

三维超声用于功能性二尖瓣反流修复手术评估的临床应用研究

左明良¹, 尹立雪¹, 李春梅¹, 邓燕¹, 罗玲¹, 向毅², 向波³, 于涛³

(1. 四川省医学科学院·四川省人民医院心血管超声及心功能科, 成都 610071; 2. 四川省第四人民医院胸外科, 成都 610071; 3. 四川省医学科学院·四川省人民医院心脏外科, 成都 610071)

【摘要】目的:探讨三维超声诊断功能性二尖瓣反流(functional mitral regurgitation, FMR)的价值,并探索二尖瓣修复的安全性及有效性。**方法:**50 例因主动脉瓣狭窄(aortic stenosis, AS)或关闭不全(aortic regurgitation, AR)行主动脉瓣置换,伴或不伴功能性二尖瓣反流患者,对所有患者均行二维超声及三维经食管超声心动图(three-dimensional transesophageal echocardiography, 3D-TEE)检查,比较外科直视测量二尖瓣对合缘高度值与 3D-TEE 测值的差异。对于中度以上 FMR 患者主动脉瓣置换基础上行二尖瓣修复,对比未修复患者心脏超声、围手术期死亡、主动脉阻断时间、重症加强护理病房(intensive care unit, ICU)停留天数,以及术后反流纠正效果。**结果:**二尖瓣修复 24 例,未修复者 26 例,2 组间基线数据比较差异无统计学意义;2 组间比较二维经胸超声及 3D-TEE 参数,修复组较未修复组反流程度重,瓣环面积扩大($P=0.009$),对合缘高度减少($P=0.008$),差异具有统计学意义。所有患者外科直视测量与三维超声心动图测量二尖瓣对合缘高度的方法具有较好的一致性。术中主动脉阻断时间及术后 ICU 停留天数差异无统计学意义($P=0.381$, $P=0.175$)。二尖瓣修复组围手术期死亡 1 例,未修复组死亡 1 例,2 组间差异无统计学意义($P=0.891$)。术后半年二尖瓣修复组 2 例二尖瓣轻度反流,无一例二尖瓣狭窄及反流加重发生;二尖瓣未修复组出现 1 例二尖瓣反流加重,1 例轻度反流。此外,二尖瓣修复患者中,AS 所致 FMR 二尖瓣环面积小于 AR 患者($P=0.028$),瓣缘对合高度大于 AR($P=0.017$)。**结论:**主动脉瓣置换术同期行二尖瓣修复安全可行。3D-TEE 评估 FMR 反流机制具有重要价值,FMR 往往伴随瓣环扩张,二尖瓣闭合障碍。AS 及 AR 并发 FMR 的发生机制可能不同,建议 AS 并发 FMR 修复时以瓣环扩大及瓣缘对合高度为标准。

【关键词】主动脉瓣置换;功能性二尖瓣反流;二尖瓣成形;三维经食管超声心动图

【中图分类号】R654.2

【文献标志码】A

【收稿日期】2017-11-20

Clinical application of 3D-TEE in the evaluation of mitral valve repair due to functional mitral regurgitation

Zuo Mingliang¹, Yin Lixue¹, Li Chunmei¹, Deng Yan¹, Luo Ling¹, Xiang Yi², Xiang Bo³, Yu Tao²

(1. Department of Cardiovascular Ultrasound and Non-invasive Cardiology, Sichuan Academy of Medical Sciences & Sichuan Provincial People's Hospital; 2. Department of Thoracic Surgery, The Fourth People's Hospital of Sichuan Province; 3. Department of Cardiac Surgery, Sichuan Academy of Medical Sciences & Sichuan Provincial People's Hospital)

【Abstract】Objective: To investigate the value of three-dimensional transesophageal echocardiography (3D-TEE) in the diagnosis of functional mitral regurgitation (FMR), and to explore the clinical safety and efficacy of mitral valve repair. **Methods:** Fifty cases of aortic stenosis (AS) or aortic regurgitation (AR) underwent aortic valve replacement (AVR), with or without FMR. All patients were treated with two-dimensional echocardiography and three-dimensional transesophageal echocardiography (3D-TEE). For patients with moder-

作者介绍: 左明良, Email: 1445959783@qq.com,

研究方向: 术中经食管超声心动图。

通信作者: 向毅, Email: 2916902747@qq.com。

基金项目: 四川省科技厅资助项目 (编号: 2016TD0017、2017TD0015)。

优先出版: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1046.R.20180525.1034.006.html>
(2018-05-28)

ate to severe FMR, mitral valve repair was performed on the basis of aortic valve replacement. Echocardiographic parameters, perioperative death, aortic clamping time, intensive care unit (ICU) stay, and postoperative regurgitation correction were compared. **Results:** There were 24 cases of mitral valve repair and 26 cases without repair. There was no significant difference in base-

line data between the 2 groups. The more serious MR, the larger mitral annular area ($P=0.009$), the smaller coaptation height ($P=0.008$) were found in MV repair group than in non repair group. There was a good consistency of mitral valve coaptation height between direct surgery and 3D-TEE measurement. There was no significant difference in aortic clamping time and postoperative ICU stay days ($P=0.381, P=0.175$). In mitral valve repair group, 1 cases died during perioperative period, and 1 cases died in the non repair group. There was no significant difference between the 2 groups ($P=0.891$). Half a year follow-up of regurgitation corrective effect, there were 2 cases of mild mitral regurgitation, no case of mitral stenosis and regurgitation aggravated in mitral valve repair group. There were 1 case of deteriorational mitral regurgitation and 1 case of mild mitral regurgitation in non-MV repair group. In addition, in mitral valve repair patients, the area of FMR mitral annulus caused by AS was smaller than that of AR patients ($P=0.028$), and the coaptation height of mitral valve was higher than that of AR ($P=0.017$). **Conclusion:** Mitral valve repair is safe and feasible in aortic valve replacement. 3D-TEE is of great value in evaluating the mechanism of FMR. FMR is often accompanied by annular dilation and mitral valve closure disorder. The pathological mechanism of AS and AR concurrent FMR may be different. It is suggested that when AS is concurrent with FMR, MV annular diameter and coaptation height are the criteria of MV repair.

【Key words】aortic valve replacement; functional mitral regurgitation; mitral repair; three-dimensional transesophageal echocardiography

功能性二尖瓣反流 (functional mitral regurgitation, FMR) 指二尖瓣器无明显异常的瓣膜关闭不全, 在主动脉瓣狭窄 (aortic stenosis, AS) 或关闭不全 (aortic regurgitation, AR) 患者中常见, 而对于是否同期行二尖瓣修复手术存在争议。有研究者认为, 术前合并重度以下的二尖瓣反流 (mitral regurgitation, MR) 患者, 单纯行主动脉瓣手术, 术后随着主动脉瓣后负荷增加的解除, 以及左室重构的改善, FMR 随之改善; 且增加同期二尖瓣手术对术后二尖瓣反流改善并无显著影响, 且死亡率增加^[1-3]。部分研究者发现, 主动脉瓣置换合并 FMR, 术后约 1/3 的患者二尖瓣反流程度不变甚至恶化, 若合并中度以上二尖瓣反流者其生存率明显降低。关于 FMR 的病理机制, 是否同期手术, 以及手术标准, 目前均不完全清楚, 亦未见相关指南^[4]。据文献报道, 二尖瓣环大小与 FMR 无显著相关^[5]。鉴于二尖瓣环的复杂三维立体“马鞍形”结构, 传统经胸二维超声心动图不能准确反映这种立体结构, 而 3D 对于评估复杂 MV 解剖, 精确评价二尖瓣反流的病理机制, 具有明显的优势^[6-9], 且可以预测 MV 修复后成功与否^[10-11]。对于二尖瓣治疗方式的选择则有赖于二尖瓣反流的机制。因此, 识别 FMR 的病理机制显得尤为重要。且利用三维经食管超声评估二尖瓣反流机制已被广泛接受^[12-13]。本文旨在探讨三维经食管超声心动图诊断 FMR 的价值, 比较同期二尖瓣修复与否的安全性及有效性。

1 对象与方法

1.1 研究对象

选取 2013 年 6 月至 2017 年 6 月在四川省医学科学院·四川省人民医院心脏外科主动脉瓣置换术患者 50 例。纳入标准: 根据 ESC 指南, 即严重主动脉瓣反流且有症状, 或无症状, 左室扩大 (左室舒张末期内径 >70 mm); 有症状的主动脉瓣狭窄患者; 伴或不伴 FMR。排除二尖瓣病变如脱垂或风湿性改变、瓣叶及瓣环钙化、腱索断裂等所致 MR。所有患者均签署知情同意书。经胸超声心动图诊断中度以上 FMR 24 例接受二尖瓣修复术为修复组, 轻度以下者不接受二尖瓣成形术 26 例为未修复组。

1.2 常规经胸超声心动图检查

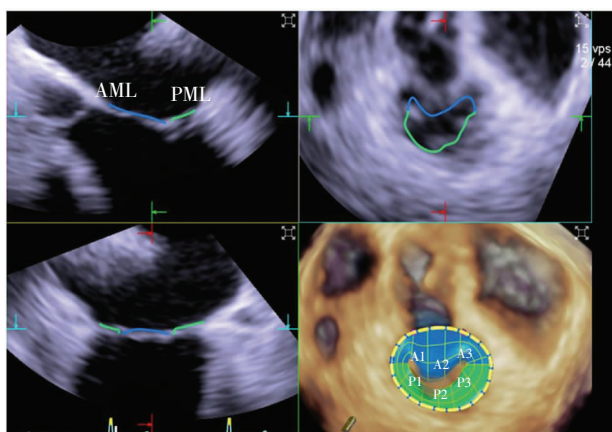
所有患者均常规行经胸超声心动图检查。二维超声采用飞利浦 Elite, 探头 X5-1; 西门子 SC2000 彩色多普勒超声诊断仪, 探头 4Z1C。

主动脉瓣狭窄及反流程度标准: 根据 ASE 指南, 心尖五腔心切面或胸骨旁左心室长轴切面, 应用连续方程法估测主动脉瓣口面积, <1.0 cm² 为重度狭窄; 心尖五腔心切面或心尖左室长轴切面测量舒张期主动脉瓣中心性反流束宽度与左室流出道内径比值半定量估计反流程度, $>65\%$ 为重度。

二尖瓣反流程度标准: 采用 ASE 指南推荐, 根据收缩颈宽度、收缩中期有效反流口面积 EROA 以及 MR 反流面积与左房面积比值; 其中, 面积比取心尖四腔心和两腔心切面平均值。当至少 2 个参数达到标准则定义为中度以上 MR^[14]。中度以上 FMR 者行同期二尖瓣修复术, 轻度及以下 FMR 不接受二尖瓣修复。

1.3 3D-TEE 检查

所有患者均行术中 TEE 检查,使用飞利浦 CX50 和西门子 SC2000 彩色多普勒超声诊断仪,探头 X7-2t/Z6MS。为增加帧频,尽量缩小扫描宽度和深度,放大模式下采集动态图像,帧频至少 9 帧/s。二尖瓣结构分析:采用飞利浦 QLAB 和西门子 eSie 瓣膜分析软件,自动跟踪一个心动周期内每一帧图像于总体观、横切面观、纵切面观的二尖瓣环及瓣叶,适当手动微调每一帧图像瓣膜的追踪准确度。软件自动重建二尖瓣三维图像并得到如下主要参数:二尖瓣环前后径、左右径,二尖瓣环面积,对合缘高度(A2-P2)、篷高如图 1 所示。并比较二尖瓣修复组与未修复组以上参数不同,以及中度以上 FMR 患者内 AR 与 AS 患者之间三维超声参数的差别。



4D MV 模式显示瓣环及瓣膜形态,A1-A3,P1-P3 显示二尖瓣小叶
AML:二尖瓣前瓣,PML:二尖瓣后瓣

图 1 主动脉瓣病变患者二尖瓣形态学分析

1.4 外科手术及伴随过程

外科直视测量所有患者二尖瓣对合高度,具体方法:注水试验满意后使用 MARK 亚甲蓝染色笔将瓣叶心房间染色,瓣叶染色与非染色区域的交界线即为瓣叶的对合线,测量对合线至瓣缘的长度即为二尖瓣对合缘高度。

所有患者均有重度 AS 或 AR,在体外循环下行主动脉机械瓣、生物瓣置换或根部置换。二尖瓣修复方式为 Reed 或

应用成形环。记录主动脉阻断时间。所有患者体外循环停机后再次经 TEE 检查提示无二尖瓣反流或微量反流,无二尖瓣狭窄发生,否则将再次手术,直到反流得到纠正。术后常规抗凝出院,机械瓣置换抗凝治疗目标 INR1.8~2.5,若生物瓣予以抗凝半年,目标 1.8~2.5。记录 ICU 停留天数,以及围手术期死亡情况,以确定二尖瓣修复与否的安全性及可行性。

术后半年复查经胸超声心动图,采用飞利浦 Elite 彩色多普勒诊断仪,术前术后由同一人完成。测量方法及二尖瓣反流严重程度评判标准如前,即至少 2 个参数达到标准则定义为中度以上 MR,如缩流颈>3 mm,EROA>0.3 cm²,面积比>20%,否则为轻度以下。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 16.0 统计软件。计量资料服从正态分布的用均数 $\pm$ 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示,不服从正态分布的用中位数和四分位数间距描述;计数资料以百分比表示。修复组与未修复组比较以独立样本 t 检验,不服从正态分布的采用秩和检验,包括 3E-TEE 获知的 MV 复杂立体解剖参数比较。分类资料比较用卡方比较。用 Bland-Altman 法分析外科直视及超声测量方法的一致性。二尖瓣修复组内 AS 与 AR 3D-TEE 获知的 MV 复杂立体解剖参数比较以独立样本 t 检验,以评估两者之间 FMR 发生机制。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 基础特征

2 组患者特征见表 1。在年龄、性别比例、高血压、糖尿病病史、房颤发生等方面差异无统计学意义,2 组的同质性较强。二维经胸超声显示修复组二尖瓣反流明显重于未修复组。所有患者中,主动脉瓣病变中 AS 21 例,AR 29 例;二叶瓣畸形占 8%,是引起 AR 的重要因素。中度以上 FMR 24 例,占 48%,而 AR 患者中度以上 FMR 发生率约 45%,AS 患者中度以上 FMR 发生率约 52%,发生率差异无统计学意义($P=0.341$)。所有 FMR 均呈中心性反流,自多个瓣缘联合处。

表 1 2 组患者基础信息比较

变量	MV 修复组 ($n=24$)	MV 未修复组 ($n=26$)	t/χ^2 值	P 值
年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	56.19 $\pm$ 12.12	54.87 $\pm$ 10.31	0.280	-1.032
男性 ($n, \%$)	17 (71)	18 (69)	0.810	-0.689
高血压 ($n, \%$)	9 (38)	8 (31)	0.650	-0.981
糖尿病 ($n, \%$)	2 (8)	2 (8)	0.920	-0.126
房颤 ($n, \%$)	6 (25)	5 (19)	0.660	-0.972
主动脉瓣二叶畸形 ($n, \%$)	2 (8)	2 (8)	0.870	-0.802
AS ($n, \%$)	11 (46)	10 (38)	0.250	-1.125
AR ($n, \%$)	13 (51)	16 (61)	0.130	1.320

2.2 超声有效性评价

所有患者外科直视与超声测量二尖瓣对合缘高度数据比较,差异无统计学意义($P>0.05$),见表 2。Baland-Altman 分析 2 种方法具有较好的一致性。

2.3 术中情况及围手术期死亡率

主动脉瓣置换(生物或机械瓣)情况如下:生物瓣置换比例约 17%,AR 患者生物瓣置换率有多于 AS 患者的趋势,但无统计学意义($P=0.612$)。其中,对 24 例(48%)FMR 为中度以上者同期二尖瓣修复。二尖瓣修复组主动脉阻断时间(72.54 ± 12.43) min,ICU 停留天数约(2.62 ± 1.31) d,无统计学差异($P=0.383$, $P=0.175$),详见表 2。

围手术期死亡是指术前、术中及术后直至术后痊愈的死亡病例。2 组患者的总体死亡率分别为:二尖瓣修复组 1 例(4.16%),二尖瓣未修复组 1 例(3.85%),差异无统计学意义($P=0.891$)。

2.4 术前超声数据比较及术后反流纠正情况

2 组二尖瓣瓣环左右径及面积比较,修复组大于未修复组($P=0.017$, $P=0.009$),对合缘高度小于未修复患者($P=0.008$),

具有统计学意义,见表 3。而二尖瓣环前后径及蓬高,2 组间相比,差异无统计学意义($P=0.064$, $P=0.461$)。

进一步分析发现,二尖瓣成形患者中,AS 10 例,AR 14 例,见表 4。AR 患者二尖瓣环左右径及面积大于 AS 患者($P=0.035$, $P=0.028$),差异具有统计学意义;二尖瓣对合缘高度小于 AS 患者($P=0.017$),差异有统计学意义。而瓣环前后径及蓬高 2 组间比较,差异无统计学意义($P=0.094$, $P=0.556$)。

术后半年随访,二尖瓣修复组仅 2 例二尖瓣轻度反流,无二尖瓣狭窄及反流程度加重。而未修复组 1 例二尖瓣中度反流,较术前加重,1 例轻度反流。假设术后反流程度为“1”(微量或无反流)作为反流完全得到纠正的标准,进行 2 组间比较,发现 2 组间纠正率无明显差异($P=0.872$)。

3 讨论

严重主动脉瓣病变常导致 FMR,是否同期行二尖瓣修复尚存在争议。本文探讨了三维经食管超声心动图对 FMR 的诊断价值,对同期二尖瓣修复安

表 2 3D-TEE 测量与手术直接测量二尖瓣对合区高度测值比较

分组	超声测值(mm)	外科测值(mm)	t 值	P 值
未修复组	3.29 ± 1.17	4.01 ± 1.18	0.872	0.681
修复组	1.97 ± 0.82	2.36 ± 1.03	0.691	0.753

表 3 二尖瓣修复与未修复患者术前超声资料及临床参数对比

超声资料与临床疗效	MV 修复组(n=24)	MV 未修复组(n=26)	t 值	P 值
二尖瓣反流面积比(%)	27.66 ± 4.62	10.41 ± 6.52^a	-7.653	0.002
二尖瓣反流缩流颈(mm)	4.01 ± 0.45	2.03 ± 0.52^a	-6.681	0.001
二尖瓣反流 EROA(cm ²)	0.35 ± 0.06	0.22 ± 0.65^a	-9.012	0.004
二尖瓣前后径(mm)	35.20 ± 5.10	26.30 ± 4.60	-2.115	0.064
二尖瓣左右径(mm)	41.70 ± 5.90	32.90 ± 3.40^a	-4.121	0.017
二尖瓣环面积(cm ²)	12.54 ± 2.48	8.13 ± 2.72^a	-6.863	0.009
对合缘高度(mm)	1.97 ± 0.82	3.29 ± 1.17^a	5.812	0.008
蓬高(cm)	10.67 ± 2.79	11.12 ± 1.17	0.747	0.461
主动脉阻断时间(min)	72.54 ± 12.43	68.79 ± 10.85	-0.870	0.381
ICU 天数(d)	2.62 ± 1.31	2.01 ± 1.98	-1.379	0.175

注:a,MV 成形与未成形比较,具有统计学差异

表 4 二尖瓣修复患者 AS 与 AR 患者 3D-TEE 比较

指标	AS(n=10)	AR(n=14)	t 值	P 值
二尖瓣环前后径(mm)	32.41 ± 5.21	36.33 ± 4.97	2.336	0.092
二尖瓣环左右径(mm)	34.87 ± 4.72	40.19 ± 5.21^a	4.127	0.036
二尖瓣环面积(cm ²)	9.72 ± 3.50	12.68 ± 5.69^a	5.110	0.028
对合缘高度(mm)	2.76 ± 1.05	1.78 ± 0.92^a	-4.528	0.017
蓬高(cm)	11.67 ± 1.89	10.17 ± 2.67	-0.837	0.556

注:a,MV 成形与未成形比较,具有统计学差异

全性及修复效果进行了研究。

本研究应用 3D-TEE 发现,主动脉瓣严重病变合并中度以上 FMR 且同期二尖瓣修复患者,其二尖瓣环面积较未修复即无/轻度 FMR 患者增大,对合缘高度减少,差异具有统计学意义,与 Rossi 等^[5]报道不一致。考虑原因可能在于 Rossi 等应用二维超声不能有效评价二尖瓣环的“马鞍形”结构。既往通过三维重建后发现,二尖瓣环呈“马鞍形”,即二尖瓣环并非处在同一个平面上。而三维超声在评价复杂 MV 解剖及其病理确定方面明显优于传统二维超声心动图^[8-9]。Chaput 等^[15]应用三维超声心动图发现,尽管心脏重构导致二尖瓣环面积增大,但仅在二尖瓣面积/对合面积 <1.7 时,才与 FMR 有关。可见,二尖瓣对合面积才是体现二尖瓣闭合功能的最重要理念,可以说二尖瓣开闭功能的任何病理改变都表现为二尖瓣对合面积的异常,任何二尖瓣修复手术的最根本目标就是恢复二尖瓣正常的对合面积。因此,本研究认为,主动脉瓣置换同期是否对 FMR 患者手术,在于瓣缘对合高度减小与否。

本研究还发现,对于中度以上 FMR 患者,AR 较 AS 的二尖瓣环扩大及对合缘高度减小更加明显,其原因可能在于 AR 及 AS 合并 FMR 的发生机制有所不同。既往研究推测 AS 合并 FMR 的部分原因在于 AS 时后负荷明显增加,左心室心肌强大的收缩力量下,二尖瓣长期承担巨大压力而出现 FMR^[16-17]。而 AR 合并 FMR 的可能原因在于 AR 导致心肌重构、左室增大,瓣环扩张,且功能减退发生早。据报道,二尖瓣环前后径每增加 1 mm/m^2 ,二尖瓣反流危险性增加 1.9 倍^[18],体现瓣环径与对合缘高度的适应性变化,当二尖瓣不能充分覆盖扩大的瓣环时,对合缘高度明显减小时,即出现二尖瓣明显反流。而正常合理的二尖瓣对合面积,足够的二尖瓣前后叶瓣缘的接触高度则使左室血流充盈后,左心室对前后叶瓣缘的压力方向是促进前后叶瓣缘关闭合拢同时还很好地分散了左室收缩对二尖瓣瓣叶向左房方向的压强;如对合面积减小,则左室充盈后收缩时二尖瓣前后叶缘将会承受较大的朝向左房方向的压力,可能导致对合面积的进一步减小和加剧产生二尖瓣瓣体向左房方向的脱垂使二尖瓣关闭不全进一步恶化。当左室舒末内径变小,左室重构

逆转,FMR 减轻^[19]。本研究通过三维超声心动图获知主动脉瓣不同病变对二尖瓣空间立体结构影响的观察,显示其在 FMR 的病理机制研究中的重要价值,为二尖瓣成形提供参考依据。并建议 AS 并发 FMR 修复时以瓣环扩大及瓣缘对合高度为标准。

对于是否同期行二尖瓣手术,Caballero-Borrego 等报道尽管 MR 增加围手术期死亡率,同期行二尖瓣手术仍存在争议^[17]。1 项欧洲心脏研究发现,双瓣手术围手术期死亡率 6.5%,单纯主动脉瓣手术死亡率为 2.7%;且同期二尖瓣成形对抑制持续性 MR 并无额外益处^[19]。本研究显示,通过外科二尖瓣成形,缩小瓣环,达到增加对合高度,从而减轻 FMR 的目的。而同期二尖瓣成形的主动脉阻断时间虽然有增加的趋势,但围手术期死亡率与未成形患者并无显著不同,与 Coutinho 等^[20]报道一致,表明同期二尖瓣成形是安全的。而 Coutinho 等^[20]报道,主动脉瓣手术后若 MR 不能改善,死亡风险增加 4.9 倍。经皮主动脉瓣置换术,中重度二尖瓣反流与 2 年死亡率增高有关,并成为与 30 d 死亡率增高趋势有关的唯一指标^[21]。因此,有必要同期行二尖瓣成形术。

4 结 论

三维超声心动图在 FMR 的诊断中具有重要价值,在主动脉瓣病变合并中度以上 FMR 的治疗中,同期二尖瓣修复是安全可行的,与轻度以下 FMR 而未修复者比较,围手术期死亡及成形效果无明显差异。AS 及 AR 并发 FMR 的发生机制可能不同,建议 AS 并发 FMR 修复时以瓣环扩大及瓣缘对合高度为标准。

由于本试验入选病例少,且随访时间仅半年,具有一定的局限性,尚需增加样本量,加强中远期随访,才能对二尖瓣成形与否的有效性及安全性进行全面评估,得出可靠结论。

参 考 文 献

- [1] Joo HC, Chang BC, Cho SH, et al. Fate of functional mitral regurgitation and predictors of persistent mitral regurgitation after isolated aortic valve replacement[J]. Ann Thorac Surg, 2011, 92(1): 82-87.
- [2] Lim JY, Jung SH, Kim JB, et al. Management of concomitant mild

- to moderate functional mitral regurgitation during aortic valve surgery for severe aortic insufficiency[J]. J thoracic and cardiovasc surg, 2014, 148(2):441-446.
- [3] Iung B, Baron G, Butchart EG, et al. A prospective survey of patients with valvular heart disease in Europe: The Euro Heart Survey on Valvular Heart Disease[J]. Eur Heart J, 2003, 24(13):1231-1243.
- [4] Wyler S, Emmert MY, Biaggi P, et al. What happens to functional mitral regurgitation after aortic valve replacement for aortic stenosis?[J]. Heart Surg Forum, 2013, 16(5):E238-242.
- [5] Rossi A, Dandale R, Nistri S, et al. Functional mitral regurgitation in patients with aortic stenosis: prevalence, clinical correlates and pathophysiological determinants; a quantitative prospective study[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2014, 15(6):631-636.
- [6] Hahn RT, Abraham T, Adams MS, et al. Guidelines for performing a comprehensive transesophageal echocardiographic examination; recommendations from the American Society of Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists[J]. Anesth Analg, 2014, 118(1):21-68.
- [7] Zoghbi WA, Adams D, Bonow RO, et al. Recommendations for noninvasive evaluation of native valvular regurgitation; a report from the American society of echocardiography developed in collaboration with the society for cardiovascular magnetic resonance[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2017, 30(4):303-371.
- [8] Vegas A. Three-dimensional transesophageal echocardiography: principles and clinical applications[J]. Ann Card Anaesth, 2016, 19(s):35-43.
- [9] Tada H, Masuta E, Mori M, et al. Perfect correspondence of mitral valve perforation using real time 3-dimensional transesophageal echocardiography[J]. J Am Coll Cardiol, 2012, 59(21):1914.
- [10] Maslow A, Mahmood F, Poppas A, et al. Three-dimensional echocardiographic assessment of the repaired mitral valve[J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2014, 28(1):11-17.
- [11] Wamil M, Bull S, Newton J. The modern role of transoesophageal echocardiography in the assessment of valvular pathologies[J]. Echo Res Pract, 2017 Jan 17. doi:10.1530/ERP-16-0034. [Epub ahead of print].
- [12] Salcedo EE, Quaife RA, Seres T, et al. A framework for systematic characterization of the mitral valve by real-time three-dimensional transesophageal echocardiography[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2009, 22(10):1087-1099.
- [13] Shiota T. Clinical application of 3-dimensional echocardiography in the USA[J]. Circ J, 2015, 79(11):2287-2298.
- [14] Iung B, Baron G, Butchart EG, et al. A prospective survey of patients with valvular heart disease in Europe: The Euro Heart Survey on Valvular Heart Disease[J]. Eur Heart J, 2003, 24(13):1231-1243.
- [15] Chaput M, Handschumacher MD, Tournoux F, et al. Mitral leaflet adaptation to ventricular remodeling: occurrence and adequacy in patients with functional mitral regurgitation[J]. Circulation, 2008, 118(8):845-852.
- [16] 潘泽雁, 何怡华, 李治安, 等. 超声测量二尖瓣对合高度对二尖瓣脱垂成形成效果的评价[J]. 心肺血管病杂志, 2012, 31(6):690-693.
- [17] Caballero-Borrego J, Gómez-Doblas JJ, Cabrera-Bueno F, et al. Incidence, associated factors and evolution of non-severe functional mitral regurgitation in patients with severe aortic stenosis undergoing aortic valve replacement[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2008, 34(1):62-66.
- [18] Van Rosendael PJ, Katsanos S, Kamperidis V, et al. New insights on Carpentier I mitral regurgitation from multidetector row computed tomography[J]. AM J Cardiol, 2014, 114(5):763-768.
- [19] Lim JY, Jung SH, Kim JB, et al. Management of concomitant mild to moderate functional mitral regurgitation during aortic valve surgery for severe aortic insufficiency[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2014, 148(2):441-446.
- [20] Coutinho GF, Correia PM, Antunes MJ. Concomitant aortic and mitral surgery: to replace or repair the mitral valve?[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2014, 148(4):1386-1392.
- [21] Barbanti M, Webb JG, Hahn RT, et al. Impact of preoperative moderate/severe mitral regurgitation on 2-year outcome after transcatheter and surgical aortic valve replacement: insight from the placement of aortic transcatheter valve (PARTNER) trial cohort A[J]. Circulation, 2013, 128(25):2776-2784.

(责任编辑:冉明会)