function, and identifying postoperative complications at an early stage. The findings suggest that echocardiography, through multiparametric and multiplanar analysis, provides reliable evidence for diagnosing THV dysfunction and complications, thereby optimizing clinical decision-making. Moreover, the advent of novel techniques such as three-dimensional echocardiography and strain imaging offers new perspectives for improving post-TAVR management.

Key words: Echocardiography; Transcatheter aortic valve replacement; Aortic stenosis

经导管主动脉瓣置换术(Transcatheter aortic valve replacement, TAVR)是一项成熟的微创治疗技术,现已广泛应用于不能接受外科主动脉瓣置换术(Surgical aortic valve replacement, SAVR)的重度主动脉瓣狭窄(Aortic stenosis, AS)高危患者。研究表明,即使在手术风险相对较低的患者群体中,TAVR术后2年内的死亡率、出血风险及急性肾损伤发生率均优于SAVR,同时其血流动力学改善显著,且瓣膜持久性良好^[1-2]。然而,TAVR技术的成功实施

不仅取决于精准的术前患者筛选和术中多模式影像的细致引导,还需要完善的术后随访管理,而经胸超声心动图(Transthoracic echocardiography, TTE)是心血管术后随访管理中的标准化影像学评估工具。根据瓣膜学术研究联盟所提出的指南,患者TAVR术后应在出院前或术后1个月、6个月、1年以及之后的每年进行1次TTE随访检查,另外,若患者过于肥胖或患有肺气肿等,应借助经食管超声心动图(Transesophageal echocardiography, TEE)来精确

通信作者: 游宇光,男,本科,教授,主任医师,硕士生导师,研究方向:超声医学。E-mail: gyygyou@163.com

评估经导管心脏瓣膜(Transcatheter heart valve, THV)功能和血流动力学改变^[3]。本文综述了超声心动图在监测 AS 患者 TAVR 术后评估中的应用,内容涵盖术后人工瓣膜的形态、位置、尺寸与瓣口反流情况,左心及右心室功能的变化,以及新发传导阻滞与瓣膜血栓等相关并发症的评价。

1 术后监测 THV

1.1 THV 的形态、位置和大小 人工 THV 的形态是超声心动图医师在术后评估中首要关注的信息,需要对其位置是否恰当、瓣膜支架的形态、瓣叶厚度与活动度,以及与周围天然心脏结构的相互关系进行系统性评估。此外,THV 术后可能会出现位置移动,为规避围术期和术后期的潜在并发症,对人工瓣膜的植入深度有严格要求。瓣膜植入位置过低,会显著增加主动脉瓣周漏(Paravalvular regurgitation, PVR)、二尖瓣反流(Mitral regurgitation, MR)以及房室传导阻滞的风险^[4]。Hahn R T 等^[5]研究证实,TEE 是识别人工瓣膜位置不良所致冠状动脉阻塞的关键影像学手段,其短轴切面可实时观察到冠脉开口血流信号消失伴新发节段性室壁运动异常,为紧急干预提供重要依据。一项 PARTNER 试验表明,THV 植入过深与术后传导阻滞及较高的永久性起搏器植入率之间存在显著相关性^[6]。此外,新一代 THV 在性能 and 设计上进行了优化,在植入深度和同轴性方面表现更佳,有效提高了精准定位率^[7]。

患者-人工瓣膜不匹配(Patient-prosthesis mismatch, PPM)是指患者体表面积与植入患者的 THV 的主动脉瓣面积明显不匹配,无法满足患者的血流流量需求^[8]。PPM 的严重程度通过计算有效开口面积(Effective orifice area, EOA)进行分类:轻度 PPM($EOA > 0.85 \text{ cm}^2/\text{m}^2$)、中度 PPM($0.65 \text{ cm}^2/\text{m}^2 < EOA \leq 0.85 \text{ cm}^2/\text{m}^2$)、重度 PPM($EOA \leq 0.65 \text{ cm}^2/\text{m}^2$)^[9]。一项长达 15 年的术后随访研究表明,PPM 是生物瓣膜耐久性和长期不良预后的独立预测因素,尤其是在重度 PPM 患者中更为显著,这提示早期预防 PPM 对改善 TAVR 患者的长期预后至关重要^[10]。

1.2 THV 相关血流动力学

1.2.1 主动脉瓣周漏 TAVR 患者中,PVR 的发生通常归因于植入假体尺寸过小或假体位置不佳,而瓣内反流则多源于人工瓣膜功能障碍或经导管瓣膜的过度扩张。与心脏磁共振相比,超声心动图具有区分假体内反流和 PVR 的能力。研究表明,大约

10% 经过 TAVR 治疗的患者会出现轻微瓣膜反流^[11]。一项荟萃分析数据显示,中度和重度 PVR 的总体发生率为 7.6%,且与较高的心力衰竭发生率相关;此外,主动脉瓣钙化分布、人工瓣膜尺寸选择不当以及植入深度是 PVR 的重要影响因素^[12]。因此,运用超声心动图对 PVR 进行检测,并对其严重程度进行分级,对于实现最佳的风险分层具有至关重要的作用。

1.2.2 二尖瓣反流 TAVR 术后,约 30%~50% 患者存在轻度二尖瓣反流(Mitral regurgitation, MR),约 10%~20% 患者存在中重度 MR。在 TAVR 术前合并 MR 患者中,约 60% 患者术后 MR 程度减轻;然而,术后持续存在中重度 MR 患者,其临床结局较差^[13]。另有研究^[14]表明,中重度 MR 患者的术后左心室射血分数(Left ventricular ejection fraction, LVEF)显著低于轻度 MR 患者,同时伴随右心室收缩功能下降、三尖瓣反流加重以及肺动脉高压(Pulmonary hypertension, PH)发生率升高。此外,重度 PVR 不仅可能阻碍 MR 的改善,甚至可能加重其进展,进而引发 PH 与容量超负荷,最终影响 TAVR 术后减轻心脏后负荷的积极效果^[15]。

2 术后评估左心功能

长期 AS 导致的压力超负荷与左心室(Left ventricular, LV)向心性肥厚密切相关,并可进一步导致左心室及左心房充盈压升高^[16]。因此,严重的主动脉瓣狭窄可导致心肌重构和左心功能下降,这已被证实与不良预后相关^[17]。尽管通过 TAVR 术后左心功能获得改善已得到验证,但接受 TAVR 患者的心肌力学变化仍在有限范围内。有研究^[18]表明,TAVR 术前 LVEF 保留的患者,在进行了 TAVR 术后,其 LVEF 提升并不明显,但在 LVEF 低于 50% 的患者中,术后 LVEF 增长尤为明显。此外,术后早期 LVEF 提升的患者,其血流动力学往往获得显著改善,因而术后 PPM 的发生率也相对较低^[19]。而当发生房室传导阻滞或存在重度 PVR 时,LVEF 在 TAVR 术后可能无法得到改善^[20]。

对于术前 LVEF 保留(>55%)的患者,LVEF 在 TAVR 术后评估左心室收缩功能并不敏感^[21]。Chau K H 等^[22]发现,无论 TAVR 术前射血分数是否正常,TAVR 术后均会发生左心室重构,表现为左心室质量指数降低。此外,二维斑点追踪成像发现左心室整体纵向应变(Global longitudinal strain, GLS)在

术后早期得到了改善。有研究^[23]指出,LVEF在早期识别TAVR术前亚临床左心室收缩功能障碍以及证明术后左心室收缩功能改善方面均存在敏感性不足的问题。有研究^[24]表明,尽管LVEF和GLS的基线值对预后无影响,但TAVR术后GLS的较大改善(改善幅度>3.3%)与生存率提高相关。同时,TAVR改善了LA重塑,通过TAVR后40d的应变分析测量,心房平均面积和容积减少。在TAVR术后40d随访时,心房收缩功能的改善与整体心房纵向应变峰值变化成正相关,并在术后3个月随访时达到稳定^[25]。这些研究表明AS的早期干预促进了左心收缩功能的改善。

Deng M D等^[26]应用三维斑点追踪技术评估心肌力学,观察到TAVR术后LVEF得到显著改善,左心室舒张末期容积和左心室收缩末期容积明显减小,提示左心室重构得以恢复。TAVR术后随访的1年中,术后早期(1个月内)GLS和整体环向应变有显著改善,并在12个月内保持稳定。这些表明斑点追踪超声心动图是一种能敏感检测TAVR术后心脏微妙重构的技术。研究发现,使用无创心肌做功评估左室心肌功能的改变有重要的临床意义,心肌做功是一种新兴的无创评估方法,TAVR术后早期患者整体做功指数、整体有用功和整体做功效率均有恢复,这些检测指标表明TAVR术后患者左心室压力负荷得以有效解除,进而心肌功能得到明显改善^[27]。因此,斑点追踪技术、左心室无创心肌做功技术在评估TAVR术后患者早期左心收缩功能变化方面具有较大优势。此外,实时三维超声心动图(Real-time three-dimensional echocardiography, RT-3DE),亦称四维超声心动图技术,在TAVR术后随访中发挥着重要作用,该技术无须基于几何模型即可构建立体、动态的心脏结构,能够实时评估左心室容积以及整体和节段应变,使复杂的左心室功能分析得以完善^[28]。

TAVR术后患者除左室收缩功能获得改善外,左室舒张功能也有所改善。Franco D等^[29]发现,TAVR术后所有心肌做功指数(Myocardial work index, MWI)和舒张功能指标均有所改善。TAVR术前MWI值低的患者MWI改善程度较高,而舒张功能损害越严重,TAVR术后获益越大。另有研究^[30]报道,经导管主动脉瓣置换术后,患者左心室舒张末压立即出现下降,而E/e'值并未立即发生变化,当患者出院时,E/A值明显下降,同时E波减速时间明

显增加。此外,TAVR可减少左心房容积,改善舒张早期经二尖瓣口血流动力学。一项前瞻性研究表明,TAVR可消除左心容量负荷,从而改善二尖瓣反流,尤其适用于轻中度MR^[31]。然而,在Blair J E A等^[32]的研究中,TAVR术后二尖瓣反流程度并未改善,这可能与患者年龄较大有关。Kivrak A等^[33]研究表明,在伴有左心室舒张功能障碍的重度AS患者中,成功的TAVR可在早期和中期随访中展现出令人满意的成效。

3 术后评估右心室功能

3.1 RVD的发生率与预后关系 重度AS可诱发左心室向心性肥厚及心肌重构,进而通过左心室舒张功能障碍和左心房压力升高,导致肺血管重塑和继发性PH,这一病理生理过程最终可进展为右心室功能障碍(Right ventricular dysfunction, RVD)。在重度AS患者中,约25%存在RVD,且与TAVR术后随访期间不良预后相关^[34]。而在影像学诊断方面,超声心动图评估的右心室收缩功能参数具有重要的临床预测价值:既可作为无症状重度AS患者不良心血管事件的独立预测因子,又能有效评估TAVR患者的术后风险分层^[35]。

研究显示,与右心室四腔纵向应变(Right ventricular four-chamber longitudinal strain, RV4CLS)保留组(<-20%)相比,RV4CLS受损组(≥-20%)的无事件生存率显著降低,且RV4CLS与主要终点事件独立相关^[36]。Poch F等^[37]研究显示,TAVR术前右心室功能正常者术后功能稳定且预后最佳(3年生生存率92.1%);术前RVD患者中约半数术后功能恢复,其生存率显著高于持续RVD组;新发RVD患者预后与功能恢复组相当。

3.2 超声心动图评估术后右心室功能价值 在临床评估RVD的影像学方法中,超声心动图因其无创性和可重复性而成为首选诊断工具。二维超声心动图的诊断标准主要基于以下参数:三尖瓣环收缩期位移(Tricuspid annular plane systolic excursion, TAPSE)<17 mm,右心室面积变化分数<35%以及三尖瓣环侧壁处收缩速度(S')<9.5 cm/s。而三维超声心动图通过全容积重建技术,可提供更精确的右心室功能定量评估,其诊断标准包括:右心室射血分数<45%和右心室游离壁应变绝对值<20%^[38]。多参数联合分析可显著提高RVD诊断的敏感性和特异性,为临床决策提供更可靠的影像学依据。

多中心研究证实, TAPSE <17.5 mm 是心脏术后主要不良事件 (Adverse postoperative outcomes, APOs) 的独立预测因子^[39], 但其判别力仍有限。Keller M 等^[40]进一步以三维超声心动图评估右心室功能, 动态追踪 TAVR 术后恢复轨迹: 当三维右心室整体纵向应变截断值低于 -17.4% 时, APOs 风险骤升约 3 倍, 预测效能显著优于 TAPSE 及二维右心室整体纵向应变等传统指标。上述结果不仅精准量化了右心室损伤程度, 也为 TAVR 术前风险分层与术后随访提供了全新的影像学生物标志物。

4 术后并发症

4.1 新发传导阻滞 TAVR 术后新发传导阻滞是临床常见的严重并发症, 其发生率高达 $10\% \sim 30\%$ 。研究表明, 新发传导阻滞可能与术中球囊扩张产生的机械应力、瓣膜支架植入时的局部压迫以及相关操作对传导系统的直接损伤等机制有关^[41]。李锦艳等^[42]研究发现, 峰值跨瓣压差、平均跨瓣压差及室间隔厚度是 AS 患者接受 TAVR 治疗后新发完全性左束支传导阻滞 (Complete left bundle branch block, CLBBB) 的影响因素, 该研究进一步证实, 术后新发 CLBBB 会显著影响患者心脏重构的逆转进程。Jilaihawi H 等^[43]研究也报道, 瓣膜植入深度超过膜性室间隔长度以及使用最大型号瓣膜, 均为术后需植入起搏器的独立预测因素。Rodés-Cabau J 等^[44]研究指出, 尽管 TAVR 围术期并发症已明显下降, 传导障碍却未见同步减少, 仍是其最常见的不良事件。瓣膜型号过大、左心室流出道狭窄、主动脉瓣膜旁钙化、术前期已存在传导异常 (尤其是右束支传导阻滞) 以及人工瓣膜植入过深等多种因素, 均可增加 TAVR 术后新发传导阻滞的风险; 支架低于瓣环越多, 阻滞越易发生, 多出现在释放即刻或 $24 \sim 48$ h 内, 且逆转困难, 常需要植入永久起搏器。基于上述研究, 建议对 TAVR 术后新发传导阻滞患者加强心脏结构与功能监测, 以评估其远期预后。

4.2 瓣膜血栓形成 随着 TAVR 广泛应用, 术后瓣膜血栓 (Hypoattenuated leaflet thickening, HALT) 的临床重要性日益凸显。Hansson N C 等^[45]研究报道, TAVR 术后 $1 \sim 3$ 个月 HALT 发生率约为 7% , 1 年累积发生率可达 14% 。瓣膜血栓的典型影像学特征表现为低回声血栓 (或称低衰减瓣叶增厚), 累及生物瓣瓣叶的附着缘并向人工瓣叶中心对合缘延伸^[46]。王建德等^[47]研究发现, TTE 难以通过直接观察瓣叶

增厚或实体血栓附着来确诊瓣膜血栓, 仅能通过血流动力学改变及瓣口面积变化来间接评估, 诊断准确性有限; 而经食管超声心动图凭借其高频探头、近场成像优势及抗金属伪影能力, 可更准确地评估瓣叶形态、厚度及运动状态。

另有一项临床大规模研究显示, TAVR 术后低流速状态 (定义为射血速度指数 <0.35 m/s)、薄膜尺寸过大 (Oversizing $>20\%$) 以及二叶式主动脉瓣解剖是导致 HALT 形成的独立危险因素; 当超声心动图检测到跨瓣压差较基线值升高 >10 mmHg 时, 应高度警惕血栓形成的可能, 此时推荐行四维 CT 检查以明确诊断^[48]。Gleason T G 等^[49]开展的首次比较 TAVR 与 SAVR 瓣膜耐久性的 5 年随访研究表明, 90.3% 的疑似瓣膜血栓患者表现出显著增高的平均跨瓣梯度 (>20 mmHg), 此外, TAVR 组在血流动力学方面展现出明显优势, 其术后 5 年平均跨瓣压差显著低于 SAVR 组, 且中重度 PPM 发生率更低。一项荟萃分析显示, 使用 SAPIEN 球囊扩张式瓣膜行 TAVR 后, HALT 发生率约 6% , 卒中风险随之升高 2.6 倍^[50]。因此, 研究者建议对确诊 HALT 的患者每 6 个月进行系统性的超声心动图随访, 并强调早期启动维生素 K 拮抗剂抗凝治疗以降低晚期结构性瓣膜退化风险。

4.3 感染性心内膜炎 一项纳入 2 249 例接受 TAVR 患者的多中心队列研究结果显示, 感染性心内膜炎 (Infective endocarditis, IE) 的年发病率为 $0.5\% \sim 1.0\%$, 且 IE 确诊患者的 1 年全因死亡率显著高于非 IE 患者。另外, 糖尿病、慢性肾病以及既往 IE 病史是 TAVR 术后 IE 发生的独立危险因素^[51]。因此, 对于具有上述危险因素的患者, 临床医师应在围术期加强监测并考虑采取针对性预防措施。有研究^[52]表明, TTE 在诊断 TAVR 术后 IE 方面存在显著局限性, 主要由于人工瓣膜金属支架产生的声学伪像可导致高达 21% 的误诊率。相比之下, 二维经食管超声心动图展现出更优的诊断效能, 其整体敏感性和特异性分别达到 89% 和 95% 。值得注意的是, 在 TAVR 相关 IE 亚组分析中, 三维经食管超声心动图对赘生物的检出率较二维经食管超声心动图提高 32% , 且能更准确评估瓣周并发症范围^[53]。基于上述证据, 当前国际指南推荐: 对于临床怀疑 TAVR 术后 IE 但 TTE 检查结果不确定的患者, 应考虑行经食管超声心动图检查^[54]。

5 小结与展望

超声心动图在AS患者TAVR术后监测中具有重要临床价值,需要重点评估THV功能状态,并动态监测左心室功能变化。此外,应精确量化评估瓣周漏及瓣口反流程度,同时系统监测TAVR相关并发症的发生发展。然而,常规TTE在亚临床心功能异常及早期并发症识别方面存在一定局限性,因此,建议联合TEE、RT-3DE及应变成像等先进技术,构建多模态影像学评估体系,从而显著提升术后监测的敏感性和诊断准确性。

所有作者均声明不存在利益冲突关系。

参考文献:

- [1] Popma J J, Michael Deeb G, Yakubov S J, et al. Transcatheter aortic-valve replacement with a self-expanding valve in low-risk patients[J]. *N Engl J Med*, 2019, 380(18):1706-1715.
- [2] Mack M J, Leon M B, Thourani V H, et al. Transcatheter aortic-valve replacement with a balloon-expandable valve in low-risk patients[J]. *N Engl J Med*, 2019, 380(18):1695-1705.
- [3] Kappetein A P, Head S J, G  N  Reux P, et al. Updated standardized endpoint definitions for transcatheter aortic valve implantation: the valve academic research consortium-2 consensus document (VARC-2)[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2012, 42(5):S45-S60.
- [4] Patris V, Giakoumidakis K, Argiriou M, et al. Factors associated with early cardiac complications following transcatheter aortic valve implantation with transapical approach[J]. *Pragmat Obs Res*, 2018, 9:21-27.
- [5] Hahn R T, Little S H, Monaghan M J, et al. Recommendations for comprehensive intraprocedural echocardiographic imaging during TAVR [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2015, 8(3):261-287.
- [6] Moubarak G, Lanfear A T, Hamandi M, et al. Tricuspid regurgitation burden following transcatheter aortic valve replacement requiring early pacemaker implantation [J]. *Proc*, 2024, 37(2):205-209.
- [7] Santangelo G, Ielasi A, Pellicano M, et al. An update on new generation transcatheter aortic valves and delivery systems[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(3):499.
- [8] Pibarot P. Prosthesis-patient mismatch in aortic valve disease: surgical versus transcatheter valve replacement [J]. *EuroIntervention*, 2011, 7(6):660-661.
- [9] Pibarot P, Dumesnil J G. Prosthesis-patient mismatch: definition, clinical impact, and prevention [J]. *Heart*, 2006, 92(8):1022-1029.
- [10] Tomii D, Okuno T, Heg D, et al. Long-term outcomes of measured and predicted prosthesis-patient mismatch following transcatheter aortic valve replacement [J]. *EuroIntervention*, 2023, 19(9):746-756.
- [11] Lancellotti P, Tribouilloy C, Hagendorff A, et al. Recommendations for the echocardiographic assessment of native valvular regurgitation: an executive summary from the European Association of Cardiovascular Imaging [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2013, 14(7):611-644.
- [12] Li Y M, Mei F Y, Yao Y J, et al. Causes and predictors of readmission after transcatheter aortic valve implantation: a meta-analysis and systematic review [J]. *Herz*, 2021, 46(Suppl 1):1-8.
- [13] Ben-Assa E, Biner S, Banai S, et al. Clinical impact of post procedural mitral regurgitation after transcatheter aortic valve replacement [J]. *Int J Cardiol*, 2020, 299:215-221.
- [14] Taha S, Taha A, Refaat M, et al. Assessment of right ventricular function in patients after coronary artery bypass graft: a single center study [J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1):41455.
- [15] Jin P, Wang Y, Liu Y, et al. Transapical concomitant transeptal transcatheter closure of a giant mitral paravalvular leak under three-dimensional printing guidance [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2024, 103(1):243-247.
- [16] De Rosa R, Murray M I, Schranz D, et al. Short-term decrease of left atrial size predicts clinical outcome in patients with severe aortic stenosis undergoing TAVR [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2020, 96(3):E341-E347.
- [17] Sugiura A, Weber M, Von Depka A, et al. Outcomes of myocardial fibrosis in patients undergoing transcatheter aortic valve replacement [J]. *EuroIntervention*, 2020, 15(16):1417-1423.
- [18] Reskovic Luksic V, Postolache A, Martinez C, et al. Global and regional myocardial function and outcomes after transcatheter aortic valve implantation for aortic stenosis and preserved ejection fraction [J]. *J Cardiovasc Med (Hagerstown)*, 2020, 21(3):238-245.
- [19] Regazzoli D, Chiarito M, Cannata F, et al. Transcatheter self-expandable valve implantation for aortic stenosis in small aortic annuli: the TAVI-SMALL registry [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2020, 13(2):196-206.
- [20] Costa G, Buccheri S, Barbanti M, et al. Outcomes of three different new generation transcatheter aortic

- valve prostheses[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2020, 95(3):398-407.
- [21] Shiino K, Yamada A, Scalia G M, et al. Early changes of myocardial function after transcatheter aortic valve implantation using multilayer strain speckle tracking echocardiography [J]. *Am J Cardiol*, 2019, 123(6):956-960.
- [22] Chau K H, Douglas P S, Pibarot P, et al. Regression of left ventricular mass after transcatheter aortic valve replacement: the PARTNER trials and registries [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020, 75(19):2446-2458.
- [23] Magne J, Cosyns B, Popescu B A, et al. Distribution and prognostic significance of left ventricular global longitudinal strain in asymptomatic significant aortic stenosis: an individual participant data meta-analysis [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2019, 12(1):84-92.
- [24] LøGstrup B B, Andersen H R, Thuesen L, et al. Left ventricular global systolic longitudinal deformation and prognosis 1 year after femoral and apical transcatheter aortic valve implantation [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2013, 26(3):246-254.
- [25] Garg V, Ho J K, VOROBIOF G. Changes in myocardial deformation after transcatheter and surgical aortic valve replacement [J]. *Echocardiography*, 2017, 34(4):603-613.
- [26] Deng M D, Wei X, Zhang X L, et al. Changes in left ventricular function in patients with aortic regurgitation 12 months after transapical transcatheter aortic valve implantation [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2019, 35(1):99-105.
- [27] Jain R, Bajwa T, Roemer S, et al. Myocardial work assessment in severe aortic stenosis undergoing transcatheter aortic valve replacement [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2021, 22(6):715-721.
- [28] 李菁,马小静,于玺,等. 实时三维超声心动图在经导管主动脉瓣植入术中对主动脉瓣环检测意义的研究 [J]. *心肺血管病杂志*, 2023, 42(5):461-466.
- [29] Franco D, Santoro A, Di Gioia G, et al. Assessing the impact of transcatheter aortic valve replacement on myocardial work indices and left ventricular diastolic function in aortic valve stenosis patients [J]. *Echocardiography*, 2023, 40(8):768-774.
- [30] Oh J K, Little S H, Abdelmoneim S S, et al. Regression of paravalvular aortic regurgitation and remodeling of self-expanding transcatheter aortic valve: an observation from the CoreValve U. S. pivotal trial [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2015, 8(12):1364-1375.
- [31] Witberg G, Codner P, Landes U, et al. Effect of transcatheter aortic valve replacement on concomitant mitral regurgitation and its impact on mortality [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2021, 14(11):1181-1192.
- [32] Blair J E A, Atri P, Friedman J L, et al. Diastolic function and transcatheter aortic valve replacement [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2017, 30(6):541-551.
- [33] Kivrak A, Sahiner M L, Coteli C, et al. Evaluation of left ventricle systolic functions with 2D strain echocardiography after transcatheter aortic valve replacement in patients with severe aortic stenosis [J]. *Hellenic J Cardiol*, 2022, 68:33-39.
- [34] Seo J, Hong Y J, Kim Y J, et al. Prevalence, functional characteristics, and clinical significance of right ventricular involvement in patients with hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1):21908.
- [35] GéNéReux P, Pibarot P, Redfors B, et al. Evolution and prognostic impact of cardiac damage after aortic valve replacement [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2022, 80(8):783-800.
- [36] Hiemstra Y L, Debonnaire P, Bootsma M, et al. Prevalence and prognostic implications of right ventricular dysfunction in patients with hypertrophic cardiomyopathy [J]. *Am J Cardiol*, 2019, 124(4):604-612.
- [37] Poch F, Thalmann R, Olbrich I, et al. Changes of right ventricular function after transcatheter aortic valve replacement and association with outcomes [J]. *J Card Fail*, 2021, 27(12):1337-1344.
- [38] Lang R M, Badano L P, Mor-Avi V, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2015, 28(1):1-39. e14.
- [39] VîJfiac A, Onciul S, Guzu C, et al. The prognostic value of right ventricular longitudinal strain and 3D ejection fraction in patients with dilated cardiomyopathy [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2021, 37(11):3233-3244.
- [40] Keller M, FábBián A, Bandini A, et al. Impact of the right ventricular mechanical pattern assessed by three-dimensional echocardiography on adverse outcomes following cardiac surgery [J]. *Sci Rep*, 2025, 15:5623.
- [41] 吴斯谨,陈柯萍. 经导管主动脉瓣置换术后心脏传导阻滞的研究进展 [J]. *中国循环杂志*, 2021, 36(2):205-208.
- [42] 李锦艳,冯杰莉,唐熠达,等. 经导管主动脉瓣置换术后新发完全性左束支传导阻滞的影响因素及其对心脏重构逆转的影响 [J]. *中国医学影像技术*, 2023, 39(4):525-529.

- [43] Jilaihawi H, Zhao Z, Du R, et al. Minimizing permanent pacemaker following repositionable self-expanding transcatheter aortic valve replacement[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2019, 12(18):1796-1807.
- [44] Rodés-Cabau J, Ellenbogen K A, Krahn A D, et al. Management of conduction disturbances associated with transcatheter aortic valve replacement: JACC scientific expert panel [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 74 (8) : 1086-1106.
- [45] Hansson N C, Grove E L, Andersen H R, et al. Transcatheter aortic valve thrombosis: incidence, predisposing factors, and clinical implications[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2016, 68(19):2059-2069.
- [46] Jilaihawi H, Asch F M, Manasse E, et al. Systematic CT methodology for the evaluation of subclinical leaflet thrombosis [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2017, 10 (4):461-470.
- [47] 王建德,任心爽,王婧金,等. 经导管主动脉瓣置换术后瓣膜血栓的经胸超声心动图评估[J]. *中国介入心脏病学杂志*, 2022, 30(5):342-347.
- [48] Choi Y, Ahn J M, Kang D Y, et al. Frequency, predictors, and clinical impact of valvular and perivalvular thrombus after transcatheter aortic valve replacement [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2023, 16 (24) : 2967-2981.
- [49] Gleason T G, Reardon M J, Popma J J, et al. 5-year outcomes of self-expanding transcatheter versus surgical aortic valve replacement in high-risk patients [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2018, 72(22):2687-2696.
- [50] Bogyi M, Scherthaner R E, Loewe C, et al. Subclinical leaflet thrombosis after transcatheter aortic valve replacement: a meta-analysis [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2021, 14(24):2643-2656.
- [51] Lanz J, Reardon M J, Pilgrim T, et al. Incidence and outcomes of infective endocarditis after transcatheter or surgical aortic valve replacement [J]. *J Am Heart Assoc*, 2021, 10(19):e020368.
- [52] Hahn R T, Nicoara A, Kapadia S, et al. Echocardiographic imaging for transcatheter aortic valve replacement [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2018, 31 (4) : 405-433.
- [53] Bjursten H, Rasmussen M, Nozohoor S, et al. Infective endocarditis after transcatheter aortic valve implantation: a nationwide study [J]. *Eur Heart J*, 2019, 40 (39):3263-3269.
- [54] Delgado V, Marsan N A, De Waha S, et al. 2023 ESC guidelines for the management of endocarditis [J]. *Eur Heart J*, 2023, 44(39):3948-4042.

(收稿:2025-03-03)(修回:2025-10-17)

(责任编辑:睦荣燕)