

## 经食管实时三维超声心动图对建立主动脉瓣简化模型的研究

刘高远<sup>1</sup>, 林敏<sup>1△</sup>, 史学功<sup>2</sup>

(安徽医科大学第一附属医院:1. 心脏外科;2. 心脏彩超室, 合肥 230022)

**[摘要]** **目的** 应用经食管实时三维超声心动图(RT 3D TEE)及其定量软件对主动脉瓣(AV)三维结构的重要参数进行测量,分析各部分的形态及生理特点,进一步建立 AV 简化模型,为 AV 成形环的设计提供客观依据。**方法** 选取 2014 年 5 月至 2015 年 11 月 95 例行 RT 3D TEE 检查的主动脉根部正常的人群,采集主动脉根部实时三维全容积图像,应用 QLAB7.0 瓣环定量分析软件测量舒张末期、收缩中期、收缩末期及舒张中期的三维 AV 的重要参数,包括窦管交界直径(S)、相邻瓣膜交界的距离(L、R、N)、瓣膜交界构成三角形外接圆直径(J)、AV 高度(H)、AA 长径(A)、AA 短径(B)及 AA 偏心率(B/A)。分析三维 AV 底部与 AA 的延续关系,简化三维 AV 各结构特点,建立几何模型。**结果** 各参数均以舒张末期为例,窦管交界为(26.3±3.3)mm,三维 AV 高度为(12.4±1.9)mm,AA 长径、短径分别为(25.9±2.7)、(19.8±2.0)mm,相邻瓣膜交界间距离 L、R、N 均为(21.6±2.5)mm,三者所构成的图形近似等边三角形。比较相邻周期时相的窦管交界直径、AV 高度、AA 长径、三个相邻瓣膜交界间距离及它们的外接圆直径,差异均无统计学意义( $P>0.05$ ),但舒张末期与收缩中期 AA 短径及 AA 短径与长径比值比较,差异均有统计学意义( $P<0.01$ )。**结论** RT 3D TEE 及瓣环定量分析软件能准确测量 AV 各部分的大小并显示其形态,及其在不同周期时相的变化,进而三维 AV 形态的简化与重建。

**[关键词]** 主动脉瓣环;实时;成像,三维;超声心动描记术,经食管

**[中图分类号]** R654.2

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1671-8348(2016)36-5095-03

## Study on the establishment of a simplified model of aortic valve by real time three dimensional echocardiography

Liu Gaoyuan<sup>1</sup>, Lin Min<sup>1△</sup>, Shi Xuegong<sup>2</sup>

(1. Department of Cardiac Surgery; 2. Department of Ultrasound Room, the First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei, Anhui 230022, China)

**[Abstract]** **Objective** To detect the important parameters of three dimensional structure of the aortic annulus by using real time three dimensional transesophageal echocardiography(RT 3D TEE) and analyse morphological and physiological characteristics, in order to establish simplified model of aortic valve and provide references for designing aortic annulus. **Methods** A total of 95 cases of healthy individuals carrying out RT 3D TEE were selected, and the images of total volume of aortic root were collected. The important parameters of three dimensional aortic valve in four cardiac cycles, including sinus tube junction(S), distance between adjacent valve junction(L, R and N), diameter of the circumcircle of triangle(J), aortic annulus height(H), long diameter(A), short diameter(B) and eccentricity ratio(B/A) of the aortic valve, were measured by using the QLAB7.0 software. In the 3D imaging, the extending relationship between the bottom of aortic valve and aortic annulus was analysed, the structural characteristics of the aortic valve were simplified, and the model was established. **Results** The values of the parameters measured at the end-diastole were as follows: sinus tube junction (26.3±3.3)mm, three-dimensional aortic annulus height(12.4±1.9)mm, aortic valve long diameter and short diameter (25.9±2.7)mm and (19.8±2.0)mm, adjacent valve junction distance(L, R and N) all was(21.6±2.5)mm. These three structures approximately formed an equilateral triangle. The values of the adjacent cycle time, the change of sinus tube junction, distance between adjacent valve junction, aortic annulus height and long diameter were compared, and there was no statistical significant differences( $P>0.05$ ), while statistically significant differences were found in the aortic valve short diameter and long short diameter between those at the end-diastole and those at the medium-systole( $P<0.01$ ). **Conclusion** RT 3D TEE can accurately measure the size of each part of the aortic valve and display its shape and change, which contribute to simplifying and reconstructing the aortic annulus.

**[Key words]** aortic annulus; real time; imaging, three-dimensional; echocardiography, transesophageal

主动脉瓣成形术是治疗主动脉瓣(aortic valve, AV)器质性病变的一种外科治疗方法,但由于 AV 结构功能复杂,修复技术要求高,难度大等因素,致使其发展缓慢。近年来,影像检查技术的发展促进了对 AV 结构功能的认识,瓣膜修复技术的发展也拓展了 AV 成形术的适用范围,此外随着体外循环技术的改进,能提供足够的时间完成各种修复手术,致使 AV 成形术再次成为研究热点<sup>[1]</sup>。传统的 AV 成形术包括瓣叶成形及瓣环成形,常见的瓣叶成形术包括瓣叶中部折叠术、瓣叶游离缘缩短重塑术、瓣叶削薄及自体或异体材料修复或置换瓣叶等术式。常见的瓣环成形术有交界缝合、成形环成形等。而 Ya-

coub 术及 David 术的术式相对固定,适用范围相对更广,但技术要求高,限制了手术的广泛应用。目前主动脉瓣环(aortic annulus, AA)成形术在 AV 成形体系中的重要性已被认可,临床研究证实环的效果优于缝线交界成形<sup>[2]</sup>。近年来出现的 AV 成形环在国外已经应用于临床,并取得良好的早期效果<sup>[3-8]</sup>,但在我国却鲜有报道。本文应用经食管实时三维超声心动图(RT 3D TEE)对主动脉根部正常的成人 AV 各结构进行测量与简化,进而重建其几何形态,为 AV 成形环的设计提供依据。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 2014 年 5 月至 2015 年 11 月于安徽医科大学第一附属医院心内科超声心动图室行 RT 3D TEE 检查的健康成人 95 例,男 52 例,女 43 例;年龄 18~80 岁,平均(53.4±14.3)岁。排除检查时房颤发作、二叶及四叶 AV 畸形、主动脉瓣叶病变、主动脉根部病变(如扩张)及各种原因致使采集图像不清晰或不连续的病例。其中,单纯房间隔缺损 4 例,其余 91 例无可见的心脏器质性病变。

**1.2 主要仪器与方法** Philips IE33 彩色多普勒超声诊断仪, X7-2T 经食管实时三维矩阵探头,频率 2~7 MHz。RT 3D TEE 图像数据脱机分析采用 Philips QLAB7.0 超声工作站。所有图像采集、分析均由同一人完成,并采用盲法原则。安静状态下,患者取左侧卧位,连接同步心电图。探头进入食道深度约 35 cm,在左室长轴观方位上得到主动脉根部的双平面二维图像,调整其位置、增益,使主动脉根部(自左室流出道至升主动脉近端)清晰显像。启动“全容积(Full value)”模式,嘱患者屏气,在心电信号触发下,连续采集 4 个心动周期 15°×60°的窄角三维图像,叠加形成 60°×60°的宽角“金字塔”形三维数据库。

**1.3 测量方法** 测量时相的确定参考同步心电图及二尖瓣 AV 开闭状态。将两个截面置于与主动脉根部长径平行的中间位置,在长轴面测量的数据可能偏小<sup>[9]</sup>,因此除 AV 高度外其余数据均在于同一长轴切面垂直的短轴面(横截面)进行测量。测量内容如下:(1)窦管交界直径(S);主动脉窦与升主动脉交界处的直径;(2)相邻瓣膜交界距离(L、R、N):短轴面刚好显露 3 个瓣膜交界影像时的相邻瓣膜交界距离,见图 1A;(3)AA:瓣叶附着缘最低点构成的虚拟环,该环长径(A)短径(B),见图 1B、C;(4)AV 高度(H):AA 平面与 3 个瓣膜交界所在平

面之间的垂直距离。计算内容包括 AA 短径与长径比值(B/A),以及 3 个相邻瓣膜交界连线所构成的三角形外接圆直径(J),见图 1A 中的绿环,计算采用公式: $D=2LRN/[(L+R+N)(L+R-N)(R+N-L)(L+N-R)]^{1/2}$ 。

**1.4 统计学处理** 采集数据均为计量资料,收入 Excel2014 工作簿,以  $\bar{x}\pm s$  表示,应用 SPSS 17.0 统计软件进行分析,不同心动周期中各参数比较采用独立样本 *t* 检验,以  $P<0.01$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 主动脉根部测算结果** AV 各部分测量结果见表 1, AV 各部分在心动周期中协调运动,相邻瓣膜交界间距离 L、R、N 在同一周期时相中比较,差异均无统计学意义( $P>0.01$ )。所构成的图形近似等边三角形。

**2.2 相邻周期时相主动脉各指标比较** 相邻周期时相中的窦管交界直径、AV 高度、AA 长径、三个相邻瓣膜交界间距离及它们的外接圆直径比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ );但 AA 短径及 AA 短径与长径比值,在舒张末期与收缩中期的测量结果比较,差异均有统计学意义( $P<0.01$ ),见表 2。

**2.3 主动脉窦与 AA 的延续关系** 依据长轴可将 AA 分为对称的两部分,其中左冠状动脉窦和无冠状动脉窦在 AA 的同一侧近似对称分布,右冠状动脉窦在另一侧中点附近(图 1D、E、F)。

**2.4 AV 简化模型的建立** 以实验测得的舒张末期数据为例,AV 顶部简化为圆形,舒张末期直径为 26 mm,AA 长径为 26 mm,短径为 20 mm,AV 高度为 12 mm。瓣膜交界外接圆和 AA 的中心在同一直线并垂直于两环平面,建立简化的 AV 几何模型。见图 2。

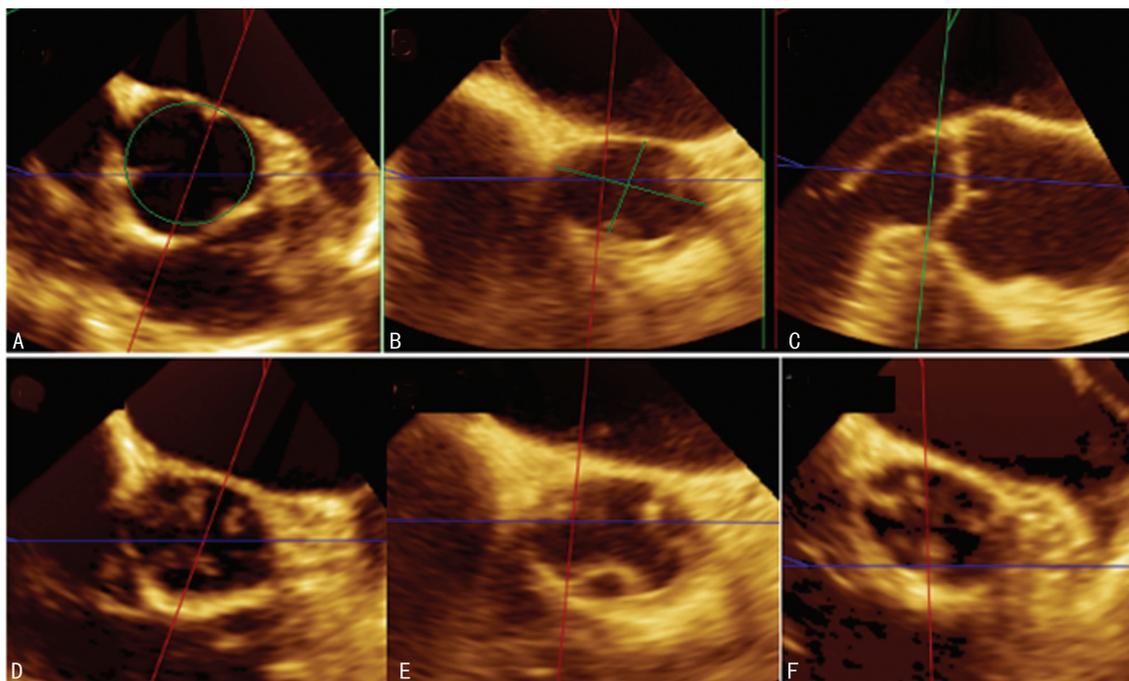


图 1 AV 各测量平面的 RT 3D TEE 影像

表 1 主动脉根部测算结果( $\bar{x}\pm s$ )

心动周期	S(mm)	H(mm)	A(mm)	B(mm)	B/A	L(mm)	R(mm)	N(mm)	J(mm)
MS	26.9±3.3	12.7±2.0	25.8±2.7	20.7±2.1	0.80±0.058	22.2±2.6	22.3±2.5	22.5±2.5	25.8±2.8
ES	26.9±3.4	12.9±2.5	25.5±2.4	20.0±1.8	0.79±0.061	22.3±2.5	22.4±2.5	22.4±2.6	25.8±2.9
MD	26.8±3.5	12.7±1.9	25.7±2.4	19.3±1.8	0.75±0.056	21.7±2.6	21.7±2.4	21.8±2.5	25.1±2.8
ED	26.3±3.3	12.4±1.9	25.9±2.7	19.8±2.2	0.77±0.066	21.6±2.5	21.6±2.5	21.6±2.5	25.0±3.0

MS:收缩中期;ES:收缩末期;MD:舒张中期;ED:舒张末期。

表 2 相邻心动周期时相测量结果比较的 P 值

相邻心动周期时相比较	S	H	A	B	B/A	L	R	N	J
ED vs. MS	0.332	0.299	0.776	0.008	0.000	0.162	0.064	0.071	0.053
MS vs. ES	0.984	0.472	0.262	0.014	0.101	0.894	0.940	0.681	0.859
ES vs. MD	0.679	0.480	0.641	0.007	0.000	0.111	0.035	0.079	0.053
MS vs. MD	0.758	0.919	0.542	0.000	0.000	0.197	0.046	0.039	0.050

MS:收缩中期;ES:收缩末期;MD:舒张中期;ED:舒张末期。

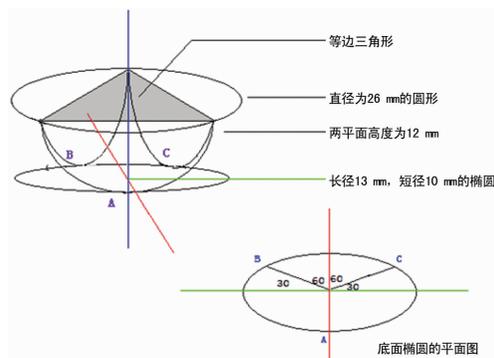


图 2 AV 简化模型

### 3 讨论

主动脉根部为一结构复杂,层次叠覆,活动快速的功能复合体。传统的 2D-TEE 难以全面显示其立体结构。随着计算机的飞速发展,图像处理速度与数据存储量大大提高。最近出现的 RT-3D-TEE 技术已在 21 世纪初正式进入临床应用,它不仅可以从任意角度观察 AV 数目、形态及活动,同时可以更加详细、立体地观察 AV 周围结构及比邻情况<sup>[10]</sup>;还能够实时地显示主动脉根部各结构的形态、厚度、腔径、方位、走向、空间关系特别是活动状况等<sup>[11]</sup>。与 CTA 技术相比,RT-3D-TEE 的组织轮廓对比度较低但总体效果尚满意,另外无需造影剂,可避免造影剂带来的潜在风险和相应的不良反应,患者也易于接受。

主动脉根部结构在心动周期中的变化有重要的生理意义,对于 AV 成形环的设计也有重要的指导意义。收缩中期 AA 短径及短径与长径比值与舒张末期比较,差异有统计学意义 ( $P < 0.01$ ),AA 短径在整个心动周期中的变化幅度最大。该变化可能与心动周期中 AV 所承受的压力变化有关,收缩期时 AA 短径与长径比值的增大,表明 AA 变得更加接近圆形,此变化增大了血流通过面积。有研究表明,AA 环面积增加约 5%<sup>[12]</sup>,一定程度上有利于降低左心室后负荷。但 AA 的周长并无明显变化<sup>[13]</sup>。而舒张期 AA 短径的缩小可以有效增加瓣叶对合高度,防止 AV 反流(AI)的发生。

本研究中瓣膜交界所构成三角形的外接圆(J 环)位于 AV 三维结构的顶部,比窦管交界更能准确地反应立体的 AV 上口的形态。有报道将此处定义为窦管交界<sup>[14]</sup>。事实上此处并未到达窦顶部,本研究将窦顶部定义为窦管交界,两者测量值相差 1~2 mm,此差异可能是由于测量时受瓣膜交界本身的影响所致。

有研究者利用健康成年人主动脉根部 CT 血管造影(CTA)图像对主动脉根部形态进行研究并建立模型,表现为三个近似椭圆的主动脉窦嵌入一个圆柱状的主动脉管道中的形态。其上端为窦管交界近似圆形,底部为 AA 形态近似椭圆形<sup>[4]</sup>,与本研究所建立的 AV 简化模型相似。本研究建立的 AV 简化模型可为 AV 成形环的形态设计提供参考,目前国外所设计的 AV 成形环为内置硬质立体环(HAART 300),其底

部形态设计为椭圆形,短长径比为 2:3,该环缝合在 AV 叶附着缘下方,以恢复并控制瓣环的生理形态<sup>[15-16]</sup>。

AV 成形术应具备相对简捷的术式和相对持久的成形效果,目前的术式尚难以同时具备这两个条件,设计成形环用于 AV 成形术有望解决这一问题。国外的研究虽已完成模型建立、成形环设计、动物实验及临床试验等步骤<sup>[15-18]</sup>,但在设计、选材、植入部位及术后早期效果等方面尚有待进一步研究。术后随访 2~3 年,早期效果尚满意。再次手术的主要原因是植入的成形环或保留过长的线结与瓣膜摩擦而导致的瓣膜损伤<sup>[15]</sup>。此外,在成形环的材料选择上,也存在争议<sup>[19-21]</sup>。总之,AV 成形环成形术的研究还处于初期阶段,有较高的研究价值。

综上所述,RT 3D TEE 及瓣环定量分析软件能准确测量 AV 各部分的大小,并显示其形态及其在不同周期时相间的变化,进而实现瓣环形态的简化与重建,为 AV 成形环的设计提供客观、准确的依据。本研究尚存在一定的局限性,研究收集的样本量有限;此外,该模型仅为成形环的形态设计提供初步参考,最终的 AV 成形环有待于在动物实验、离体心脏试验甚至临床试验中不断修改完善。

### 参考文献

- [1] 朱丹. 主动脉根部形态、功能的研究及临床应用[D]. 上海:复旦大学,2011.
- [2] 魏立,李亚雄,蒋立虹,等. 成人主动脉瓣成形[J]. 中华胸心血管外科杂志,2015,31(2):118-121.
- [3] Rankin JS, Dalley AF, Croke PS, et al. A 'hemispherical' model of aortic valvar geometry[J]. J Heart Valve Dis, 2008,17(2):179-186.
- [4] Croke PS, Beavan LA, Griffin CD, et al. A geometric model of the normal human aortic root and design of a fully anatomic aortic root graft[J]. Innovations (Phila), 2015,10(1):57-62.
- [5] Rankin JS. An intra-annular 'hemispherical' annuloplasty frame for aortic valve repair[J]. J Heart Valve Dis, 2010, 19(1):97-103.
- [6] Mazzitelli D, Nöbauer C, Rankin JS, et al. Early results after implantation of a new geometric annuloplasty ring for aortic valve repair[J]. Ann Thorac Surg, 2013,95(1):94-97.
- [7] Mazzitelli D, Nöbauer C, Rankin JS, et al. Early results of a novel technique for ring-reinforced aortic valve and root restoration[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2014,45(3):426-430.
- [8] Mazzitelli D, Fischlein T, Rankin JS, et al. Geometric ring annuloplasty as an adjunct to aortic valve repair: clinical investigation of the HAART 300 device[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2016,49(3):987-993. (下转第 5100 页)

究结果一致。

综上所述,阿托伐他汀强化疗法能够明显降低高血压并发 ST 段抬高急性心肌梗死患者血压及 Lp-PLA2 水平,改善患者心脏功能,值得临床推广。此外,阿托伐他汀的临床使用已有 20 年之久,其安全性已得到临床实践的证实,具有安全、可靠的特点。

#### 参考文献

- [1] 刘浩宇,常广磊,段芹,等. 心血管疾病患者死亡原因分析[J]. 重庆医学,2013,43(27):3242-3243.
- [2] Shankarraman V, Kocyildirim E, Oliba SE, et al. Biocompatibility assessment of the CentriMag-Novalung adult ECMO circuit in a model of acute pulmonary hypertension[J]. ASAIO J, 2015, 60(4):429-435.
- [3] 李昭,王松涛,李志忠,等. 高血压对青年女性心肌梗死患者的影响及其与冠状动脉病变的关系[J]. 中国医药, 2014, 9(11):1569-1573.
- [4] 余秀兰,赵华云,陈伟强,等. 急性心肌梗死伴高血压患者脉压变化与心率变异的关系[J]. 广东医学,2013,34(8): 1237-1238.
- [5] Li T, Wang D, Tian Y, et al. Effects of atorvastatin on the inflammation regulation and elimination of subdural hematoma in rats[J]. J Neurol Sci, 2014, 341(1/2):88-96.
- [6] 王志军,周建芝,吴寿岭. 老年糖尿病患者合并高血压的危险因素及随访分析[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2013, 15(2):151-154.
- [7] Niiranen TJ, Rissanen H, Johansson JK, et al. Overall cardiovascular prognosis of isolated systolic hypertension, isolated diastolic hypertension and pulse pressure defined with home measurements; the Finn-home study[J]. J Hy-

perrens, 2014, 32(3):518-524.

- [8] Stergiou GS, Asayama K, Thijs L, et al. Prognosis of white-coat and masked hypertension; International Database of Home blood pressure in relation to Cardiovascular Outcome[J]. Hypertension, 2014, 63(4):675-682.
- [9] Smith SM, Gong Y, Handberg E, et al. Predictors and outcomes of resistant hypertension among patients with coronary artery disease and hypertension[J]. J Hypertens, 2014, 32(3):635-643.
- [10] 于辉,赵阳. 非 ST 段抬高型心肌梗死患者介入治疗时机的选择临床分析[J]. 中国现代医学杂志, 2014, 24(13): 62-64.
- [11] 李明. 血清 Lp-PLA2、hs-CRP 和 D-二聚体在冠心病患者冠脉病变程度中的评估价值[J]. 重庆医学, 2015, 44(9): 1215-1217, 1220.
- [12] 程清. 脂蛋白相关磷脂酶 A2 和同型半胱氨酸水平与动脉粥样硬化性心脑血管疾病关系的研究[J]. 检验医学, 2015, 30(1):40-43.
- [13] 姜文,李红云,纪晓军,等. 丁苯酞对急性脑梗死患者血清高敏 C 反应蛋白和脂蛋白相关磷脂酶 A2 水平的影响[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2013, 27(11):1108-1109.
- [14] 张亮,刘亚杰,贺雄军,等. CD62E+ 微颗粒水平与急性脑梗死患者病情严重程度、预后及血管危险因素关系[J]. 中华神经医学杂志, 2014, 13(4):388-392.
- [15] 郭素萍,张霞,高传玉. 大剂量瑞舒伐他汀对急性心肌梗死患者血清高敏 C 反应蛋白、MMP-9 及心功能的影响[J]. 郑州大学学报(医学版), 2013, 48(6):836-838.

(收稿日期:2016-07-18 修回日期:2016-09-26)

(上接第 5097 页)

- [9] 康彧,唐红,宋海波,等. 经食管实时三维超声心动图对主动脉瓣环径测量位点的初步研究[J]. 中华胸心血管外科杂志, 2009, 18(12):1030-1033.
- [10] 陈华,黄新苗,赵仙先,等. 64 层螺旋 CT 对主动脉根部结构形态的评价[J]. 介入放射学杂志, 2011, 20(3):181-184.
- [11] 王新房. 三维超声心动图的临床应用及其发展前景[J]. 放射学实践, 2000, 15(3):168-169.
- [12] Crooke PS, Beavan LA, Griffin CD, et al. Design characteristics of a three-dimensional geometric aortic valve annuloplasty ring[J]. Innovations (Phila), 2013, 8(5):364-370.
- [13] 任奔,康彧,唐红. 经食管实时三维超声心动图对主动脉瓣环形态的可视化定量研究[J]. 西部医学, 2013, 25(4): 507-510.
- [14] 任奔,唐红. 主动脉瓣环及邻近解剖结构的再认识与研究进展[J]. 西部医学, 2014, 26(12):1736-1738.
- [15] Mazzitelli D, Pfeiffer S, Rankin JS, et al. A regulated trial of bicuspid aortic valve repair supported by geometric ring annuloplasty[J]. Ann Thorac Surg, 2015, 99(6): 2010-2016.
- [16] Mazzitelli D, Stamm C, Rankin JS, et al. Hemodynamic outcomes of geometric ring annuloplasty for aortic valve

repair; a 4-center pilot trial[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2014, 148(1):168-175.

- [17] Mazzitelli D, Stamm C, Rankin JS, et al. Leaflet reconstructive techniques for aortic valve repair[J]. Ann Thorac Surg, 2014, 98(6):2053-2060.
- [18] Rankin JS, Bone MC, Fries PM, et al. A refined hemispheric model of normal human aortic valve and root geometry[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2013, 146(1):103-108.
- [19] Fattouch K, Sampognaro R, Speziale G, et al. New technique for aortic valve functional annulus reshaping using a handmade prosthetic ring[J]. Ann Thorac Surg, 2011, 91(4):1154-1158.
- [20] Mve Mvondo C, Nardi P, Bassano C, et al. Surgical treatment of aortic valve regurgitation secondary to ascending aorta aneurysm; is adjunctive subcommissural annuloplasty necessary? [J]. Ann Thorac Surg, 2013, 95(2):586-5892.
- [21] de Kerchove L, Vismara R, Mangini A, et al. In vitro comparison of three techniques for ventriculo-aortic junction annuloplasty[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2012, 41(5): 1117-1123.

(收稿日期:2016-07-22 修回日期:2016-09-26)