

# 三维经食管超声心动图在二叶式主动脉瓣狭窄经导管主动脉瓣置入术中的应用研究

孙艳丹<sup>1,2</sup> 李昱茜<sup>1</sup> 孟欣<sup>1</sup> 白炜<sup>1</sup> 刘丽文<sup>1</sup> 曹亮<sup>1</sup> 杨剑<sup>3</sup> 刘洋<sup>3</sup> 杜蒙蒙<sup>1</sup>

**[摘要]** 目的:应用三维经食管超声心动图(3D-TEE)评估二叶式主动脉瓣狭窄(BAS)患者的主动脉瓣环,探讨3D-TEE指导BAS患者行经导管主动脉瓣置入术(TAVI)的可行性。方法:分析我院成功行TAVI的BAS狭窄患者24例,对术前3D-TEE与多层螺旋CT(MSCT)测量的主动脉瓣环最大径、最小径、面积及面积衍生直径进行一致性分析,根据两者面积衍生直径预测瓣膜型号,比较两者在指导人工瓣膜型号选择上的一致性。结果:3D-TEE与MSCT在测量主动脉瓣环最大径、最小径、面积、面积衍生直径方面无统计学差异( $P>0.05$ ),ICC相关系数分别为:0.817、0.781、0.885、0.869( $P<0.001$ );3D-TEE与MSCT预测的瓣膜型号无统计学差异( $P>0.05$ )。结论:对于二叶式主动脉瓣重度狭窄的患者,3D-TEE可为TAVI提供瓣膜型号选择,因此在特殊情况下可作为MSCT的替代手段,帮助临床选择合适的人工瓣膜。

**[关键词]** 二叶式主动脉瓣;经导管主动脉瓣置入术;三维经食管超声心动图;多层螺旋CT

**DOI:**10.13201/j.issn.1001-1439.2022.05.005

**[中图分类号]** R541.3 **[文献标志码]** A

## The application research of three-dimensional transesophageal echocardiography in transcatheter aortic valve implantation for bicuspid aortic valve stenosis patients

SUN Yandan<sup>1,2</sup> LI Yuxi<sup>1</sup> MENG Xin<sup>1</sup> BAI Wei<sup>1</sup> LIU Liwen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>空军军医大学第一附属医院(西京医院)超声科(西安,710032)

<sup>2</sup>空军第九八六医院超声特诊科

<sup>3</sup>空军军医大学第一附属医院(西京医院)心外科

通信作者:孟欣,E-mail:mxfgmmu@163.com

[6] 周琦,柯玲,阮科,等.系统炎症因子预测老年冠心病PCI术后主要不良心脑血管事件的价值[J].临床心血管病杂志,2022,38(2):118-123.

[7] Thygesen K, Alpert JS, Jaffe AS, et al. Third universal definition of myocardial infarction[J]. JACC, 2012, 60(16):1581-1598.

[8] Teramoto T, Tsuchikane E, Matsuo H, et al. Initial success rate of percutaneous coronary intervention for chronic total occlusion in a native coronary artery is decreased in patients who underwent previous coronary artery bypass graft surgery[J]. JACC Cardiovascular interventions, 2014, 7(1):39-46.

[9] Guelker JE, Bansemir L, Ott R, et al. Validity of the J-CTO Score and the CL-Score for predicting successful CTO recanalization[J]. International Journal Of Cardiology, 2017, 230:228-231.

[10] Rentrop KP, Cohen M, Blanke H, Phillips RA. Changes in collateral channel filling immediately after controlled coronary artery occlusion by an angioplasty balloon in human subjects[J]. JACC, 1985, 5(3):587-592.

[11] Hwang MH, Meadows WR, Palac RT, et al. Progression of native coronary artery disease at 10 years: insights from a randomized study of medical versus surgical therapy for angina[J]. JACC, 1990, 16(5):1066-1070.

[12] Morino Y, Abe M, Morimoto T, et al. Predicting successful guidewire crossing through chronic total occlusion of native coronary lesions within 30 minutes: the J-CTO(Multicenter CTO Registry in Japan)score as a difficulty grading and time assessment tool[J]. JACC Cardiovascular Interventions, 2011, 4(2):213-221.

[13] Thompson CA, Jayne JE, Robb JF, et al. Retrograde techniques and the impact of operator volume on percutaneous intervention for coronary chronic total occlusions an early U. S. experience[J]. JACC Cardiovascular Interventions, 2009, 2(9):834-842.

[14] Babu GG, Walker JM, Yellon DM, Hausenloy DJ. Peri-procedural myocardial injury during percutaneous coronary intervention: an important target for cardioprotection[J]. European Heart Journal, 2011, 32(1):23-31.

[15] Goliash G, Winter MP, Ayoub M, et al. A Contemporary Definition Of Periprocedural Myocardial Injury After Percutaneous Coronary Intervention Of Chronic Total Occlusions[J]. JACC Cardiovascular Interventions, 2019, 12(19):1915-1923.

(收稿日期:2022-01-05)

**引用本文:**孙艳丹,李昱茜,孟欣,等.三维经食管超声心动图在二叶式主动脉瓣狭窄经导管人工主动脉瓣置入术中的应用研究[J].临床心血管病杂志,2022,38(5):360-364. DOI:10.13201/j.issn.1001-1439.2022.05.005.

CAO Liang<sup>1</sup> YANG Jian<sup>3</sup> LIU Yang<sup>3</sup> DU Mengmeng<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Department of Ultrasound, the First Affiliated Hospital of Air Force Medical University, Xijing Hospital, Xi'an, 710032, China; <sup>2</sup>Department of Ultrasound, the 986th Hospital of the Air Force; <sup>3</sup>Department of Cardio-Surgery, the First Affiliated Hospital of Air Force Medical University, Xijing Hospital)

Corresponding author: MENG Xin, E-mail: mxfmumu@163.com

**Abstract Objective:** Three-dimensional transesophageal echocardiography(3D-TEE) was applied to evaluate the aortic annulus in patients with bicuspid aortic valve stenosis(BAS). We explore the feasibility of using 3D-TEE to guide transcatheter aortic valve implantation. **Methods:** We analyzed 24 patients with bicuspid aortic valve stenosis who successfully underwent transcatheter aortic valve implantation(TAVI) in our hospital. 3D-TEE and MSCT were used to measure the maximum diameter, minimum diameter, area and area-derived diameter of the aortic valve annulus before the operation respectively, and the results were analyzed for consistency. We compared the differences between the two methods for guiding selection of the prosthetic valve size. **Results:** There was no significant difference between 3D-TEE and MSCT in the measurement of maximum diameter, minimum diameter, area and area-derived diameter of the aortic annulus( $P > 0.05$ ). ICC correlation coefficients were 0.817, 0.781, 0.885, 0.869( $P < 0.001$ ). There was no statistical difference in the valve size predicted by 3D-TEE and MSCT( $P > 0.05$ ). **Conclusion:** 3D-TEE can provide guidance for artificial valve implantation in TAVI for patients with bicuspid aortic valve stenosis.

**Key words** bicuspid aortic valve; transcatheter aortic valve implanted; 3-dimensional transesophageal echocardiography; multilayer spiral CT

对于严重的、不能耐受外科手术的主动脉瓣狭窄患者,经导管主动脉瓣置入术(transcatheter aortic valve implantation, TAVI)是近年来新兴的治疗手段。在中国,二叶式主动脉瓣狭窄(bicuspid aortic stenosis, BAS)是最常见的先天性心脏瓣膜畸形,在行 TAVI 治疗的人群中, BAS 所占的比例更是达到了 41.3%<sup>[1]</sup>。研究发现, TAVI 对于主动脉二叶瓣与三叶瓣患者具有相同的疗效<sup>[2]</sup>, 但是 BAS 患者更易发生瓣周漏、瓣膜移位等并发症<sup>[3]</sup>, 因此,精准的术前评估、合适的人工瓣膜选择是优化 BAS 患者 TAVI 手术的关键。长期以来,多层螺旋 CT(multilayer spiral CT, MSCT)是指导 TAVI 手术选择瓣膜型号的首选方法,然而对于急诊手术、孕妇、碘剂过敏及肾功衰竭的患者进行 MSCT 扫描存在一定的限制。前期研究表明,三维经食管超声心动图(three dimensional transesophageal echocardiography, 3D-TEE)不受上述条件的限制,是 MSCT 重要的替代检查方法,而目前对于 BAS 的研究相对较少。因此,本研究对比了行 TAVI 术的 BAV 患者的 3D-TEE 与 MSCT 的测量结果,旨在探讨 3D-TEE 在 BAV 患者 TAVI 手术中的指导作用。

## 1 对象与方法

### 1.1 对象

分析 2019 年 10 月—2020 年 7 月在西京医院行 TAVI 手术的 BAS 患者 24 例,其中男 17 例(70.83%),女 7 例(29.17%),平均年龄(68.88 ± 8.08)岁。Type 0 型二叶式主动脉瓣为 4 例, Type 1 型为 20 例, Type 2 型 0 例。其中 Type 1 型中左、

右冠瓣融合 15 例,右、无冠瓣融合 4 例,左、无冠瓣融合 1 例。所有患者均置入 Venus Medtech A 自膨胀式人工瓣膜。

入选标准:①具有外科手术的高危因素及禁忌证的严重的主动脉瓣狭窄;②所有患者经 MSCT 或超声心动图确诊为 BAS;③患者有明显的胸痛、呼吸困难等症状, NYHA 心功能分级 II ~ IV 级;排除功能性二叶式主动脉瓣患者。本研究经西京医院伦理委员会批准(伦理号: QX20191043-1)。

### 1.2 仪器与方法

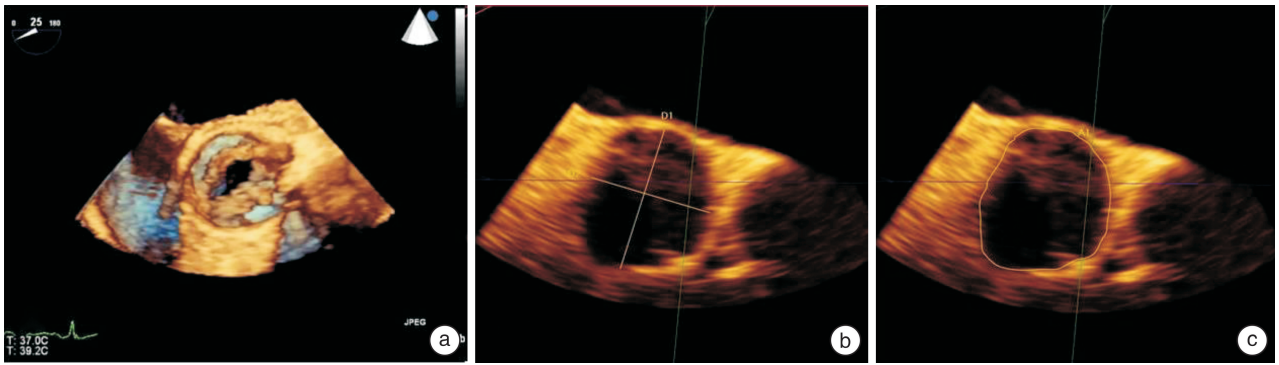
术前使用 MSCT(SIEMENS SOMATOM Definition Flash)进行主动脉根部扫描,采用回顾性心电门控,扫描层厚度 0.75 mm,重建层厚度 0.5 mm。在扫描过程中,通过肘部静脉以 5.0 mL/s 的速度注射 70 mL 碘普罗胺(370 mg/mL)和 50 mL 的 0.9%氯化钠。标记主动脉窦部的最低点,由测量软件自动生成主动脉瓣环平面,在收缩期进行至 30%~40%时测量主动脉瓣环的各种径线。根据主动脉瓣环的平均直径,对照厂家建议的标准,结合升主动脉内径、冠状动脉高度和主动脉瓣钙化情况选择合适的人工瓣膜型号。

术中患者仰卧位,连接心电图,使用 Philips IE Elite 多普勒超声诊断仪、X7-2t 三维经食管超声探头,探头频率 2~7 MHz。待患者全麻后将经食管超声探头送至食管中段。3D-TEE 于 60°左右获取主动脉根部短轴图像,应用 Qlab3DQ 分析软件于收缩中期调节 3 个相互垂直的主动脉根部平面图像,使横切面刚好通过主动脉瓣叶附着最低点平面,即主动脉瓣环平面。测量主动脉瓣环最大径、

最小径以及主动脉瓣环面积(图 1),根据圆形面积公式( $S=\pi r^2$ )计算出面积衍生直径,每个患者测量 3 个心动周期,取平均值,根据面积衍生直径预测瓣膜型号<sup>[4]</sup>。3D-TEE 的操作分析由两名有经验的超声医师完成。实行双盲法分别获得 3D-TEE 与 MSCT 测量的数据。术后即刻观察瓣膜释放的位置、形态、评估瓣周漏及其他并发症的发生情况(图 2)。对 MSCT 与 3D-TEE 的测量结果进行对比研究,根据面积衍生直径预测人工瓣膜型号,比较二者预测结果的差别。

### 1.3 统计学处理

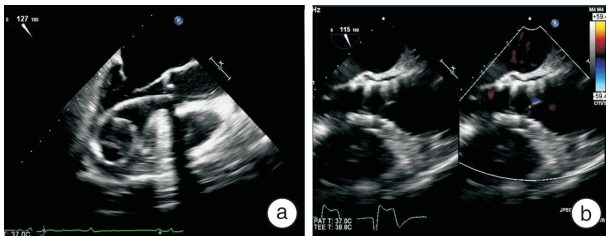
应用 SPSS 23.0 统计分析软件,采用 Kolmogorov-Smirnov test 检验定量数据是否符合正态分布,对于符合正态分布的计量数据采用  $\bar{X} \pm S$  表示,计数资料用例(%)表示。采用配对样本 *t* 检验比较,MSCT 和 3D-TEE 的数据测量结果的一致性采用 ICC 系数分析,预测人工瓣膜型号差异性比较采用 McNemar 检验, $P < 0.05$  为差异有统计学意义。



a: 3D-TEE 重建主动脉根部图像显示二叶式主动脉瓣; b: 3D-TEE Qlab3DQ 评估主动脉瓣环最大径和最小径; c: 3D-TEE Qlab3DQ 评估主动脉瓣环面积。

图 1 3D-TEE 测量主动脉瓣环

Figure 1 3D-TEE measure aortic annulus



a: 术中 TEE 实时观察导丝跨瓣进入左心室的情况; b: TAVI 术后即刻评估人工瓣膜位置及功能。

图 2 TEE 术中观察

Figure 2 TEE Real-time observation

## 2 结果

### 2.1 围手术期一般情况以及术后随访

所有患者均成功置入 Venus Medtech A 自膨胀式人工瓣膜,瓣膜支架下缘距瓣环的高度为  $(7.96 \pm 2.58)$  mm。1 例术后发生少量心包积液,积极对症治疗后好转。术后随访 1 年,所有患者主动脉瓣上最大流速、平均跨瓣压差及心功能均有好转(表 1)。4 例(17%)存在瓣周漏,反流量为少-中量,无患者死亡及其他并发症。

表 1 TAVI 术后 1 年与术前一般参数比较

Table 1 Comparison of conventional parameters

指标	术前	术后 1 年	<i>t</i> 值	$\bar{X} \pm S$ <i>P</i> 值
主动脉瓣上最大流速/( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	$469.79 \pm 95.35$	$254.54 \pm 50.98$	12.205	$< 0.001$
主动脉瓣平均跨瓣压差/mmHg <sup>1)</sup>	$47.71 \pm 17.05$	$16.58 \pm 8.66$	9.013	$< 0.001$
左室射血分数/%	$44.46 \pm 14.19$	$55.58 \pm 6.31$	4.047	0.001

<sup>1)</sup> 1 mmHg=0.133 kPa

### 2.2 3D-TEE 与 MSCT 术前测量主动脉瓣环相关参数差异性比较

3D-TEE 与 MSCT 术前测量的主动脉瓣瓣环最大径、最小径、面积以及面积衍生直径无统计学差异(表 2)。

### 2.3 3D-TEE 与 MSCT 术前测量主动脉瓣环相关参数一致性比较

3D-TEE 与 MSCT 所测得主动脉瓣环最大径、最小径、面积、面积衍生直径的一致性为  $0.781 \sim 0.885$ (表 3,图 3)。

表 2 3D-TEE 与 MSCT 评估主动脉瓣环相关参数比较

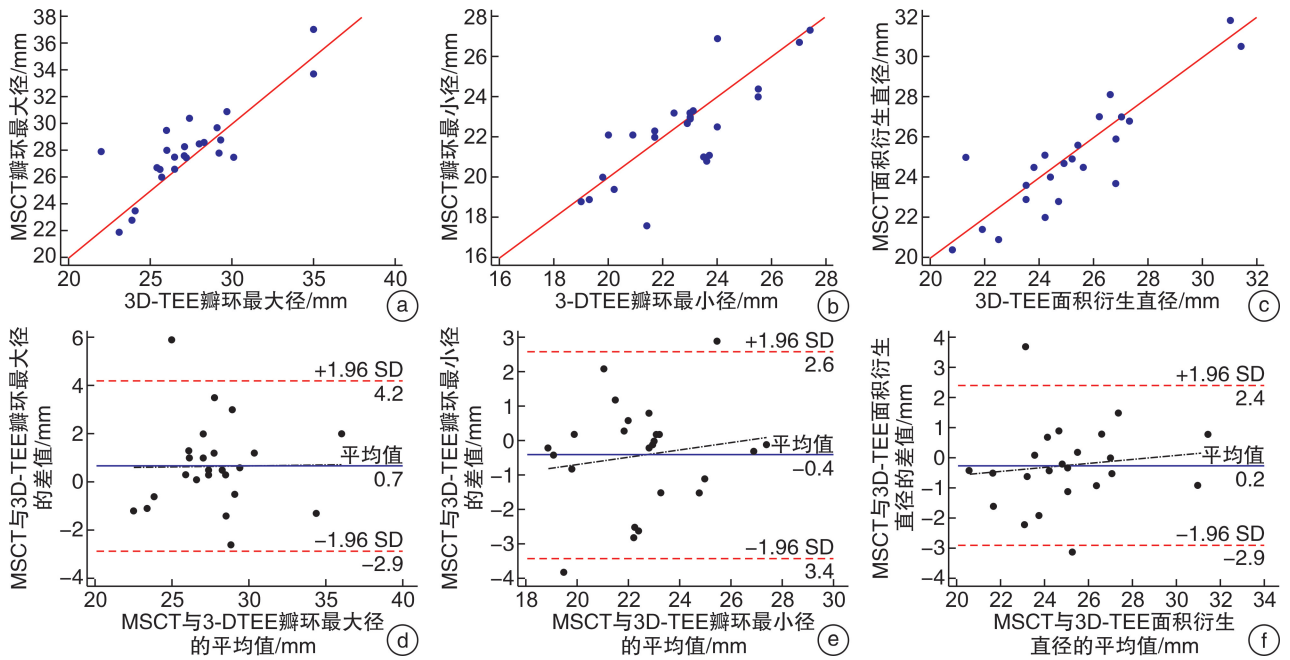
指标	3D-TEE	MSCT	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
瓣环最大径/mm	27.39±3.13	28.05±3.16	1.811	0.083
瓣环最小径/mm	22.73±2.25	22.34±2.48	1.255	0.222
瓣环面积/mm <sup>2</sup>	499.63±106.83	490.71±111.33	0.849	0.404
瓣环面积衍生直径/mm	25.10±2.59	24.86±2.75	0.877	0.390

表 3 3D-TEE 与 MSCT 评估主动脉瓣环大小一致性分析

指标	样本例数	ICC 系数(95%CI)	<i>P</i>
瓣环最大径	24	0.817(0.627~0.915)	<0.001
瓣环最小径	24	0.781(0.564~0.897)	<0.001
瓣环面积	24	0.885(0.754~0.948)	<0.001
瓣环面积衍生直径	24	0.869(0.723~0.940)	<0.001

### 2.4 MSCT 与 3D-TEE 预测瓣膜型号差异性比较

MSCT、3D-TEE 预测人工瓣膜型号与手术实际置入瓣膜型号三者完全相符 17 例(70.83%), 完全不相符 4 例(16.67%), 3D-TEE 预测瓣膜型号与手术实际置入瓣膜型号相符而与 MSCT 预测型号不相符 1 例(4.17%), MSCT 预测瓣膜型号与手术实际置入瓣膜型号相符而与 3D-TEE 预测型号不相符 2 例(8.33%), 两种方法预测瓣膜型号无统计学差异( $P>0.05$ )(表 4)。



a: 3D-TEE 与 MSCT 评估主动脉瓣环最大径一致性散点图; b: 3D-TEE 与 MSCT 评估主动脉瓣环最小径一致性散点图; c: 3D-TEE 与 MSCT 评估主动脉瓣环面积衍生直径一致性散点图; d: 3D-TEE 与 MSCT 评估主动脉瓣环最大径的 Bland-Altman 图; e: 3D-TEE 与 MSCT 评估主动脉瓣环最小径的 Bland-Altman 图; f: 3D-TEE 与 MSCT 评估主动脉瓣环面积衍生直径的 Bland-Altman 图。

图 3 评估主动脉瓣环一致性散点图与 Bland-Altman 图

Figure 3 Aortic annulus correlation coefficient

表 4 MSCT 与 3D-TEE 预测瓣膜型号差异性比较

3D-TEE	MSCT		合计
	符合	不符合	
符合	17	1	18
不符合	2	4	6
合计	19	5	24

$P=1.000$

### 3 讨论

3D-TEE 可以清晰显示主动脉根部形态, 全方位评估主动脉瓣叶及瓣上、瓣下结构, 判断狭窄和钙化程度, 并可准确测量主动脉瓣环内径及面积, 对 BAS 的诊断准确率超过 90%<sup>[5-6]</sup>。TAVI 术中 3D-TEE 可以指导导丝通过主动脉瓣环, 术后即刻实时观察人工瓣膜释放的位置及角度、人工瓣膜启闭情况和对冠状动脉开口的影响, 多普勒技术可以

评估瓣周漏和其余各瓣膜反流情况,准确测量主动脉瓣上的血流速度和压差<sup>[7]</sup>。因此,3D-TEE 在 TAVI 手术的术中指导和术后评估方面发挥着重要的作用。

与三叶式主动脉瓣相比,BAS 瓣叶及瓣环通常存在非对称性钙化,钙化更重,瓣环形态更趋向于椭圆形,这些特点为影像学准确评估瓣环大小带来了更大的困难,增加了 TAVI 手术选择合适的人工瓣膜的难度<sup>[8]</sup>。随着影像技术的发展和置入技术的改进,TAVI 手术已经成为 BAS 患者安全、有效的治疗方案<sup>[9-10]</sup>。本研究在预选瓣膜的过程中,摒弃传统的二维超声单平面测量主动脉瓣环,采用 3D-TEE 清晰、全面显示主动脉瓣环形态,并对主动脉瓣环的最大径、最小径、面积及面积衍生平均直径分别进行测量,结果发现与 MSCT 结果相比,两者的测量值无显著性差异,有较好的一致性,且二者所预测的瓣膜型号无显著性差异。随访 1 年时间内,未观察到死亡病例及严重的不良反应,患者的心功能有所改善,主动脉瓣上血流速度及跨瓣压差均较术前有明显减低,治疗效果满意。因此,3D-TEE 可以成为 MSCT 的替代手段应用于 BAS 患者 TAVI 术前对瓣环大小进行评估。

本研究发现,3D-TEE 预测的瓣膜型号与实际置入的型号有 6 例不相符,MSCT 有 5 例不相符,均是过大估计了瓣膜型号,分析其原因可能是由于二叶瓣瓣膜或瓣环存在严重的钙化,增加了术中瓣膜移位和瓣环破裂的风险,因此在手术过程中选择了较小型号的人工瓣膜。针对严重的二叶式主动脉瓣狭窄伴钙化的 TAVI 患者,目前有学者提出“down size”理论<sup>[11-13]</sup>,建议基于主动脉瓣上尺寸适当减小人工瓣膜型号,但国内外尚未建立针对 BAS 患者行 TAVI 手术的瓣膜型号选择标准。另外,在选择人工瓣膜的过程中,除了参考瓣环内径,还要综合考虑冠状动脉开口的高度、升主动脉及左室流出道内径等因素的影响,由于这些因素对于 MSCT 和 3D-TEE 指导 TAVI 手术的影响是相同的,因此本研究未将上述因素纳入研究,这是导致预测与实际置入瓣膜尺寸不符的另一原因。此外,严重的钙化将影响 TEE 图像的识别,导致测量的误差增大,且本研究的样本量较小,更深入的研究需要扩大样本量来完成。

综上所述,对于拟行 TAVI 手术而不能进行 MSCT 检查的患者,3D-TEE 可以成为 MSCT 的良好代替手段,帮助临床顺利、安全地完成 TAVI 手术。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

## 参考文献

[1] He YX, Fan JQ, Zhu QF, et al. Ascending aortic dilatation rate after transcatheter aortic valve replacement in patients with bicuspid and tricuspid aortic stenosis: A multidetector computed tomography follow-up

- study[J]. *World J Emerg Med*, 2019, 10(4):197-204.
- [2] 苏文华,霍倩,赵燕,等. 经导管主动脉瓣植入术治疗二叶式主动脉瓣重度狭窄有效性及安全性的 Meta 分析[J]. *临床心血管病杂志*, 2017, 33(6):564-569.
- [3] Kanjanahattakij N, Horn B, Vutthikraivit W, et al. Comparing outcomes after transcatheter aortic valve replacement in patients with stenotic bicuspid and tricuspid aortic valve: A systematic review and meta-analysis[J]. *Clin Cardiol*, 2018, 41(7):896-902.
- [4] Wang Y, Wang M, Song G, et al. Optimal pre-TAVR annulus sizing in patients with bicuspid aortic valve: area-derived perimeter by CT is the best-correlated measure with intraoperative sizing [J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(1):259-269.
- [5] Kari FA, Beyersdorf F, Siepe M. Pathophysiological implications of different bicuspid aortic valve configurations[J]. *Cardiol Res Pract*, 2012, 2012:735829.
- [6] Zhou Q, Bi BJ, Xia ZM, et al. Application value of GE Vivid E9 Doppler echocardiography in the diagnosis of two-lobe aortic valve malformation[J]. *J Integr Tradit Chin Western Med Cardio-Cerebrovasc Dis*, 2019, 17(20):3187-3189.
- [7] Smith LA, Dworakowski R, Bhan A, et al. Real-time three-dimensional transesophageal echocardiography adds value to transcatheter aortic valve implantation [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2013, 26(4):359-369.
- [8] Das R, Puri R. Transcatheter treatment of bicuspid aortic valve disease: imaging and interventional considerations[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2018, 5:91.
- [9] Attinger-Toller A, Bhindi R, Perlman GY, et al. Mid-term outcome in patients with bicuspid aortic valve stenosis following transcatheter aortic valve replacement with a current generation device: A multicenter study[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2020, 95(6):1186-1192.
- [10] Kochman J, Zbroński K, Kołtowski Ł, et al. Transcatheter aortic valve implantation in patients with bicuspid aortic valve stenosis utilizing the next-generation fully retrievable and repositionable valve system: mid-term results from a prospective multicentre registry[J]. *Clin Res Cardiol*, 2020, 109(5):570-580.
- [11] Liu X, He Y, Zhu Q, et al. Supra-annular structure assessment for self-expanding transcatheter heart valve size selection in patients with bicuspid aortic valve [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2018, 91(5):986-994.
- [12] Xiong TY, Feng Y, Li YJ, et al. Supra-annular sizing for transcatheter aortic valve replacement candidates with bicuspid aortic valve[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2018, 11(17):1789-1790.
- [13] Zhao ZG, Feng Y, Liao YB, et al. Reshaping bicuspid aortic valve stenosis with an hourglass-shaped balloon for transcatheter aortic valve replacement: A pilot study[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2020, 95 Suppl 1:616-623.