

• 综述 •

# 经导管主动脉瓣置换“瓣中瓣”的应用进展

何宇<sup>1</sup> 刘珂琦<sup>1</sup> 张榕<sup>1</sup> 刘晓燕<sup>1</sup> 江磊<sup>2</sup>

(1 雅安市人民医院心胸外科,四川 雅安 625000; 2 青岛大学附属医院心血管外科)

**[摘要]** 由于生物瓣膜的优点,国际上外科手术主动脉瓣换瓣使用生物瓣膜的越来越多。但由于生物瓣膜的耐久性差等原因导致的瓣膜衰败,是目前人工生物瓣膜不可避免的问题。病人一旦出现严重瓣膜衰败,可导致瓣膜狭窄或反流,引起心脏扩大及心功能不全,常需要再次置换瓣膜。很长一段时间以来外科手术换瓣为主动脉生物瓣膜衰败治疗的金标准。但目前生物瓣膜使用者多为老年病人,再次外科手术换瓣风险大,很多病人因此被拒绝于手术之外。近年由于经导管主动脉瓣植入术(TAVR)经验的积累和技术的进步,使其在生物瓣膜衰败治疗中的应用越来越多,特别是经导管主动脉“瓣中瓣”(VIV TAVR)的应用将改变这一局面。现将其应用综述如下。

**[关键词]** 心脏瓣膜,人工;主动脉瓣;瓣中瓣;生物瓣;综述

**[中图分类号]** R654.27 **[文献标志码]** A **[文章编号]**

**ADVANCES IN THE APPLICATION OF THE “VALVE-IN-VALVE” TECHNIQUE IN TRANSCATHETER AORTIC VALVE REPLACEMENT** HE Yu, LIU Keqi, ZHANG Rong, LIU Xiaoyan, JIANG Lei (Department of Cardiothoracic Surgery, Ya'an People's Hospital, Ya'an 625000, China)

**[ABSTRACT]** More and more biological valves have been used in aortic valve replacement in the world due to their unique advantages; however, due to the poor durability of biological valves and other reasons, valve deterioration is an inevitable problem of artificial biological valves. Once severe valve deterioration occurs, it can lead to valve stenosis or regurgitation, which may result in cardiac enlargement and cardiac insufficiency and often require valve re-replacement. Surgical valve replacement has long been the gold standard for the treatment of aortic valve deterioration, but since biological valves are mostly used in the elderly and there is a high risk of surgical valve re-replacement, many patients are rejected from surgery. In recent years, due to the accumulation of experience in transcatheter aortic valve replacement (TAVR) and related technical advances, it has been increasingly applied in the treatment of biological valve deterioration, especially the application of “valve-in-valve” TAVR.

**[KEY WORDS]** Heart valve; Artificial; Aortic valve; Valve-in-valve; Biological valve; Review

近年来,由于担心机械瓣膜出血和血栓等并发症的发生,生物瓣膜的应用呈现出上升的趋势<sup>[1-3]</sup>。但生物瓣膜耐久性相对较差,有一部分病人出现瓣膜衰败,需要再次手术治疗。但病人已经历过一次手术,再次手术风险很高,病死率高达 20%<sup>[4]</sup>,有些病人因此被拒绝于手术之外。但是,经导管主动脉瓣中瓣(VIV TAVR)的应用可以改变这一现状<sup>[5]</sup>。TAVR 技术进入临床应用 18 年来,已经在全球多个中心开展了超过 30 万例手术。TAVR 的经典适应证为三叶式主动脉瓣膜狭窄(中-重度)并钙化的高危手术风险病人。随着经验的累积以及技术不断的进步,早在 2006 年 WALTHER 就提出了经导管主动脉“瓣中瓣”这一理念;随后在 2007 年, WENA-WESER 首次成功实施了这一技术,1 年随访瓣膜无反流,跨瓣压差 1.60 kPa,术后病人恢复良好。近期 PARTNER 2 Valve-in-Valve Registry 调查了 2012 年 6 月-2014 年 10 月的 365 例进行了 VIV TAVR 治疗的病人<sup>[6]</sup>,平均年龄(78.9±10.2)岁,平均 STS 得分为 9.1±4.7,结果显示 30 d 内全因病死率为 2.7%,卒中发生率为 2.7%,主要血管并发症发生率为 4.1%,冠状动脉阻塞的发生率为 0.8%,永久起搏器置入率则为 1.9%;1 年的全因病死率为

12.4%,卒中发生率为 4.5%,永久起搏器植入率为 2.6%,主动脉瓣平均残余压力梯度为 2.35 kPa,主动脉瓣有效开口面积(EOA)为 1.16 cm<sup>2</sup>,中重度反流发生率为 1.9%,左心室射血分数增加到 50.6%~54.2%。证明了 VIV TAVR 技术治疗衰败主动脉生物瓣的可行性。

## 1 外科生物瓣膜的衰败(SVD)需再次换瓣评定标准

目前还没有对 SVD 形成一个统一的标准。在外科领域中主要有以下几个评定标准。SENAGE 等<sup>[7]</sup>是第一个提出根据心脏超声制定 SVD 标准的,包括经主动脉瓣平均压力差≥4.00 kPa,EOA≤1 cm<sup>2</sup>,经主动脉瓣反流≥3 级;类似还有 BOURGUIGNON 等<sup>[8]</sup>认为经主动脉瓣平均压力差为>5.33 kPa,严重的主动脉瓣反流,反流的面积>0.30 cm<sup>2</sup>; MAHJOURB 等<sup>[9]</sup>提议经主动脉瓣平均压力差≥2.66 kPa 同时 EOA 减少或跨瓣反流至少为 1 级。最近欧洲心血管成像协会指南建议的 SVD 标准为:在随访中平均跨膜压力差增加≥1.33 kPa 可能为 SVD,增加≥2.66 kPa 为严重 SVD,并且伴随有 EOA 下降,异常瓣叶形态学和活动性上有明显的下降,和新出现或恶化的生物瓣膜的反流。

## 2 外科生物瓣膜(SHV)的衰败类型

衰败可由瓣叶退化或者非瓣叶退化因素引发,前者一般

由瓣叶退化(磨损、撕裂、钙化)和瓣叶毁损(心内膜炎)引起, 后者的主要原因是血管翳覆盖、血栓和瓣周漏。这些退化的结果都可能导致瓣膜出现狭窄、反流, 或者两者同时出现。详细超声心动图对判断 SVD 类型非常重要, 经食管超声心动图(TEE)应该常规对瓣膜反流这一最主要退化类型病人检查来排除心内膜炎或者是瓣周漏。对表现为主动脉瓣狭窄的病人, 仔细回顾其原来超声检查, 观察最近的临床状态的改变, 以区分是 SHV 的衰败还是外科手术后的瓣膜与身体功能不匹配(PPM), 这对 SHV 瓣膜直径小于 21 mm 的病人来说, 回顾其超声检查尤为为重要, 因为其症状的出现可能与术后高跨瓣膜压力差和中-重度 PPM 有联系。据统计严重的外科生物瓣膜狭窄病人比外科生物瓣膜反流病人病死率更高<sup>[10]</sup>。在狭窄的外科生物瓣膜中经导管瓣膜(THV)不能充分地扩张, 影响血流动力学, 导致术后平均压力差增高, 出现较差的预后。

### 3 术前影像检查

经胸部超声心动图(TTE)是评估生物瓣膜结构和功能的标准。当 TTE 受到限制时, 经食管超声心动图(TEE)能提供更好的分辨率。TEE 在评估主动脉瓣关闭不全和区分经主动脉瓣反流或瓣周反流时扮演了重要的角色。瓣膜的三维超声心动图成像对外科手术非常有用, 用于确定反流的存在、起源、方向和延伸<sup>[11]</sup>。但是较差的超声心动图窗、人为因素、声影是公认的 TEE 和 TTE 的弱点。多排断层计算机扫描(MDCT)避免了这一技术缺陷, 并可使瓣膜形态和瓣叶运动更形象<sup>[12]</sup>。在有些特殊情况下, 尤其是对不能使用造影剂的病人, 心血管磁共振检查也是一种有用的工具; 在生物瓣植入后, 它提供了对主动脉瓣返流(AR)的精确的评价, 因为超声心动图定量可能很困难, 并且缺乏可靠性<sup>[13]</sup>。考虑到主动脉瓣狭窄病人冠心病的高发生率, 还需要常规对病人行冠状动脉造影检查。

### 4 衰败生物瓣膜分类及尺寸确认

市面上有多种类型的 SHV, 对 SHV 的型号、结构、尺寸的了解是至关重要的。外科生物瓣膜就其是否有支架来说一般分为两种, 有支架和无支架瓣膜。有支架的 SHV 在射线下显影, 在手术中能提供标记; 而无支架的外科生物瓣膜, 在射线下无显影, 手术过程中不能清晰知道其位置。有学者报道, 在无支架生物瓣膜中行 VIV TAVR, 冠状动脉阻塞的风险更高<sup>[14]</sup>。

瓣膜尺寸的确定是一大难点, 必须详细了解外科生物瓣膜规格。经导管生物瓣膜(THV)为无缝合瓣膜, 相对于瓣环大一些才能保持其稳定性。但是, 过大的尺寸会使瓣膜不完全扩张, 因此不仅不能恢复其功能, 也不能改善平均压力差<sup>[15]</sup>。然而, 较小的瓣膜可能导致严重的瓣周漏和血栓。目前常用的了解瓣膜尺寸的方法有: ①从制造商说明书获取其参数; ②通过 MDCT 测量其内部直径; ③使用 BAPAT 发布的软件来计算瓣膜的参数。

外科生物瓣膜厂家说明书标注的参数通常是外部直径, 而行 VIV TAVR 需要了解内部直径, 真实内部直径一般比外部直径小 1~4 mm。通过 CT 或者 TEE 对生物瓣膜的 3 维重建来获取真实内部直径或者面积是可行的。TEE 三维重建不需要造影剂, 有良好的分辨率, 能提供较好的生物信息。然而, TEE 三维重建受限于其对横向冠状动脉较差的分辨率, 这减少了在此平面测量血流、组织的作用。此时需要造影剂的 MDCT, 明显提供了更好的组织对比, 但可能会受到部分体积平均效应及心、肺或心率失常的影响。通过 MDCT 的帮助测量其内部直径, 其测量结果可能比所需内径大 1~2 mm, 特别是在内缝环瓣膜, 所以成像技术需要一个统一标准的方法。两种成像模式取决于病人的具体情况, 超声心动图和 MDCT 常认为是可以互相补充的。VIV TAVR 具有其自身特点, 需要具体的指南和标准来引导 MDCT 的测量, 瓣膜的真实流入量仍然是最重要的参数<sup>[16]</sup>。

### 5 瓣膜的置入位置

为了防止瓣周漏和瓣膜移位, 植入深度的确定是非常有挑战性的。不管瓣膜如何进行设计, SHV 最窄的部分总是在其缝环平面, 这可以在 VIV TAVR 中作为一个参考平面, SHV 射线下显影部分和缝环位置的关系可以确保 THV 放置的位置。与传统的 TAVR 类似, 找到显影部分或者垂直于瓣环平面部分的位置很重要。可以通过寻找一个合适的透视的角度, 在这个角度上, 瓣膜基部环上显影部分以直线的形式出现, 或者与瓣膜后的显影部分有近似的高度<sup>[17]</sup>。无支架 SHV 缺乏显影标记, 在这种情况下, 通过猪尾导管造影剂的帮助, 缓慢膨胀瓣膜, 可以帮助置入瓣膜位置的确认; TEE 的使用对于 THV 的定位也是非常有用的。有专家推荐使用导丝在冠状窦口作为标记以提供更好的瓣膜植入参考位置<sup>[18]</sup>。在理想情况下, SAPIEN XT 瓣膜应该在 SHV 的缝环下方 4~5 mm 处放置, 而 CoreValve 应该放置在新环形平面以下 5 mm 处<sup>[19]</sup>。

### 6 VIV TAVR 的并发症

除了 TAVR 并发症以外, VIV TAVR 还有其自身并发症特点, 术后主动脉瓣高残留平均压力差、冠状动脉阻塞、瓣膜血栓形成等, 其中最严重的为高残留平均压力差。SHV 的内径、支架、瓣叶高度以及瓣叶的位置, 在内环还是外环, 都能影响 VIV TAVR 的结果。到目前为止, 大多数 VIV TAVR 使跨瓣膜压力差减小, 且没有严重的瓣周漏。但是还有很多案例报道, 即使使用新型器械, VIV TAVR 后主动脉瓣残余平均压力差为 1.33~3.33 kPa, 比单纯 TAVR 后(0.67~2.00 kPa)要高<sup>[20]</sup>。特别是在较小的生物瓣膜中(直径 19~21 mm), 由于直径较小和瓣膜扩张不充分, 残余平均压力差通常超过 2.66 kPa<sup>[21]</sup>。此外, 一些病人在 SAVR (特别是小生物瓣膜组)中出现了高平均压力差和中度到重度的 PPM<sup>[22]</sup>, 这也导致了瓣膜置换术后的较高跨瓣压力差。SHV 通常流出道直径较小, 并且具有非弹性支架, 这可

能限制 THV 的扩张。反过来导致较差的血流动力学以及 VIV TAVR 后的高跨主动脉瓣压力差。事实上,在 VIV TAVR 之后,平均压力差升高是很常见的,并且使病死率增加。PPM 是指工作正常但不能为人体活动提供完整功能的人工瓣膜,PPM 通常是由瓣膜有效面积(EOA)除以病人的体表面积来定义的,EOA $\leq 0.85 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  定义为中度 PPM,EOA $\leq 0.65 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  表示有严重的 PPM。而生物瓣膜碎裂(BVF)<sup>[23]</sup>是解决这一问题的一种新技术。在 BVF 中,瓣膜成形扩张器被放置瓣膜合适的位置,然后在 SHV 的手术缝合环上进行高压充气,使瓣膜面积扩大,可以选择更大 THV 尺寸,从而增加了 VIV TAVR 后能达到的最大有效孔口面积。通过 BVF 后可以增加 3~4 mm 主动脉瓣直径。

冠状动脉阻塞有 3.0%~3.5% 的发生几率,这比单纯的 TAVR 要高,当冠状动脉开口位置与主动脉瓣距离 $<12 \text{ mm}$  时发生阻塞几率更大。在 VIV TAVR 中,瓣叶直接接触冠状动脉开口处,或者冠状动脉周围瓣叶运动会造成冠状动脉阻塞,并且冠状动脉阻塞在无支架瓣膜的病人中有更高发生率,在这一背景下,可回收和可重新定位的装置更值得推荐。同时瓣膜移位和血栓形成等并发症也有发生,可能与瓣膜未放置到合适的位置有关,相关文献报道了超过 15% 的瓣膜错位,新一代装置的应用和技术的进步会减少瓣膜错位发生的风险<sup>[24]</sup>。

## 7 结语

尽管 VIV TAVR 有一些局限性,但无可否认此技术还会不断提高。因此可以想象,在以后,SAVR 时选择瓣膜类型和操作方法时会与 VIV TAVR 技术发展密切相关,可能会减轻对 SHV 耐久性的担忧。随着 VIV TAVR 技术的成熟,其适用范围会更广,未来主动脉瓣膜的疾病可首选介入治疗,同时在介入中可以增大 EOA,减少 PPM 带来的影响。目前主要考虑 SHV 具体特点的选择,如其内径、设计等特征将会影响后期 VIV TAVR 的操作,据数据显示,超过 1/3 的 SAVR 病人接受了直径 $<23 \text{ mm}$  的 SHV。从长期来看,在生物研究中抑制 THV 的扩张和不良的匹配可能会加速瓣膜的退化和降低耐久性。当行 SAVR 时应尽可能选择较大的 SHV,或从长远来看预防性使用主动脉根部扩张术,更便于将来 VIV TAVR 的实行。

**作者声明:**所有作者共同参与了论文的研究设计、写作和修改。所有作者均阅读并同意发表该论文,且均声明不存在利益冲突。

## [参考文献]

- [1] THOURANI V H, SURI R M, GUNTER R L, et al. Contemporary real-world outcomes of surgical aortic valve replacement in 141,905 low-risk, intermediate-risk, and high-risk patients[J]. *Ann Thorac Surg*, 2015,99(1):55-61.
- [2] ISAACS A J, SHUHAIBER J, SALEMI A, et al. National trends in utilization and in-hospital outcomes of mechanical versus bioprosthetic aortic valve replacements[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2015,149(5):1262-1269.
- [3] BRENNAN J M, EDWARDS F H, ZHAO Y, et al. Long-term safety and effectiveness of mechanical versus biologic aortic valve prostheses in older patients: Results from the Society of Thoracic Surgeons Adult Cardiac Surgery National Database [J]. *Circulation*, 2013,127(16):1647-1655.
- [4] LEONTYEV S, BORGER M A, DAVIERWALA P, et al. Redo aortic valve surgery: Early and late outcomes [J]. *Ann Thorac Surg*, 2011,91(4):1120-1126.
- [5] DVIR D, WEBB J G, BLEIZIFFER S, et al. Transcatheter aortic valve implantation in failed bioprosthetic surgical valves [J]. *JAMA*, 2014,312(2):162-170.
- [6] WEBB J G, MACK M J, WHITE J M, et al. Transcatheter aortic valve implantation within degenerated aortic surgical bioprostheses [J]. *JACC*, 2017,69(18):2253-2262.
- [7] SÉNAGE T, LETOURNEAU T, FOUCHER Y, et al. Early structural valve deterioration of mitroflow aortic bioprosthesis: Mode, incidence, and impact on outcome in a large cohort of patients [J]. *Circulation*, 2014,130(23):2012-2020.
- [8] BOURGUIGNON T, ELKHOURY R, CANDOLFI P, et al. Very long-term outcomes of the perimount aortic valve in patients aged 60 or younger [J]. *Ann Thorac Surg*, 2015,100(9):853-859.
- [9] MAHJOUB H, MATHIEU P, SÉNÉCHAL M, et al. ApoB/ApoA-I ratio is associated with increased risk of bioprosthetic valve degeneration [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2013,61(7):752-761.
- [10] PIBAROT P, WEISSMAN N J, STEWART W J, et al. Incidence and sequelae of prosthesis-patient mismatch in transcatheter versus surgical valve replacement in high-risk patients with severe aortic stenosis: A partner trial cohort—a analysis [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2014,64(13):1323-1334.
- [11] LANCELLOTTI P, PIBAROT P, CHAMBERS J, et al. Recommendations for the imaging assessment of prosthetic heart valves: A report from the European Association of Cardiovascular Imaging endorsed by the Chinese Society of Echocardiography, the Interamerican Society of Echocardiography and the Brazilian Department of Cardiovascular Imaging [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2016,17(9):589-592.
- [12] CHENOT F, MONTANT P, GOFFINET C, et al. Evaluation of anatomic valve opening and leaflet morphology in aortic valve bioprosthesis by using multidetector CT: Comparison with transthoracic echocardiography [J]. *Radiology*, 2010,255(2):377-385.
- [13] RIBEIRO H B, ORWAT S, HAYEK S S, et al. Cardiovascular magnetic resonance to evaluate aortic regurgitation after transcatheter aortic valve replacement [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2016,68(6):577-585.
- [14] NOORANI A, RADIA R, BAPAT V, et al. Challenges in valve-in-valve therapy [J]. *J Thorac Dis*, 2015,7(9):1501-1508.

分析[J]. 国际检验医学杂志, 2016,37(11):1455-1458.

[11] 刘石萍,邢会美,苏世萍,等. 单纯空腹血糖升高的妊娠期糖尿病患者的妊娠结局及其影响因素[J]. 中华围产医学杂志, 2017,20(11):796-800.

[12] LI H M, ZHU X H, WANG A L, et al. Co-effect of insulin resistance and biomarkers of inflammation and endothelial dysfunction on hypertension[J]. *Hypertens Res*, 2012, 35(5): 513-517.

[13] 成德翠,李菲菲,周学欣,等. 高龄、肥胖、早孕期体重增长、一级亲属糖尿病家族史单因素以及复合因素对妊娠期糖尿病发病的影响[J]. 现代妇产科进展, 2021,30(5):341-345.

[14] PATTANATHAIYANON P, PHALOPRAKARN C, TANG-JITGAMOL S. Comparison of gestational diabetes mellitus rates in women with increased and normal white blood cell counts in early pregnancy[J]. *J Obstet Gynaecol Res*, 2014,40(4):976-982.

[15] YU J, ZHOU Y, GUI J, et al. Assessment of the number and function of macrophages in the placenta of gestational diabetes mellitus patients[J]. *J Huazhong Univ Sci Technolog Med Sci*, 2013,33(5):725-729.

[16] SYNGELAKI A, VISSER G H, KRITHINAKIS K, et al. First trimester screening for gestational diabetes mellitus by maternal factors and markers of inflammation[J]. *Metabolism*, 2016,65(3):131-137.

[17] KOLLERITS B, LAMINA C, HUTH C, et al. Plasma concentrations of afamin are associated with prevalent and incident type 2 diabetes: A pooled analysis in more than 20, 000 individuals[J]. *Diabetes Care*, 2017,40(10):1386-1393.

[18] DIEPLINGER H, DIEPLINGER B. Afamin: A pleiotropic

glycoprotein involved in various disease states[J]. *Clin Chim Acta*, 2015,446:105-110.

[19] 刘华,王敏,马园园. 孕早期血清 afamin 浓度与孕妇发生妊娠期高血压疾病和妊娠期糖尿病的关系[J]. 中国妇幼保健, 2019,34(10):2217-2220.

[20] KHAN I, OKOSIEME O E, LAZARUS J H. Current challenges in the pharmacological management of thyroid dysfunction in pregnancy[J]. *Expert Rev Clin Pharmacol*, 2017, 10(1):97-109.

[21] 张丽倩,杨琰,郭艳巍,等. 孕早期母体甲状腺功能指标与胰岛β细胞功能及胰岛素抵抗关系的研究[J]. 中国糖尿病杂志, 2020,28(10):734-738.

[22] 吕春秀. 甲状腺功能与妊娠期糖尿病和妊娠期高血压疾病的关系[J]. 中国现代医生, 2018,56(7):57-59,63.

[23] PEDERSEN C, LESERMAN J, GARCIA N, et al. Late pregnancy thyroid-binding globulin predicts perinatal depression[J]. *Psychoneuroendocrinology*, 2016,65:84-93.

[24] 王永萍,王莉. 妊娠期高血压疾病的危险因素和母儿结局分析[J]. 中国临床医生杂志, 2022,50(5):600-602.

[25] 颜丽芳,腾瑶瑶,梅珊珊,等. 妊娠期糖尿病合并妊娠期高血压疾病与剖宫产及新生儿结局的关系[J]. 实用医学杂志, 2022, 38(11):1400-1403,1409.

[26] 王晓东,王燕,李文婷. 妊娠期糖尿病孕妇血糖控制情况及对胎儿畸形发生率的影响和相关性研究[J]. 中国优生与遗传杂志, 2019,27(4):480-482,476.

[27] MBACHU I I, UDIGWE G O, OKAFOR C I, et al. The pattern and obstetric outcome of hypertensive disorders of pregnancy in Nnewi, Nigeria[J]. *Niger J Med*, 2013,22(2):117-122.

(本文编辑 耿波 厉建强)

(上接第 278 页)

[15] BAPAT V N, ATTIA R, THOMAS M, et al. Effect of valve design on the stent internal diameter of a bioprosthetic valve: A concept of true internal diameter and its implications for the valve-in-valve procedure[J]. *J Am Coll Cardiol Interv*, 2014, 7(2):115-127.

[16] HEAD S J, MOKHLES M M, OSNABRUGGE R L, et al. The impact of prosthesis-patient mismatch on long-term survival after aortic valve replacement: A systematic review and meta-analysis of 34 observational studies comprising 27186 patients with 133,141 patient-years[J]. *Eur Heart J*, 2012, 33(12):1518-1529.

[17] DVIR D, LEIPSIC J, BLANKE P, et al. Coronary obstruction in transcatheter aortic valve-in-valve implantation: Preprocedural evaluation, device selection, protection, and treatment[J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2015,8(1):e002079.

[18] NOORANI A, ATTIA R, BAPAT V, et al. Valve-in-valve procedure: Importance of the anatomy of surgical bioprostheses[J]. *Multimed Man Cardiothorac Surg*, 2014,29:20.

[19] BAPAT V N, ATTIA R Q, CONDEMI F, et al. Fluoroscopic guide to an ideal implant position for Sapien XT and core valve during a valve-in-valve procedure[J]. *J Am Coll Cardiol Interv*,

2013,6(11):1186-1194.

[20] GONSKA B, SEEGER J, RODEWALD C, et al. Transfemoral valve-in-valve implantation for degenerated bioprosthetic aortic valves using the new balloon-expandable Edwards Sapien 3 valve[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2016,88(4):636-643.

[21] SIMONATO M, WEBB J, KORNOWSKI R, et al. Transcatheter replacement of failed bioprosthetic valves: Large multicenter assessment of the effect of implantation depth on hemodynamics after aortic valve-in-valve[J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2016,9(6):e003651.

[22] PIBAROT P, SIMONATO M, BARBANTI M, et al. Impact of pre-existing prosthesis-patient mismatch on survival following aortic valve-in-valve procedures[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2018,11(2):133-141.

[23] SAXON J T, ALLEN K B, COHEN D J, et al. Bioprosthetic valve fracture during valve-in-valve TAVR: Bench to bedside[J]. *Interv Cardiol*, 2018,13(1):20-26.

[24] DVIR D, WEBB J, BRECKER S, et al. Transcatheter aortic valve replacement for degenerative bioprosthetic surgical valves: results from the global valve-in-valve registry[J]. *Circulation*, 2012,126(19):2335-2344.

(本文编辑 厉建强)