

- study[J]. *Circulation*, 2012,125(13):1605-1616.
- [4] Chen JF, Smilowitz NR, Kim JT, et al. Medical therapy for atherosclerotic cardiovascular disease in patients with myocardial injury after non-cardiac surgery [J]. *Int J Cardiol*, 2019,279: 1-5.
- [5] Gualandro DM, Campos CA, Calderaro D, et al. Coronary plaque rupture in patients with myocardial infarction after noncardiac surgery: frequent and dangerous[J]. *Atherosclerosis*, 2012,222(1):191-195.
- [6] Samman TA, Sandesara P, Hayek SS, et al. High-sensitivity troponin I levels and coronary artery disease severity, progression, and long-term outcomes[J]. *J Am Heart Assoc*, 2018,7(5):e007914.
- [7] Alpert JS, Thygesen KA, White HD, et al. Diagnostic and therapeutic implications of type 2 myocardial infarction: review and commentary[J]. *Am J Med*, 2014,127(2):105-108.
- [8] White HD. Pathobiology of troponin elevations: do elevations occur with myocardial ischemia as well as necrosis? [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2011,57(24):2406-2408.
- [9] Park KC, Gaze DC, Collinson PO, et al. Cardiac troponins: from myocardial infarction to chronic disease[J]. *Cardiovasc Res*, 2017, 113(14):1708-1718.
- [10] Costabel JP, Burgos LM, Trivi M. The significance of troponin elevation in atrial fibrillation[J]. *J Atr Fibrillation*, 2017,9(6):1530.
- [11] Chin CW, Shah AS, McAllister DA, et al. High-sensitivity troponin I concentrations are a marker of an advanced hypertrophic response and adverse outcomes in patients with aortic stenosis [J]. *Eur Heart J*, 2014, 35(34):2312-2321.
- [12] Chapman AR, Adamson PD, Mills NL. Assessment and classification of patients with myocardial injury and infarction in clinical practice [J]. *Heart*, 2017,103(1):10-18.
- [13] Vasile VC, Chai HS, Abdeldayem D, et al. Elevated cardiac troponin T levels in critically ill patients with sepsis [J]. *Am J Med*, 2013, 126(12):1114-1121.
- [14] Thygesen K, Mair J, Giannitsis E, et al. How to use high-sensitivity cardiac troponins in acute cardiac care[J]. *Eur Heart J*, 2012,33(18):2252-2257.
- [15] Chapman AR, Shah ASV, Lee KK, et al. Long-term outcomes in patients with type 2 myocardial infarction and myocardial injury [J]. *Circulation*, 2018, 137(12):1236-1245.
- [16] Radovanovic D, Pilgrim T, Seifert B, et al. Type 2 myocardial infarction: incidence, presentation, treatment and outcome in routine clinical practice[J]. *J Cardiovasc Med*, 2017,18(5):341-347.

收稿日期:2019-05-13

多层螺旋 CT 在经导管主动脉瓣植入术前评估中的研究进展

蒲华霞 彭礼清

(四川大学华西医院放射科,四川 成都 610041)

【摘要】经导管主动脉瓣植入术(TAVI)是外科高风险重度主动脉瓣狭窄的最重要的替代治疗手段。在 TAVI 术前,多层螺旋 CT 在患者筛选、选择最佳人工瓣膜型号以及规划手术入路方面起着重要作用。多层螺旋 CT 能在三维重建后精确评价主动脉瓣环、主动脉根部及毗邻结构、入路血管和预测最佳造影投射角度,可有效降低 TAVI 术后瓣周漏、冠状动脉开口阻塞及入路血管并发症等的发生率。现就多层螺旋 CT 在 TAVI 术前评估中的价值、优势及不足做一全面综述。

【关键词】经导管主动脉瓣植入术;主动脉瓣重度狭窄;多层螺旋 CT

【DOI】10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2019.09.024

Preoperative Evaluation of Transcatheter Aortic Valve Implantation with Multi-detector Computed Tomography

PU Huaxia, PENG Liqing

(Department of Radiology, West China of Sichuan University, Chengdu 610041, Sichuan, China)

【Abstract】 Transcatheter aortic valve implantation (TAVI) is the most important alternative treatment for surgical high-risk severe aortic stenosis. Multi-detector computed tomography (MDCT) plays an important role in the screening of eligible patients, in choosing the optimal prosthesis size and planning the access route before TAVI. MDCT can accurately evaluate the aortic annulus, the aortic root and its adjacent structures, the vascular access route, and predict the optimal fluoroscopic projection angle by 3D volume-rendered reconstruction, which can effectively reduce the incidence of paravalvular leakage, coronary ostium occlusion and vascular complications of TAVI. We comprehensively review the values, advantages and disadvantages of MDCT in the preoperative evaluation in TAVI.

【Key words】 Transcatheter aortic valve implantation; Severe aortic stenosis; Multi-detector computed tomography

基金项目:国家自然科学基金资助项目(81601462);四川省科技厅支撑计划项目(2016FZ0107);四川省卫生和计划生育委员会科研课题(16ZD013)

通讯作者:彭礼清, E-mail: pengliqing@wchscu.cn

主动脉瓣狭窄(aortic stenosis, AS)是老年患者中最常见的瓣膜病,以钙化性 AS 居多。出现症状的重度 AS 如果不干预,可迅速致命,每年死亡率为 25%,平均生存期为 2~3 年^[1]。目前指南强烈推荐早期干预所有有症状的、跨瓣压差高的 AS 患者^[2]。外科主动脉瓣膜置换术(surgical aortic valve replacement, SAVR)需要体外循环,这类患者常因高龄、虚弱、左心室功能差以及存在严重合并症等高风险因素而无法行外科换瓣手术^[1]。微创的经导管主动脉瓣植入术(transcatheter aortic valve implantation, TAVI)作为一种有效的替代治疗手段,避免了开胸手术的重大创伤,也减少了体外循环后重要脏器功能障碍的发生率^[3]。因 TAVI“非直视”的手术特点,术前影像学评估对成功实施手术和减少并发症等至关重要。TAVI 术前的影像学评价主要包括经胸超声心动图、经食管超声、多层螺旋 CT(multi-detector computed tomography, MDCT)和心血管磁共振,其中以 MDCT 最常用。本文旨在对 MDCT 在 TAVI 术前评价中的价值、优势及不足做一全面综述。

1 患者筛选

筛选步骤:(1)确认 AS 的严重程度;(2)临床症状评价;(3)手术风险分析、预期寿命和生活质量评价;(4)评估 TAVI 治疗的可行性和排除禁忌证^[4]。重度 AS: 主动脉瓣面积 $< 0.8 \text{ cm}^2$, 平均跨瓣压差 $> 40 \text{ mm Hg}$ ($1 \text{ mm Hg} = 0.133 \text{ kPa}$) 或最大主动脉血流速度 $> 4.0 \text{ m/s}$ ^[5]。目前使用最广泛的手术风险评分为美国胸心外科协会评分(STS)、欧洲心血管手术风险评分(EuroSCORE)^[1]。

根据 2017 年美国心脏病学会(ACC)和美国心脏协会(AHA)心血管疾病指南^[6]: 对于考虑行高风险的 SAVR 或 TAVI 的患者,均必须有心脏瓣膜团队给患者提供最佳的护理(I 级推荐, C 级证据)。有临床症状(D 期)和高手术风险的重度 AS 患者,根据患者的手术风险、效益和选择倾向,建议行 SAVR 或 TAVI(I 级推荐, A 级证据)。有临床症状(D 期)、外科手术禁忌证和预期寿命 > 12 个月的重度 AS 患者可施行 TAVI(I 级推荐, A 级证据)。有临床症状(D 期)和中等手术风险的重度 AS 患者,根据患者的手术风险、效益和选择倾向, TAVI 是 SAVR 的合理的替代治疗手段(II 级推荐, B~R 级证据)。此外,最近研究表明, TAVI 与 SAVR 在低手术风险患者的短期和中期死亡率与神经系统事件方面亦无统计学差异^[7]。2014 年 ACC/AHA 心血管疾病指南中行 TAVI 治疗的排除标准^[5]: 二叶主动脉瓣、急性心肌梗死、显著的冠状动脉疾病、左室射血分数 $< 20\%$ 、有效主动脉瓣环直径 $< 18 \text{ mm}$ 或 $> 25 \text{ mm}$ 、重度主动脉瓣反流或二尖瓣反流、6 个月

内有短暂性脑缺血发作或严重肾功能不全。

2 TAVI 术前 MDCT 评价

2.1 CT 扫描技术

平扫 CT 用于评价血管壁和瓣膜钙化, 心电门控增强 CT 可冻结心脏, 可对心脏大血管和冠状动脉进行清晰成像^[8]。

常规 TAVI 术前 CT 血管造影(computed tomography angiography, CTA)检查是对主动脉根部区域进行心电门控扫描, 胸腹部区域非心电门控扫描。心电门控优点是可以消除心脏搏动伪影, 缺点是会增加辐射剂量。推荐二代双源 CT 扫描, 二代双源 CT 采用大螺距(达 3.2)扫描, 同时完成心电门控下心脏入路血管成像, 较常规 MDCT 明显降低辐射剂量^[9]。

2.2 主动脉瓣膜及瓣环评价

首先, TAVI 术前需要明确主动脉瓣膜为二叶瓣还是三叶瓣, 主动脉根部短轴重建可清晰显示主动脉瓣叶数。其次, 需要评价主动脉瓣叶和瓣环钙化的分布和严重程度^[10]。MDCT 可显示主动脉瓣钙化的大小、数量和分布, 对钙化进行半定量评价, 亦可通过软件定量测定钙化积分, 根据钙化程度及分布决定是否在植入人工瓣后进行后扩张等操作^[11]。TAVI 术前需要精确测量主动脉瓣环大小以选择最佳尺寸的人工瓣膜。真正的主动脉瓣环为“皇冠状”立体形态, TAVI 术前评价的瓣环实际是主动脉瓣叶附着最低点构成的一个虚拟瓣环^[12]。在主动脉根部采用双斜位多平面重建虚拟瓣环平面^[9, 11]。在该重建平面, 于收缩期测量主动脉瓣环大小直径、周长及面积。主动脉瓣环的周长和瓣环面积需要通过圆的周长和面积公式转换为有效直径方可用于人工瓣选择^[3]。以周长为基础的有效直径不容易受动态心脏周期造成的瓣环形态影响, 是观察者间差异较小、重复性最好的参数, 故应优先用于人工瓣膜的选择^[13]。目前, 一些商业软件可自动识别主动脉根部结构, 测量主动脉瓣环尺寸。Foldyna 等^[14]的研究表明 TAVI 术前半自动评价软件基于 CT 图像对主动脉瓣环和主动脉根部的测量是可靠的, 可减少后处理时间。

由于 TAVI 治疗是在 X 线透视监测下进行的, 术前 CT 可通过模拟透视, 预测投射角度来减少手术时间、造影剂用量、辐射剂量及人工瓣错位、瓣旁漏、急性肾损伤等并发症的发生^[15]。

2.3 冠状动脉评价

TAVI 术前应同时评价冠状动脉有无斑块及管腔狭窄程度。CTA 对于冠状动脉近端严重狭窄的患者, 不建议行 TAVI 治疗^[4]。测量左右冠状动脉开口下缘至主动脉瓣环平面的垂直距离, 并测量主动脉瓣叶长度, 以及在舒张期和收缩期评估左冠瓣尖至左冠状

动脉开口的距离,避免术后人工瓣膜阻挡冠状动脉开口导致心肌缺血^[16]。如果瓣环与冠状动脉开口距离 < 人工瓣膜长度的 2/3 或者 < 主动脉瓣叶长度,则可能发生冠状动脉开口阻塞^[16-17]。

2.4 主动脉根部径线测量

准确测量左室流出道、窦管交接处及升主动脉(距瓣环平面 40 mm 处)的直径和主动脉窦部的直径及最大高度,对于人工瓣膜的锚定非常重要,有助于避免术中压迫左室流出道导致传导阻滞^[11]。在舒张末期测量左心室流出道直径及室间隔的最大直径,评价是否存在 S 形间隔(即室间隔局部增厚形成,可导致左心室流出道狭窄)^[16]。退行性 AS 易导致主动脉窦部几何形状的重塑,故主动脉窦部的直径和最大高度也是选择合适的人工瓣的重要参数^[3]。当植入自膨胀的 Core Valve 瓣膜时,窦管交接处和升主动脉的直径 ≤ 45 mm^[4]。对于相对较长的支架,测量升主动脉直径以使人工瓣膜牢固地贴合主动脉壁的曲度,而较短的支架此测值很少关注,因短支架固定区仅涉及主动脉瓣环和主动脉窦部^[18]。

另外,需要对邻近的二尖瓣区有无钙化及严重程度、是否存在人工瓣膜进行相应评价。当二尖瓣区存在金属瓣膜时,TAVI 的施行会更具有挑战性^[3]。

2.5 入路血管评价

目前常见的入路包括经股动脉、经心尖部、经升主动脉和经锁骨下动脉/腋动脉入路。经股动脉入路侵入性最小,常为首选方法,若有禁忌时优先选择经心尖入路。当主动脉弓存在严重动脉粥样硬化,但升主动脉尚好时,经升主动脉入路可能是很好的选择,避免了栓塞和主动脉破裂的风险。经锁骨下动脉入路很少选择,因血管解剖结构易导致导鞘通过困难,仅保留给没有其他适当入路时^[10,18-19]。

对于经股动脉入路,分析股髂动脉的内径,有无软斑块或钙化斑块,斑块分布、血管迂曲的程度和范围。根据不同的 TAVI 导管系统,对入路血管的直径要求不同,但髂股动脉的最小直径不得小于 5.5 mm^[19]。因钙化限制血管的扩张性,导鞘通过时易引起血管损伤^[17]。髂股动脉迂曲为相对禁忌证,不存在钙化的情况下可通过被拉直而引入导鞘系统^[12]。此外,需对主动脉进行评价,是否迂曲及程度、有无动脉瘤或附壁血栓。存在附壁血栓则有血栓脱落风险,存在动脉瘤则有血管破裂或夹层风险。对于经心尖入路,需评估左心室心尖的形态,及心尖相对胸壁的位置^[19]。对于经升主动脉入路,需评估升主动脉相对于胸骨的位置。导鞘系统在升主动脉上的入口应在主动脉瓣环上方至少 6 cm 处,需仔细评估入口处需要手术缝合的区域(面积至少为 1 cm² 的无钙化区)、入口至主动脉瓣环之间的血管口径和形态及主动脉

瓣环-左心室角度。当存在“横向”升主动脉(即主动脉瓣环-左心室角度 > 70°)时,有人工瓣错位的风险,则需更多导管输送系统的联合使用。相关禁忌证:胸廓畸形、升主动脉太短或钙化严重、冠状动脉旁路移植术病史(因升主动脉近端有吻合口而存在损伤风险)^[18-19]。

对于经锁骨下动脉/腋动脉入路,腋动脉的近端 1/3(即第一肋骨外侧缘至胸大肌内侧缘之间)是理想的经皮或外科手术入口。应特别注意锁骨下动脉在主动脉弓上的起始处,该处为钙化斑块的好发部位。相关禁忌证:血管管径 < 6 mm、严重钙化、过度迂曲和不适合球囊血管成形术的严重狭窄。当存在左乳内动脉-左冠状动脉前降支桥血管,经锁骨下入路术中可能会导致急性致命的桥血管闭塞,故此时不宜选择该入路^[19-20]。

3 TAVI 术前 CT 评价指标与预后相关性

除了评价上述主动脉根部及入路解剖,还需评价腰大肌横截面积(psoas muscle area, PSA)和腰大肌体积(psoas muscle volume, PSV)。PSA 和 PSV 除以体表面积进行标准化。标准化的 PSA 可以量化肌少症,标准化的 PSA 和 PSV 值是 TAVI 术后长期死亡率的有力预测因子^[21-22]。

瓣环直径大小决定人工瓣膜型号的选择,人工瓣型号过大可能导致主动脉根部破裂、阻挡冠状动脉开口和传导异常等严重并发症;若选择型号过小可能出现严重的瓣周漏甚至瓣膜移位^[11]。

主动脉瓣钙化的严重程度和分布与术中人工瓣膜的锚定及相关手术并发症的风险相关,如瓣周漏、冠状动脉开口阻塞、瓣环破裂及人工瓣移位^[3,18]。瓣膜钙化移位会增加冠状动脉口压迫或阻塞的风险,尤其瓣尖的钙化移位^[12]。当左心室流出道、瓣环下区域和二尖瓣区存在显著钙化,亦会增加瓣环破裂风险^[23]。

由于 TAVI 术中固有瓣叶会因球囊扩张撕裂并贴附于窦部管壁,如瓣环-冠状动脉开口距离 < 10 mm、主动脉窦部内径小或类似管型结构、瓣叶过长或瓣叶边缘存在团块钙化均为阻挡冠脉开口的危险因素^[11,24]。有学者建议 TAVI 术前患者影像学筛选冠状动脉开口至瓣环距离应 > 10 mm,窦部直径至少 > 30 mm、瓣叶长度和钙化应个体化分析^[16]。

主动脉瓣反流包括主动脉瓣中心反流及瓣周漏:与外科主动脉瓣置换术相比,TAVI 因保留原有瓣膜并将其撕裂贴壁更易发生瓣周漏。瓣膜中心性反流常因人工瓣膜膨胀不完全所致^[11]。任何主动脉瓣反流都与晚期死亡率增加有关^[25]。TAVI 术后瓣周漏原因如下:低估瓣环内径、瓣环水平钙化严重、瓣膜植入位置过浅及主动脉瓣环椭圆度过大。

房室传导阻滞:TAVI 支架会延伸至左室流出道,并有损伤传导系统风险,故 TAVI 术后发生房室传导阻滞并需要放置永久起搏器的情况常有发生^[2]。目前相关解剖危险因素包括室间隔厚度增加(S 形间隔)、左心室流出道内径较小、瓣膜型号的选择过大、支架嵌入左心室流出道的宽度及深度过大和密集的二尖瓣环钙化^[23]。术前测量评估左室流出道形态可一定程度降低该并发症发生率^[11]。

另外,还需评估心脏结构及偶发的心脏内外疾病(如恶性肿瘤和左心房血栓等)^[23]。

4 TAVI 术前 MDCT 扫描限制

MDCT 术前 TAVI 扫描的主要限制因素包括:(1)心率较快患者的图像质量不佳,但目前宽体探测器 CT 可在一个心动周期内覆盖全心扫描,使得心律失常患者可清晰成像^[8];(2)主动脉瓣复合体的严重钙化可能会影响瓣环测量的准确性和最佳造影投射角度的估计;(3)肾功能严重受损和造影剂过敏患者为 MDCT 增强检查禁忌证。

5 结语

MDCT 可全面评价入路血管、主动脉根部及毗邻结构,为 TAVI 术前选择最佳型号的人工瓣膜和规划合适的入路血管提供重要依据,可有效地减少或避免 TAVI 治疗相关并发症。

参考文献

- [1] Joseph J, Naqvi SY, Giri J, et al. Aortic stenosis: pathophysiology, diagnosis, and therapy[J]. *Am J Med*, 2017, 130(3): 253-263.
- [2] Baumgartner H, Falk V, Bax JJ, et al. 2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease [J]. *Eur Heart J*, 2017, 38(36): 2739-2791.
- [3] Latsios G, Spyridopoulos TN, Toutouzas K, et al. Multi-slice CT (MSCT) imaging in pretrans-catheter aortic valve implantation (TAVI) screening. How to perform and how to interpret[J]. *Hellenic J Cardiol*, 2018, 59(1): 3-7.
- [4] Vahanian A, Alfieri OR, Al-Attar N, et al. Transcatheter valve implantation for patients with aortic stenosis: a position statement from the European Association of Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) and the European Society of Cardiology (ESC), in collaboration with the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI) [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2008, 34(1): 1-8.
- [5] Nishimura RA, Otto CM, Bonow RO, et al. 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 Practice Guidelines[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2014, 148(1): e1-e132.
- [6] 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.
- [7] Saleem S, Younas S, Syed MA. Meta-analysis comparing transcatheter aortic valve implantation to surgical aortic valve replacement in low surgical risk patients[J]. *Am J Cardiol*, 2019, 124(8): 1257-1264.
- [8] Kim JY, Suh YJ, Chang S, et al. Feasibility of a single-beat prospective ECG-gated cardiac CT for comprehensive evaluation of aortic valve disease using a 256-detector row wide-volume CT scanner: an initial experience[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2018, 34(2): 293-300.
- [9] 彭礼清, 余建群, 李真林, 等. 双源计算机断层成像大螺距扫描在主动脉瓣狭窄经导管主动脉瓣植入术前评价中的可行性研究[J]. *生物医学工程杂志*, 2016, 33(5): 945-950.
- [10] Caruso D, Rosenberg RD, de Cecco CN, et al. Vascular imaging before transcatheter aortic valve replacement (TAVR): why and how? [J]. *Curr Cardiol Rep*, 2016, 18(2): 14.
- [11] 王墨扬, 吴永健. 经导管主动脉瓣置换术前影像学评估[J]. *中国循环杂志*, 2016, 31(7): 715-717.
- [12] Marwan M, Achenbach S. Role of cardiac CT before transcatheter aortic valve implantation (TAVI) [J]. *Curr Cardiol Rep*, 2016, 18(2): 21.
- [13] von Aspern K, Foldyna B, Eitz CD, et al. Effective diameter of the aortic annulus prior to transcatheter aortic valve implantation: influence of area-based versus perimeter-based calculation[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2015, 31(1): 163-169.
- [14] Foldyna B, Jungert C, Luecke C, et al. CT evaluation prior to transapical aortic valve replacement: semi-automatic versus manual image segmentation[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2015, 31(6): 1233-1242.
- [15] Samim M, Stella PR, Agostoni P, et al. Automated 3D analysis of pre-procedural MDCT to predict annulus plane angulation and C-arm positioning: benefit on procedural outcome in patients referred for TAVR[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2013, 6(2): 238-248.
- [16] Tops LF, Wood DA, Delgado V, et al. Noninvasive evaluation of the aortic root with multislice computed tomography implications for transcatheter aortic valve replacement[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2008, 1(3): 321-330.
- [17] Apfaltrer P, Henzler T, Blanke P, et al. Computed tomography for planning transcatheter aortic valve replacement[J]. *Thorac Imaging*, 2013, 28: 231-239.
- [18] Achenbach S, Delgado V, Hausleiter J, et al. SCCT expert consensus document on computed tomography imaging before transcatheter aortic valve implantation (TAVI)/transcatheter aortic valve replacement (TAVR) [J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2012, 6(6): 366-380.
- [19] Biasco L, Ferrari E, Pedrazzini G, et al. Access sites for TAVI: patient selection criteria, technical aspects, and outcomes[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2018, 5: 88.
- [20] Petronio AS, de Carlo M, Bedogni F, et al. 2-year results of CoreValve implantation through the subclavian access: a propensity-matched comparison with the femoral access[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2012, 60(6): 502-507.
- [21] Hawkins RB, Mehaffey JH, Charles EJ, et al. Psoas muscle size predicts risk-adjusted outcomes after surgical aortic valve replacement[J]. *Ann Thorac Surg*, 2018, 106(1): 39-45.
- [22] Kleczynski P, Tokarek T, Dziewierz A, et al. Usefulness of psoas muscle area and volume and frailty scoring to predict outcomes after transcatheter aortic valve implantation[J]. *Am J Cardiol*, 2018, 122(1): 135-140.
- [23] Al-Najafi S, Sanchez F, Lerakis S. The crucial role of cardiac imaging in transcatheter aortic valve replacement (TAVR): pre- and post-procedural assessment[J]. *Curr Treat Options Cardiovasc Med*, 2016, 18(12): 70.
- [24] Ribeiro HB, Webb JG, Makkar RR, et al. Predictive factors, management, and clinical outcomes of coronary obstruction following transcatheter aortic valve implantation: insights from a large multicenter registry[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2013, 62(17): 1552-1562.
- [25] Kodali SK, Williams MR, Smith CR, et al. Two-year outcomes after transcatheter or surgical aortic-valve replacement[J]. *N Engl J Med*, 2012, 366(18): 1686-1695.

收稿日期: 2019-09-29