

## 综述

## 主动脉瓣修复术前评价策略的研究进展

孙境综述, 郑哲审校

**摘要** 主动脉瓣修复术主要用于治疗主动脉瓣反流合并或不合并主动脉根部瘤的患者, 作为主动脉瓣置换和根部置换手术的替代疗法, 主动脉瓣修复术的优点是无需终身口服华法林抗凝治疗, 这对于可能接受机械瓣置换的年轻患者特别有吸引力。然而成功且远期效果持久的主动脉瓣修复术要求的专业水平较高, 这不仅包括精湛的手术技术, 还包括精准的术前评价策略。在考虑行主动脉瓣修复术时, 了解主动脉瓣形态、主动脉瓣反流机制及主动脉根部尺寸非常重要, 术前的多影像学评价可能有助于主动脉瓣修复的患者筛选, 提高修复成功率和远期结果。本文将对主动脉瓣修复术前的评价策略进行综述。

**关键词** 主动脉瓣修复术; 超声心动图; 多层螺旋 CT; 磁共振成像

近二十年来, 保留自体主动脉瓣的修复手术逐渐成为主动脉瓣人工瓣膜置换手术的一个有效替代治疗方案, 2020 年美国 and 2021 年欧洲的瓣膜病治疗指南<sup>[1-2]</sup> 已经明确指出: 根据瓣膜和主动脉根部的解剖结构特征, 对选定的患者在有经验的的心脏中心进行主动脉瓣修复术是可行的。与术前评价、术中探查及手术策略更加标准化的二尖瓣修复术不同, 主动脉瓣修复术具有很高的异质性, 多数患者依赖术中探查及术者经验才能决定是否行手术<sup>[3]</sup>, 而且目前缺少成体系的术前评价策略。在考虑主动脉瓣修复术时, 了解主动脉瓣形态、主动脉瓣反流机制及主动脉根部尺寸非常重要, 术前的多影像学评价可能有助于主动脉瓣修复的患者筛选, 提高修复成功率和远期结果。本文旨在将近几年主动脉瓣修复术前评价的一些研究进展进行综述, 以期能够促进主动脉瓣修复术前评价策略的体系性研究。

### 1 主动脉根部功能解剖

传统的主动脉根部概念重点关注的是解剖结构, 包括心室主动脉连接、瓣叶、皇冠状的主动脉瓣环、主动脉窦、冠状动脉、窦管交界等<sup>[4]</sup>。自 Yacoub 和 David 分别引入根部成形术(remodeling) 和根部再植术(reimplantation) 治疗主动脉根部瘤以来, 术者对主动脉根部解剖与主动脉瓣功能之间的关系有了更深入的理解。主动脉瓣修复术前要充分理解主动脉根部功能解剖, 术前影像学评价的重点

是发现患者的主动脉根部病理解剖变化, 制定修复策略。

主动脉瓣功能环包括头侧的窦管交界、尾侧的基底环以及皇冠状主动脉瓣环<sup>[5]</sup>。窦管交界在头侧支撑主动脉瓣, 是主动脉根部与升主动脉的分界线。对于基底环、主动脉瓣环及心室主动脉连接的概念目前业内尚存在一些争议<sup>[6]</sup>。心室主动脉连接是一个解剖概念, 代表左心室与主动脉的移行区域, 是真实存在的解剖结构。皇冠状主动脉瓣环代表主动脉瓣叶附着缘, 是主动脉瓣置换时的缝合缘。基底环是一个虚拟的环, 是三个主动脉瓣附着缘最低点的水平连线。超声心动图测量的主动脉瓣环即代表基底环, 是主动脉瓣修复术中的一个重要概念。基底环与心室主动脉连接有细微的差别(图 1), 特别是在右冠瓣和左右交界位置<sup>[7]</sup>, 但在一些研究中将两者视为同等概念<sup>[5]</sup>。

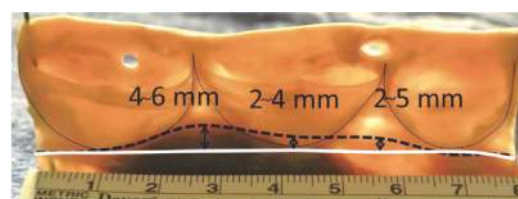
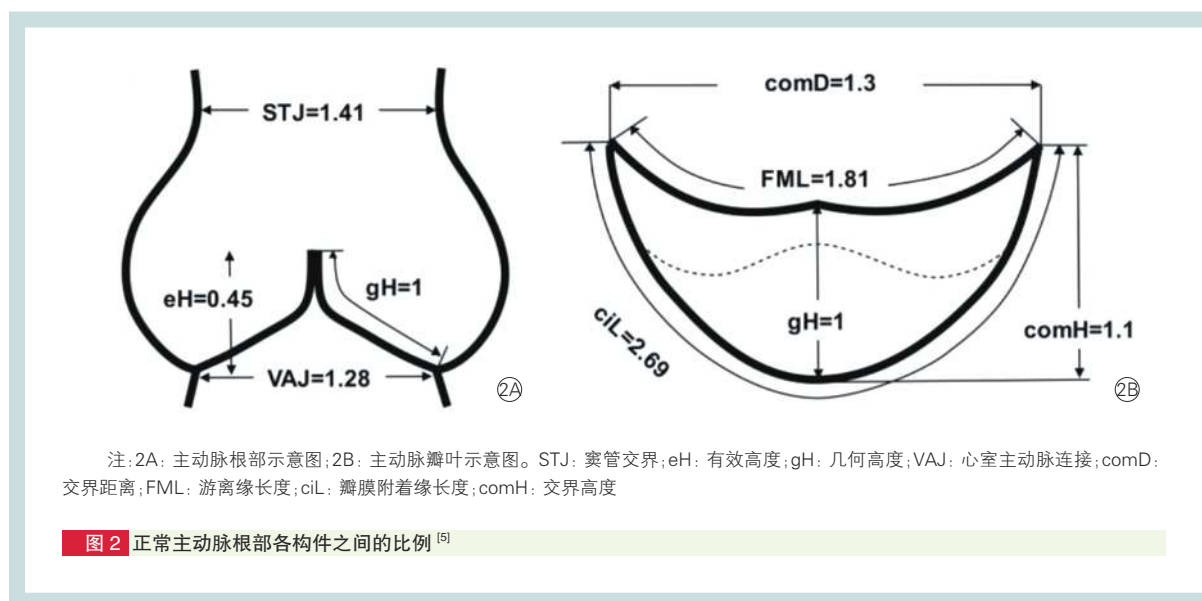


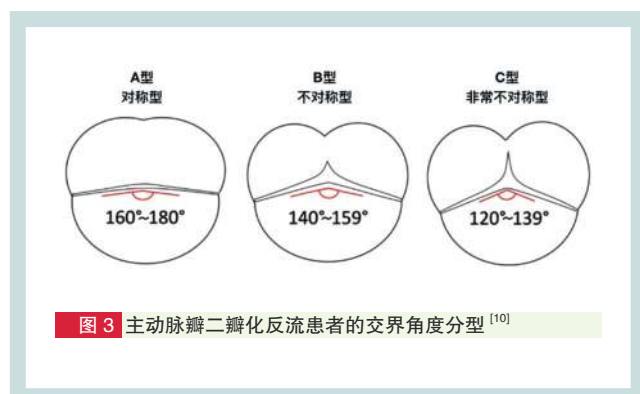
图 1 主动脉根部腔内观(白色实线代表基底环, 黑色虚线代表心室主动脉连接)<sup>[7]</sup>

主动脉瓣良好功能的维系, 不仅依靠瓣叶本身, 还依靠主动脉根部各功能单元之间的比例协调。De Kerchove 等<sup>[5]</sup>通过测量新鲜的正常主动脉根部得到了目前通用的主动脉根部各构件的径线(图 2)。将瓣叶的几何高度设为 1 的话, 窦管交界约为 1.41,

基底环约为 1.28, 游离缘的长度约为 1.81。窦管交界与基底环的比值约为 1.1, 二者比例失调会导致主动脉瓣关闭不全, 游离缘过长也会导致瓣叶脱垂关闭不全。主动脉瓣修复术的目的是恢复主动脉根部各构件之间的协调比例。



正常的主动脉瓣叶是由三个大小差不多的瓣叶(无冠瓣一般略大于左右冠瓣)组成。每一个瓣叶的功能由三个重要的径线决定: 游离缘长度、几何高度和有效高度, 游离缘的长度一般为 32~34 mm, 几何高度一般大于 19 mm, 有效高度一般为 7~12 mm<sup>[8]</sup>。主动脉瓣叶在发育过程中会出现畸形, 形成单瓣、二瓣、四瓣甚至五瓣畸形, 这其中以二瓣化畸形最常见<sup>[9]</sup>。二瓣化畸形合并主动脉瓣反流是一类适合主动脉瓣修复的群体, De Kerchove 等<sup>[10]</sup>根据两个发育好的交界之间的角度将此类患者分为三类以区分它们之间修复的难易程度及远期预后(图 3)。









其中, A 型至 C 型的演变规律为两个瓣叶由对称逐渐变为不对称, 交界角度逐渐减少, 融合嵴长度逐渐减小而高度逐渐增高, C 型在瓣叶形态上更接近于三瓣患者。

## 2 主动脉瓣反流机制

主动脉瓣反流可由主动脉瓣叶本身病变、主动脉根部病变以及二者联合病变引起。Boodhwani 等<sup>[11]</sup>参照二尖瓣反流分类在 2009 年首次提出了主动脉瓣反流功能分类(表 1), 并以此来指导手术策略的选择, 该分类在 2019 年进行了更新<sup>[8]</sup>, 目前已经成为世界范围内公认的分类方案。

根据主动脉瓣叶活动度, 主动脉瓣反流分为三型: I 型瓣叶活动正常, 反流继发于功能主动脉瓣环扩张或瓣叶穿孔; II 型瓣叶脱垂; III 型瓣叶活动受限。其中 I 型根据扩张部位的不同分为四个亚型: I a 型为窦管交界至升主动脉扩张导致的反流; I b 型为主动脉窦部、窦管交界扩张导致的反流; I c 型为心室主动脉连接扩张导致的反流; I d 型为主动脉瓣叶穿孔而功能主动脉瓣环无扩张。患者的反流可由单个或者联合病变引起, 术前通过影像学检查明确患者的反流原因对于主动脉瓣修复术至关重要。

表 1 主动脉瓣反流功能分类及对应的修复技术<sup>[6]</sup>

AI 分类	I 型瓣叶活动正常合并 FAA 扩张或瓣叶脱垂				II 型瓣叶脱垂	III 型瓣叶受限
	I a	I b	I c	I d		
机制						
主要修复技术	STJ 成形术	保留主动脉瓣	VAJ 瓣环成形术	补片修补术	脱垂修复术	瓣叶修复术
	升主动脉置换术	根部再植术或根部成形术联合 VAJ 瓣环成形术	-	自体心包或牛心包	游离缘折叠; 三角形切除; 游离缘悬吊; 补片	削薄; 去钙化补片
次要修复技术	VAJ 瓣环成形术	-	STJ 成形术	VAJ 瓣环成形术	VAJ 瓣环成形术	VAJ 瓣环成形术

注: AI: 主动脉瓣反流; FAA: 功能主动脉瓣环; STJ: 窦管交界; VAJ: 心室主动脉连接。-: 无

### 3 术前影像学评价手段

主动脉瓣修复术具有很高的异质性, 大部分患者能否行保留主动脉瓣的手术, 主要依赖术中探查及术者经验<sup>[1]</sup>。如果术前能够通过多影像学检查手段精准地评价主动脉瓣及主动脉根部, 明确主动脉瓣叶条件、主动脉瓣反流机制及主动脉根部尺寸, 评估患者主动脉瓣的可修复性, 则有助于主动脉瓣修复的患者选择, 提高修复成功率, 改善远期效果。目前常用的术前影像学评价手段包括经胸和经食道的二维和三维超声心动图、心电图门控的多层螺旋 CT (ECG-MDCT) 及心脏磁共振成像 (CMR)。

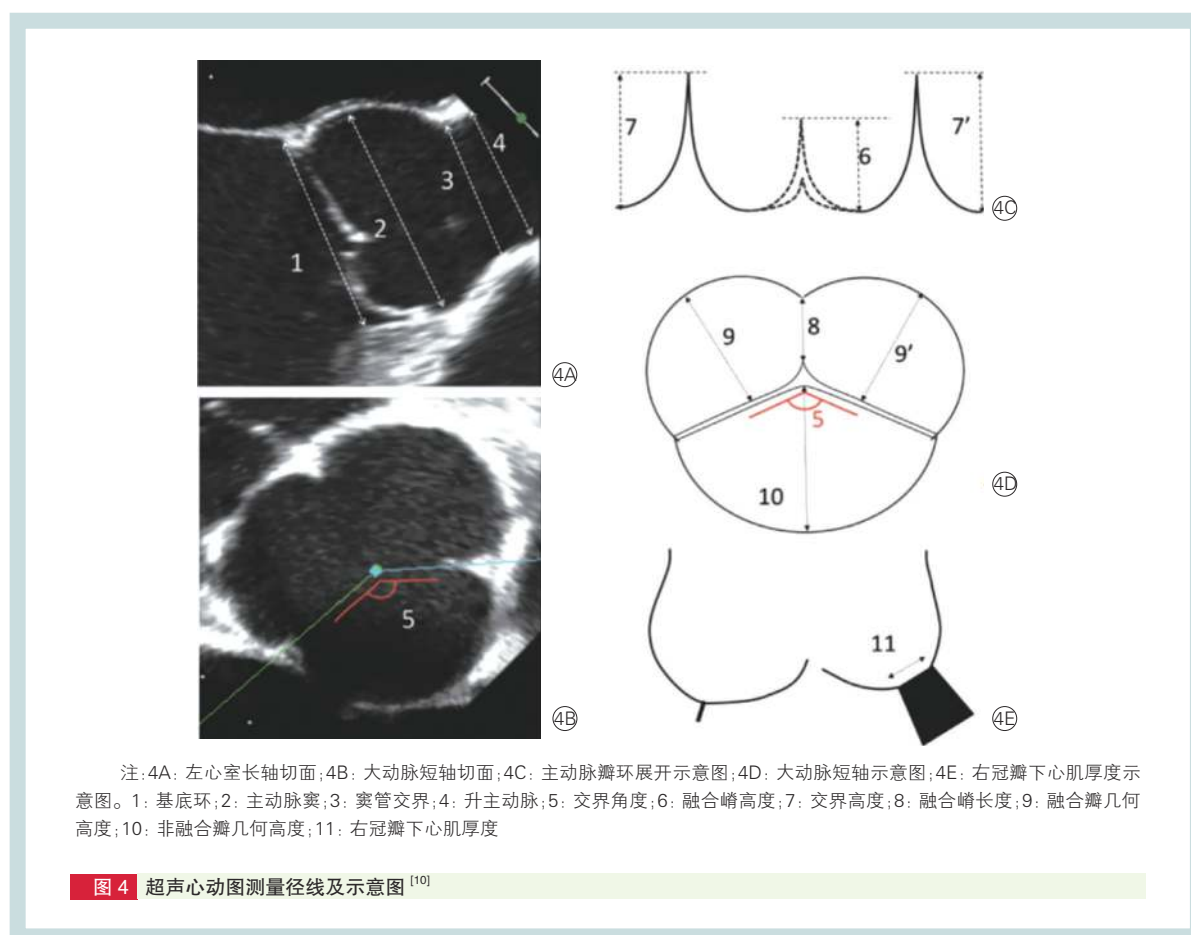
#### 3.1 超声心动图

超声心动图在主动脉瓣修复术前影像学评价中占据核心地位, 不同于术中的直视观察, 它能够为外科医生提供实时生理状态下的主动脉瓣及主动脉根部状态, 评价主动脉瓣反流机制, 评估患者主动脉瓣的可修复性, 制定相应的手术策略。2021 的欧洲瓣膜病治疗指南强调建立由外科和超声科医师组成的主动脉瓣修复心脏团队的重要性<sup>[2]</sup>。超声心动图可通过经胸和经食道两种方式实现, 经食道超声心动图检查的影像质量明显优于经胸超声心动图检查。

超声心动图评价主动脉瓣反流的严重程度对于主动脉瓣修复手术时机的把握非常重要, 目前有几种评价方法, 但是每一种均不是 100% 的准确, 需要结合患者的症状、左心室的大小等信息综合评估<sup>[12]</sup>。应用彩色多普勒超声在左心室长轴切面评估反流束缩流颈和横截面积是目前比较常用的半定量评价方法。缩流颈小于 3 mm 代表轻度反流, 大于 6 mm 代表重度反流。缩流颈与反流口大小相关, 但是当反流口形状不规则时 (在主动脉瓣二瓣化患者中比较常见), 这种方法的准确性就会受到很大

的影响, 这种情况下大动脉短轴切面测量反流横截面积与左心室流出道的比值相对准确, 一般认为比值大于 65% 是重度反流。其他评价主动脉瓣反流的指标还包括近端等速表面积 (PISA) 法、脉冲多普勒容积法、降主动脉舒张期血流反向等指标。无症状的主动脉重度反流患者, 左心功能受损到何种程度需要接受手术治疗? 基于主动脉瓣置换的手术指征<sup>[1]</sup>, 若左心室射血分数低于 55% 或左心室收缩末期内径大于 50 mm 可考虑手术干预。对于拟行主动脉瓣修复的患者, 目前缺少此类患者最佳干预时机的研究。

基于目前建立的主动脉根部功能解剖概念和主动脉瓣反流机制的理论体系, 术前超声心动图在评价主动脉瓣反流时也有章可循。首先, 需要系统性评价主动脉根部各部分径线<sup>[10]</sup> (图 4), 其中对于交界高度和主动脉瓣叶径线的测量存在难度, 更多的需要依赖术中测量, 但是随着三维经食道超声心动图成像质量和认识的加深, 目前这些数据的测量都可以通过三维经食道超声心动图实现, 并且准确度明显优于二维经胸超声心动图<sup>[13]</sup>。其次, 需要评价主动脉瓣反流特点, 是中心性反流还是偏心性反流。偏心性反流多由于瓣叶脱垂和窗孔样变引起, 瓣叶脱垂在超声心动图上主要表现为三种亚型<sup>[12]</sup>: 连枷样变、全瓣叶脱垂和部分瓣叶脱垂, 需要在左心室长轴切面和大动脉短轴切面仔细辨别; 对于窗孔样变引起的反流辨别相对比较困难, 但是当窗孔样变断裂出现反流时, 有经验的超声科医师可以根据反流位置及甩动的“腱索”进行判断<sup>[14]</sup>。第三, 综合评价主动脉瓣反流原因及分析主动脉瓣修复概率, 只要瓣叶无明显的增厚、挛缩和钙化, 大部分的 I 型和 II 型主动脉瓣反流均可考虑行修复手术。



### 3.2 ECG-MDCT

相比于超声心动图, ECG-MDCT 在评估主动脉根部的优势具有很高的空间分辨率, 其对于主动脉根部径线的评估明显优于超声心动图。由于主动脉根部形态并不是完美圆形, 而是不规则的椭圆形, 因此在评估主动脉根部径线时, 需要根据最大径与最小径进行综合评估, 并且进行多平面的旋转测量。Plonek 等<sup>[15]</sup>研究发现, ECG-MDCT 测量的最大径线与最小径线差异很大, 最大者超过 20 mm, 特别是在二瓣化患者中差异更加明显, 因此超声心动图的单平面测量一般会低估主动脉根部径线, 这会对手术方案的制定产生较大的影响。目前对于根部径线的评估, 多层螺旋 CT (MDCT) 已经成为金标准。

MDCT 评估主动脉根部的另外一个优势是对钙化的定性和定量评估, 对于主动脉瓣叶、瓣环钙化数量和位置的精确评估可以预测修复成功率<sup>[16]</sup>。瓣尖的小钙化可以考虑修复术, 而瓣体或瓣环位置的钙化往往需要进行瓣叶置换。

对于主动脉瓣叶的评估是 MDCT 的一个劣势, 主动脉瓣叶随着心脏的跳动快速运动, 因此必须

应用心电门控的 MDCT 才能准确地评价主动脉瓣。Yang 等<sup>[17]</sup>应用三维重建的 ECG-MDCT 评价正常人的主动脉瓣叶面积, 证明该方法在评价主动脉瓣叶的可行性。但是主动脉瓣功能需要瓣叶完整心动周期的运动来维系, 一般 ECG-MDCT 只评价一个时相的主动脉瓣叶形态, 无法准确反映主动脉瓣的解剖与功能之间的关系。全心动周期 CT 是将一个心动周期按照 10% 的 R-R 间期进行分割, 进行一个心动周期的连续评价, 这极大提高了 MDCT 的时间分辨率, 目前全心动周期 CT 在评价卵圆孔未闭的敏感性和特异性接近经食道超声心动图<sup>[18]</sup>。未来全心动周期 CT 评价主动脉瓣解剖及功能也将成为一个研究的热点。

### 3.3 CMR

当患者声窗较差, 不能很好地通过超声心动图评价反流量时, CMR 是一个非常好的评价手段。一般认为反流分数大于 33% 时患者需要进行手术干预, 反流分数定义为反流量与每搏量的比值<sup>[19]</sup>。在主动脉根部径线测量方面, 若测量主动脉的内径, CMR 与 MDCT 测量的值相比差异不大。在主动脉壁厚度

测量方面, CMR 测的结果要比 MDCT 测量的结果准确, 这可能与 CMR 对于主动脉壁的组织分辨率要高于 MDCT 有关。

CMR 在主动脉瓣修复术前评价的主要优势是可以直接对主动脉内的血流进行力学评价。基于 4D-Flow CMR 技术, 可以评价主动脉内血流及反流流线图, 动态地观察反流束形态, 评价主动脉瓣反流机制, 另外还可以评价修复前后主动脉内血液动力学变化。Lenz 等<sup>[20]</sup>通过 4D-Flow CMR 对比二瓣化主动脉瓣修复术前与术后主动脉内血流变化, 发现修复后主动脉内的涡流、偏心血流、血流移位及区域的血管壁剪切力均较修复前改善, 主动脉瓣二瓣化修复后使瓣膜解剖更加对称, 主动脉内血流更加合理。虽然 4D-Flow CMR 的应用还处在科研阶段, 相信未来其必在主动脉瓣修复术影像学评价体系中占有一席之地。

#### 4 总结

对主动脉根部功能解剖和主动脉瓣反流机制的深刻认识是实施主动脉瓣修复术的基础。术前精准的影像学评价有助于主动脉瓣修复的患者选择, 提高修复成功率和远期结果。超声心动图是目前应用最广泛、最有效的评价手段, ECG-MDCT 和 4D-Flow CMR 在主动脉瓣修复术前评价具有良好的发展前景。

利益冲突: 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

- [1] 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. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000932.
- [2] Vahanian A, Beyersdorf F, Praz F, et al. 2021 ESC/EACTS guidelines for the management of valvular heart disease[J]. *Eur Heart J*, 2022, 43(7): 561-632. DOI: 10.1093/eurheartj/ehab395.
- [3] Lansac E, Di Cerna I, Danial P, et al. Aortic valve repair versus mechanical valve replacement for root aneurysm: the CAVIAAR Multicentric Study[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2022, 62(2): ezac283. DOI: 10.1093/ejcts/ezac283.
- [4] Anderson RH. Clinical anatomy of the aortic root[J]. *Heart*, 2000, 84(6): 670-673. DOI: 10.1136/heart.84.6.670.
- [5] De Kerchove L, Momeni M, Aphram G, et al. Free margin length and coaptation surface area in normal tricuspid aortic valve: an anatomical study[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2018, 53(5): 1040-1048. DOI: 10.1093/ejcts/ezx456.
- [6] Sievers HH, Hemmer W, Beyersdorf F, et al. The everyday used nomenclature of the aortic root components: the tower of Babel[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2012, 41(3): 478-482. DOI: 10.1093/ejcts/ezr093.
- [7] De Kerchove L, Jashari R, Boodhwani M, et al. Surgical anatomy of the aortic root: implication for valve-sparing reimplantation and aortic valve annuloplasty[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2015, 149(2): 425-433. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2014.09.042
- [8] Guo MH, Boodhwani M. Aortic valve repair: from concept to future targets[J]. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 31(4): 650-655. DOI: 10.1053/j.semtcvs.2019.05.034.
- [9] 孙境, 郑哲. 主动脉瓣二瓣化畸形合并主动脉病变的研究进展[J]. *中国循环杂志*, 2020, 35(6): 615-618. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2020.06.018.
- [10] De Kerchove L, Mastrobuoni S, Froede L, et al. Variability of repairable bicuspid aortic valve phenotypes: towards an anatomical and repair-oriented classification[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2019: ezz033. DOI: 10.1093/ejcts/ezz033.
- [11] Boodhwani M, de Kerchove L, Glineur D, et al. Repair-oriented classification of aortic insufficiency: impact on surgical techniques and clinical outcomes[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2009, 137(2): 286-294. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2008.08.054.
- [12] Vanoverschelde JL, van Dyck M, Gerber B, et al. The role of echocardiography in aortic valve repair[J]. *Ann Cardiothorac Surg*, 2013, 2(1): 65-72. DOI: 10.3978/j.issn.2225-319X.2012.12.04.
- [13] 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): 2225-2244. DOI: 10.1016/j.jcmg.2018.06.032.
- [14] Zhu C, Torres SC, Nunes JPL. Aortic valve fenestrations: a review[J]. *Porto Biomed J*. 2020, 5(5): e083. DOI: 10.1097/j.pbj.0000000000000083.
- [15] Plonek T, Berezowski M, Bochenek M, et al. A comparison of aortic root measurements by echocardiography and computed tomography[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 157(2): 479-486. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2018.07.053.
- [16] Regeer MV, Kamperidis V, Versteegh MI, et al. Aortic valve and aortic root features in CT angiography in patients considered for aortic valve repair[J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2014, 8(4): 299-306. DOI: 10.1016/j.jcct.2014.06.008.
- [17] Yang DH, Kim DH, Handschumacher MD, et al. In vivo assessment of aortic root geometry in normal controls using 3D analysis of computed tomography[J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2017, 18(7): 780-786. DOI: 10.1093/ehjci/jew146.
- [18] Lee S, Kim IC, Kim YD, et al. The role of cardiac CT throughout the full cardiac cycle in diagnosing patent foramen ovale in patients with acute stroke[J]. *Eur Radio*, 2021, 31(12): 8983-8990. DOI: 10.1007/s00330-021-08037-y.
- [19] Myerson SG, d'Arcy J, Mohiaddin R, et al. Aortic regurgitation quantification using cardiovascular magnetic resonance: association with clinical outcome[J]. *Circulation*, 2012, 126(12): 1452-1460. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.111.083600.
- [20] Lenz A, Petersen J, Riedel C, et al. 4D flow cardiovascular magnetic resonance for monitoring of aortic valve repair in bicuspid aortic valve disease[J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2020, 22(1): 29. DOI: 10.1186/s12968-020-00608-0.

(收稿日期: 2022-08-28)

(编辑: 卢芳)