DOI:10.16016/j.1000-5404.202009141

自膨胀瓣膜植入深度的解剖学影响因素及临床结局分析:一项回顾性队列研究

王 勇[1],张 辰[1],刘 婷[1],饶荣生[2],赵 刚[3],钟河江[4],钱德慧[1],于世勇[1],晋 军[1] 400037 重庆,陆军军医大学(第三军医大学)第二附属医院:心血管内科[1],超声科[2],放射科[3],麻醉科[4]

[**摘要**] **目的** 探讨经导管主动脉瓣置换术(transcatheter aortic valve replacement,TAVR)中自膨胀瓣膜植入深度的解剖形态影响因素,并分析瓣膜植入深度对短期临床预后的影响。**方法** 回顾性分析2017年10月至2020年5月在本院行TAVR术的主动脉瓣重度狭窄患者病历资料。测算主动脉根部解剖径线及其与植入瓣膜支架尺寸的比例,并测定瓣膜植入深度。比较瓣膜植入过深组[植入深度超过最高四分位数(>14.8 mm)]与瓣膜位置合适组(植入深度≤14.8 mm)的解剖结构差异,分析瓣膜植入深度对血流动力学、传导阻滞等临床预后的影响。**结果** 54例主动脉瓣重度狭窄患者被纳入分析,其中二叶瓣21例,三叶瓣33例,瓣膜植入深度0~21 mm,中位数为11.6 mm。二叶瓣人群中植入过深组的窦管结合部平均直径大于位置合适组[(36.06±2.29) mm *vs* (29.69±2.55) mm,$P=0.001$];在三叶瓣人群中植入过深组的29号瓣膜的植入比例更高(100.0% *vs* 26.9%, $P=0.025$),流出道长径与植入瓣膜底径的比值更小(0.99±0.03 *vs* 1.12±0.15,$P=0.021$)。位置合适组和植入过深组的术后死亡率相当(4.88% *vs* 15.38%, $P=0.242$),但植入过深组转外科开胸手术的比例有高于位置合适组的趋势(15.4% *vs* 0%, $P=0.055$)。术后1周,两组的主动脉瓣跨瓣压差、峰值流速、起搏器植入率、主动脉瓣周中度以上反流、新发完全性左束支传导阻滞发生率差异无统计学意义($P>0.05$)。术后1个月植入过深组新发完全性左束支传导阻滞(50.0% *vs* 13.3%, $P=0.044$)及主动脉瓣周中度以上反流(33.3% *vs* 0%,$P=0.009$)的发生率均高于位置合适组。植入过深组的早期安全性低于位置合适组(69.2% *vs* 95.1%, $P=0.025$)。**结论** 主动脉根部解剖结构及其与植入瓣膜的尺寸比例对自膨胀瓣膜的植入深度有一定影响,窦管结合部直径较大的二叶瓣患者或植入大号瓣膜的三叶瓣患者中容易植入过深。瓣膜植入过深会增加术后1个月新发完全性左束支传导阻滞及瓣周反流的风险,并影响早期安全性。

[**关键词**] 主动脉瓣狭窄;经导管主动脉瓣置换术;植入深度;预后
[**中图法分类号**] R318.08; R322.121; R543.1 [**文献标志码**] A

Anatomic influencing factors on implantation depth of self-expandable valve and its short-term clinical outcome: a retrospective cohort study of 54 cases

WANG Yong[1], ZHANG Chen[1], LIU Ting[1], RAO Rongsheng[2], ZHAO Gang[3], ZHONG Hejiang[4], QIAN Dehui[1], YU Shiyong[1], JIN Jun[1] [1]Department of Cardiovascular Diseases, [2]Department of Ultrasonography, [3]Department of Radiology, [4]Department of Anesthesiology, Second Affiliated Hospital, Army Medical University (Third Military Medical University), Chongqing, 400037, China

[**Abstract**] **Objective** To investigate the anatomic factors influencing the implantation depth (ID) of self-expandable valve during transcatheter aortic valve replacement (TAVR) surgery, and to analyze the impact of ID on the short-term clinical prognosis. **Methods** Clinical data of 54 patients with severe aortic stenosis who underwent TAVR in our hospital from October 2017 to May 2020 were collected and retrospectively analyzed. The anatomic diameter of aortic root and its ratio to the implanted valve size was

[**基金项目**] 陆军军医大学临床技术创新培育项目(CX2019LC113);陆军军医大学第二附属医院临床重大创新特色技术项目(2018JSLC0018)
[**通信作者**] 晋 军,E-mail:xqyyjinjun@163.com

1000-5404/Copyright © 2021, 陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循 CC BY 许可协议(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

measured and calculated, and the depth of the valve implanted was also measured. The patients were assigned into either over-implanted group (>14.8 mm, the highest quartile of ID) or well-implanted group (≤14.8 mm) based on the ID of their valve. The differentiation of anatomical structures was compared between the 2 groups. Additionally, the impacts of ID on the clinical outcomes such as hemodynamics and conduction block were analyzed. **Results** There were 21 cases of bicuspid aortic valve (BAV) and 33 cases of tricuspid aortic valve (TAV), and the ID of valve was 0~21 mm, with a median of 11.6 mm. Among the BAV patients, the average diameter of sinotubular junction (STJ) was significantly larger in the over-implanted group than the well-implanted group (36.06±2.29 *vs* 29.69±2.55 mm, $P=0.001$). As for the TAV patients, the over-implanted group had a higher proportion of large prosthesis implantation (100.0% *vs* 26.9%, $P=0.025$), and a smaller ratio of the length of the left ventricular output tract to the bottom diameter of the valve (0.99±0.03 *vs* 1.12±0.15, $P=0.021$) when compared with the well-implanted group. Postoperative mortality was comparable between the 2 groups (4.88% *vs* 15.38%, $P=0.242$). However, the incidence of being converted to open surgery was higher in the over-implanted group than the other group (15.4% *vs* 0%, $P=0.055$). In 1 week after TAVR, there were no statistical differences in the mean aortic valve gradient, maximum velocity, permanent pacemaker implantation rate, moderate or severe paravalvular leakage, or new-onset left bundle branch block (LBBB) between the 2 groups ($P>0.05$), whereas the incidence of new-onset LBBB (50.0% *vs* 13.3%, $P=0.044$) and paravalvular leakage (33.3% *vs* 0%, $P=0.009$) were higher in the over-implanted group on the 30th day. The early safety was inferior in the over-implanted group (69.2% *vs* 95.1%, $P=0.025$). **Conclusion** The anatomical structure of the aortic root and its ratio to the size of the implanted valve have a certain effect on the implantation depth of self-expandable prosthesis. The BAVs patients with greater STJ as well as those TAVs patients treated with larger size valve may be both correlated with increased risks of deep implantation. Over implantation of the valve may increase the risk of new-onset LBBB and moderate or severe paravalvular leakage in 1 month after operation, and thus compromise the early safety .

[**Key words**] aortic valve stenosis; transcatheter aortic valve replacement; implantation depth; prognosis

Supported by the Cultivation Project of Clinical Technology Innovation of Army Medical University (CX2019LC113) and the Major Project of Clinical Innovation Technology of Second Affiliated Hospital of Army Medical University (2018JSLC0018). Corresponding author: JIN Jun, E-mail: xqyyjinjun@163.com.

自 2017 年 Venus-A(杭州启明)以及 2019 年 VitaFlow(上海微创)两款国产自膨胀式瓣膜上市以来,我国的经导管主动脉瓣置换术(transcatheter aortic valve replacement,TAVR)发展迅猛,至 2019 年底已完成 4 000 余例 TAVR 手术[1]。瓣膜释放是 TAVR 手术最核心、最关键的手术步骤,若释放位置不良会引起瓣膜脱位、瓣周漏、冠脉阻塞、传导阻滞等临床并发症。2020 版 TAVR 中国专家共识推荐的瓣膜释放最佳深度为 0~6 mm[1],但多数情况下释放过程中瓣膜会向下移位,导致最终植入深度大于初始释放深度[2]。有研究显示,临床实践中瓣膜植入深度为"最佳深度"的比例不超过 30%,植入大号瓣膜与植入过深显著相关[3-5]。我国学者发现二叶式主动脉瓣狭窄患者瓣环水平与左室流出道水平所构成的形态呈"开放型"或"非开放型"会影响最终植入深度[6]。事实上,瓣膜植入深度会受主动脉根部结构与植入瓣膜形态的共同影响[7]。本研究总结本科瓣膜植入情况,观察 TAVR 术中自膨胀瓣膜植入深度的解剖学影响因素,并分析该深度对短期临床预后的影响,以期为后续的临床实践提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究设计

本研究为回顾性队列研究,观察比较瓣膜植入过深组与位置合适组的临床特征、解剖形态差异,并比较两组的短期(出院前、术后 30 d)临床结局。本研究遵循赫尔辛基宣言原则,并获本院伦理委员会批准(2020-研第 068-01)。

1.2 病例来源

选取 2017 年 10 月至 2020 年 5 月在本院心血管内科行 TAVR 手术并植入自膨胀式人工心脏瓣膜的主动脉瓣重度狭窄患者,对其临床资料进行回顾性分析。

该人群的相关资料在文献[8]中有详细描述。

1.3 资料采集

1.3.1 手术过程 患者均在杂交手术室行全麻,经食道心脏超声监测下,采用经股动脉途径行瓣膜置换。本科采用 Venus-A 以及 VitaFlow 两款自膨胀式瓣膜。术中是否行球囊预扩、后扩以及瓣膜型号的选择均由术者决定。瓣膜释放完毕,即刻行主动脉根部造影评估反流情况。

1.3.2 主动脉根部 CTA 扫描及图像分析 患者术前采用双源 CT 机进行主动脉根部扫描,刻录光盘保存影像数据,取心室收缩期的 30% 进行图像重建,3mensio 软件用于影像学分析。测量左室流出道(瓣环水平以下 4 mm)、瓣环平面、乏氏窦、窦管交界部(sinotubular junction, STJ)的内径、周长和面积,并观察瓣叶形态、测算瓣叶钙化积分、测定主动脉与左心室成角。左室流出道或瓣环平面的椭圆指数定义为(1-短径/长径)×100%。二叶式主动脉瓣的判定标准为 JILAIHAWI 等[9]提出的双交界点二叶式主动脉瓣(包括带嵴和非带嵴两种类型),不包含功能性二叶瓣。

1.3.3 瓣膜植入深度测定及分组依据 按文献[4]介绍的方法,借助 PACS 系统,依据瓣膜释放完毕后即刻主动脉根部造影图像进行瓣膜植入深度测定。本次造影前术者调整 X 线角度使瓣膜支架上下缘均形成一直线,测定无冠窦侧金属支架远端到同侧窦底的距离,该距离即视为瓣膜植入深度。1 名有经验的心血管医生及 1 名有经验的系统工程师背靠背测定瓣膜植入深度,若两人测量差值超过 2 mm 则由 1 名有经验的心血管介入医生再次测量比对、讨论、重测,直至意见统一。由于当前对瓣膜植入过深的界定缺乏统一标准[1,10],本研究将植入深度的最高四分位数(>14.8 mm)作为植入过深组,其余的作为瓣膜位置合适组。

1.3.4 患者随访与临床信息采集 从本院电子病历系统调取患者性别、年龄、身高、经胸心脏超声数据、心电图数据、术中情况及住院信息。所有患者术后连续 3 d 复查 18 导联心电图,并至少完成 1 次术后 24 h 动态心电图。术后第 5~7 天复查经胸心脏超声。患者术后 1 个月返院面访,不能面访者进行电话或微信随访。记录患者存活情况、临床症状、合并用药等信息,并复查心电图、经胸心脏超声、肝肾功、血常规、脑钠肽等指标。按照 2013 年国际瓣膜学术研究联盟发布的 VARC-2 标准[10]定义瓣周漏、术后残余主动脉瓣狭窄、手术成功、早期安全等指标,本研究采集的临床结局包括:残余狭窄、瓣周漏、新发心脏传导阻滞、植入多个瓣膜、死亡、转开胸手术、手术成功及早期安全等。

1.4 统计学分析

以 SPSS19.0 进行数据分析。符合正态分布的数据以 $\bar{x}\pm s$ 表示,非正态分布数据采用 $M(P_{25},P_{75})$ 表示。采用 t 检验或 Mann-Whitney U 检验进行均数间比较。χ^2 检验用于率的比较,总样本量<40 或理论频数<5 时应用 *Fisher* 精确概率法。采用双侧检验,$P<0.05$ 认为有统计学意义。

2 结果

2.1 纳入患者信息

60 例患者完成 TAVR 手术,其中 3 例为单纯主动脉瓣重度反流,2 例鉴于冠状动阻塞风险仅行主动脉瓣球囊扩张,1 例急诊 TAVR 未完善术前 CTA 筛查,故最终纳入 54 例重度 AS 患者,年龄(70.6±6.3)岁,男性 21 例。平均 STS 评分为 6.94%。共有二叶瓣患者 21 例,三叶瓣 33 例。53 例行 Venus-A 瓣膜植入(23 号瓣膜 10 例,26 号瓣膜 20 例,29 号瓣膜 23 例),1 例行 VitaFlow 24 号瓣膜植入。40 例患者于出院 1 个月后返院复查经胸心脏超声及心电图。

2.2 瓣膜植入深度

54 例患者瓣膜植入深度为 0~21(11.5±4.8)mm。植入深度中位数为 11.6 mm。前 27 例的平均深度为 12.7 mm,后 27 例平均深度 10.4 mm。二叶瓣组平均植入深度(12.3±4.8)mm,三叶瓣组为(10.9±4.8)mm,差异无统计学意义($P=0.310$)。二叶瓣组的植入过深比例为 28.6%,三叶瓣组为 21.2%。

2.3 不同植入深度组的患者特征和心脏解剖结构分析

如表 1 所示,二叶瓣人群中植入过深组的 STJ 直径及乏氏窦直径显著高于位置合适组,差异有统计学意义($P<0.01$)。在三叶瓣人群中,植入过深组的男性占比、体质量、乏氏窦短径、植入大号瓣膜比例大于位置合适($P<0.05$),但流出道长径与植入瓣膜腰/底径的比例则小于位置合适($P<0.05$)。此外,植入过深组的瓣叶钙化积分和流出道椭圆率有低于位置合适的趋势。

2.4 瓣膜植入过深对短期临床效果的影响

如表 2 所示,术前经胸心脏超声显示植入过深组的峰值流速稍低于对位置合适组;两组的术后平均压差及峰值流速均显著下降,主动脉瓣周中度以上反流比例均显著减少,术后起搏器植入率及新发完全性左束支传导阻滞的比例无统计学差异。出院 1 个月后随访,两组间的压差及流速仍无统计学差异,但植入过深组新发完全性左束支传导阻滞(50.0% *vs* 13.3%, $P=0.044$)及主动脉瓣周中度以上反流(33.3% *vs* 0%,$P=0.009$)的发生率高于位置合适组,差异有统计学意义。

表 1 二叶瓣和三叶瓣患者瓣膜植入过深的影响因素[例(%),$\bar{x}\pm s$,$M(P_{25},P_{75})$]

因素	二叶瓣			三叶瓣		
	位置合适组(n=15)	植入过深组(n=6)	P	位置合适组(n=26)	植入过深组(n=7)	P
男性	9(60.0)	5(83.3)	0.613	12(46.2)	7(100.0)	0.012
年龄/岁	70.3±6.0	69.7±8.0	0.859	72.17±7.06	68.33±3.67	0.084
身高/cm	158.7±6.7	163.5±7.8	0.177	158.67±7.53	164.83±7.94	0.127
体质量/kg	58.6±7.1	56.5±9.7	0.586	56.92±10.04	66.75±8.86	0.037
主动脉成角/°	52.3±8.8	59.8±9.6	0.230	52.1±9.5	49.4±8.8	0.571
瓣叶钙化积分/mm^3	538.9(287.6,761.0)	608.5(95.7,1682.6)	0.633	352.0(110.2, 864.5)	198.9(143.3,238.3)	0.056
瓣环短径/mm	21.17±3.16	21.96±3.09	0.642	20.20±2.32	22.26±2.22	0.081
瓣环长径/mm	27.45±3.30	27.80±3.62	0.848	26.63±3.00	27.55±2.00	0.490
流出道短径/mm	21.29±3.87	22.86±4.64	0.476	20.29±2.86	22.38±2.06	0.115
流出道长径/mm	29.46±3.98	29.96±4.76	0.824	28.83±4.42	29.27±1.42	0.720
流出道椭圆率/%	27.90±7.33	23.97±7.93	0.333	29.25±5.91	23.47±6.54	0.055
瓣环椭圆率/%	22.47±8.25	21.09±1.25	0.496	NA		
STJ 短径/mm	28.79±2.65	34.86±2.39	0.002	29.57±4.81	31.36±4.94	0.470
STJ 长径/mm	30.60±2.60	37.26±2.39	<0.001	30.84±4.72	33.50±5.00	0.280
乏氏窦短径/mm	25.33±3.31	30.80±3.87	0.030	27.48±7.36	34.15±6.02	0.048
乏氏窦长径/mm	33.36±3.03	37.96±1.48	0.006	31.26±8.30	36.85±5.98	0.095
植入 29 号瓣膜	5(30.0)	4(66.7)	0.331	7(26.9)	7(100.0)	0.001
瓣环短径/腰径	0.96±0.11	0.96±0.08	0.974	0.95±0.13	0.93±0.09	0.669
瓣环短径/底径	0.80±0.08	0.79±0.07	0.806	0.78±0.10	0.77±0.08	0.718
瓣环长径/腰径	1.24±0.09	1.21±0.09	0.594	1.26±0.16	1.14±0.08	0.130
瓣环长径/底径	1.03±0.08	0.99±0.07	0.357	1.03±0.11	0.95±0.07	0.108
流出道短径/腰径	0.96±0.14	0.99±0.13	0.659	0.95±0.13	0.93±0.09	0.768
流出道短径/底径	0.80±0.11	0.81±0.12	0.804	0.78±0.10	0.77±0.07	0.827
流出道长径/腰径	1.33±0.11	1.31±0.16	0.769	1.35±0.20	1.22±0.06	0.024
流出道长径/底径	1.11±0.09	1.07±0.13	0.541	1.12±0.15	0.99±0.03	0.021

NA:未检测

表 2 瓣膜植入过深对短期临床效果的影响[例,$\bar{x}\pm s$,$M(P_{25},P_{75})$]

指标	位置合适组(n=41)	植入过深组(n=13)	P
术前 平均压差/mmHg	63.0±21.9	46.0(39.5,67.5)	0.056
峰值流速/cm·s^{-1}	496.0(462.0,567.0)	424.0(382.0,515.0)	0.011
中度以上 AR	19/41	9/13	0.207
术后 平均压差/mmHg	11.0(8.0,14.8)	9.2±2.8	0.111
压差降幅/mmHg	50.6±20.1	41.5(20.5,56.8)	0.113
峰值流速/cm·s^{-1}	240.5(181.5,261.5)	208.0(178.3,224.8)	0.075
流速降幅/cm·s^{-1}	276.5±61.4	240.0(175.0,301.3)	0.084
LBBB	15/41	8/12	0.064
起搏器植入	16/40	2/11	0.288
中度以上 AR	4/40	2/12	0.612
术后 1 个月 平均压差/mmHg	14.0(9.0,18.1)	11.0(9.0,12.5)	0.307
压差降幅/mmHg	46.0(32.0,61.7)	49.0(25.5,59.5)	0.446
峰值流速/cm·s^{-1}	255.0(213.0,285.0)	246.4±18.0	0.528
流速降幅/cm·s^{-1}	247.0(211.0,300.0)	211.0(145.5,279.0)	0.179
LBBB	4/30	4/8	0.044
中度以上 AR	0/31	3/9	0.009
术后残余狭窄	3/40	0/12	1.000
植入 2 个瓣膜	3/41	2/13	0.584
转开胸手术	0/41	2/13	0.055
术后院内死亡	2/41	2/13	0.242
手术成功	31/41	6/13	0.084
早期(30 d)安全	39/41	9/13	0.025

AR:主动脉瓣反流;LBBB:新发完全性左束支传导阻滞

就临床结局而言,两组间植入第二个瓣膜、院内病死率及手术成功率无显著差异,但植入过深组有 2 例转外科行开胸手术(1 例植入物阻挡二尖瓣,1 例主动脉夹层并发心包填塞),早期安全性低于位置合适组(69.2% *vs* 95.1%, $P=0.025$)。

3 讨论

迄今为止,对经导管人工主动脉瓣膜植入最佳深度的推荐仍停留在厂家的建议上,且不同瓣膜之间的推荐深度存在一定差异[5],现有的指南对"植入过深"的界定缺乏统一标准[1,10]。基于此,本研究总结本科国产自膨胀瓣膜的植入情况,将植入深度的最高四分位组界定为植入过深组,发现二叶瓣和三叶瓣人群的主动脉根部解剖结构对瓣膜植入深度的影响存在差异。在二叶瓣人群中,STJ 和乏氏窦直径是影响植入深度的关键因素。对于二叶瓣,近期有学者证实了瓣环以上约 6 mm 处存在人工瓣膜支架的另一锚定区域,且比瓣环更加限制瓣膜支架的扩张[11]。本研究结果从某种程度上反映出在 STJ 附近有一锚定区域存在,可防止瓣膜向下移位。至少,该锚定区域与 STJ 及乏氏窦形态显著相关。但对于三叶瓣,这种锚定作用则更多地体现在流出道形态及其与植入物尺寸的比例上。事实上,人工主动脉瓣膜设计的主体适用人群是三叶瓣人群,理论上瓣环是最重要的锚定部位,术者也多根据瓣环大小选择瓣膜尺寸[12]。然而本研究数据显示,植入大号瓣膜以及瓣膜底/腰对于流出道过大者或更容易植入过深。此外,植入过深组的瓣叶钙化积分和流出道椭圆率有低于位置合适组的趋势。这就意味着瓣膜对于流出道过大、流出道形态更接近圆形、瓣叶钙化程度低的情况下,术中越容易出现瓣膜向下移位并导致植入过深。由此推测,术前在选择瓣膜型号时,术者应在瓣环形态的基础上将上述因素纳入分析,综合评估。

与既往大多数研究一致[4,6,13],本结果显示瓣膜植入过深会增加传导阻滞及瓣周反流的风险。值得一提的是,本研究显示,与位置合适组相比,这种临床疗效的差异在术后数天内并不明显,但术后 1 个月植入过深组新发完全性左束支传导阻滞(left bundle branch block, LBBB)及中度以上主动脉瓣反流的比例远高于位置合适组。该现象可能与自膨胀瓣膜的持续膨胀、塑形有关[14]。这也意味着若想通过选择大号瓣膜降低瓣周反流时,应考虑到瓣膜植入过深可能会增加反流的风险。然而,本研究并未观察到两组之间平均压差和峰值流速的差异,且未观察到两组之间起搏器植入比例的差异,可能和样本量相对较小有关。另外由于本科尚在经验积累阶段,谨慎起见,对永久性起搏器植入指征稍宽,或导致两组之间起搏器植入比例的差异缩小。

本研究存在缺陷:首先,作为小样本单中心研究,纳入的病例少,人工瓣膜种类少,不适合行多因素回归分析,结论的外推性存在局限。其次,手术开展早期,术者处于学习曲线阶段,瓣膜植入普遍稍深,后 27 例的植入深度已有减少的趋势。最后,在二叶瓣中,虽然"环上结构"理论越来越受重视[15],但其测量方法尚未统一,故没有对此结构进行测量。但是,本研究揭示了二叶瓣和三叶瓣瓣膜植入深度的影响因素有所不同,且植入过深会影响短期预后。从某种意义上说,本研究在 TAVR 领域提出了一些值得思考的问题,后续还需更多大样本、多中心的临床研究进一步证实。

参考文献:

[1] 中国医师协会心血管内科医师分会结构性心脏病专业委员. 经导管主动脉瓣置换术中国专家共识(2020 更新版)[J]. 中国介入心脏病学杂志, 2020, 28(6): 301-309. DOI: 10.3969/j.issn.1004-8812.2020.06.001.
Professional Committee of Structural Cardiology of Cardiovascular Physicians Branch, Chinese Medical Doctor Association. Chinese expert consensus on transcatheter aortic valve Replacement (2020 Update)[J]. Chin J Intervent Cardiol, 2020, 28(6): 301-309. DOI: 10.3969/j.issn.1004-8812.2020.06.001.

[2] CHEN Y H. Does valve implantation depth defined by pre-release angiogram reflect the final depth in TAVR?[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2019, 12(23): 2435-2436. DOI: 10.1016/j.jcin.2019.09.026.

[3] PETRONIO A S, SINNING J M, VAN MIEGHEM N, *et al*. Optimal implantation depth and adherence to guidelines on permanent pacing to improve the results of transcatheter aortic valve replacement with the medtronic CoreValve system: the CoreValve prospective, international, post-market ADVANCE-II study[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2015, 8(6): 837-846. DOI: 10.1016/j.jcin.2015.02.005.

[4] PIAYDA K, HELLHAMMER K, VEULEMANS V, *et al*. Navigating the "optimal implantation depth" with a self-expandable TAVR device in daily clinical practice[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2020, 13(6): 679-688. DOI: 10.1016/j.jcin.2019.07.048.

[5] VAN BELLE E, DELHAYE C, VINCENT F. The mirage of

the optimal implantation depth with transcatheter bioprosthesis [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2020, 13(6): 689-692. DOI: 10.1016/j.jcin.2019.10.035.

[6] 王墨扬,宋光远,王媛,等. 二叶式主动脉瓣狭窄患者主动脉根部形态学特点对经导管主动脉瓣置换术瓣膜置入深度的影响[J]. 中华心血管病杂志, 2018,46(8): 629-634. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2018.08.010.
WANG M Y, SONG Y G, WANG Y, *et al*. Impact of aortic root morphology on the implantation depth of aortic valve prosthesis during trans-catheter aortic valve replacement in patients with native bicuspid aortic valve[J]. Chin J Cardiol, 2018,46(8): 629-634. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2018.08.010.

[7] ELFAQUIR N, DEBACKER O, BOSMANS J, *et al*. Patient-specific computer simulation in TAVR with the self-expanding evolut R valve [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2020, 13(15): 1803-1812. DOI: 10.1016/j.jcin.2020.04.018.

[8] 王勇, 张辰, 刘婷, 等. 应用 Venus-A 瓣膜行经导管主动脉瓣置换术后传导阻滞患者特征和心脏解剖结构分析[J]. 华西医学, 2020, 35(9): 1044-1049. DOI: 10.7507/1002-0179.202008011.
WANG Y, ZHANG C, LIU T, *et al*. Analysis of characteristics and cardiac anatomy of patients with conduction block after transcatheter aortic valve replacement with Venus-A valve [J]. West China Med J, 2020, 35(9): 1044-1049. DOI: 10.7507/1002-0179.202008011.

[9] JILAIHAWI H, CHEN M, WEBB J, *et al*. A bicuspid aortic valve imaging classification for the TAVR era[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2016, 9(10): 1145-1158. DOI: 10.1016/j.jcmg.2015.12.022.

[10] KAPPETEIN A P, HEAD S J, GÉNÉREUX P, *et al*. Updated standardized endpoint definitions for transcatheter aortic valve implantation: the Valve Academic Research Consortium-2 consensus document[J]. Eur Heart J, 2012, 33(19): 2403-2418. DOI: 10.1093/eurheartj/ehs255.

[11] XIONG T Y, LI Y J, FENG Y, *et al*. Understanding the interaction between transcatheter aortic valve prostheses and supra-annular structures from post-implant stent geometry [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2019, 12(12): 1164-1171. DOI: 10.1016/j.jcin.2019.02.051.

[12] 刘庆荣, 吕守良, 吴永健. 国产 Venus A-Valve 人工主动脉瓣膜的设计特点[J]. 中国医刊, 2015, 50(1): 9-10.
LIU Q R, LYU S L, WU Y J. Design features of Venus A-Valve artificial aortic valve made in China [J]. Chin J Med, 2015, 50(1): 9-10.

[13] VAN GILS L, WÖHRLE J, HILDICK-SMITH D, *et al*. Importance of contrast aortography with Lotus transcatheter aortic valve replacement: a post hoc analysis from the RESPOND post-market study [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2018, 11(2): 119-128. DOI: 10.1016/j.jcin.2017.10.016.

[14] LIAO Y B, ZHAO Z G, WEI X, *et al*. Transcatheter aortic valve implantation with the self-expandable Venus A-Valve and CoreValve devices: Preliminary experiences in China [J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2017, 89(s1): 528-533. DOI: 10.1002/ccd.26912.

[15] 中华医学会心血管病学分会结构性心脏病学组. 经导管主动脉瓣置换术治疗二叶式主动脉瓣狭窄的中国专家建议[J]. 中华心血管病杂志, 2020,48(8): 634-640.
Working Group of Structural Heart Diseases of Branch of Cardiovascular Disease of Chinese Medical Association. Expert recommendation on the transcatheter aortic valve replacement for bicuspid aortic[J]. Chin J Cardiol, 2020,48(8): 634-640.

(**收稿**:2020-09-17;**修回**:2020-10-15)

(编辑 汪勤俭)