

• 论著 • 获得性心脏病 •

保留瓣膜的主动脉根部置换术治疗主动脉根部瘤合并中度以上主动脉瓣反流的中期随访结果

张步升¹, 方亮¹, 戴黄栋¹, 谢晓奕², 李伟¹, 孔烨¹

1. 上海市胸科医院 上海交通大学附属胸科医院 心脏外科 (上海 200030)

2. 上海市胸科医院 上海交通大学附属胸科医院 心脏超声室 (上海 200030)

【摘要】 目的 评价保留瓣膜的主动脉根部置换术 (valve-sparing aortic root replacement, VSRR) 治疗主动脉根部瘤合并中度以上主动脉瓣反流患者的中期随访结果。方法 纳入 2013 年 10 月—2020 年 5 月期间在上海市胸科医院接受 VSRR 手术且顺利出院的主动脉根部瘤合并中度以上主动脉瓣反流患者 40 例, 其中男 31 例、女 9 例, 平均年龄 (47.1±13.4) 岁。主动脉根部真性动脉瘤 30 例, 夹层动脉瘤 10 例。3 例患者为主动脉瓣二叶畸形, 12 例患者为马方综合征。心脏彩色超声提示: 主动脉瓣中度反流 18 例, 重度反流 22 例。主动脉瓣环内径 (27.0±3.9) mm, 窦部最大径 (52.3±6.1) mm。结果 32 例患者行 David 手术, 8 例患者行 Yacoub 手术, 其中 10 例患者同期行主动脉瓣叶修复术。40 例患者平均随访 12~86 (45.7±18.9) 个月。随访期内, 1 例患者因心力衰竭死亡, 2 例因新发 Stanford B 型主动脉夹层再次手术, 无主动脉瓣再次手术。手术后患者纽约心脏协会心功能分级 (1.6±0.5 vs. 2.8±0.8)、左心室舒张末期内径 [(52.2±7.8) mm vs. (61.4±10.6) mm] 和左心室舒张末期容积 [(136.0±58.8) mL vs. (193.3±83.9) mL] 较术前明显改善 ($P<0.05$)。心脏彩色超声提示: 主动脉瓣无反流 19 例, 轻度反流 18 例, 轻中度反流 3 例, 无中度及以上反流。结论 VSRR 技术治疗主动脉根部瘤合并中度以上主动脉瓣反流患者, 避免了人工瓣膜及抗凝相关并发症, 且瓣膜反流复发率和再次手术率低, 改善了患者生活质量, 中期效果满意。

【关键词】 主动脉根部瘤; 主动脉瓣反流; 保留瓣膜的主动脉根部置换术; 主动脉根部重建; 主动脉瓣叶修复

Midterm outcomes of valve-sparing aortic root replacement in patients with aortic root aneurysm and moderate to severe aortic regurgitation

ZHANG Busheng¹, FANG Liang¹, DAI Huangdong¹, XIE Xiaoyi², LI Wei¹, KONG Ye¹

1. Department of Cardiac Surgery, Shanghai Chest Hospital, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, 200030, P. R. China

2. Department of Ultrasound, Shanghai Chest Hospital, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, 200030, P. R. China

Corresponding author: KONG Ye, Email: kongye2008@outlook.com

【Abstract】 Objective To evaluate the midterm effect of valve-sparing aortic root replacement (VSRR) on aortic root aneurysm and moderate to severe aortic regurgitation (AR). **Methods** The clinical data of patients with aortic root aneurysm and moderate to severe AR undergoing VSRR and surviving from the operation from October 2013 to May 2020 were retrospectively analyzed. There were 31 males and 9 females, with an average age of 47.1±13.4 years. There were 30 patients with true aneurysm of aortic root and 10 patients with dissecting aneurysm of aortic root. There were 3 patients with bicuspid aortic valve, and 12 patients with Marfan syndrome. The AR measured by the echocardiogram was moderate in 18 patients and severe in 22 patients. The average diameter of aortic annulus was 27.0±3.9 mm, and the mean largest diameter of aortic sinus was 52.3±6.1 mm. **Results** A total of 32 patients underwent David technique and 8 patients underwent Yacoub technique, and 10 patients underwent aortic cusp repair simultaneously. All 40 patients completed the follow-up, and the follow-up period was 12-86 (45.7±18.9) months. During the period, 1 patient died of

DOI: 10.7507/1007-4848.202106010

基金项目: 上海市胸科医院基础研究院内培育项目 (2020YNJCM09)

通信作者: 孔烨, Email: kongye2008@outlook.com

heart failure, 2 had reoperation due to new-onset Stanford B aortic dissection, and no patients had reoperation related to aortic valve. The postoperative New York Heart Association cardiac function classification (1.6 ± 0.5 vs. 2.8 ± 0.8), left ventricular end-diastolic dimension (52.2 ± 7.8 mm vs. 61.4 ± 10.6 mm) and left ventricular end-diastolic volume (136.0 ± 58.8 mL vs. 193.3 ± 83.9 mL) of the patients were significantly improved compared with preoperative ones ($P<0.05$). By echocardiography, 19 patients had no AR, 18 patients had mild AR, 3 patients had mild-moderate AR, and no patients had moderate or higher AR. **Conclusion** In patients with aortic root aneurysm and moderate to severe AR, VSRR technique avoids prosthetic valves and anticoagulation-related complications, has lower rate of AR recurrence and reoperation, and improves the quality of life in the midterm period.

【Key words】 Aortic root aneurysm; aortic regurgitation; valve-sparing aortic root replacement; aortic root reconstruction; aortic cusp repair

Foundation item: Nurture Projects for Basic Research of Shanghai Chest Hospital (2020YNJCM09)

对于主动脉根部瘤患者,保留瓣膜的主动脉根部置换术 (valve-sparing aortic root replacement, VSRR) 可以避免人工瓣膜及抗凝相关并发症,术后远期生存率高,再次手术率低,因此越来越受到医生及患者的青睐。根据窦部处理方式的不同,该技术分为再植术 (David 手术) 和重塑术 (Yacoub 手术) 两种方法。此后,在此基础上又产生了多种改良术式,手术效果也不断提高^[1-2]。最初,VSRR 主要应用于主动脉根部瘤合并主动脉瓣功能基本正常的患者。随着人们对主动脉根部解剖和血流动力学的深入理解,手术适应证扩大到合并严重主动脉瓣反流患者,也取得了满意的临床效果^[3]。自 2013 年 10 月,我院采用 VSRR 技术治疗主动脉根部瘤合并中度以上主动脉瓣反流患者,并对顺利出院的 40 例患者进行了随访,现将临床经验总结如下。

1 资料与方法

1.1 临床资料

纳入 2013 年 10 月—2020 年 5 月期间,在我院接受 VSRR 手术且顺利出院的合并中度以上主动脉瓣反流的主动脉根部瘤患者 40 例。其中男 31 例、女 9 例,平均年龄 (47.1 ± 13.4) 岁。患者通过心脏彩色超声和主动脉 CT 血管造影确诊。主动脉根部真性动脉瘤 30 例,夹层动脉瘤 10 例。3 例患者为主动脉瓣二叶畸形 (bicuspid aortic valve, BAV), 12 例患者为马方综合征。心脏彩色超声: 主动脉瓣中度反流 18 例,重度反流 22 例。主动脉瓣环直径 (27.0 ± 3.9) mm, 窦部最大径 (52.3 ± 6.1) mm, 左心室射血分数 (left ventricular ejection fraction, LVEF) $60.5\%\pm 5.7\%$ 。32 例患者行 David 手术, 8 例患者行 Yacoub 手术, 其中 10 例患者同期行主动脉瓣叶修复术。本研究排除了围手术期死亡病例。患者一般资料见表 1。

表 1 40 例患者的基线资料 (例/ $\bar{x}\pm s$)

临床资料	数据
年龄 (岁)	47.1±13.4
性别 (男/女)	31/9
体表面积 (m ²)	1.8±0.2
主动脉瓣二叶畸形	3
马方综合征	12
主动脉根部病理类型	
真性动脉瘤	30
夹层动脉瘤	10
主动脉瓣环内径 (mm)	27.0±3.9
主动脉窦部最大径 (mm)	52.3±6.1
左心室舒张末期内径 (mm)	61.4±10.6
左心室舒张末期容积 (mL)	193.3±83.9
左心室射血分数 (%)	60.5±5.7
主动脉瓣反流	
中度	18
重度	22
心功能分级 (NYHA)	2.8±0.8
合并症	
高血压	23
糖尿病	8
冠心病	3

NYHA: 纽约心脏协会; 冠心病: 冠状动脉粥样硬化性心脏病

1.2 手术方法

常规采用胸部正中切口,少数采用胸骨上段小切口。体外循环供血管选择经升主动脉插管,累及弓部病变患者采用股动脉和/或腋动脉插管,经上、下腔静脉或股静脉插静脉引流管,右上肺静脉插管,行左心引流、减压。全部患者经主动脉根部或

冠状动脉开口顺行性灌注心脏冷停搏液,部分患者联合经冠状静脉窦逆行灌注,心脏停搏液分为两种:Del Nido 停搏液和4:1冷含血停搏液。在窦管交界上方横断升主动脉,缝牵引线悬吊,仔细评估主动脉根部解剖及保留瓣膜可行性,包括瓣环内径、冠状动脉开口位置、瓣叶质量、几何学高度(geometry height, gH)和有效高度(effective height, eH)。

1.2.1 再植(David)技术 切除扩张的瓣窦,保留约5 mm左右的主动脉管壁,游离主动脉根部至瓣环水平,并将左右冠状动脉开口修剪成“纽扣”状。选择直径不同的两根人工直血管。6~12针2-0缝线带垫片自主动脉瓣环由内向外间断褥式缝合,将主动脉瓣及剩余瓣窦组织套入直径较大的直血管内,缝线穿过人工血管,打结固定并环缩主动脉瓣环至目标内径(主动脉瓣口内置合适大小的Hegar探条)。4-0 Prolene间断褥式缝合,将瓣叶交界最高点固定于人工血管的窦管交界水平,然后5-0 Prolene连续缝合,将瓣叶附着缘周围管壁固定于人工血管内。接着将左右冠状动脉开口分别移植于左右瓣窦内相应位置。最后,取直径偏小的人工血管,在窦管交界水平与前述人工血管端端吻合,置换升主动脉。早期病例我们多采用该方法^[4]达到重建主动脉窦部的目的,后来多采用Valsalva带窦人工血管^[5]。

1.2.2 重塑(Yacoub)技术 我们采用瓣环加固改良Yacoub技术,该技术我们之前曾报道过^[6]。简单讲,游离主动脉根部,6针2-0缝线带垫片自主动脉瓣环平面由内向外间断褥式缝合,裁剪宽约5 mm的人工血管环,将其套在主动脉瓣环水平,缝线穿过血管环,在瓣口内置目标直径的Hegar探条,然后打结固定,将Hegar探条取出,此时的瓣环内径即是目标直径。把Valsalva人工血管的窦部裁剪成三叶舌状(在BAV病例中,裁剪成相应的二叶舌状),置换主动脉窦部,最后将左右冠状动脉开口移植于相应的窦部。

1.2.3 合并手术 主动脉瓣脱垂,采用瓣叶中央折叠技术纠治;如为BAV患者,自主动脉壁上切开并松解假嵴,以增加瓣叶活动度,瓣叶边缘局部增厚者,术中用尖刀仔细削薄。合并中度及以上的二尖瓣、三尖瓣反流,同期行二尖瓣、三尖瓣修复术;冠状动脉粥样硬化性心脏病或夹层累及冠状动脉,同期行冠状动脉旁路移植术(coronary artery bypass grafting, CABG);累及主动脉弓部的动脉瘤,同期行半弓置换术、弓部血管去分支化手术或

孙氏手术。

1.3 随访

分别于术后3个月、6个月、1年对患者进行随访,此后每年随访一次。形式包括门诊、微信和电话随访等,内容包括患者心功能状态,主要临床事件(如死亡、卒中、因心力衰竭再次住院、主动脉瓣再次手术等),并收集心电图、心脏彩色超声等检查资料。末次随访时间为2021年6月。

1.4 统计学分析

采用IBM SPSS Statistics 20.0软件进行统计学分析。计数资料用例数表示;服从正态分布的计量资料用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,手术前后资料比较采用 t 检验。 $P\leq 0.05$ 为差异有统计学意义。

1.5 伦理审查

本研究已通过上海市胸科医院伦理委员会审批,批准号:IS2124。所有患者均在术前签署手术知情同意书。

2 结果

本组40例患者,其中择期手术31例,急诊手术9例。常规胸部正中切口39例,胸部上段小切口1例。手术方式:改良David手术32例,改良Yacoub手术8例。15例使用带窦人工血管,25例使用2根直血管。重建后主动脉瓣环直径(24.2 ± 1.2)mm。合并手术:主动脉瓣叶折叠10例,弓部手术5例,CABG3例,二尖瓣修复、三尖瓣修复各1例。患者的围术期资料见表2。

40例患者均获得随访,随访率100%,随访时间12~86(45.7 ± 18.9)个月。1例患者术前诊断马方综合征,慢性主动脉夹层动脉瘤(Stanford A型),重度主动脉瓣反流,慢性心力衰竭(LVEF 45%),在改良David V术后随访16个月时,因心力衰竭死亡;其余患者在末次随访时均存活。本组患者无主动脉瓣再次手术,无假性动脉瘤发生。2例患者分别在术后随访18和85个月时,因发生Stanford B型主动脉夹层行降主动脉支架植入术。患者心功能较术前明显改善($P<0.05$)。随访心脏彩色超声提示:主动脉瓣无反流19例,轻度反流18例,轻中度反流3例,无中度及以上反流;见图1。与术前相比,左心室舒张末期内径及容积均明显减小($P<0.05$)。患者的随访资料见表3。

3 讨论

VSRR手术可以避免人工瓣膜衰败及抗凝相关并发症,因此被视为经典Bentall手术的一种优秀

表 2 40 例患者的围术期资料 (例 $\bar{x}\pm s$)

临床资料	数据
手术类型	
择期手术	31
急诊手术	9
手术切口类型	
常规胸部正中切口	39
胸部上段小切口	1
手术方式	
改良 David 手术	32
改良 Yacoub 手术	8
人工血管类型	
带窦人工血管	15
直血管	25
重建后主动脉瓣环直径(mm)	24.2 \pm 1.2
合并手术	
主动脉瓣叶折叠	10
弓部手术	5
冠状动脉旁路移植术	3
二尖瓣/三尖瓣修复	2

表 3 40 例患者的随访资料 (例 $\bar{x}\pm s$)

临床资料	数据
随访时间(月)	45.7 \pm 18.9
死亡	1
再次手术	2
主动脉瓣反流	
无	19
轻度	18
轻中度	3
中度及以上	0
心功能分级(NYHA)	1.6 \pm 0.5*
左心室舒张末期内径(mm)	52.2 \pm 7.8*
左心室舒张末期容积(mL)	136.0 \pm 58.8*
左心室射血分数(%)	57.7 \pm 8.8

NYHA: 纽约心脏协会; *: 与术前相比差异有统计学意义, $P<0.05$

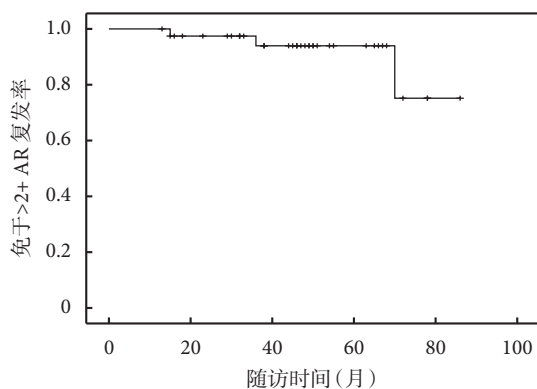


图 1 免于 ≥ 2 +主动脉瓣反流复发率

替代技术, 适用于主动脉根部瘤伴/不伴主动脉瓣反流患者^[7]。而主动脉根部结构, 包括主动脉瓣叶、瓣环、窦部、窦管交界等, 各结构关系密切, 共同维护主动脉根部的功能。所以要想获得较优的手术效果, 需重视主动脉根部各个结构的功能, 即 CLASS 流程: 交界 (C, Commissure), 瓣叶 (L, Leaflet), 瓣环 (A, Annulus), 窦管交界 (S, Sinotubular junction), 窦部 (S, Sinus)^[8]。其中, 瓣窦重建、瓣环重建和瓣叶修复是 VSRR 的重要技术环节。

最初的 David I 手术, 采用一个直血管置换主

动脉根部, 术后患者主动脉窦部结构消失。Gaudino 等^[9]通过四维磁共振血流成像技术发现, 在 VSRR 手术中重建主动脉窦部结构, 可产生更加生理性的血流, 主动脉根部血管壁所承受的剪切力更低。主动脉窦部重建的方法, 包括改良 David V 技术、Valsalva 带窦人工血管技术和 Yacoub 技术等, 都取得了满意的临床效果^[4,10-13]。在本组病例中, 我们均进行了主动脉瓣窦重建, 32 例采用改良 David V 手术, 其中 25 例使用 2 根直径不等的直血管, 7 例使用 Valsalva 带窦人工血管; 8 例采用改良 Yacoub 手术, 均使用了 Valsalva 带窦人工血管。早期我们采用的是 Miller 报道的 Stanford 改良 David V 技术, 近端多采用 30#或 32#人工血管, 远端多采用 26#或 28#人工血管, 因为 2 根血管直径不同, 所以吻合时需注意避免扭曲, 保持主动脉根部血管的自然形态。自使用 Valsalva 带窦人工血管后, 就自然避免了这个问题。另外, 交界固定于人工血管时, 需保持一定张力, 这样可以避免因为交界过低导致的瓣叶脱垂。后来我们将自主改良的 Yacoub 技术用于该类患者中, 均使用的是 Valsalva 带窦人工血管, 人工血管近端的裁剪非常重要, 与自体窦部高度和宽度都要相适应, 且吻合需仔细均匀, 尤其是在主动脉壁组织较薄弱的患者中, 避免撕裂出血。随访中, 2 例患者(非马方综合征或 BAV)因新发主动脉夹层(Stanford B 型)行降主动脉覆膜支架植入术, 其中 1 例接受改良 David V 手术, 使用 30#和 26# 2 根直径不同的人工血管重建窦部, 在术

后 85 个月时发生降主动脉夹层；另 1 例接受改良 Yacoub 手术，使用 28# Valsalva 带窦人工血管重建窦部，在术后 18 个月时发生降主动脉夹层。

在主动脉根部瘤患者中，常合并主动脉瓣环扩张，这也是发生主动脉瓣反流的常见原因。对于这类患者行 VSRR 手术时，如何环缩重建主动脉瓣环，是技术难点之一。Youssefi 等^[12]通过心脏彩色超声研究发现，正常的主动脉瓣环内径在 20.5 ~ 24.5 mm 之间，因此将 ≥ 25 mm 定义为瓣环扩张。本组病例，术前主动脉瓣环内径 (27.0 \pm 3.9) mm，对于主动脉瓣环内径 ≥ 25 mm 的患者，行瓣环重建成形术。但是瓣环重建后的直径，标准还未统一。既往文献^[13-15]报道，根据瓣叶游离缘、体表面积或交界高度，来确定重建后瓣环直径，都取得了满意效果。Capps 等^[16]分析了来自捐献者的 4 636 个主动脉瓣膜，发现在成年男性中，主动脉瓣直径为 (23.1 \pm 2.0) mm，成年女性中，主动脉瓣直径为 (21.0 \pm 1.8) mm，并通过回归分析发现，不管是男性还是女性，主动脉瓣直径均与体表面积密切相关，因此认为体表面积可有助于预测正常的主动脉瓣直径。因此，我们在 VSRR 术中，根据患者的性别和体表面积预测生理性瓣环直径，然后将瓣环重建至目标生理范围内。不管是 David 还是 Yacoub 技术，均采用 6 ~ 12 针 2-0 缝线带垫片自主动脉瓣环水平由内向外间断褥式缝合，穿过人工血管或血管环后打结固定，同时在主动脉瓣口内放置合适大小的 Hegar 探条，以保证将主动脉瓣环缩至目标内径。在本组病例中，重建后主动脉瓣直径 (24.2 \pm 1.2) mm，中期随访结果提示，无中度以上主动脉瓣反流，无主动脉瓣及根部再次手术病例，证明了这种瓣环重建方法的稳定性。

主动脉根部瘤患者在发生根部扩大的同时，往往合并瓣叶的重塑，表现为瓣叶游离缘延长。如果在瓣环重建时，忽视对瓣叶的修复，术后可能会出现瓣叶脱垂，成为 VSRR 术后主动脉瓣反流复发的危险因素^[17]。针对这个问题，德国 Schäfers 教授等^[18]提出了 eH 的概念，并设计了专用器械在术中测量瓣叶 eH，可以识别瓣叶脱垂，以及判断成形后瓣叶脱垂的纠正程度。纠正瓣叶脱垂的方法，包括中央折叠、局部切除、游离缘悬吊等，其中瓣叶游离缘的中央折叠技术是纠正瓣叶脱垂最简单有效的技术，因为瓣叶游离缘的中点不是瓣叶的主要受力点，所以这项技术的稳定性良好^[19-20]。研究^[21]发现，在 VSRR 手术中，增加瓣叶修复，并不影响瓣膜功能的持久性和患者的中期生存率。在本组

患者中，我们均用特定器材测量主动脉瓣叶的 eH 数据，发现有 10 例患者合并主动脉瓣叶脱垂，采用 5-0 Prolene 缝线间断缝合，行瓣叶中心折叠，使瓣叶 eH 均 ≥ 9 mm，从而达到纠正脱垂的目的。随访中，主动脉瓣无反流 19 例，轻度反流 18 例，轻中度反流 3 例，无中度及以上反流，提示这种手术结果的稳定性良好。

综上所述，本研究通过总结分析 40 例 VSRR 技术治疗主动脉根部瘤合并中度以上主动脉瓣反流患者的中期随访资料，发现该方法避免了人工瓣膜及抗凝相关并发症，且瓣膜反流复发率和再次手术率低，改善了患者生活质量，中期效果满意。然而，本研究属回顾性研究，尚有其局限性，比如缺少对照组，随访时间较短，仍需要随机对照研究以及更长随访期来证实其疗效。

利益冲突：无。

作者贡献：张步升负责数据收集、分析、整理和论文撰写；戴黄栋、方亮负责临床数据收集和部分论文写作；谢晓奕负责心脏彩色超声数据收集、分析及解读；李伟负责对文章内容进行批评性审阅；孔焯负责论文整体设计及审阅。

参考文献

- 1 Arabkhani B, Mookhoek A, Di Centa I, et al. Reported outcome after valve-sparing aortic root replacement for aortic root aneurysm: A systematic review and meta-analysis. *Ann Thorac Surg*, 2015, 100(3): 1126-1131.
- 2 Lenoir M, Maesen B, Stevens LM, et al. Reimplantation versus remodelling with ring annuloplasty: Comparison of mid-term outcomes after valve-sparing aortic root replacement. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2018, 54(1): 48-54.
- 3 Keeling WB, Leshnowar BG, Binongo J, et al. Severity of preoperative aortic regurgitation does not impact valve durability of aortic valve repair following the David V valve sparing aortic root replacement. *Ann Thorac Surg*, 2017, 103(3): 756-763.
- 4 Miller DC. Rationale and results of the Stanford modification of the David V reimplantation technique for valve-sparing aortic root replacement. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2015, 149(1): 112-114.
- 5 Maselli D, Weltert L, Scaffa R, et al. How to achieve an aortic root remodelling by performing an aortic root reimplantation. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2012, 42(5): e136-e137.
- 6 张步升, 赵乃时, 杨天阳, 等. 瓣环加固改良 Yacoub 术在主动脉根部瘤患者中的应用. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2020, 27(3): 332-335.
- 7 Gocoł R, Malinowski M, Bis J, et al. Aneurysm of the aortic root and valve-sparing aortic root replacement: Long-term outcomes from a single Polish center. *Kardiologia Pol*, 2020, 78(12): 1235-1242.
- 8 Svensson LG. Root Reimplantation with leaflet repair. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 31(2): 153-154.
- 9 Gaudino M, Piatti F, Lau C, et al. Aortic flow after valve sparing

- root replacement with or without neosinuses reconstruction. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 157(2): 455-465.
- 10 De Paulis R, Chirichilli I, Scaffa R, *et al*. Long-term results of the valve reimplantation technique using a graft with sinuses. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2016, 151(1): 112-119.
- 11 Lansac E, Di Centa I, Vojacek J, *et al*. Valve sparing root replacement: The remodeling technique with external ring annuloplasty. *Ann Cardiothorac Surg*, 2013, 2(1): 117-123.
- 12 Youssefi P, El-Hamamsy I, Lansac E. Rationale for aortic annuloplasty to standardise aortic valve repair. *Ann Cardiothorac Surg*, 2019, 8(3): 322-330.
- 13 David TE. Aortic root aneurysms: Remodeling or composite replacement? *Ann Thorac Surg*, 1997, 64(5): 1564-1568.
- 14 Svensson LG. Sizing for modified David's reimplantation procedure. *Ann Thorac Surg*, 2003, 76(5): 1751-1753.
- 15 de Kerchove L, Mosala Nezhad Z, Boodhwani M, *et al*. How to perform valve sparing reimplantation in a tricuspid aortic valve. *Ann Cardiothorac Surg*, 2013, 2(1): 105-112.
- 16 Capps SB, Elkins RC, Fronk DM. Body surface area as a predictor of aortic and pulmonary valve diameter. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2000, 119(5): 975-982.
- 17 Mastrobuoni S, de Kerchove L, Navarra E, *et al*. Long-term experience with valve-sparing reimplantation technique for the treatment of aortic aneurysm and aortic regurgitation. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 158(1): 14-23.
- 18 Schäfers HJ, Bierbach B, Aicher D. A new approach to the assessment of aortic cusp geometry. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2006, 132(2): 436-438.
- 19 Lansac E, Di Centa I, Sleilaty G, *et al*. Remodeling root repair with an external aortic ring annuloplasty. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2017, 153(5): 1033-1042.
- 20 Lavon K, Halevi R, Marom G, *et al*. Fluid-structure interaction models of bicuspid aortic valves: The effects of nonfused cusp angles. *J Biomech Eng*, 2018, 140(3).
- 21 Liebrich M, Charitos E, Stadler C, *et al*. Additional cusp reconstruction does not compromise valve durability and mid-term survival after the David procedure: Results from 449 patients. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2020, 58(5): 1072-1079.

收稿日期: 2021-06-02 修回日期: 2021-08-17

本文编辑: 雷芳