

· 临床研究 ·

# 主动脉根部扩大术在成人小主动脉瓣环瓣膜置换术中的效果分析

苏 晨, 刘 鸿, 邵永丰\*, 孙浩亮, 顾嘉玺

南京医科大学第一附属医院心脏大血管外科, 江苏 南京 210029

**[摘要]** 目的:探讨主动脉根部扩大术在成人主动脉瓣环窄小患者中的临床效果。方法:选择20例因主动脉瓣环窄小行根部扩大及瓣膜置换患者为瓣环窄小扩大组,150例正常瓣环单纯行瓣膜置换患者为正常瓣膜组,143例主动脉瓣环窄小仅行瓣膜置换未行根部扩大术患者为瓣环窄小未扩大组。采用逆概率加权法(IPTW)平衡3组之间基线参数的差异,并采用Logistic多因素回归检测术后跨瓣压差增加的独立危险因素。结果:IPTW校正后,主动脉瓣置换术后1个月时,正常瓣膜组跨瓣压差为 $(26.79 \pm 10.85)$ mmHg,瓣环窄小未扩大组跨瓣压差为 $(36.88 \pm 19.27)$ mmHg,瓣环窄小扩大组跨瓣压差为 $(20.85 \pm 6.25)$ mmHg,组间比较差异均具有统计学意义( $P < 0.01$ )。Logistic多因素回归分析显示瓣环窄小未扩大 $[\beta(95\%CI): 8.48(2.17\sim 14.80), P=0.010]$ 、术前跨瓣压差 $[\beta(95\%CI): 0.17(0.03\sim 0.30), P=0.020]$ 是主动脉瓣置换术后跨瓣压差升高的独立危险因素,而瓣环窄小扩大 $[\beta(95\%CI): -12.16(-21.79\sim 2.52), P=0.015]$ 是主动脉瓣置换术后跨瓣压差升高的保护性因素。结论:对于瓣环窄小患者,主动脉根部扩大术后短期血流动力学效果较为理想,但其中远期临床结果有待进一步随访。

**[关键词]** 主动脉瓣环;主动脉瓣置换术;主动脉根部扩大术**[中图分类号]** R654.2**[文献标志码]** A**[文章编号]** 1007-4368(2020)07-1002-05**doi:** 10.7655/NYDXBNS20200713

## Effects of aortic root enlargement on aortic valve replacement of adult patients with small aortic root

SU Chen, LIU Hong, SHAO Yongfeng\*, SUN Haoliang, GU Jiayi

Department of Cardiovascular Surgery, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China

**[Abstract]** **Objective:** To investigate the perioperative effect of aortic root enlargement for adult patients with small aortic root undergoing aortic valve replacement. **Methods:** Twenty cases with small aortic root underwent aortic root enlargement and aortic valve replacement as the research group from 2018 to 2019, 150 cases with normal aortic root underwent aortic valve replacement as the normal aortic root group, and 143 patients with small aortic root underwent aortic replacement rather than root enlargement as the small aortic root group from 2013 to 2018. The inverse probability of treatment weighting (IPTW) method was used to balance the difference of baseline parameters among the three groups, and logistic multivariate regression was used to detect the independent risk factors of postoperative increase in aortic valve pressure gradient. **Results:** After the IPTW, one month after aortic valve replacement, the peak aortic valve pressure gradients of the normal aortic root group, the small aortic root group, and the research group were  $(26.79 \pm 10.85)$  mmHg,  $(36.88 \pm 19.27)$  mmHg, and  $(20.85 \pm 6.25)$  mmHg. The differences of the pairwise comparison were still statistically significant ( $P < 0.01$ ). Multivariate logistic regression analysis showed the treatment strategy of aortic root [small aortic root without aortic root enlargement,  $\beta(95\%CI): 8.48(2.17\sim 14.80), P=0.010$ ; small aortic root underwent aortic root enlargement,  $\beta(95\%CI): -12.16(-21.79\sim 2.52), P=0.015$ ] and preoperative peak aortic valve pressure gradient [ $\beta(95\%CI): 0.17(0.03\sim 0.30), P=0.020$ ] were independent risk factors for increased peak aortic valve pressure gradient. **Conclusion:** For patients with small aortic root, the short-term hemodynamic effect after aortic root enlargement is better, but the long-term clinical results need further follow-up.

**[Key words]** aortic root; aortic valve replacement; aortic root enlargement

[J Nanjing Med Univ, 2020, 40(07): 1002-1006]

**[基金项目]** 国家自然科学基金(81974033)

\*通信作者(Corresponding author), E-mail: yongfengshao30@hotmail.com

在进行成人主动脉瓣膜置换术时,通常会遇到部分主动脉瓣环窄小的患者,对于此类患者常需同期行根部扩大术,以减少主动脉瓣膜置换术后的跨瓣压差,优化术后血流动力学,改善患者预后和提升患者生活质量<sup>[1]</sup>。近年来,有临床研究开展了对根部扩大术后血流动力学的研究,但由于不同研究之间纳入人群、基线参数以及具体操作技术等不同,根部扩大术的临床效果仍然存在较大争议<sup>[2-4]</sup>。本研究通过回顾性比较不同瓣环处理策略术后血流动力学的差异,并进一步探查主动脉瓣置换术后高跨瓣压差的危险因素,以期根部扩大术后高跨瓣压差的预防提供全面科学的依据。

## 1 对象和方法

### 1.1 对象

以人工瓣有效瓣口面积指数(effective orifice area index, EOAI)为诊断小主动脉瓣环的标准,EOAI $\geq$ 0.85 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>为正常主动脉瓣环,EOAI $<$ 0.85 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>为主动脉瓣环窄小<sup>[5]</sup>。

回顾性选取南京医科大学第一附属医院心脏大血管外科2018年6月—2019年9月确诊为主动脉瓣病变并实施人工瓣膜置换加根部扩大术患者20例作为瓣环窄小扩大组,男6例,女14例,其中置换机械瓣4例,置换生物瓣16例。2013年1月—2018年12月正常瓣环行瓣膜置换患者150例作为正常瓣膜组,男68例,女82例,其中置换机械瓣100例,置换生物瓣50例。选取主动脉瓣环窄小行瓣膜置换但未行根部扩大患者143例作为瓣环窄小未扩大组,男84例,女59例,其中置换机械瓣32例,置换生物瓣111例。本研究由南京医科大学第一附属医院人体研究伦理评审委员会批准,所有患者在术前签署手术同意书和科研用途知情同意书。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 手术方法

瓣环窄小扩大组均采用Manouguian法行主动脉根部扩大成形。Manouguian法主要操作要点是通过升主动脉斜切口向下经左冠瓣与无冠瓣交界处切开主动脉瓣环,切口延长至二尖瓣前叶所在部位纤维三角起始部中点,游离相邻的左心房顶部,使用1个泪滴型的牛心包补片以连续缝合方法修补二尖瓣前叶及主动脉瓣环的切口;如果扩大效果尚不满意,必要时可切开左心房顶部和二尖瓣前瓣叶,进一步扩大瓣环以满足临床需求<sup>[6-7]</sup>。主动脉瓣环补片加宽处均经补片外进针缝合到人工瓣环上打结固定。

#### 1.2.2 临床数据的采集

收集患者的临床数据,包括人口统计学参数如年龄、性别、体重、身高、体表面积、体重指数(body mass index, BMI);主动脉病变如术前主动脉瓣环大小、主动脉瓣跨峰值瓣压差(peak pressure gradient, PPG)、主动脉瓣跨瓣流速;心脏的形态学参数如主动脉直径(aortic diameter, AOD)、左心房大小(left atrium diameter, LAD)、左室收缩期直径(left ventricular systolic diameter, LVSD)、左室舒张期直径(left ventricular diastolic diameter, LVDD)、室间隔厚度(interventricular septum thickness, IVST)、左室后壁厚度(thickness of posterior wall of left ventricle, LVPWT)、左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)、左室短轴缩短率(left ventricular fractional shortening, LVFS)、左心室质量指数(left ventricular mass index, LVMI)等超声心动图参数。

#### 1.2.3 终点指标

本研究的主要终点指标是术后1个月连续性PPG。此外,参考既往公式计算术后1个月LVMI,  $LVMI = \{0.8 \times 1.04 \times [(LVDD + LVPWT + IVST)^3 - LVDD^3] + 0.6\} / \text{体表面积}^{[8]}$ 。

### 1.3 统计学方法

采用R version 3.5.3进行统计学分析。连续性变量采用均数 $\pm$ 标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,组间比较采用方差分析;分类变量采用百分比形式表示,组间比较采用卡方检验。鉴于本研究是回顾性非随机对照研究,我们采用逆概率加权处理(IPTW)进行组间基线参数的平衡和校正,在IPTW模型中每组加权系数数值为 $1/(1-\text{残差得分})^{[9-10]}$ 。本研究以不同组处理和可能与术后PPG有潜在关联的基线参数和临床参数进行Logistic回归,从而获得每个患者接受不同处理的预测概率。对每个病例进行加权处理后,再应用常规的模型进行分析。以术后PPG作为结局变量,以围术期人口统计学、血流动力学解剖形态学及临床特征作为预测变量,应用Logistic单因素回归分析寻找术后PPG增加的危险因素;再应用逐步向前Logistic多因素回归检测术后PPG增加的独立危险因素。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 各组患者临床特征比较

在逆概率加权处理后,3组在年龄( $P=0.017$ )、术前瓣环大小( $P=0.036$ )、术前AOD( $P=0.004$ )、术前LVDD( $P=0.020$ )、置换瓣膜直径( $P < 0.001$ )、EOAI

( $P < 0.001$ )、术后LVDD( $P=0.003$ )、术后LVDS( $P=0.038$ )、术后LVMI( $P=0.006$ )、机械瓣和生物使用比例( $P < 0.001$ )等方面差异有统计学意义,其余特征的差异都无统计学意义( $P > 0.05$ )。终点指标PPG在逆概率加权处理后,正常瓣环组为( $26.79 \pm 10.85$ )mmHg,瓣环窄小未扩大组为( $36.88 \pm 19.27$ )mmHg,瓣环窄小扩大组为( $20.85 \pm 6.25$ )mmHg,组间差异具有统计学意义( $P < 0.01$ ,表1)。

2.2 单因素和多因素Logistic回归分析的结果

单因素回归分析结果显示,瓣环处理方式、性别、年龄、BMI、体表面积、术前PPG、IVS及LVPW均与术后PPG的变化趋势具有显著相关性(表2)。将上述单因素分析中具有统计学差异的自变量纳入Logistic多因素回归分析,结果显示瓣环处理策略[以正常瓣环组为对照,瓣环窄小未扩大组 $\beta$ (95%CI):8.48(2.17~14.80), $P=0.010$ ]、术前PPG[ $\beta$ (95%CI):0.17(0.03~0.30), $P=0.020$ ]均是主动脉瓣置换术后PPG升高的独立危险因素,而瓣环窄小扩大组

表1 IPTW校正后3组患者临床特征比较  
Table 1 Overall comparison of clinical features after IPTW correction

临床特征	正常瓣膜组(n=150)	瓣环窄小未扩大组(n=143)	瓣环窄小扩大组(n=20)	P值
年龄(岁)	54.08 ± 10.88	43.54 ± 22.36	50.35 ± 18.29	0.017
性别(%)				0.497
男	49.59	37.87	38.76	
女	50.41	62.13	61.24	
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	23.04 ± 3.03	23.03 ± 2.44	23.69 ± 5.20	0.658
体表面积(m <sup>2</sup> )	1.69 ± 0.17	1.67 ± 0.16	1.71 ± 0.22	0.542
术前瓣环(mm)	23.15 ± 3.85	21.94 ± 3.84	20.99 ± 2.03	0.036
术前PPG(mmHg)	56.04 ± 30.52	66.39 ± 33.06	68.49 ± 39.37	0.220
术前AOD(mm)	28.97 ± 5.54	27.14 ± 5.29	24.76 ± 4.16	0.004
术前LAD(mm)	43.28 ± 12.15	39.68 ± 13.92	39.80 ± 6.86	0.297
术前LVDD(mm)	53.57 ± 9.26	48.97 ± 11.27	54.46 ± 8.43	0.020
术前LVDS(mm)	35.92 ± 7.46	33.01 ± 9.18	36.93 ± 8.10	0.072
术前IVST(mm)	11.93 ± 2.11	12.59 ± 2.18	11.97 ± 3.37	0.346
术前LVPWT(mm)	11.64 ± 2.02	12.43 ± 2.29	11.51 ± 2.94	0.130
术前LVFS(%)	33.15 ± 4.72	33.01 ± 4.62	32.52 ± 6.90	0.874
术前LVEF(%)	61.03 ± 7.12	61.25 ± 7.32	59.78 ± 10.48	0.706
术前IVST/LVPWT	1.02 ± 0.05	1.02 ± 0.06	1.04 ± 0.08	0.280
术前LVMI(mm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	154.85 ± 52.47	145.92 ± 57.90	155.89 ± 61.50	0.647
置换瓣膜直径(mm)	21.15 ± 2.07	19.83 ± 1.63	22.90 ± 0.47	<0.001
EOAI(cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	0.977 ± 0.141	0.732 ± 0.064	0.946 ± 0.114	<0.001
术后PPG(mmHg)	26.79 ± 10.85	36.88 ± 19.27	20.85 ± 6.25	<0.001
术后AOD(mm)	30.58 ± 4.48	30.42 ± 3.72	31.57 ± 6.84	0.605
术后LAD(mm)	36.18 ± 9.75	39.14 ± 5.43	39.22 ± 6.17	0.157
术后LVDD(mm)	45.67 ± 5.74	48.22 ± 7.83	42.13 ± 7.51	0.003
术后LVDS(mm)	30.86 ± 5.17	33.01 ± 8.11	28.82 ± 6.34	0.038
术后LVFS(%)	32.95 ± 3.83	31.38 ± 5.68	31.25 ± 3.78	0.244
术后LVEF(%)	61.37 ± 5.74	58.74 ± 8.70	60.30 ± 6.08	0.294
术后IVST/LVPWT	1.03 ± 0.07	1.02 ± 0.04	1.02 ± 0.05	0.782
术后LVMI(mm)	118.74 ± 34.38	118.20 ± 29.76	93.53 ± 44.09	0.006
术后IVST(mm)	11.91 ± 2.35	11.41 ± 1.71	11.94 ± 2.99	0.582
术后LVPWT(mm)	11.56 ± 2.06	11.16 ± 1.65	10.72 ± 1.91	0.211
瓣膜类型(%)				<0.001
机械瓣	68.04	54.22	10.93	
生物瓣	31.96	45.78	89.07	
同期CABG(%)	7.11	6.04	16.76	0.236
同期AF消融术(%)	21.38	13.47	22.95	0.470

**表2 主动脉瓣PPG影响因素的单因素 Logistic 回归分析**  
**Table 2 Univariate logistic regression analysis of trans-aortic valve peak pressure gradient**

影响因素	$\beta(95\%CI)$	P值
瓣环处理策略		
正常瓣膜组	1.00	—
瓣环窄小未扩大组	9.91(6.97~12.85)	<0.001
瓣环窄小扩大组	-1.68(-7.17~3.81)	0.548
性别		
男	1.00	—
女	-3.08(-6.14~-0.03)	0.049
年龄	0.22(0.09~0.34)	0.001
BMI	0.61(0.14~1.08)	0.012
体表面积	11.63(2.73~20.53)	0.011
术前瓣环大小	0.22(-0.32~0.75)	0.430
术前峰值压差	0.14(0.08~0.20)	<0.001
术前AOD	-0.06(-0.36~0.23)	0.671
术前LAD	-0.01(-0.17~0.15)	0.887
术前LVDD	-0.03(-0.19~0.13)	0.709
术前LVDS	-0.03(-0.22~0.16)	0.749
术前LVFS	0.03(-0.27~0.33)	0.839
术前LVEF	0.02(-0.17~0.22)	0.813
术前IVST/LVPWT	2.92(-19.45~25.29)	0.798
术前LVMI	0.03(0.00~0.05)	0.087
术前IVST	1.72(1.00~2.44)	<0.001
术前LVPWT	1.88(1.11~2.64)	<0.001

[ $\beta(95\%CI)$ :-12.16(-21.79~2.52),  $P=0.015$ ]是主动脉瓣置换术后跨瓣压差升高的保护性因素(表3)。

### 3 讨论

本研究回顾性选择20例因主动脉瓣环窄小行根部扩大及瓣膜置换患者为研究组,150例正常瓣环患者单纯行瓣膜置换和143例主动脉瓣环窄小仅行瓣膜置换未行根部扩大术患者作为对照组。采用IPTW平衡组间差异后,术后1个月时3组间术后PPG差异仍具有统计学意义,即瓣环窄小扩大组PPG显著低于正常瓣环组和瓣环窄小未扩大组。Logistic多因素回归分析显示除瓣环处理方式外,术前PPG也是主动脉瓣置换术后PPG升高的独立危险因素。因此,对于主动脉瓣环窄小患者,施行根部扩大术后短期血流动力学效果较为理想,但其中远期临床结果有待进一步随访。

在临床上,主动脉根部扩大方法主要包括Nicks法、Manouguian法以及Konno法等<sup>[11-12]</sup>。Manouguian法的瓣环扩大效果较为突出,术后效果较为理想。但该方法的操作技术相对复杂,手术侵袭性相对较大,加之其手术时间较长,增加了一定的手

**表3 主动脉瓣PPG影响因素的多因素 Logistic 回归分析**  
**Table 3 Multivariate logistic regression analysis of trans-aortic valve peak pressure gradient**

影响因素	$\beta(95\%CI)$	P值
瓣环处理方式		
正常瓣膜组	1.00	—
瓣环窄小未扩大组	8.48(2.17~14.80)	0.010
瓣环窄小扩大组	-12.16(-21.79~-2.52)	0.015
性别		
男	1.00	—
女	4.08(-3.96~12.11)	0.323
年龄	-0.09(-0.34~0.16)	0.481
BMI	-0.34(-1.72~1.05)	0.634
体表面积	11.10(-19.50~41.69)	0.479
术前峰值压差	0.17(0.03~0.30)	0.021
术前IVST	0.28(-2.61~3.17)	0.849
术前LVPWT	0.68(-2.45~3.82)	0.670

术风险<sup>[13]</sup>。本组中20例主动脉瓣环窄小患者采用Manouguian法进行根部扩大,术后均取得满意效果。因此,笔者认为,对于主动脉瓣环窄小患者采用哪种具体的瓣环扩张方法,应当综合评估患者的病情、主动脉瓣的病理解剖并结合术者的外科经验,术前反复讨论和模拟手术方案,严格手术指征,保证术后有理想的血流动力学参数,为患者提供最佳的决策<sup>[14]</sup>。

本研究结果表明,对于主动脉瓣环窄小患者,采用瓣膜置换同期主动脉根部扩大术,并不增加患者围手术期死亡率及严重不良事件的发生率,术后短期的血流动力学效果良好<sup>[15]</sup>。主动脉根部扩大术最常见的并发症是术后早期根部大出血<sup>[16]</sup>。本组患者术后没有出现1例根部出血,也没有出现残留PPG过高的情况,PPG仅为(20.85±6.25)mmHg,明显低于正常瓣环组[(26.79±10.85)mmHg]和瓣环窄小未扩大组[(36.88±19.27)mmHg]。此外,术后FS、EF、IVS/LVPW、LVMI、IVS、LVPW等反映左心室肥厚的指标也在正常范围<sup>[17]</sup>。

文仕平等<sup>[18]</sup>报道行主动脉瓣环根部扩大术患者在术后1年不仅LVEF增加,室间隔厚度和左室后壁厚度明显降低,左心室重构的相关指标和血流动力学的指标较前改善,采用中文版SF-36量表评估患者的生活质量,还发现根部扩大术更能够显著改善患者的生理功能(PF)、生理职能(RP)、总体健康(GH)、活力(VT)和社会职能(SF),且差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。曹向戎等<sup>[19]</sup>报道主动脉根部扩大联合环上瓣置换策略较单独环上瓣置换(ARE)治疗成人小瓣环主动脉瓣狭窄的效果好,随访2年的结

果显示,ARE组主动脉瓣PPG、LVMI明显低于单纯瓣膜置换组,有效瓣口面积指数明显高于单纯瓣膜置换组,两组患者生存率差异无统计学意义。不管是本研究结果还是当前国内外研究结果,均提示对主动脉瓣环窄小患者同期施行根部扩大术可获得更优的血流动力学效果,与单独环上瓣置换相比,未增加围手术期风险,更有助于肥厚左心室的改善性重构及生活质量的提高。

本研究属于回顾性研究,未能事先设计和收集准备研究的内容,暂不能为临床提供高证据等级支持。此外,本研究纳入的瓣环窄小扩大组样本量较少,可能在一定程度上不足以反映其临床和统计代表性,将来需要纳入更多的病例。鉴于本单位开展主动脉根部扩大术不久,本研究随访时间较短,将来需要更长期的研究进一步证实。

总之,通过主动脉根部扩大术,可使主动脉瓣环窄小患者换上足够大型号的主动脉瓣,获得良好的术后血流动力学效果。因此,对于主动脉瓣环窄小患者,施行根部扩大术后短期血流动力学效果较为理想,但其中远期临床结果有待进一步随访。

#### [参考文献]

- [1] YU W Q, DERRICK Y T, RODOLFO V R, et al. Aortic root enlargement is safe and reduces the incidence of patient-prosthesis mismatch: a meta-analysis of early and late outcomes[J]. *Can J Cardiol*, 2019, 35(6): 782-790
- [2] STUART J H, MOSTAFA M M, OSNABRUGGE R J, 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 27 186 patients with 133 141 patient-years [J]. *Eur Heart J*, 2012, 33(12): 1518-1529
- [3] MEDALION B, BLACKSTONE E H, LYTLE B W, et al. Aortic valve replacement: is valve size important? [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2000, 119(5): 963-974
- [4] MEDALION B, BRUCE W L, MCCARTHY P M, et al. Aortic valve replacement for octogenarians: are small valves bad? [J]. *Ann Thorac Surg*, 1998, 66(3): 699-705
- [5] SCOTT B C, RONALD C E, DAVID M F. Body surface area as a predictor of aortic and pulmonary valve diameter [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2000, 119(5): 975-982
- [6] DEMİRTÜRK O S, KIZILTAN H T, COŞKUN I, et al. Long-term results of pericardial autologous patch enlargement of the aortic annulus using the manouguian technique [J]. *Heart Surg Forum*, 2016, 19(2): E067-E073
- [7] POURALIAKBAR H, MARYAM P, REZAEI Y, et al. Aneurysm formation of pericardial patch in Manouguian procedure [J]. *J Saudi Heart Assoc*, 2018, 30(4): 328-330
- [8] DEVEREUX R B, ALONSO D R, LUTAS E M, et al. Echocardiographic assessment of left ventricular hypertrophy: comparison to necropsy findings [J]. *Am J Cardiol*, 1986, 57(6): 450-458
- [9] AUSTIN P C, ELIZABETH A S. Moving towards best practice when using inverse probability of treatment weighting (IPTW) using the propensity score to estimate causal treatment effects in observational studies [J]. *Stat Med*, 2015, 34(28): 3661-3679
- [10] AUSTIN P C, ELIZABETH A S. The performance of inverse probability of treatment weighting and full matching on the propensity score in the presence of model misspecification when estimating the effect of treatment on survival outcomes [J]. *Stat Methods Med Res*, 2017, 26(4): 1654-1670
- [11] SELMAN D, ERMAL L, LAURETA D, et al. Aortic annulus enlargement: early and long-terms results [J]. *Open Access Maced J Med Sci*, 2017, 5(1): 23-26
- [12] 黎增亮,朱锦富,刘翔,等. 主动脉根部扩大及瓣膜上下狭窄矫治术1例报告 [J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2018, 38(1): 141-142
- [13] BORTOLOTTI U, CELIENTO M, MILANO A D. Enlargement of the aortic annulus during aortic valve replacement: a review [J]. *J Heart Valve Dis*, 2014, 23(1): 31-39
- [14] FREITAS-FERRAZ A B, TIRADO-CONTE G, DAGE-NAIS F, et al. Aortic stenosis and small aortic annulus [J]. *Circulation*, 2019, 139(23): 2685-2702
- [15] MICHELE C, MATTEO S, MARTINO A D, et al. Stability of aortic annulus enlargement during aortic valve replacement using a bovine pericardial patch: an 18-year clinical, echocardiographic, and angio-computed tomographic follow-up [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2014, 147(3): 977-983
- [16] HASHIMOTO K. Patient-prosthesis mismatch: the Japanese experience [J]. *Ann Thorac Cardiovasc Surg*, 2006, 12(3): 159-165
- [17] HOPKINS R A. Aortic annuloplasty with aortic root reconstruction to prevent patient-prosthesis mismatch [J]. *J Heart Valve Dis*, 2006, 15(4): 488-493
- [18] 文仕平,向道康. 细小主动脉瓣环根部加宽主动脉瓣置换术后的疗效随访 [J]. *临床心血管病杂志*, 2019, 35(4): 314-317
- [19] 曹向戎,张健群,伯平,等. 主动脉瓣环扩大联合环上瓣置换术治疗成人小瓣环主动脉瓣狭窄近中期疗效分析 [J]. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2014, 21(4): 452-456

[收稿日期] 2020-01-13