DOI:10.16016/j.2097-0927.202503049

Bentall术与单纯主动脉瓣置换术治疗二叶式主动脉瓣畸形合并重度狭窄及升主动脉扩张的中期疗效对比

李仕杰,李烜波,杨志鹏,刘宸铖,潘文成,徐 博,王 咏 陆军军医大学(第三军医大学)第二附属医院全军心血管外科研究所,重庆

[摘要] **目的** 比较带主动脉瓣人工血管升主动脉替换术(Bentall术)与单纯主动脉瓣置换术(aortic valve replacement,AVR)治疗二叶式主动脉瓣畸形(bicuspid aortic valve, BAV)合并重度瓣膜狭窄及升主动脉扩张患者的中期疗效,以明确不同术式对该复合型心脏病变的干预价值。**方法** 采用回顾性队列研究,收集2018年1月至2022年12月期间于陆军军医大学第二附属医院心血管外科接受手术治疗的BAV合并重度狭窄及升主动脉扩张病例96例,按手术方式分为AVR组(65例)和Bentall组(31例)。采集患者的人口学特征、基础疾病、术前状态及术前超声心动图参数,采用倾向性评分匹配法(propensity score matching method,PSM)对2组基线资料实施1∶1病例匹配,消除混杂因素影响后,对比分析围术期临床指标及术后随访结果。**结果** PSM成功筛选出25对匹配病例,匹配后的临床基线数据具有可比性(P>0.05)。Bentall组术中人工瓣膜有效开口面积(effective orifice area, EOA)和有效开口面积指数(EOA index, EOAI)显著优于AVR组[(2.69±0.47) *vs* (2.35±0.47) cm^2, P=0.013;(1.69±0.30) *vs* (1.47±0.29) cm^2/m^2, P=0.010)];但Bentall组的体外循环转流时间和阻断时间均显著长于AVR组[190.00(147.00, 257.00) *vs* 101.00(88.50, 124.50) min, 141.00(120.00, 166.00) *vs* 66.00(55.00, 81.50)min,P<0.001];在28个月的中位随访期间,AVR组主动脉窦部直径和升主动脉直径均显著大于Bentall组[32.00(30.00, 34.00) *vs* 26.80(26.00, 28.00)mm, 38.00(34.50, 42.00) *vs* 26.00(26.00, 28.00)mm,P<0.001],AVR的升主动脉仍在持续扩张,Bentall组直径基本没有发生变化;Bentall组的随访主动脉瓣峰值压差更小[21.00(15.50, 27.00) *vs* 25.00(19.50, 31.00)mmHg, P=0.049)。**结论** Bentall术与AVR均为有效术式,但Bentall术在改善血流动力学和维持主动脉稳定性方面更具优势。

[关键词] 主动脉瓣二叶畸形;主动脉瓣重度狭窄;升主动脉扩张;主动脉瓣置换术;Bentall术
[中图法分类号] R542.52;R543.15;R654.3 [文献标志码] A

Midterm outcomes of Bentall procedure versus isolated aortic valve replacement for bicuspid aortic valve with severe stenosis and ascending aortic dilation

LI Shijie, LI Tianbo, YANG Zhipeng, LIU Chencheng, PAN Wencheng, XU Bo, WANG Yong PLA Institute of Cardiovascular Surgery, Second Affiliated Hospital, Army Medical University (Third Military Medical University), Chongqing, China

[**Abstract**] Objective To compare the midterm outcomes of the Bentall procedure versus isolated aortic valve replacement (AVR) in patients with bicuspid aortic valve (BAV) complicated with severe stenosis and ascending aortic dilation in order to assess the therapeutic value of these surgical approaches for this

[基金项目] 重庆市自然科学基金面上项目(CSTB2022NSCQ-MSX0200)
[通信作者] 王 咏,E-mail:wy003236@163.com

2097-0927/Copyright © 2025, 陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循 CC BY 许可协议 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)
引用格式:李仕杰,李烜波,杨志鹏,等.Bentall术与单纯主动脉瓣置换术治疗二叶式主动脉瓣畸形合并重度狭窄及升主动脉扩张的中期疗效对比[J].陆军军医大学学报,2025,47(13):1505-1511.DOI:10.16016/j.2097-0927.202503049-李仕杰.

Citation:LI S J, LI T B, YANG Z P, *et al*. Midterm outcomes of Bentall procedure versus isolated aortic valve replacement for bicuspid aortic valve with severe stenosis and ascending aortic dilation[J]. J Army Med Univ, 2025, 47(13):1505-1511. DOI:10.16016/j.2097-0927.202503049-李仕杰.

complex cardiac condition. **Methods** A retrospective cohort study was conducted on 96 eligible patients who underwent surgical treatment in our institute between January 2018 and December 2022. According to surgical approaches, they were divided into an AVR group (65 cases) and a Bentall group (31 cases). Demographic features, comorbidities, preoperative status, and echocardiographic parameters were collected in all patients. Propensity score matching (PSM) was applied in a 1∶1 ratio to balance baseline characteristics. Perioperative indicators and follow-up data were compared and analyzed between matched cohorts after control of cofounding factors. **Results** After PSM, 25 matched pairs were screened out and analyzed with comparable baseline data (all $P>0.05$). The Bentall group demonstrated significantly more superior intraoperative effective orifice area (EOA, 2.69±0.47 *vs* 2.35±0.47 cm^2, $P=0.013$) and EOA index (EOAI, 1.69±0.30 *vs* 1.47±0.29 cm^2/m^2, $P=0.010$), and obviously longer cardiopulmonary bypass time [190.00 (147.00, 257.00) *vs* 101.00 (88.50, 124.50) min, $P<0.01$] and aortic cross-clamp time [141.00 (120.00, 166.00) *vs* 66.00 (55.00, 81.50) min, $P<0.01$] when compared with the AVR group. During a median follow-up of 28 months, the AVR group had notably larger aortic sinus diameter [32.00 (30.00, 34.00) *vs* 26.80 (26.00, 28.00) mm, $P<0.01$] and ascending aortic diameter [38.00 (34.50, 42.00) mm *vs* 26.00 (26.00, 28.00) mm, $P<0.01$], with ongoing dilation in the ascending aorta, while the Bentall group maintained stable dimensions. The Bentall group also showed statistically lower peak aortic valve pressure gradients [21.00 (15.50, 27.00) *vs* 25.00 (19.50, 31.00) mmHg, $P=0.049$]. **Conclusion** Both Bentall procedure and AVR are effective in treatment of BAV complicated with severe stenosis and ascending aortic dilation. But, Bentall procedure offers advantages in hemodynamic optimization and aortic stability.

[**Key words**] bicuspid aortic valve; severe aortic stenosis; ascending aortic dilation; aortic valve replacement; Bentall procedure

Supported by the General Project of Natural Science Foundation of Chongqing (CSTB2022NSCQ-MSX0200). Corresponding author: WANG Yong, E-mail: wy003236@163.com

二叶式主动脉瓣(bicuspid aortic valve, BAV)畸形作为先天性心脏瓣膜发育异常性疾病,其特征表现为胚胎期主动脉瓣三叶结构形成障碍,而形成双叶形态,从而导致瓣膜功能障碍。流行病学调查显示其患病率达1%~2%[1],疾病早期多呈无症状进程,随病程进展可出现主动脉瓣狭窄/关闭不全(25%~57%)、感染性心内膜炎(2%~5%),以及主动脉瘤/夹层(15%~20%)等严重并发症[2]。

主动脉瓣置换术(aortic valve replacement,AVR)是纠正BAV重度狭窄的核心术式,其通过置换病变瓣膜可有效缓解左心室后负荷,降低主动脉瓣上血流速度及跨瓣压差,同时有助于逆转左心室肥厚进程并改善舒张功能[3]。但需注意的是,此类患者常合并细小主动脉瓣环及根部,致使人工瓣膜型号选择受限,难以实现与体表面积(body surface area, BSA)匹配的瓣膜尺寸,由此可能引发主动脉瓣-患者不匹配(prosthesis-patient mismatch, PPM),即有效瓣口面积指数(effective orifice area index, EOAI)<0.85 cm^2/m^2,导致术后血流动力学紊乱,影响左室重构并增加远期死亡风险[4-5]。

此外,BAV合并重度狭窄病例常伴随升主动脉病理改变,包括管径增宽、扩张甚至动脉瘤形成[6]。值得注意的是,升主动脉扩张进程在AVR术后仍可持续存在,其进展不因AVR而改变[7]。基于此病理特征,部分患者需在瓣膜置换同期实施主动脉根部及升主动脉复合处理。Bentall术式通过人工血管带瓣管道置换主动脉根部,不仅能有效处理持续扩张的升主动脉,还为植入更大尺寸人工瓣膜提供了可能,是优化瓣膜匹配的重要策略[8]。

本研究通过回顾性队列研究分析陆军军医大学第二附属医院心血管外科已接受Bentall术与单纯AVR的BAV瓣膜重度狭窄合并升主动脉扩张的患者,采用倾向性评分匹配(propensity score matching method, PSM)[9]矫正数据,探讨不同手术对BAV合并重度狭窄及升主动脉扩张的疗效分析。

1 资料与方法

1.1 研究对象

采用回顾性队列研究,纳入陆军军医大学第二附属医院心血管外科2018年1月至2022年12月收治的BAV合并重度狭窄及升主动脉扩张病例,所有患者均接受手术治疗,总样本量96例,根据手术方式分为AVR组(65例)、Bentall组(31例),手术均由副高及以

上经验丰富的医生主刀完成。研究方案经中国人民解放军陆军军医大学第二附属医院医学研究伦理委员会审查批准(2024-研第303-01)。

1.2 纳入、排除标准

纳入标准:①年龄>18岁;②术前心脏超声诊断为BAV合并重度狭窄,平均跨瓣压差>40 mmHg、峰值压差>70 mmHg或流速>400 mm/s;③术前心脏超声或胸部CT测量出升主动脉直径为35~<50 mm。

排除标准:①患有其他严重疾病患者,包括肝、肾、其他心血管疾病[急性心肌梗死、左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)<20%];②马凡综合征或其他结缔组织病;③妊娠状态以及哺乳期;④围手术期及随访资料不完整的患者;⑤既往已接受过主动脉或主动脉瓣手术的患者。

1.3 PSM矫正数据

使用SPSS 29.0软件,将以下参数纳入PSM协变量集:人口学特征(性别、年龄、BSA)、基础疾病[吸烟史、高血压病史、糖尿病史、心绞痛/心肌梗死史、外周血管病史、慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)史、神经/骨骼障碍史、慢性肾病史(血肌酐>200 μmol/L)]、术前状态(是否为活动性心内膜炎、是否为急诊手术)以及超声心动图参数[室间隔厚度、主动脉瓣环直径、左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)、主动脉瓣峰值压差]。匹配过程中卡钳值设定为0.2,通过Logistic回归生成倾向评分(propensity score, PS)及对应权重,采用最近邻法完成1∶1病例匹配,以平衡术前基线水平,减少混杂因素偏倚。

1.4 手术操作规范与围术期管理

麻醉方式采用全身静脉复合麻醉,患者取标准仰卧位,经胸骨正中路径建立手术视野。体外循环建立采用升主动脉联合腔房管插管方式,术中需同期处理二尖瓣/三尖瓣病变者则改行上下腔静脉插管。完成体外循环后行主动脉横切口,经左右冠状动脉开口实施心肌保护液灌注,辅以心脏表面局部低温保护。系统性评估二叶畸形分型、瓣叶钙化程度、瓣环大小及人工瓣膜适配程度。综合术中瓣膜和瓣环形态学评估及术前影像学数据,个体化制定手术决策。需行根部重建时,完整切除病变升主动脉段并保留冠状动脉开口结构,彻底清除病变主动脉瓣后,采用带瓣人工血管完成主动脉根部重建,具体操作为人工血管-冠状动脉开口端侧吻合、人工血管-远端升主动脉端端吻合。术毕记录体外循环转流时间、阻断时间、有效开口面积(effective orifice area, EOA)、EOAI及是否发生PPM。

术后转入重症监护室接受机械通气支持,持续监测血流动力学参数,例如心输出量监测,定期监测血气指标及肝肾功能指标。规范化实施抗凝治疗方案。住院期间记录有创呼吸机支持时间、ICU停留时间、总住院时间以及发生相关并发症(低心排综合征、肺部感染、肾功能不全/透析、神经损伤、消化道出血、心脏骤停、二次止血)的例数。

随访期间由经验丰富的心脏超声医师通过采用相同品牌的经胸超声心动图设备测量评估心脏结构功能及主动脉形态学变化,建立短信/电话双重随访模式督促患者返院复查。对未能到院随访者,通过上述通信方式获取其所在区域权威医疗机构出具的超声心动图诊断报告。具体监测内容包括:术后2个月内短期随访的主动脉窦部直径和升主动脉直径;术后约2年中期随访的室间隔厚度、LVEF、主动脉窦部直径、升主动脉直径、主动脉瓣峰值压差;以中期随访测值与短期随访测值之差来计算主动脉窦部和升主动脉直径变化差值;整个随访期间的主动脉不良事件例数。主动脉不良事件定义为:①主动脉直径增长速度>3 mm/年;②主动脉直径>50 mm;③主动脉发生夹层或继续扩张至需要再次手术处理升主动脉;④心源性的猝死。

1.5 统计学分析

使用IBM SPSS 29.0软件进行统计分析。符合正态分布的计量资料以$\bar{x}\pm s$表示,组间比较采用独立样本t检验,方差不齐时选用校正t检验;非正态分布的计量资料以$M(P_{25},P_{75})$表示,采用Mann-Whitney U秩和检验。计数资料以例(%)表示,组间差异分析根据数据特征选用χ^2检验、连续校正χ^2检验或Fisher确切概率法。P<0.05视为差异具有统计学意义,所有检验计算95%CI。

2 结果

2.1 倾向性匹配评分结果

通过PSM筛选出25对匹配病例,平衡了术前基线水平,减少了混杂因素偏倚,使2组的基线资料具有可比性(P>0.05,表1)。

2.2 PSM队列的2组术中资料和围术期结局比较

Bentall组术中人工瓣膜EOA和EOAI显著优于AVR组(P=0.013,P=0.010);但Bentall组的体外循环转流时间和阻断时间均显著长于AVR组(P<0.001);2组有创呼吸机支持时间、ICU停留时间、总住院时间以及其他围术期并发症的发生率,如PPM、低心排综合征、二次止血、心脏骤停、神经损伤、肺部感染、消化道出血、肾功能不全/透析均差异无统计学意义(表2)。

表1 术前2组基线资料PSM前后对比[例(%),$\bar{x}\pm s$, $M(P_{25},P_{75})$]

变量	PSM前(n=96)			PSM后(n=50)		
	Bentall组(n=31)	AVR组(n=65)	P	Bentall组(n=25)	AVR组(n=25)	P
男性	21(67.74)	27(41.54)	0.016	15(60.00)	13(52.00)	0.569
年龄/岁	53.00(45.00,57.00)	55.00(50.50,59.50)	0.109	53.00(47.00,57.50)	55.00(46.50,61.50)	0.256
BSA/m^2	1.60±0.16	1.59±0.14	0.817	1.60±0.15	1.60±0.13	0.946
吸烟史	11(35.48)	19(29.23)	0.537	8(32.00)	7(28.00)	0.758
高血压史	4(12.90)	10(15.38)	0.990	3(12.00)	3(12.00)	>0.999
糖尿病史	3(9.68)	6(9.23)	>0.999	2(8.00)	2(8.00)	>0.999
COPD史	0	1(1.54)	>0.999	0	1(4.00)	>0.999
外周血管病史	1(3.23)	2(3.08)	>0.999	1(4.00)	1(4.00)	>0.999
神经/骨骼障碍史	1(3.23)	0	0.323	0	0	Ref
慢性肾病史	1(3.23)	1(1.54)	0.544	1(4.00)	0	>0.999
心绞痛/心肌梗死史	1(3.23)	2(3.08)	>0.999	1(4.00)	1(4.00)	>0.999
活动性心内膜炎	0	0	Ref	0	0	Ref
急诊手术	1(3.23)	0	0.323	1(4.00)	0	>0.999
室间隔厚度/mm	13.00(12.00,15.90)	13.00(12.00,14.50)	0.728	13.00(12.00,15.00)	12.00(12.00,14.00)	0.672
主动脉瓣峰值压差/mmHg	86.00(66.00,111.00)	93.00(75.50,113.50)	0.320	94.00(67.00,118.00)	99.00(79.50,114.50)	0.628
LVEF/%	63.00(52.00,67.00)	65.00(59.00,70.00)	0.094	63.00(56.00,67.50)	66.00(58.50,71.00)	0.277
主动脉瓣环直径/mm	22.13±2.59	20.58±2.04	0.002	21.17±1.73	20.82±2.21	0.543

表2 PSM队列的2组术中资料和围术期结局比较[例(%),$\bar{x}\pm s$, $M(P_{25},P_{75})$]

变量	Bentall组(n=25)	AVR组(n=25)	P
术中资料			
EOA/cm^2	2.69±0.47	2.35±0.47	0.013
EOAI/(cm^2/m^2)	1.69±0.30	1.47±0.29	0.010
PPM	0	0	Ref
阻断时间/min	141.00(120.00,166.00)	66.00(55.00,81.50)	<0.001
转流时间/min	190.00(147.00,257.00)	101.00(88.50,124.50)	<0.001
围术期结局			
有创呼吸机支持时间/d	1.00(1.00,1.50)	1.00(1.00,1.00)	0.331
ICU停留时间/d	3.00(3.00,4.00)	3.00(3.00,3.00)	0.461
总住院时间/d	19.72±4.77	19.32±4.38	0.759
低心排综合征	1(4.00)	0	>0.999
肺部感染	1(4.00)	2(8.00)	>0.999
肾功能不全/透析	2(8.00)	0	0.490
神经损伤	0	0	Ref
消化道出血	0	0	Ref
心脏骤停	1(4.00)	0	>0.999
二次止血	0	0	Ref

2.3 PSM队列术后短、中期随访资料分析

短期随访时间≤2个月,中期随访时间为28.00(11.00,36.00)个月,随访期间无数据缺失,AVR组主动脉窦部直径和升主动脉直径均显著大于Bentall组(P均<0.001);2组均有主动脉不良事件的发生,其中Bentall组1例发生心源性猝死;AVR组2例主动脉直径增长速度>3 mm/年,1例主动脉直径>50 mm且需要再次手术处理升主动脉,1例发生心源性猝死,主动脉不良事件发生率虽然无显著差异(P=0.349),但接受了AVR患者的主动脉窦部及升主动脉仍在持续扩张,而Bentall组患者因置换了人工血管,其内径基本没有发生变化;Bentall组的主动脉瓣峰值压差较AVR组更小(P=0.049);其他指标(LVEF值、室间隔厚度)差异无统计学意义(表3)。

表3 PSM队列的2组随访资料比较[例(%),$M(P_{25},P_{75})$]

变量	Bentall组(n=25)	AVR组(n=25)	P
短期随访			
主动脉窦部直径/mm	26.00(26.00,28.00)	30.00(28.50,32.50)	<0.001
升主动脉直径/mm	26.00(26.00,28.00)	37.00(33.00,40.00)	<0.001
中期随访			
室间隔厚度/mm	12.00(10.00,14.20)	11.80(10.95,12.75)	0.254
LVEF(%)	66.00(63.00,69.50)	65.00(62.00,69.50)	0.606
主动脉窦部直径/mm	26.80(26.00,28.00)	32.00(30.00,34.00)	<0.001
升主动脉直径/mm	26.00(26.00,28.00)	38.00(34.50,42.00)	<0.001
主动脉瓣峰值压差/mmHg	21.00(15.50,27.00)	25.00(19.50,31.00)	0.049
主动脉窦部直径变化差值/mm	0	2.00(0,3.50)	<0.001
升主动脉直径变化差值/mm	0(0,4.00)	2.00(1.00,3.00)	<0.001
主动脉不良事件	1(4.00)	4(16.00)	0.349

3 讨论

3.1 人工瓣膜匹配与血流动力学优化的关联性

HERRMANN等[10]的研究表明,更大的EOA可减少血流通过瓣膜时的阻力,从而降低跨瓣压差。本研究中2组均未发生PPM,但Bentall组的EOA和EOAI更大,继而随访中的主动脉瓣峰值压差更低[21.00(15.50,27.00) *vs* 25.00(19.50,31.00) mmHg,P=0.049)],这一现象可能与Bentall术对瓣环和根部的整体修复直接相关:Bentall术通过完全替换主动脉根部,可更彻底地重塑解剖结构,从而减少因BAV导致的瓣环不对称性对瓣膜匹配的影响。有文献指出,BAV的椭圆形瓣环和钙化不对称性是传统AVR中瓣膜尺寸选择受限的重要原因,而Bentall术通过人工血管的环形支撑,可提供更稳定的瓣环几何形态,优化血流动力学表现[11]。此外,有Meta分析显示BAV患者经导管主动脉瓣置换(transcatheter aortic valve replacement,TAVR)术后瓣周漏发生率显著高于三叶瓣患者(OR=1.47),提示根部解剖结构未充分处理是术后血流动力学不良的关键因素[12]。

3.2 升主动脉扩张的长期控制与主动脉不良事件预防

单纯AVR组患者术后升主动脉持续扩张及主动脉不良事件的发生,印证了BAV合并主动脉根部病变的病理生理特征。文献表明,30%~50%的BAV患者合并升主动脉扩张,其机制与血流动力学异常增加升主动脉壁的切应力及ACTA2基因突变,导致升主动脉中层血管平滑肌细胞凋亡,导致主动脉中层变性相关[13-14]。即使在AVR后,合并狭窄BAV相关的升主动脉扩张也会以(1.02±1.03)mm/年的最大速率向右前外侧方向进展,并且扩张经常进展到弓部近端,这表明AVR不能防止狭窄BAV导致升主动脉进行性扩张[15]。而且还有多种因素可能会增加BAV患者发生主动脉并发症的风险,如主动脉根表型或主动脉瓣关闭不全、未控制的高血压、主动脉夹层/猝死家族史或主动脉增长>3 mm/年,因此需要更早地推荐干预[16]。目前国外指南认为处理BAV患者升主动脉的绝对阈值为主动脉根部或升主动脉直径≥50 mm,对于升主动脉中度扩张(<45~<50 mm)未严格的规定。且对于升主动脉增宽(<35~<40 mm)至轻度扩张(40~<45 mm)的BAV患者是否需要同时处理升主动脉未进行说明[17],实际阈值因各治疗中心的经验而异(34~51 mm,平均为43.9 mm)[18]。本研究聚焦了升主动脉直径在36~49 mm(平均41.6 mm)的BAV瓣膜重度狭窄患者,其中Bentall组术后升主动脉内径稳定[窦部直径变化差值0 mm,升主动脉直径变化差值0(0,4.00)mm],其通过人工血管替换升主动脉,有效阻断了扩张进程。

3.3 手术复杂性与临床效益的权衡

Bentall术自1968年由BENTALL教授提出后,已成为治疗主动脉根部病变(如主动脉瘤、主动脉夹层、马凡综合征合并主动脉瓣病变)的"金标准"术式。其核心优势在于通过一次性置换主动脉根部、主动脉瓣及升主动脉,并移植冠状动脉开口,实现解剖结构的整体修复。但经典Bentall术中冠状动脉开口移植失败率为5%~10%,可能引发心肌缺血或术后出血,需依赖术中精细操作[19],因其手术复杂性和术后并发症的风险而存在争议。对于BAV需处理升主动脉的患者,AVR+升主动脉成形术或主动脉瓣置换术+升主动脉置换术(Wheat术)均是相对简单且有效的手术方式[20],因本科室该类病例较少,且考虑到需兼顾瓣膜

匹配、升主动脉稳定性及血流动力学优化方面的优势而选择Bentall术。本研究结果显示,尽管Bentall组的体外循环时间显著长于单纯AVR组(P<0.001),但2组患者的围术期并发症(如低心排综合征、二次止血)及术后恢复指标(ICU停留时间、总住院时间)均差异无统计学意义。这表明,随着外科技术的进步,如改良吻合技术、缩短深低温停循环时间、人工血管材质的改进、麻醉及术后心外科监护水平的提高、术者的操作熟练度提高等,Bentall术的安全性已显著提升,且得到更广泛应用[21]。

3.4 研究局限性与未来方向

本研究的局限性为单中心回顾性队列研究设计、随访时间较短[(28.00(11.00,36.00)个月],以及样本量限制。尽管PSM增加结论的稳健性,但未来仍需通过多中心协作扩大队列规模,并开展≥10年的长期随访以验证Bentall术对瓣膜耐久性及升主动脉稳定性的影响。对于符合严格解剖条件的BAV患者,前瞻性随机对照试验将提供更高等级证据,例如比较Bentall术与AVR+升主动脉成形术。此外,多种新技术的使用可能为个体化术式选择提供更精准的依据,例如基因检测(如*NOTCH1*、*SMAD6*突变筛查)和影像组学技术(如4D血流MRI)用于预测主动脉扩张进展,辅助术式决策[22-23];多排螺旋CT和三维重建技术可精确测量主动脉根部解剖参数,包括窦管交界直径、冠状动脉开口高度[24],指导人工血管尺寸选择;结合3D打印技术模拟主动脉根部解剖[25],定制人工血管与瓣膜复合体,减少术中调整时间。

综上所述,本研究通过对比Bentall术与单纯AVR的围术期结局和中期疗效,证实了其均是治疗BAV瓣膜重度狭窄合并升主动脉扩张的有效、可行的手术方式,而Bentall术在瓣膜匹配、升主动脉稳定性及血流动力学优化方面有显著优势,但其手术复杂性和时间成本需结合患者个体化特征权衡。未来研究应聚焦于长期预后评估及更加精准医疗技术的整合,以进一步优化BAV瓣膜重度狭窄合并升主动脉扩张的外科治疗策略。

利益冲突 本文所有作者声明不存在利益冲突

参考文献:

[1] BRAVERMAN A C, GÜVEN H, BEARDSLEE M A, *et al*. The bicuspid aortic valve[J]. Curr Probl Cardiol, 2005, 30(9): 470-522. DOI: 10.1016/j.cpcardiol.2005.06.002.

[2] MASRI A, SVENSSON L G, GRIFFIN B P, *et al*. Contemporary natural history of bicuspid aortic valve disease: a systematic review[J]. Heart, 2017, 103(17): 1323-1330. DOI: 10.1136/heartjnl-2016-309916.

[3] GHAVIDEL A A, OMRANI G, CHITSAZAN M, *et al*. Long-term results of aortic valve replacement with posterior root enlargement[J]. Asian Cardiovasc Thorac Ann, 2014, 22(9): 1059-1065. DOI: 10.1177/0218492314528923.

[4] PIBAROT P, DUMESNIL J G. Prosthesis-patient mismatch: definition, clinical impact, and prevention[J]. Heart, 2006, 92(8): 1022-1029. DOI: 10.1136/hrt.2005.067363.

[5] 刘鸿昊, 姚星星, 李圣博,等. 主动脉瓣置换术后人工瓣膜-患者不匹配现象临床结果比较[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2016, 23(2): 137-141. DOI: 10.7507/1007-4848.20160031.
LIU H H, YAO X X, LI S B, *et al*. The early clinical results of prosthesis-patient mismatch after aortic replacement[J]. Chin J Clin Thorac Cardiovasc Surg, 2016, 23(2): 137-141. DOI: 10.7507/1007-4848.20160031.

[6] MICHELENA H I, DESJARDINS V A, AVIERINOS J F, *et al*. Natural history of asymptomatic patients with normally functioning or minimally dysfunctional bicuspid aortic valve in the community[J]. Circulation, 2008, 117(21): 2776-2784. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.740878.

[7] YASUDA H, NAKATANI S, STUGAARD M, *et al*. Failure to prevent progressive dilation of ascending aorta by aortic valve replacement in patients with bicuspid aortic valve: comparison with tricuspid aortic valve[J]. Circulation, 2003, 108(Suppl 1): II291-II294. DOI: 10.1161/01.cir.0000087449.03964.fb.

[8] HAUNSCHILD J, DIETZE Z, VAN KAMPEN A, *et al*. Aortic root replacement in bicuspid versus tricuspid aortic valve patients[J]. Ann Cardiothorac Surg, 2022, 11(4): 436-447. DOI: 10.21037/acs-2022-bav-67.

[9] 焦明旭, 张晓, 刘迪, 等. 倾向性评分匹配在非随机对照研究中的应用[J]. 中国卫生统计, 2016, 33(2): 350-352.
JIAO M X, ZHANG X, LIU D, *et al*. Application of propensity score matching in non-randomized controlled study[J]. Chin J Health Stat, 2016, 33(2): 350-352.

[10] HERRMANN H C, MEHRAN R, BLACKMAN D J, *et al*. Self-expanding or balloon-expandable TAVR in patients with a small aortic annulus[J]. N Engl J Med, 2024, 390(21): 1959-1971. DOI: 10.1056/nejmoa2312573.

[11] 李誉, 宋来春, 王波, 等. Bentall手术在小主动脉根部或瓣环再次手术中应用的临床研究[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2022, 29(5): 592-596.
LI Y, SONG L C, WANG B, *et al*. Bentall procedure for reoperation in the small aortic root or annulus[J]. Chin J Clin Thorac Cardiovasc Surg, 2022, 29(5): 592-596.

[12] 刘世栋, 董帅, 方涛, 等. 经导管主动脉瓣置换术治疗二

叶式与三叶式主动脉瓣狭窄疗效比较的系统评价与Meta分析[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2020, 27(6): 693-699. DOI: 10.7507/1007-4848.201905005.
LIU S D, DONG S, FANG T, *et al*. Comparing clinical outcomes between bicuspid and tricuspid aortic valve stenosis after transcatheter aortic valve replacement: a systematic review and meta-analysis[J]. Chin J Clin Thorac Cardiovasc Surg, 2020, 27(6): 693-699. DOI: 10.7507/1007-4848.201905005.

[13] MAHADEVIA R, BARKER A J, SCHNELL S, *et al*. Bicuspid aortic cusp fusion morphology alters aortic three-dimensional outflow patterns, wall shear stress, and expression of aortopathy[J]. Circulation, 2014, 129(6): 673-682. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.113.003026.

[14] ANDREASSI M G, DELLA CORTE A. Genetics of bicuspid aortic valve aortopathy[J]. Curr Opin Cardiol, 2016, 31(6): 585-592. DOI: 10.1097/HCO.0000000000000328.

[15] HATTORI K, FUKUDA I, DAITOKU K, *et al*. Rate of stenotic bicuspid aortic valve aortic dilatation after aortic valve replacement, calculated using a 3-dimensional reconstruction tool[J]. Circ J, 2017, 81(8): 1207-1212. DOI: 10.1253/circj.CJ-16-0974.

[16] BORGER M A, FEDAK P W M, STEPHENS E H, *et al*. The American Association for Thoracic Surgery consensus guidelines on bicuspid aortic valve-related aortopathy: executive summary[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2018, 156(2): 473-480. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2017.10.161.

[17] HIRATZKA L F, CREAGER M A, ISSELBACHER E M, *et al*. Surgery for aortic dilatation in patients with bicuspid aortic valves a statement of clarification from the American College of Cardiology/American Heart Association task force on clinical practice guidelines[J]. J Am Coll Cardiol, 2016, 67(6): 724-731. DOI: 10.1016/j.jacc.2015.11.006.

[18] SIEVERS H H, STIERLE U, MOHAMED S A, *et al*. Toward individualized management of the ascending aorta in bicuspid aortic valve surgery: the role of valve phenotype in 1 362 patients[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2014, 148(5): 2072-2080. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2014.04.007.

[19] MOOKHOEK A, KORTELAND N M, ARABKHANI B, *et al*. Bentall procedure: a systematic review and meta-analysis[J]. Ann Thorac Surg, 2016, 101(5): 1684-1689. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2015.10.090.

[20] FATEHI HASSANABAD A, FEINDEL C M, VERMA S, *et al*. Evolving surgical approaches to bicuspid aortic valve associated aortopathy[J]. Front Cardiovasc Med, 2019, 6: 19. DOI: 10.3389/fcvm.2019.00019.

[21] 伊加提·司马义,张旭,李俊红, 等. Bentall术治疗主动脉根部病变的疗效分析[J]. 新疆医科大学学报,2016,39(11): 1393-1396. DOI: 10. 3969/j. issn. 1009-5551.2016.11.010.
YIJIATI S, ZHANG X, LI J H, *et al*. Clinical efficacy analysis of Bentall operation for aortic root lesions[J]. J Xinjiang Med Univ, 2016, 39(11): 1393-1396. DOI: 10.3969/j. issn.1009-5551.2016.11.010.

[22] 焦轩, 陈巍, 孙露, 等. 主动脉瓣二叶式畸形的临床进展[J]. 中国心血管杂志, 2019, 24(3): 286-288. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5410.2019.03.020.
JIAO X, CHEN W, SUN L, *et al*. Clinical progress of bicuspid malformation of aortic valve[J]. Chin J Cardiovasc Med, 2019, 24(3): 286-288. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5410.2019.03.020.

[23] LAFOREST B, NEMER M. Genetic insights into bicuspid aortic valve formation[J]. Cardiol Res Pract, 2012, 2012: 180297. DOI: 10.1155/2012/180297.

[24] 屈耀华. 多排螺旋CT血管成像技术在影像诊断主动脉夹层中的价值[J]. 现代医用影像学, 2024, 33(10): 1822-1824.
QU Y H. Value of multi-slice spiral CT angiography in imaging diagnosis of aortic dissection[J]. Mod Med Imageology, 2024, 33(10): 1822-1824.

[25] 范太兵, 宣茂正, 赵力运, 等. 3D打印技术在先天性主动脉瓣疾病诊治中的应用[J]. 心肺血管病杂志, 2021, 40(2): 170-174. DOI:10.3969/j.issn.1007-5062.2021.02.013.
FAN T B, XUAN M Z, ZHAO L Y, *et al*. Application of three-dimensional printing technology in treatment of pediatric congenital aortic valve diseases[J]. J Cardiovasc Pulm Dis, 2021, 40(2): 170-174. DOI: 10.3969/j. issn. 1007-5062.2021.02.013.

(**收稿**:2025-03-13;**修回**:2025-06-03)
(编辑 刘秋池)