

二尖瓣成形环选择策略：全环与半环的临床疗效分析

王腾龙, 张成鑫*

安徽医科大学第一附属医院心脏大血管科, 安徽 合肥

收稿日期: 2026年3月17日; 录用日期: 2026年4月11日; 发布日期: 2026年4月20日

摘要

目的: 对比全封闭成形环(Full Ring)与部分成形带(Partial Band)对退行性二尖瓣反流(DMR)患者术后早期左心室逆重构的影响。方法: 回顾性分析198例行单纯二尖瓣修复术患者资料(全环组98例, 半环组100例)。通过超声心动图对比术前及术后一周的容积指标, 并建立多因素分层回归模型, 评估装置类型及规格对疗效的独立贡献。结果: 全组患者术后心脏容量指标均较术前显著下降($P < 0.001$), 手术成功启动逆重构。组间容量改善幅度($\Delta EDVI$ 、 $\Delta ESVI$)及残余反流差异无统计学意义($P > 0.05$)。分层回归显示, 术前容量指数是决定术后转归的最强预测因子; 在校正基线因素后, 成形装置类型对模型解释力的贡献极微(ΔR^2 仅0.003~0.005)。结论: 全环与半环在促进早期逆重构方面临床等效。术后恢复主要受术前基线状态影响, 临床选型应侧重解剖复位而非纠结装置形状。

关键词

二尖瓣修复术, 瓣环成形术, 左心室逆重构

Selection Strategies for Mitral Valve Annuloplasty Rings: A Comparative Clinical Efficacy Analysis of Complete Rings and Partial Bands

Tenglong Wang, Chengxin Zhang*

Department of Cardiovascular Surgery, The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei Anhui

*通讯作者。

文章引用: 王腾龙, 张成鑫. 二尖瓣成形环选择策略: 全环与半环的临床疗效分析[J]. 临床医学进展, 2026, 16(4): 3559-3571. DOI: 10.12677/acm.2026.1641620

Abstract

Objective: To compare the impact of full annuloplasty rings versus partial annuloplasty bands on early postoperative left ventricular reverse remodeling (LVRR) in patients with degenerative mitral regurgitation (DMR). **Methods:** A retrospective analysis was conducted on 198 patients who underwent isolated mitral valve repair (98 in the full ring group and 100 in the partial band group). Volumetric parameters were compared via echocardiography preoperatively and at one week postoperatively. Multivariable hierarchical regression models were established to evaluate the independent contributions of device type and size to the clinical outcomes. **Results:** Postoperative cardiac volume indices decreased significantly across the entire cohort compared to preoperative values ($P < 0.001$), indicating the successful initiation of reverse remodeling. No statistically significant differences were observed between the two groups regarding the magnitude of volume reduction (ΔEDVI , ΔESVI) or residual regurgitation ($P > 0.05$). Hierarchical regression revealed that preoperative volume indices were the strongest predictors of postoperative outcomes. After adjusting for baseline factors, the type of annuloplasty device contributed minimally to the model's explanatory power (ΔR^2 ranging from 0.003 to 0.005). **Conclusion:** Full rings and partial bands are clinically equivalent in promoting early LVRR. Postoperative recovery is primarily driven by preoperative baseline status; therefore, clinical device selection should focus on anatomical restoration rather than device geometry.

Keywords

Mitral Valve Repair, Annuloplasty, Left Ventricular Reverse Remodeling

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

二尖瓣反流(MR)是发病率最高的心脏瓣膜病之一。其发病机制存在地域差异: 西方发达国家以退行性病变(DMR)为主[1][2], 我国 DMR 比例随人口老龄化攀升, 但慢性风心病仍占一定存量[3]。严重 MR 导致的长期容量负荷会引发左心室离心性扩张及心肌间质纤维化, 最终导致心力衰竭或猝死[4]。二尖瓣修复术(MVP)因能完整保留“二尖瓣复合体”的力学连续性[6]-[8], 已被公认为治疗 DMR 的金标准[5]。自 Carpentier 提出“法国矫正”理论以来[9], MVP 经历了从正中切口向微创、机器人辅助(如 daVinci 系统)的演进, 显著提升了手术精准度并降低了并发症率[10]-[12]。在 MVP 各种技术组合中, 瓣环成形术(Annuloplasty)是确保瓣叶可靠对合及维持修复持久性的基石[13]-[15], 其核心意义在于通过植入人工装置强制矫正扩张瓣环, 优化对合高度(Coaptation depth)并重排缝线张力[13]。然而, 关于全封闭成形环(Full Ring)与部分成形带(Partial Band)的选择仍存争议。全环提供 360 度支撑, 能有效防止瓣环后期再扩张, 降低反流复发风险[16][17], 并可能提升高危患者的远期生存率[18], 但其刚性固定可能干扰瓣环自然的鞍形波动及“类似括约肌”的动态特征[19]。相比之下, 半环侧重加固易扩张的后瓣环, 保留前瓣及主动脉-二尖瓣连续部的灵活性, 更符合生物力学特征[14][20], 但其对前环约束的缺乏引发了对其长期环周稳定性的质疑[21][22]。评价 MVP 疗效的现代标准已转向左心室逆重构(Reverse Remodeling)效率, LVEDVI 和 LVESVI 是核心量化指标[4][23][24]。早期研究认为柔性环更有利于保护心功能[24], 而心脏

CT 及 CMR (测量 ECV)等影像技术的发展, 为解析逆重构影响因子提供了新视角[23] [25] [26]。此外, 装置规格(Size)的选择需在彻底消除反流与防止瓣叶重塑间取得平衡[27]-[29], 尤其在高龄及合并症复杂的患者中, 耐受性与安全性是首要考量点[3]。本研究旨在通过对 198 例临床样本建立多因素分层回归模型, 严谨评价全环与半环对早期逆重构的独立贡献, 为临床装置选型及精准干预提供科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 研究材料

2.1.1. 研究对象

回顾性分析 2021 年 1 月至 2025 年 12 月于安徽医科大学第一附属医院行单纯二尖瓣成形术(MVP)的 198 例 DMR 患者临床资料。根据植入装置类型分为: 全成形环组(Full Ring, n = 98)和半成形环组(Partial Band, n = 100)。

2.1.2. 纳入标准与排除标准

纳入标准: 年龄 ≥ 18 岁; 经超声确诊为中度及以上二尖瓣反流。

排除标准: 严重风湿性瓣膜病、活动性感染性心内膜炎、严重瓣环钙化(MAC)、瓣叶运动受限(Carpentier IIIa 型)、瓣叶对合高度严重不足及合并除三尖瓣修复或房颤消融以外的其他心脏手术者。

2.2. 研究方法

2.2.1. 资料收集与指标计算

收集患者人口学特征、合并症及术前后一周的超声心动图指标(LAD、LVEDD、LVEF 等)。采用 Du Bois 公式计算体表面积(BSA), 应用 Teichholz 公式[7]计算左心室舒张末期容积(LVEDV)与收缩末期容积(LVESV), 并经 BSA 标准化得到容积指数(LVEDVI、LVESVI)。

2.2.2. 手术方法

手术在全身麻醉及体外循环下完成, 切口选择正中或右胸小切口。核心步骤包括:

瓣环测量(Sizing): 依据前叶(Anterior Leaflet)高度或面积确定成形装置规格。

装置植入: 采用间断“褥式”缝线沿瓣环周缘缝扎。全环组植入封闭式半硬性环; 半环组植入成形带, 两端固定于左右纤维三角。

修复评估: 通过术中注水试验及经食管超声(TEE)确认无显著残余反流或瓣口狭窄。

2.3. 统计学方法

本研究采用 SPSS (IBM 版本 22.0)和 R 软件(版本 4.5.2)统计软件进行数据分析。计量资料以均数 \pm 标准差或中位数表示, 组间比较行独立样本 t 检验或 Mann-Whitney U 检验; 计数资料以频数及百分比表示, 组间比较行卡方检验或 Fisher 确切概率法。以 $P < 0.05$ 差异有统计学意义。

采用 Pearson 相关分析评估连续变量之间的相关性。采用多因素线性回归模型(Multivariable Linear Regression)校正混杂因素(如年龄、性别、体表面积等), 以探讨成形环类型与左心室容积指数(LVEDVI, LVESVI)的独立关联。

3. 结果

3.1. 基线资料

本研究共纳入 198 例行二尖瓣修复术的患者, 包括全成形环组(n = 98)与半成形环组(n = 100)。

3.1.1. 通用临床资料与合并症

两组患者在年龄、性别分布、BSA 以及糖尿病、高血压、脑血管疾病和肾功能不全等合并症发生率等方面均无显著差异, 具有可比性。但在心律失常方面, 全成形环组合并房颤的比例(57.14%)显著高于半成形环组(34.00%), 差异具有统计学意义($P = 0.001$)。

3.1.2. 术前心脏超声指标

术前超声结果显示, 两组患者的左心室舒张期指标(LVED、LVEDV、EDVI)及二尖瓣反流等级在组间分布平衡(均 $P > 0.05$)。然而, 全成形环组在基线水平表现出更明显的形态改变与功能下降: 其术前 LAD (4.99 ± 0.75 cm)与 ESVI (37.15 ± 13.15 mL/m²)显著大于半成形环组。而 LVEF ($58.50\% \pm 6.28\%$)显著低于半成形环组(均 $P < 0.05$)。

$P < 0.05$ 为有统计学意义。

3.2. 手术术中资料比较

两组患者在手术术中资料的详细比较见表 1。

在手术策略上, 两组在人工腱索植入、三角切除及增厚瓣叶削除等技术的使用比例上保持高度一致(均 $P > 0.05$)。然而, 在矩形切除技术的使用上, 半成形环组(11.00%)显著高于全成形环组(1.02%, $P = 0.003$)。伴随手术方面, 全成形环组接受房颤消融术的比例(46.94%)明显高于半成形环组(28.00%, $P = 0.006$), 这与其术前较高的房颤合并率相对应。

在装置选择上(见表 1), 两组呈现出显著的规格与品牌差异(均 $P < 0.001$): 全成形环组倾向于选用较大规格(32/34 号), 而半成形环组则集中于 28 号。品牌分布上, 半成形环组以 Sorin 品牌为主(89.00%), 全成形环组则在 Sorin、金仕及佰仁思间分布较均衡。

Table 1. Comparison of intraoperative data between the full annuloplasty ring group and the partial annuloplasty band group
表 1. 全成形环组与半成形环组手术术中资料比较

		(a)		
		全成型环组(n = 98)	半成型环组(n = 100)	P
人工腱索植入	无	70 (71.43)	67 (67.00)	0.500
	有	28 (28.57)	33 (33.00)	
矩形切除	无	97 (98.98)	89 (89.00)	0.003**
	有	1 (1.02)	11 (11.00)	
三角切除	无	89 (90.82)	95 (95.00)	0.251
	有	9 (9.18)	5 (5.00)	
削除增厚瓣叶	无	92 (93.88)	98 (98.00)	0.141
	有	6 (6.12)	2 (2.00)	
伴随三尖瓣修复	无	13 (13.27)	7 (7.00)	0.144
	有	85 (86.73)	93 (93.00)	
伴随房颤消融	无	52 (53.06)	72 (72.00)	0.006**
	有	46 (46.94)	28 (28.00)	

续表

(b)			
装置大小	全成型环组(n = 98)	半成型环组(n = 100)	P
26	6 (6.12)	6 (6.00)	0.971
28	13 (13.27)	38 (38.00)	0.000**
30	42 (42.86)	51 (51.00)	0.251
32	31 (31.63)	4 (4.00)	0.000**
34	6 (6.12)	0 (0.00)	0.012*
36	0 (0.00)	1 (1.00)	0.321
装置品牌			
佰仁思	10 (10.20)	11 (11.00)	0.856
Sorin	53 (54.08)	89 (89.00)	0.000**
金仕	32 (32.65)	0 (0.00)	0.000**
爱德华	3 (3.06)	0 (0.00)	0.078

*P < 0.05, **P < 0.01.

3.3. 术后心脏彩超指标对比

术后一周, 两组患者均完成了心脏彩超复查, 以评估手术早期的血流动力学及心室重构情况, 结果详见表 2。

术后一周复查显示, 半成形环组在多个容积与功能指标上暂时领先于全成形环组。在心室收缩指标上, 半成形环组的 LVEF 显著高于全成形环组, 同时其 LVESV 与 ESVI 显著低于全成形环组(均 P < 0.05)。在心房与心室结构上, 半成形环组的术后 LAD 及经体表面积标准化的 EDVI 亦显著优于全成形环组(均 P < 0.05)。两组间的 LVED 及 LVEDV 差异则无统计学意义。

Table 2. Comparison of echocardiographic parameters between the full annuloplasty ring group and the partial annuloplasty band group one week postoperatively

表 2. 全成形环组与半成形环组术后一周心脏彩超指标比较

	瓣环成形装置类型(1 = 全环, 2 = 半环) (平均值 ± 标准差)		P
	1.0 (n = 98)	2.0 (n = 100)	
LAD (cm)	4.38 ± 0.62	4.17 ± 0.60	0.015*
LVED (cm)	5.03 ± 0.49	4.91 ± 0.48	0.080
LVEF (%)	57.68 ± 5.25	59.75 ± 5.38	0.007**
LVEDV (mL)	121.54 ± 27.13	114.91 ± 27.38	0.090
LVESV (mL)	52.04 ± 15.60	47.01 ± 17.78	0.036*
EDVI (mL/m ²)	70.53 ± 16.42	66.01 ± 14.77	0.043*
ESVI (mL/m ²)	30.18 ± 9.22	26.98 ± 9.89	0.020*

*P < 0.05, **P < 0.01.

3.4. 手术前后心脏彩超指标对比

为了评估二尖瓣修复术对左心室逆重构的总体疗效, 本研究对比了全组患者术前与术后一周的心脏彩超指标, 结果详见表 3。

全组患者术后一周的指标与术前相比, 均表现出显著的改善(均 $P < 0.001$)。LAD、LVED、LVEDV、LVESV 及其相应的指数(EDVI、ESVI)均呈断崖式下降, 证实手术成功启动了早期逆重构。全组 LVEF 较术前有轻微生理性下降(平均下降 1.07%), 差异具有统计学意义($P = 0.008$)。

Table 3. Comparison of preoperative and postoperative echocardiographic parameters

表 3. 手术前后心脏彩超指标对比

	平均值	标准差	平均值差值	P
术前 LAD (cm)	4.86	0.73	0.58	0.000**
术后 LAD (cm)	4.27	0.61		
术前 LVED (cm)	5.49	0.66	0.52	0.000**
术后 LVED (cm)	4.97	0.48		
术前 LVEF (%)	59.79	6.29	1.07	0.008**
术后 LVEF (%)	58.72	5.40		
术前 LVEDV (mL)	149.89	41.94	31.68	0.000**
术后 LVEDV (mL)	118.21	27.39		
术前 LVESV (mL)	60.97	22.27	11.46	0.000**
术后 LVESV (mL)	49.51	16.88		
术前 EDVI (mL/m ²)	86.48	24.62	18.22	0.000**
术后 EDVI (mL/m ²)	68.26	15.74		
术前 ESVI (mL/m ²)	35.14	12.83	6.56	0.000**
术后 ESVI (mL/m ²)	28.57	9.68		

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

3.5. 两组心脏容积指数变化的比较

为进一步探讨装置对逆重构“力度”的影响, 本研究计算了两组术前后的指标变化量(Δ 值)。统计显示(见表 4), 全成形环组与半成形环组在 Δ EDVI (18.33 vs 18.12 mL/m²)及 Δ ESVI (6.97 vs 6.17 mL/m²)上的差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。这表明虽然半成形环组术后绝对值较低, 但两种装置在促进心室回缩的效果上基本等效。

Table 4. Comparison of changes in ventricular volume indices between the full annuloplasty ring group and the partial annuloplasty band group

表 4. 全成形环组与半成形环组心脏容积指数变化的比较

瓣环成形装置类型(1 = 全环, 2 = 半环) (平均值 \pm 标准差)	Δ EDVI	Δ ESVI
1.0 (n = 98)	18.33 \pm 19.22	6.97 \pm 8.98
2.0 (n = 100)	18.12 \pm 17.19	6.17 \pm 7.63
P	0.935	0.501

$P < 0.05$ 为有统计学意义; Δ : 表示术前指标与术后一周指标的差值($\Delta =$ 术前值 - 术后值); EDVI: 左心室舒张末期容积指数; ESVI: 左心室收缩末期容积指数。

3.6. 两组术后二尖瓣反流程度的比较

术后一周 TEE 评价显示, 全成形环组与半成形环组的反流程度中位数均为 0.000, 组间差异无统计学意义($P = 0.130$)。提示绝大多数患者术后即刻实现了反流的完全消除或显著减轻, 结果详见表 5。

Table 5. Comparison of postoperative mitral regurgitation severity between the full annuloplasty ring group and the partial annuloplasty band group

表 5. 全成形环组与半成形环组术后二尖瓣反流程度

瓣环成形装置类型(1 = 全环, 2 = 半环)(中位数)	术后二尖瓣返流
1.0 (n = 98)	0.000
2.0 (n = 100)	0.000
P	0.130

$P < 0.05$ 为有统计学意义。

3.7. 成形装置规格与左心室容积指数的相关性分析

Pearson 相关分析显示(见表 6), 植入装置规格(Size)与术后一周左心室容积指标(EDVI、ESVI)的绝对值均无显著线性相关(均 $P > 0.05$)。但在容积改善幅度上, 装置尺寸与 Δ EDVI ($r = 0.150, P = 0.036$)及 Δ ESVI ($r = 0.182, P = 0.010$)均呈统计学显著的弱正相关。

分组分析(表 7、表 8)进一步证实, 无论在全成形环组还是半成形环组中, 这种“规格越大、回缩量越大”的趋势依然表现微弱且在部分指标上不具备显著性。

Table 6. Correlation analysis between annuloplasty device size and left ventricular volume indices

表 6. 成形装置规格与左心室容积指数的相关性分析

	术后 EDVI (mL/m ²)	术后 ESVI (mL/m ²)	Δ EDVI	Δ ESVI	
装置尺寸	相关系数	0.106	0.122	0.150*	0.182*
	P 值	0.139	0.088	0.036	0.010
	样本量	198	198	198	198

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

Table 7. Correlation analysis between annuloplasty device size and left ventricular volume indices in the full ring group

表 7. 全成型环组成形装置规格与左心室容积指数的相关性分析

	EDVI (mL/m ²)	ESVI (mL/m ²)	Δ EDVI	Δ ESVI	
装置尺寸	相关系数	0.026	0.045	0.165	0.198
	P 值	0.802	0.660	0.104	0.051
	样本量	98	98	98	98

$P < 0.05$ 为有统计学意义。

Table 8. Correlation analysis between annuloplasty device size and left ventricular volume indices in the partial band group

表 8. 半成型环组成形装置规格与左心室容积指数的相关性分析

	EDVI (mL/m ²)	ESVI (mL/m ²)	Δ EDVI	Δ ESVI	
装置尺寸	相关系数	0.111	0.103	0.146	0.145
	P 值	0.273	0.312	0.150	0.152
	样本量	99	99	99	99

$P < 0.05$ 为有统计学意义。

3.8. 成形装置类型、规格与左心室容积指数的回归性分析

3.8.1. 成型环装置尺寸与左心室容积指数的单因素回归

为量化评估成形装置规格(Size)对术后一周左心室舒张末期容积指数(EDVI)、左心室收缩末期容积指数(ESVI)及术后左心室容量回缩程度(即变化量 Δ 值)的预测价值,本研究建立了简单线性回归模型,结果见表 9。

回归模型分析显示,对于 EDVI 模型的判定系数 R^2 为 0.011,调整后 R^2 仅为 0.006,提示植入装置的规格大小仅能解释术后一周 EDVI 约 1.1%的变异量。整体模型检验结果显示, $F = 2.212$, $P = 0.139$,说明该回归模型在统计学上并不显著,即装置尺寸与术后 EDVI 之间不存在显著的线性回归关系。回归系数分析结果显示,装置尺寸的非标准化系数 B 为 0.912 (标准误 = 0.613),标准化系数 Beta 为 0.106。其显著性检验结果为 $t = 1.487$, $P = 0.139$ ($P > 0.05$)。此外,模型的 D-W 值为 1.969,接近 2.0,表明残差之间不存在自相关性;共线性诊断显示 VIF 值为 1.000,不存在多重共线性问题。

ESVI 回归模型的判定系数 R^2 为 0.015,调整后 R^2 为 0.010。这表明装置尺寸的变化仅能解释术后一周 ESVI 约 1.5%的变异量。模型的整体检验结果显示 $F = 2.936$, $P = 0.088$ ($P > 0.05$),提示该回归模型在统计学上未达到显著水平,即在当前样本中,装置尺寸与术后 ESVI 之间未建立起显著的线性预测关系。

在回归系数方面,装置尺寸的非标准化系数 B 为 0.645 (标准误 = 0.376),标准化系数 Beta 为 0.122。显著性检验结果显示 $t = 1.714$, $P = 0.088$ 。尽管 P 值接近 0.05 的临界值表现出一定的正向影响倾向,但在统计学意义上仍认为装置型号对术后 ESVI 无独立驱动作用。此外,模型的 D-W 值为 1.998,非常接近 2.0,表明样本残差独立性良好;共线性诊断 VIF 值为 1.000,表明无多重共线性干扰。

Δ EDVI 模型分析显示,装置尺寸与 Δ EDVI 的线性回归模型具有统计学意义($F = 4.461$, $P = 0.036$)。装置尺寸的回归系数 B 为 1.487 (标准误 = 0.704),标准化系数 Beta 为 0.150 ($t = 2.112$, $P = 0.036$)。模型 R^2 为 0.022,提示装置尺寸可解释 Δ EDVI 约 2.2%的变异量。结果表明,装置规格的增加与左心室舒张末期容积改善幅度的增大呈正相关,即植入较大规格装置的患者表现出更高绝对值的容积回缩。

在 Δ ESVI 的分析中,回归模型同样表现出显著性($F = 6.695$, $P = 0.010$)。装置尺寸的非标准化系数 B 为 0.829 (标准误 = 0.320),标准化系数 Beta 为 0.182 ($t = 2.587$, $P = 0.010$)。模型 R^2 为 0.033。结果证实,装置尺寸对 Δ ESVI 具有显著的正向影响,表明在较大规格装置组中,左心室收缩末期容积的回缩幅度更为显著。

Table 9. Univariable regression analysis of device size on left ventricular remodeling indices

表 9. 装置尺寸对左心室重构指标的单因素回归分析

统计量(Statistics)	术后 EDVI	术后 ESVI	Δ EDVI	Δ ESVI
非标准化系数 B	0.912	0.645	1.487	0.829
标准误(SE)	0.613	0.376	0.704	0.320
标准化系数 Beta	0.106	0.122	0.150	0.182
t 值	1.487	1.714	2.112	2.587
P 值	0.139	0.088	0.036*	0.010**
R^2	0.011	0.015	0.022	0.033
调整后 R^2	0.006	0.010	0.017	0.028
F 值	2.212	2.936	4.461	6.695
D-W 值	1.969	1.998	1.930	2.011

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$; Δ 表示术前与术后一周的变化量。

3.8.2. 成型环装置与左心室容积指数的分层回归分析

为了排除术前基线差异及术中瓣叶修复技术对疗效评价的干扰, 本研究建立了包含手术联合操作因素的深度分层回归模型。模型分为两层: 分层 1 纳入术前基线资料及术中联合操作(房颤消融、人工腱索、三尖瓣修复、瓣叶切除等); 分层 2 引入成型装置特性(类型与规格)。

表 10 的结果显示, 由基线资料与手术操作构成的分层 1 模型具有极强的解释力(EDVI 模型 $R^2 = 0.507$, ESVI 模型 $R^2 = 0.603$, 均 $P < 0.001$)。

Table 10. Hierarchical regression analysis of baseline pathophysiology and surgical techniques on left ventricular remodeling indices (layer 1)

表 10. 基线病理状态与手术技术对左心室重构指标的分层回归分析(分层 1)

自变量(分层 1)	术后 EDVI	术后 ESVI	Δ EDVI	Δ ESVI
常数	18.051** (0.002)	4.198 (0.170)	-18.051** (0.002)	-4.198 (0.170)
房颤病史	3.709 (0.222)	2.298 (0.171)	-3.709 (0.222)	-2.298 (0.171)
年龄	0.230** (0.003)	0.089* (0.040)	-0.230** (0.003)	-0.089* (0.040)
术前基线容积指数	0.439** (0.000)	0.577** (0.000)	0.561** (0.000)	0.423** (0.000)
伴随房颤消融	-2.143 (0.475)	-2.296 (0.167)	2.143 (0.475)	2.296 (0.167)
人工腱索植入	-1.768 (0.353)	-0.964 (0.356)	1.768 (0.353)	0.964 (0.356)
伴随三尖瓣修复	-1.078 (0.701)	-1.035 (0.504)	1.078 (0.701)	1.035 (0.504)
削除增厚瓣叶	-0.931 (0.828)	0.130 (0.956)	0.931 (0.828)	-0.130 (0.956)
三角切除	-2.097 (0.515)	0.120 (0.946)	2.097 (0.515)	-0.120 (0.946)
矩形切除	-5.007 (0.157)	-0.574 (0.769)	5.007 (0.157)	0.574 (0.769)
R^2	0.507	0.603	0.631	0.462
调整后 R^2	0.484	0.583	0.613	0.437
F 值(P)	21.407 (0.000)	31.506 (0.000)	35.515 (0.000)	17.873 (0.000)

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$; Δ 表示术前与术后一周的变化量。

术前容量指数(Beta 约为 0.68~0.76, $P < 0.001$)和高龄($P < 0.05$)是术后容量状态最显著的预测因素。在校正模型中, 各项具体的瓣叶修复技术(如矩形切除、三角切除等)及同期伴随手术虽对容积回缩有不同程度的负向系数(B 值均为负, 提示有助于容积减小), 但在术后一周的短期观察中尚未达到统计学显著差异。在分层 2 中引入装置类型与规格后, 两个模型的 ΔR^2 均仅增加 0.003~0.004 (ΔF 检验均 $P > 0.05$)。这证明在校正了复杂的手术操作因素后, 成型装置的类型和规格依然不是术后早期容量状态的独立影响因素。

表 11 的结果显示针对手术前后容量改善值(Δ 值)的分析进一步印证了上述结果。分层 1 模型对 Δ EDVI 的解释力高达 63.1%。术前容量基数越大, 术后观测到的绝对回缩量(Δ 值)越显著(Beta 达 0.65~0.76, $P < 0.001$)。

在校正了包括瓣叶修复技术在内的 9 项干扰因素后, 分层 2 中成型装置因素对模型解释力的提升极微(ΔR^2 为 0.002~0.005, $P > 0.05$)。其中, 装置类型($B = 1.077$ 至 2.194)及装置规格($B = 0.257$ 至 0.273)的 P 值均远大于 0.05。

Table 11. Hierarchical regression analysis of annuloplasty device type and size on left ventricular remodeling indices (layer 2)
表 11. 成形装置类型与规格对左心室重构指标影响的分层回归分析(分层 2)

自变量(分层 2)	术后 EDVI	术后 ESVI	Δ EDVI	Δ ESVI
装置类型(1 = 全环, 2 = 半环)	-1.873 (0.302)	-0.977 (0.331)	1.873 (0.302)	0.977 (0.331)
装置尺寸	-0.227 (0.649)	-0.262 (0.342)	0.227 (0.649)	0.262 (0.342)
房颤病史	3.553 (0.253)	2.387 (0.164)	-3.553 (0.253)	-2.387 (0.164)
年龄	0.227** (0.004)	0.083 (0.057)	-0.227** (0.004)	-0.083 (0.057)
术前基线容积指数	0.438** (0.000)	0.579** (0.000)	0.562** (0.000)	0.421** (0.000)
伴随手术因素	详见文中	详见文中	详见文中	详见文中
全模型 R ²	0.510	0.606	0.633	0.467
Δ R ² (装置因素贡献)	0.003	0.003	0.002	0.004
Δ F 检验显著性(P)	0.580	0.488	0.580	0.488

Δ R² 表示在分层 1 基础上引入装置因素后模型解释力的增量。*P < 0.05, **P < 0.01; Δ 表示术前与术后一周的变化量。

4. 讨论

本研究通过对 198 例 MVP 患者资料的对比分析, 利用分层回归模型深度解析了术后早期逆重构的影响因子, 为装置选型提供了循证依据。

4.1. 基线病理状态与术中策略的关联分析

基线数据显示全环组患者房颤合并率(57.14%)及术前 LAD、ESVI 均显著高于半环组, 且选用装置规格更大。这反映了临床决策中, 术者倾向于在瓣环扩张更剧烈、病程较晚期的患者中使用全环支撑[5][30]。这种基线不平衡是后续评估疗效时必须通过分层模型校正的核心干扰变量。

4.2. 术后早期表现与手术总体疗效的评价

术后一周, 全组容量指标(EDVI、ESVI)均呈断崖式下降(P < 0.001), 证实了 MVP 消除容量超负荷的即刻效能。术后 LVEF 的轻微回落(P = 0.008)并非心肌受损, 而是心室从低阻力反流状态转为克服正常外周阻力的生理性代偿过程[31][32]。

4.3. 装置类型对容量回缩幅度与反流控制的等效性

两组在 Δ EDVI、 Δ ESVI 及反流控制(术后 MR 中位数均为 0)方面均表现出高度一致性, 证明两类装置在重建对合面积及力学保障能力上临床等效。这支持了 Carpentier [9]及 Tomsic 等[13]的观点, 即装置的几何形状对短期血流动力学无独立影响。尽管全环支撑更稳、半环柔韧性更佳[16], 但这些微观差异在早期逆重构的表现上被瓣膜反流消除带来的巨大临床获益所掩盖[3]。“解剖复位”应根据病变亚型精准匹配。对于单纯后环扩张的 FED 病变, 半环在加固后环的同时保留了瓣环动态生理性; 而对于病变较重、瓣叶高度过高或存在显著瓣环变形的 Barlow 病, 全环凭借 360 度的环周塑形能力, 能更强力地将病理瓣环重塑为生理 D 形, 确保对合稳定性。因此, 临床选型应在确保解剖复位的前提下, 针对瓣环稳定性与塑形需求个性化选择装置类型。

4.4. 装置规格(Size)与逆重构幅度的逻辑深度分析

Size 与容量回缩幅度呈正相关。Size 本质上是瓣环扩张程度的“代理指标”: 扩张越重(需大号环),

术前回缩空间越大。本研究证实, 严格遵循 Sizing 规程[27]选型, 无论是大规格还是小规格装置, 均能实现相似程度的容量改善, 并有效规避过度缩减(Undersizing)导致的瓣口狭窄风险[33]。本研究发现装置规格与容积回缩呈弱正相关, 本质上反映了基线扩张越重则回缩空间越大。但需强调, 尺寸选择的核心在于“合适性”, 即在彻底消除反流与规避瓣口狭窄间取得平衡。临床上过度缩环虽能增加对合深度, 但可能导致跨瓣压差升高, 影响远期预后。本组病例严格遵循基于前叶面积的选型策略, 旨在保障解剖复位的同时, 避免因人为缩环造成的血流动力学障碍。

4.5. 多因素分层回归: 揭示逆重构的真实驱动力

本研究的核心发现在于分层回归模型: 基线因素(术前容量、房颤、年龄)解释了术后 50% 以上的转归变化。术前容量指数(Beta 0.68~0.76)的强预测价值支持了“早诊早治”的外科哲学[17][34]。在校正手术细节后, 引入装置类型对模型解释力的提升极微($\Delta R^2 < 0.5\%$)。这说明房颤介导的心肌纤维化才是阻碍逆重构的真实“元凶”[30]。手术成功的关键在于对解剖结构的完美修复而非纠结成形环的具体物理特性[24]。

4.6. 研究局限性与未来展望

本研究观察期仅限于术后一周, 心脏的完全逆重构是长效动态过程, 远期趋势仍需长期随访评价[24]。此外, 本研究主要聚焦于退行性病变。未来研究应结合 3D 超声及 CMR 技术, 更精确地评估不同装置对瓣环三维动力学及心肌超微结构的影响[23][25][26]。

5. 研究结论

本研究通过对 198 例二尖瓣瓣环成形术患者的分层回归论证发现, 二尖瓣修复术能显著驱动早期心脏逆重构, 且全成形环与半成形带在促进容积回缩与纠正反流方面具有高度临床等效性; 在校正术前容量基数、房颤病史及术中修复技术等干扰因素后, 成形装置的类型与规格并非术后早期容量状态的独立预测因子, 而术前左心室扩大程度及房颤病史才是决定术后转归的核心主导因子, 这提示临床医生在确保瓣膜解剖精确复位的前提下, 应优先关注瓣叶结构与对合功能的重建, 无须过度顾虑装置几何形状的影响, 并强调了早期干预对保留心肌逆重构潜能的关键意义。

致 谢

感谢安徽医科大学第一附属医院心脏大血管外科全体医护人员对本研究的支持与协助。

参考文献

- [1] 诸葛瑞琪, 吴永健. 退行性二尖瓣反流的临床治疗进展[J]. 中国心血管杂志, 2017, 22(4): 300-303.
- [2] Turker, Y., Turker, Y., Baltaci, D., et al. (2015) The Prevalence and Clinical Characteristics of Mitral Valve Prolapse in a Large Population-Based Epidemiologic Study: The MELEN Study. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, **19**, 2208-2212.
- [3] Bolling, S.F., Deeb, G.M. and Bach, D.S. (1996) Mitral Valve Reconstruction in Elderly, Ischemic Patients. *Chest*, **109**, 35-40. <https://doi.org/10.1378/chest.109.1.35>
- [4] Enriquez-Sarano, M., Avierinos, J., Messika-Zeitoun, D., Detaint, D., Capps, M., Nkomo, V., et al. (2005) Quantitative Determinants of the Outcome of Asymptomatic Mitral Regurgitation. *New England Journal of Medicine*, **352**, 875-883. <https://doi.org/10.1056/nejmoa041451>
- [5] Vahanian, A., Beyersdorf, F., Praz, F., Milojevic, M., Baldus, S., Bauersachs, J., et al. (2021) 2021 ESC/EACTS Guidelines for the Management of Valvular Heart Disease: Developed by the Task Force for the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *European Heart Journal*, **43**, 561-632. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab395>

- [6] McCarthy, K.P., Ring, L. and Rana, B.S. (2010) Anatomy of the Mitral Valve: Understanding the Mitral Valve Complex in Mitral Regurgitation. *European Journal of Echocardiography*, **11**, i3-i9. <https://doi.org/10.1093/ejehocard/jeq153>
- [7] Teichholz, L.E., Kreulen, T., Herman, M.V. and Gorlin, R. (1976) Problems in Echocardiographic Volume Determinations: Echocardiographic-Angiographic Correlations in the Presence or Absence of Asynergy. *The American Journal of Cardiology*, **37**, 7-11. [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(76\)90491-4](https://doi.org/10.1016/0002-9149(76)90491-4)
- [8] Dayan, V., Soca, G., Cura, L. and Mestres, C.A. (2014) Similar Survival after Mitral Valve Replacement or Repair for Ischemic Mitral Regurgitation: A Meta-analysis. *The Annals of Thoracic Surgery*, **97**, 758-765. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2013.10.044>
- [9] Carpentier, A. (1983) Cardiac Valve Surgery—The “French Correction”. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **86**, 323-337. [https://doi.org/10.1016/s0022-5223\(19\)39144-5](https://doi.org/10.1016/s0022-5223(19)39144-5)
- [10] Iribarne, A., Easterwood, R., Chan, E.Y., Yang, J., Soni, L., Russo, M.J., et al. (2011) The Golden Age of Minimally Invasive Cardiothoracic Surgery: Current and Future Perspectives. *Future Cardiology*, **7**, 333-346. <https://doi.org/10.2217/fca.11.23>
- [11] Chitwood Jr, W.R. (2016) Robotic Mitral Valve Surgery: Overview, Methodology, Results, and Perspective. *Annals of Cardiothoracic Surgery*, **5**, 544-555. <https://doi.org/10.21037/acs.2016.03.16>
- [12] Suri, R.M., Burkhart, H.M., Rehfeldt, K.H., Enriquez-Sarano, M., Daly, R.C., Williamson, E.E., et al. (2011) Robotic Mitral Valve Repair for All Categories of Leaflet Prolapse: Improving Patient Appeal and Advancing Standard of Care. *Mayo Clinic Proceedings*, **86**, 838-844. <https://doi.org/10.4065/mcp.2010.0733>
- [13] Tomšič, A., Sandoval, E., Meucci, M.C., Nabeta, T., Castella, M., Muro, A., et al. (2023) The Impact of Annuloplasty Ring or Band Implantation on Post-Repair Mitral Valve Haemodynamic Performance. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, **64**, ezad307. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezad307>
- [14] Sturla, F., Redaelli, A., Puppini, G., Onorati, F., Faggian, G. and Votta, E. (2015) Functional and Biomechanical Effects of the Edge-to-Edge Repair in the Setting of Mitral Regurgitation: Consolidated Knowledge and Novel Tools to Gain Insight into Its Percutaneous Implementation. *Cardiovascular Engineering and Technology*, **6**, 117-140. <https://doi.org/10.1007/s13239-014-0208-4>
- [15] Mesana, T.G., Lam, B., Chan, V., Chen, K., Ruel, M. and Chan, K. (2013) Clinical Evaluation of Functional Mitral Stenosis after Mitral Valve Repair for Degenerative Disease: Potential Affect on Surgical Strategy. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **146**, 1418-1425. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2013.08.011>
- [16] Gillinov, A.M., Cosgrove, D.M., Blackstone, E.H., Diaz, R., Arnold, J.H., Lytle, B.W., et al. (1998) Durability of Mitral Valve Repair for Degenerative Disease. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **116**, 734-743. [https://doi.org/10.1016/s0022-5223\(98\)00450-4](https://doi.org/10.1016/s0022-5223(98)00450-4)
- [17] Amirak, E., Chan, K.M.J., Zakkar, M. and Punjabi, P.P. (2009) Current Status of Surgery for Degenerative Mitral Valve Disease. *Progress in Cardiovascular Diseases*, **51**, 454-459. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2008.08.005>
- [18] Cetinkaya, A., Waheed, M., Bramlage, K., Liakopoulos, O.J., Zeriuoh, M., Hein, S., et al. (2021) Comparison of Flexible, Open with Semi-Rigid, Closed Annuloplasty-Rings for Mitral Valve Repair. *Journal of Cardiothoracic Surgery*, **16**, Article No. 35. <https://doi.org/10.1186/s13019-021-01405-1>
- [19] Ormiston, J.A., Shah, P.M., Tei, C. and Wong, M. (1981) Size and Motion of the Mitral Valve Annulus in Man. I. A Two-Dimensional Echocardiographic Method and Findings in Normal Subjects. *Circulation*, **64**, 113-120. <https://doi.org/10.1161/01.cir.64.1.113>
- [20] Duran, C.G. and Ubago, J.L.M. (1976) Clinical and Hemodynamic Performance of a Totally Flexible Prosthetic Ring for Atrioventricular Valve Reconstruction. *The Annals of Thoracic Surgery*, **22**, 458-463. [https://doi.org/10.1016/s0003-4975\(10\)64454-2](https://doi.org/10.1016/s0003-4975(10)64454-2)
- [21] Poncelet, A.J. (2003) Recurrence of Mitral Valve Regurgitation after Mitral Valve Repair in Degenerative Valve Disease. *Circulation*, **108**, e125. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000096403.39024.8a>
- [22] Kwon, M.H., Lee, L.S., Cevasco, M., Couper, G.S., Shekar, P.S., Cohn, L.H., et al. (2013) Recurrence of Mitral Regurgitation after Partial versus Complete Mitral Valve Ring Annuloplasty for Functional Mitral Regurgitation. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **146**, 616-622. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2012.07.049>
- [23] Liu, B., Neil, D.A.H., Bhabra, M., Patel, R., Barker, T.A., Nikolaidis, N., et al. (2022) Reverse Myocardial Remodeling Following Valve Repair in Patients with Chronic Severe Primary Degenerative Mitral Regurgitation. *JACC: Cardiovascular Imaging*, **15**, 224-236. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2021.07.007>
- [24] David, T.E., Komeda, M., Pollick, C. and Burns, R.J. (1989) Mitral Valve Annuloplasty: The Effect of the Type on Left Ventricular Function. *The Annals of Thoracic Surgery*, **47**, 524-528. [https://doi.org/10.1016/0003-4975\(89\)90426-8](https://doi.org/10.1016/0003-4975(89)90426-8)
- [25] Vohra, H.A., Whistance, R.N., Bezuska, L. and Livesey, S.A. (2011) Initial Experience of Mitral Valve Repair Using the Carpentier-Edwards Physio II Annuloplasty Ring. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, **39**, 881-885. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2010.10.004>

-
- [26] Skov, S.N., Røpcke, D.M., Tjørnild, M.J., Ilkjær, C., Rasmussen, J., Nygaard, H., *et al.* (2017) Semi-Rigid Mitral Annuloplasty Rings Improve Myocardial Stress Adaptation Compared to Rigid Rings: Insights from *in Vitro* and *in Vivo* Experimental Evaluation. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, **51**, 836-843. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezw421>
- [27] 韩劲松, 尹宗涛, 王辉山, 等. Carpentier-Edwards 生理环在退行性二尖瓣关闭不全二尖瓣成形术中的应用[J]. 中国心血管病研究, 2015, 13(5): 464-466+476.
- [28] Adams, D.H., Rosenhek, R. and Falk, V. (2010) Degenerative Mitral Valve Regurgitation: Best Practice Revolution. *European Heart Journal*, **31**, 1958-1966. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehq222>
- [29] Sielicka, A., Sarin, E.L., Shi, W., Sulejmani, F., Corporan, D., Kalra, K., *et al.* (2018) Pathological Remodeling of Mitral Valve Leaflets from Unphysiologic Leaflet Mechanics after Undersized Mitral Annuloplasty to Repair Ischemic Mitral Regurgitation. *Journal of the American Heart Association*, **7**, e009777. <https://doi.org/10.1161/jaha.118.009777>
- [30] Jovin, A., Oprea, D.A., Jovin, I.S., Hashim, S.W. and Clancy, J.F. (2008) Atrial Fibrillation and Mitral Valve Repair. *Pacing and Clinical Electrophysiology*, **31**, 1057-1063. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2008.01135.x>
- [31] Schuler, G., Peterson, K.L., Johnson, A., Francis, G., Dennish, G., Utley, J., *et al.* (1979) Temporal Response of Left Ventricular Performance to Mitral Valve Surgery. *Circulation*, **59**, 1218-1231. <https://doi.org/10.1161/01.cir.59.6.1218>
- [32] Braunwald, E. (1969) Mitral Regurgitation: Physiologic, Clinical and Surgical Considerations. *New England Journal of Medicine*, **281**, 425-433. <https://doi.org/10.1056/nejm196908212810807>
- [33] Chan, V. and Mesana, T.G. (2015) Functional Mitral Stenosis after Mitral Valve Repair Is a True Anatomic Problem That Originates from the Time of Surgery. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **150**, 1091-1092. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2015.08.029>
- [34] Antoine, C., Benfari, G., Michelena, H.I., Maalouf, J.F., Nkomo, V.T., Thapa, P., *et al.* (2018) Clinical Outcome of Degenerative Mitral Regurgitation: Critical Importance of Echocardiographic Quantitative Assessment in Routine Practice. *Circulation*, **138**, 1317-1326. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.117.033173>