

# 超声心动图在经导管主动脉瓣置换术中的应用进展

陶世鑫 陈金玲

**摘 要** 近年来经导管主动脉瓣置换术(TAVR)快速发展,其已成为外科主动脉瓣置换术禁忌、高中风险主动脉狭窄患者的一线治疗方案。影像支持是该术式成功实施的重要保证,超声心动图具有实时、无创、无辐射等优点,在TAVR患者术前评估、术中监测及术后随访中均发挥着重要作用。本文就超声心动图在TAVR中的应用进展进行综述。

**关键词** 超声心动描记术,经食管,经胸;经导管主动脉瓣置换术;主动脉瓣狭窄;主动脉瓣反流

[中图法分类号]R540.45

[文献标识码]A

## Application progress of echocardiography in transcatheter aortic valve replacement

TAO Shixin, CHEN Jinling

Department of Ultrasound Imaging, Renmin Hospital of Wuhan University, Wuhan 430060, China

**ABSTRACT** In recent years, the rapid development of transcatheter aortic valve replacement (TAVR) has made it a contraindicated first-line treatment for surgical aortic valve replacement (SAVR) and high-risk aortic stenosis (AS) patients. Image support is an important guarantee for the success of the operation. Echocardiography has the advantages of real-time, non-invasive and non-radiation, and plays an important role in preoperative evaluation, intraoperative monitoring and postoperative follow-up of patients with TAVR. This article reviews the application progress of echocardiography in TAVR.

**KEY WORDS** Echocardiography, transesophageal, transthoracic; Transcatheter aortic valve replacement; Aortic stenosis; Aortic valve regurgitation

经导管主动脉瓣置换术(transcatheter aortic valve replacement, TAVR)是指通过介入手段将预装好的人工瓣膜置入到病变的主动脉瓣区域,从而恢复瓣膜功能。该技术具有微创、疗效稳定等优势,已成为临床上对有症状但不能耐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)患者的一线治疗方案<sup>[1]</sup>。随着临床经验的积累及技术设备的进步,越来越多中、低风险患者、二叶式重度AS患者及主动脉瓣关闭不全(aortic regurgitation, AR)患者选择实施TAVR,其安全性和有效性均已得到初步证实<sup>[2-3]</sup>。超声心动图具有实时、无创、无辐射等优点,是TAVR术前评估、术中监测及术后随访常用的影像学检查手段之一<sup>[4]</sup>。本文就超声心动图在TAVR中的应用进展进行综述。

### 一、超声心动图在TAVR术前评估中的应用

术前对患者进行严格筛选和准确评估是TAVR的重要环

节,内容主要包括主动脉瓣疾病严重程度的评估和主动脉根部解剖结构的评估,以筛选合适的患者实施TAVR,提高手术成功率。

#### (一)主动脉瓣疾病严重程度的评估

##### 1. AS严重程度的评估

随着我国人口老龄化进程加剧,AS患病率持续升高,退行性主动脉瓣钙化是其最常见的病因<sup>[5]</sup>。经胸超声心动图(transthoracic echocardiography, TTE)是诊断和评估AS的首选方法,其不仅能够评估心脏的大体形态和整体功能,还可通过观察瓣叶数目和形态、钙化程度和分布及是否合并其他瓣膜病变初步做出病因诊断,用于指导手术决策。重度AS患者术前左室射血分数(LVEF)、左室心肌整体纵向应变(GLS)与TAVR相关并发症及预后密切相关,研究<sup>[6]</sup>显示术前LVEF≤50%的患者较LVEF>50%患者的中远期全因死亡率显著升高,GLS不仅与术后心肌功能改善程度相关,还可预测术后临床不良事件的

基金项目:国家自然科学基金项目(82102046)

作者单位:430060 武汉市,武汉大学人民医院超声影像科

通讯作者:陈金玲, Email: 77810848@qq.com

发生。瓣叶数目对临床制定 TAVR 方案及患者预后预测也有极大影响,二叶瓣瓣环呈不规则形且主动脉根部及升主动脉异常扩张均会增加手术难度,并会增加术中瓣周漏、瓣膜移位、主动脉夹层等并发症的发生风险;但随着器械的改进、手术经验的积累及多模态影像评估方法的不断成熟,相关手术成功率及患者预后情况已得到很大提升<sup>[7]</sup>。当患者因肺部疾病或瓣叶严重钙化等因素导致 TTE 图像不满意时,经食管超声心动图(transesophageal echocardiography, TEE)可弥补其不足,清晰显示瓣叶数目、钙化分布等特征<sup>[8]</sup>。

常用的评估 AS 严重程度的血流动力学参数主要包括:跨主动脉瓣射流速度( $V_{max}$ )、跨主动脉瓣平均压差( $PG_{mean}$ )和主动脉瓣口面积(AVA)<sup>[9]</sup>。既往研究<sup>[10]</sup>显示,应用 $V_{max}$ 、 $PG_{mean}$ 评估 AS 严重程度时应充分考虑流量因素,建议采用多个参数综合评估,而 AVA 的计算是假定左室流出道为圆形,必要时需使用三维超声心动图进行描记校正,否则易造成 AS 严重程度的误判<sup>[11]</sup>。根据 2017 年美国超声心动图协会(ASE)指南<sup>[9]</sup>,重度 AS 定义为  $AVA < 1.0 \text{ cm}^2$  和/或体表面积指数  $< 0.6 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  或  $V_{max} > 4 \text{ m/s}$  或  $PG_{mean} > 40 \text{ mm Hg}$  ( $1 \text{ mm Hg} = 0.133 \text{ kPa}$ )。但在临床实际测量中常会出现 AVA 判断 AS 严重程度与  $V_{max}$ 、 $PG_{mean}$  不一致的情况,此时除考虑测量误差外,还应重点评估低流速低压差情况:①当  $AVA < 1.0 \text{ cm}^2$ ,  $V_{max} < 4 \text{ m/s}$  或  $PG_{mean} < 40 \text{ mm Hg}$ ,  $LVEF < 50\%$  且每搏量(SV) $< 35 \text{ ml/m}^2$ 时,此为经典的低流速低压差 AS,可行多巴酚丁胺负荷试验,以区分真性或假性重度 AS;当 SV 较基线水平升高 20% 及以上时提示患者收缩储备功能较好<sup>[12]</sup>,而收缩储备功能与患者长期预后相关<sup>[13]</sup>;②当患者处于低流速低压差状态合并  $LVEF \geq 50\%$  时,定义为矛盾性低流速低压差 AS,若其左室壁明显肥厚,左室心腔较小,  $SV < 35 \text{ ml/m}^2$  且血压正常,即可判为重度 AS,否则需结合 CT 检查结果及患者临床症状和体征进行综合判断<sup>[9]</sup>;有研究<sup>[14]</sup>发现此类患者 TAVR 后再住院率高于高压差 AS 患者,预后总体较差,但二者全因死亡率比较差异无统计学意义,今后尚需更多数据进行总结分析。

## 2. AR 严重程度评估

最新抽样调查研究<sup>[5]</sup>显示,我国 AR 患病率高于 AS,在年龄  $\geq 75$  岁人群中 AR 患病率  $> 7.1\%$ ,占老年自体瓣膜病的 10.6%,给患者家庭及社会带来了极大的经济及健康负担。近年国内外已陆续对 AR 患者开展 TAVR 治疗,可行性已得到初步验证,但由于 AR 特殊的解剖形态,目前尚缺乏稳定的瓣膜锚定区域<sup>[15]</sup>。慢性 AR 患者早期依靠 Frank-Starling 等代偿机制维持心脏射血功能,多表现为无症状,早期诊断主要依靠 TTE 检查,其不仅可对病因做出初步诊断,还可对 AR 严重程度进行定量或半定量评估。2017 ASE 及《中国成人心脏瓣膜病超声心动图规范化检查专家共识》<sup>[16]</sup>对 AR 的严重程度判断一致推荐:应综合考虑缩流颈宽度、反流束宽度与左室流出道宽度比值、反流量、反流分数、有效反流口面积等指标。此外,准确测量左室大小对 AR 严重程度的判断和治疗决策的制定也至关重要,美国心脏病协会

瓣膜性心脏病管理指南<sup>[17]</sup>建议重度 AR 的手术指征包括:出现相关症状;无症状但  $LVEF \leq 50\%$  和(或)左室收缩末期内径  $> 50 \text{ mm}$  或左室舒张末期内径  $> 70 \text{ mm}$ 。同时循证医学研究<sup>[18]</sup>表明左室收缩末期内径与 AS 患者全因死亡率呈负相关,其价值今后需进一步探讨。

## (二) 主动脉根部解剖结构的评估

主动脉根部解剖结构相对复杂,除瓣膜本身外,还包括邻近的左室流出道、升主动脉、窦部、窦管交界及左右冠状动脉口位置等,且不同疾病患者主动脉根部解剖变异较大。详细的主动脉根部解剖信息有助于明确 TAVR 适应证、选择合适的器械和瓣膜,提高手术成功率。多排计算机断层扫描血管造影(multislice computed tomography angiography, MSCTA)是目前评估主动脉根部解剖的“金标准”,但该方法有辐射且会增加肾脏损伤风险,不适用于肾功能严重受损和急诊 TAVR 患者。TTE 可清晰显示瓣叶钙化及与冠状动脉的位置关系,准确测量主动脉瓣环直径、窦部直径、冠状动脉开口距主动脉瓣环高度等参数,但其仅适用于声窗条件较好的患者。三维 TEE(3D-TEE)克服了二维超声心动图单一视角的不足,其测量主动脉根部解剖参数的结果与 MSCTA 测量结果比较差异无统计学意义,可作为 MSCTA 检查禁忌及急诊 TAVR 患者的替代评估方法<sup>[19]</sup>。另有研究<sup>[20]</sup>显示,相较于静态的 MSCTA,3D-TEE 可实时动态评估冠状动脉供血情况,为预测术中冠状动脉阻塞的发生提供更多信息。此外,近年以超声成像为数据源的 3D 打印技术可实现主动脉根部解剖的精确复制,以此为基础建立手术模拟平台供医师学习和术前演练,还对相关并发症如瓣周漏具有预测作用<sup>[21]</sup>。但目前在评估主动脉根部结构方面,超声医师的个人经验和主观意识对测量结果影响较大,尚缺乏统一标准,有待今后进一步研究和总结。

## 二、超声心动图在 TAVR 术中监测中的应用

超声心动图是 TAVR 术中监测的常规方法,TTE 和 TEE 均可对导丝、球囊等器械进行引导,对瓣膜支架进行定位,观察钙化瓣叶的移位情况,并能及时发现术中可能出现的并发症,如大量心包积液、主动脉夹层、瓣环撕裂、冠状动脉阻塞等。但 TTE 对因肥胖、肺气肿导致声窗条件差的患者显示欠佳;而 TEE 能更清晰地显示主动脉根部解剖,提供准确的位置信息辅助瓣膜支架进行定位,3D-TEE 还能提供外科视角辅助医师进行操作,缩短手术时间,减少造影剂使用剂量,从而有效降低急性肾损伤的发生率<sup>[22]</sup>,但 TEE 检查患者需全身麻醉,相较于局部或镇静麻醉,其住院时长及 30 d 全因死亡率增加的风险均较高<sup>[23]</sup>。因此,越来越多的 TAVR 诊疗中心逐渐由全身麻醉转向清醒镇静或镇静麻醉,从而限制了 TEE 的应用。

术中对人工瓣膜的评估内容主要包括血流动力学和瓣周漏 2 个方面。TTE 不受角度限制,测量  $V_{max}$  和  $PG_{mean}$  较 TEE 更具优势,后者需行胃底切面扫查,增加了胃损伤的风险。瓣周漏是 TAVR 最常见的并发症,发生原因主要为人工瓣膜型号不匹配、瓣膜释放位置不当、主动脉根部钙化灶过大等。研究<sup>[24]</sup>证

实中度及以上瓣周漏与不良预后密切相关,轻度瓣周漏也会增加患者再入院率和 1 年死亡率<sup>[25]</sup>。TTE 联合术中 X 线造影可较准确地评估瓣周漏程度,3D-TEE 能更清晰地显示瓣周漏的起源,以及瓣膜支架位置和形态,从而更快速、准确地评估瓣周漏程度并提示病因,指导临床治疗<sup>[26]</sup>。

近年来随着清醒镇静及镇静麻醉的大力开展,大部分 TAVR 诊疗中心减少了 TEE 的使用,TTE 成为首选的术中超声监测手段,但临床对术中影像支持的标准策略仍存在较大争议,对于较复杂的病例,特别是近年来 TAVR 适应证拓展到二叶式主动脉瓣和单纯主动脉瓣反流领域,TEE 能更好地显示主动脉根部结构,以指导复杂手术的精准开展<sup>[27]</sup>。

### 三、超声心动图在 TAVR 术后随访中的应用

术后早期超声心动图随访主要观察有无急性或亚急性并发症,如心包积液、主动脉根部血肿等,远期随访则侧重于心脏整体结构和功能、人工瓣叶形态及血流动力学稳定性的评估,以及测量  $V_{\max}$ 、 $PG_{\text{mean}}$ 、AVA 等参数,并与术前及前次检测结果进行对比。瓣膜学术研究联盟<sup>[28]</sup>推荐 TAVR 后 1、6、12 个月及以后每年均行超声心动图随访。

TAVR 后常规应用 TTE 检查进行超声心动图随访,除评估心脏的整体形态和功能外,随访观察的重点在于瓣周漏和人工瓣血流动力学参数情况。瓣周漏随着瓣膜支架周边细胞内皮化及“自膨瓣”的进一步展开贴合,可在随访早中期减轻。人工瓣血流动力学表现与瓣膜耐久性密切相关,当  $V_{\max} > 3$  m/s 或  $PG_{\text{mean}} > 20$  mm Hg 时,提示可能存在狭窄,当  $AVA < 0.85$   $\text{cm}^2/\text{m}^2$  时,提示存在人工瓣膜-患者不匹配(prosthesis-patient mismatch, PPM),即人工瓣 AVA 相对于患者体表面过小,狭窄和 PPM 的严重程度均会影响临床预后。狭窄发生的原因因为瓣叶血栓形成、钙化衰败、血管翳等;PPM 的主要预测因子为瓣环偏小、术中未行球囊预扩和后扩等<sup>[29]</sup>。此外,TAVR 后感染性心内膜炎的发生率约为 0.5%,微血栓的发生率与 SAVR 相似,必要时可行 TEE 检查明确诊断,其能更清晰地显示病变的主动脉瓣瓣、瓣环结构异常,诊断术中及术后并发症,较 TTE 在发现瓣膜血栓及感染性心内膜等方面更具优势。

### 四、小结与展望

总之,超声心动图在 TAVR 术前评估、术中监测及术后随访中均发挥了重要作用,是一种行之有效的 TAVR 评估工具,此外,TAVR 适应证的扩大对影像学评估提出了更高的要求,个性化的多模态影像支持是未来探索的方向,如基于多模态影像数据源的 3D 打印术前规划,基于 3D 超声成像及 X 线造影的术中影像支持等。但目前超声心动图对于术中成像策略、瓣周漏评估的定量标准、单纯 AR 和二叶式主动脉瓣病变患者 TAVR 术中引导要点,以及用于 TAVR 术前危险分层及预后判断的超声参数等仍缺乏高等级的数据支持,有待今后进一步探索。

### 参考文献

[1] Otto CM, Kumbhani DJ, Alexander KP, et al. 2017 ACC Expert

Consensus Decision Pathway for Transcatheter Aortic Valve Replacement in the Management of Adults with Aortic Stenosis: a Report of the American College of Cardiology Task Force on Clinical Expert Consensus Documents[J]. J Am Coll Cardiol, 2017, 69(10): 1313-1346.

[2] Reardon MJ, Van Mieghem NM, Popma JJ, et al. Surgical or transcatheter aortic-valve replacement in intermediate-risk patients [J]. N Engl J Med, 2017, 376(14): 1321-1331.

[3] Popma JJ, Deeb GM, Yakubov SJ, 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.

[4] Bleakley C, Monaghan M. 3D transesophageal echocardiography in TAVR [J]. Echocardiography, 2020, 37(10): 1654-1664.

[5] 李喆,郭帅,叶蕴青,等. 中国中重度主动脉瓣疾病患者的临床特点及预后: 来自 CHINA-VHD 研究的分析 [J]. 中国循环杂志, 2022, 37(4): 322-328.

[6] Lange T, Backhaus SJ, Beuthner BE, et al. Functional and structural reverse myocardial remodeling following transcatheter aortic valve replacement: a prospective cardiovascular magnetic resonance study [J]. J Cardiovasc Magn Reson, 2022, 24(1): 45.

[7] Sa MP, Van den Eynde J, Jacquemyn X, et al. Late outcomes of transcatheter aortic valve implantation in bicuspid versus tricuspid valves: Meta-analysis of reconstructed time-to-event data [J]. Trends Cardiovasc Med, 2022, 5(2): 1050-1738.

[8] 黄朝旭,蒲朝霞,夏向阳,等. Esie Valves 三维自动定量分析在经导管主动脉瓣置换术前评估主动脉根部的应用价值 [J]. 中华超声影像学杂志, 2017, 26(6): 478-483.

[9] Baumgartner HC, Hung JC, Bermejo J, et al. Recommendations on the echocardiographic assessment of aortic valve stenosis: a Focused Update from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography [J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2017, 18(3): 254-275.

[10] Onishi T, Sengoku K, Ichibori Y, et al. The role of echocardiography in transcatheter aortic valve implantation [J]. Cardiovasc Diagn Ther, 2018, 8(1): 3-17.

[11] Hagendorff A, Evangelista A, Fehske W, et al. Improvement in the assessment of aortic valve and aortic aneurysm repair by 3-dimensional echocardiography [J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2019, 12(11 Pt 1): 2225-2244.

[12] Annabi MS, Touboul E, Dahou A, et al. Dobutamine stress echocardiography for management of low-flow, low-gradient aortic stenosis [J]. J Am Coll Cardiol, 2018, 71(5): 475-485.

[13] Bavishi C, Balasundaram K, Argulian E. Integration of flow-gradient patterns into clinical decision making for patients with suspected severe aortic stenosis and preserved lvef: a systematic review of evidence and Meta-analysis [J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2016, 9(11): 1255-1263.

[14] Kataoka A, Watanabe Y, Kozuma K, et al. Prognostic impact of low-flow severe aortic stenosis in small-body patients undergoing TAVR:

- the Ocean-TAVR Registry[J].JACC Cardiovasc Imaging, 2018, 11(5):659-669.
- [15] Takagi H, Hari Y, Kawai N, et al. Meta-analysis and Meta-regression of transcatheter aortic valve implantation for pure native aortic regurgitation[J].Heart Lung Circ, 2020, 29(5): 729-741.
- [16] 中华医学会心血管病学分会心血管影像学组, 北京医学会心血管病学分会影像学组. 中国成人心脏瓣膜病超声心动图规范化检查专家共识[J].中国循环杂志, 2021, 36(2): 109-125.
- [17] Nishimura RA, Otto CM, Bonow RO, et al. 2017 AHA/ACC Focused Update of the 2014 AHA/ACC Guideline for the Management of Patients with Valvular Heart Disease: a Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines[J].Circulation, 2017, 135(25): e1159-e1195.
- [18] Avvedimento M, Tang GHL. Transcatheter aortic valve replacement (TAVR): recent updates [J].Prog Cardiovasc Dis, 2021, 69(1): 73-83.
- [19] Bleakley C, Monaghan MJ. The pivotal role of imaging in TAVR procedures[J].Curr Cardiol Rep, 2018, 20(2):9.
- [20] Arai T, Lefevre T, Hovasse T, et al. Incidence and predictors of coronary obstruction following transcatheter aortic valve implantation in the real world [J].Catheter Cardiovasc Interv, 2017, 90(7): 1192-1197.
- [21] Rotman OM, Kovarovic B, Sadasivan C, et al. Realistic vascular replicator for TAVR procedures [J].Cardiovasc Eng Technol, 2018, 9(3): 339-350.
- [22] Sherifi I, Omar AMS, Varghese M, et al. Comparison of transesophageal and transthoracic echocardiography under moderate sedation for guiding transcatheter aortic valve replacement [J].Echo Res Pract, 2018, 5(2): 79-87.
- [23] Hyman MC, Vemulapalli S, Szeto WY, et al. Conscious Sedation Versus General Anesthesia for Transcatheter Aortic Valve Replacement: Insights from the National Cardiovascular Data Registry Society of Thoracic Surgeons/American College of Cardiology Transcatheter Valve Therapy Registry [J].Circulation, 2017, 136(22): 2132-2140.
- [24] Kodali S, Thourani VH, White J, et al. Early clinical and echocardiographic outcomes after sapien 3 transcatheter aortic valve replacement in inoperable, high-risk and intermediate-risk patients with aortic stenosis [J].Eur Heart J, 2016, 37(28): 2252-2262.
- [25] Yoshijima N, Yanagisawa R, Hase H, et al. Update on the clinical impact of mild aortic regurgitation after transcatheter aortic valve implantation: Insights from the Japanese Multicenter Ocean-TAVR Registry [J].Catheter Cardiovasc Interv, 2020, 95(1): 35-44.
- [26] Hayek SS, Corrigan FE, Condado JF, et al. Paravalvular regurgitation after transcatheter aortic valve replacement: comparing transthoracic versus transesophageal echocardiographic guidance [J].J Am Soc Echocardiogr, 2017, 30(6): 533-540.
- [27] Chourdakis E, Koniari I, Kounis NG, et al. The role of echocardiography and CT angiography in transcatheter aortic valve implantation patients [J].J Geriatr Cardiol, 2018, 15(1): 86-94.
- [28] Mehta A, Sale S, Capdeville M. The deployment of valve academic research consortium 3 (VARC-3): new endpoints, broader definitions, and plenty of unanswered questions [J].J Cardiothorac Vasc Anesth, 2021, 35(12): 3463-3466.
- [29] Miyasaka M, Tada N, Taguri M, et al. Incidence, predictors, and clinical impact of prosthesis-patient mismatch following transcatheter aortic valve replacement in Asian patients: the Ocean-TAVI Registry [J].JACC Cardiovasc Interv, 2018, 11(8): 771-780.

(收稿日期: 2023-02-17)

## 欢迎基金资助课题的论文投稿

为了进一步提高本刊的学术水平,鼓励基金资助课题(国家自然科学基金,国家各部委及省、市、自治区各级基金)的论文投到本刊。我刊决定,将对上述基金课题论文以绿色通道快速发表。请作者投稿时,在文中注明基金名称及编号,并附上基金证明材料。

欢迎广大作者踊跃投稿!

本刊编辑部