

# 应用心肺运动试验评价经导管主动脉瓣置换术在无症状主动脉瓣重度狭窄患者中的疗效\*

李柳<sup>1</sup> 郑庆厚<sup>1</sup> 赵欢<sup>2</sup> 王乐<sup>1</sup> 刘刚<sup>1</sup> 王硕<sup>3</sup>

**[摘要]** **目的:**应用心肺运动试验评价经导管主动脉瓣置换(TAVR)术在无症状主动脉瓣重度狭窄患者中的疗效。**方法:**回顾性分析在河北医科大学第一医院心脏中心住院行 TAVR 手术并完成 3 个月随访的无症状主动脉瓣重度狭窄患者 28 例。所有患者均完善术前检查,观察手术的安全性指标:瓣膜置入即刻成功率、瓣膜移位、死亡、心脏传导阻滞、瓣周漏、冠状动脉阻塞、脑卒中、入径血管破裂、心脏压塞、主动脉夹层、大出血;有效性指标:术前及术后 1 d、7 d、3 个月的脑钠肽(BNP)、心脏彩超情况;运动耐量指标:术前及术后 3 个月的心肺运动试验情况。通过上述指标评价 TAVR 疗效。**结果:**①TAVR 手术安全性指标:瓣膜植入即刻成功率 100%,发生瓣膜移位 0 例;新发束支阻滞 1 例(3.5%),无症状;瓣周漏 1 例(3.5%),且 $<2$  mm。无脑卒中、入径血管破裂、大出血、死亡、冠状动脉阻塞、心脏压塞、主动脉夹层病例。②TAVR 手术有效性指标:BNP、主动脉瓣最大跨瓣流速、主动脉瓣收缩期跨瓣压差、主动脉瓣平均跨瓣压差均较术前明显好转。③TAVR 手术运动耐量指标:Weber 心功能、峰值摄氧量、无氧阈、二氧化碳当量斜率、收缩压下降、ST-T 改变均较术前明显改善。**结论:**心肺运动试验可评价 TAVR 在无症状主动脉瓣重度狭窄患者中的疗效。

**[关键词]** 心肺运动试验;主动脉瓣重度狭窄;经导管主动脉瓣置换术

**DOI:**10.13201/j.issn.1001-1439.2024.04.011

**[中图分类号]** R541.3 **[文献标志码]** A

## Cardiopulmonary exercise testing evaluates the efficacy of transcatheter aortic valve replacement in asymptomatic patients with severe aortic stenosis

LI Liu<sup>1</sup> ZHENG Qinghou<sup>1</sup> ZHAO Huan<sup>2</sup> WANG Le<sup>1</sup> LIU Gang<sup>1</sup> WANG Shuo<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>Department of Cardiology;<sup>2</sup>Heart Function Examination Room, First Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang, 050011, China;<sup>3</sup>Department of Cardiology, Shijiazhuang People's Hospital)

Corresponding author: WANG Shuo, E-mail: ws19860913@163.com

**Abstract Objective:** This study was to use cardiopulmonary exercise testing to evaluate the efficacy of transcatheter aortic valve replacement in asymptomatic patients with severe aortic stenosis. **Methods:** Retrospective analysis of 28 asymptomatic patients with severe aortic stenosis who underwent TAVR surgery and completed a 3-month follow-up at the Heart Center of the First Hospital of Hebei Medical University. All patients underwent preoperative examination and preoperative cardiopulmonary exercise testing to observe the safety indicators of the surgery, including immediate success rate of valve implantation, valve displacement, death, heart conduction block, perivalve leakage, coronary occlusion, stroke, rupture of access vessels, cardiac tamponade, active aortic dissection, and massive bleeding. Effectiveness indicators: BNP and cardiac color Doppler ultrasound before and 1 day, 7 days, and 3 months after surgery. Exercise tolerance index; Cardiopulmonary exercise test results before and 3 months after surgery. Evaluate the efficacy of transcatheter aortic valve implantation using the above indicators. **Results:** ① Safety index of TAVR surgery: immediate success rate of valve implantation was 100%, and valve displacement occurred in 0 cases; One case(3.5%) of new bundle branch block was asymptomatic. Perivalvular leakage was found in 1 case(3.5%) and $<2$  mm. There were no cases of stroke, entrance vessel rupture, massive hemorrhage, death, coronary artery obstruction, cardiac tamponade, or aortic dissection. ② The effec-

\*基金项目:河北省卫生健康委员会重点科技研究计划(No:20241849)

<sup>1</sup>河北医科大学第一医院心内科(石家庄,050011)

<sup>2</sup>河北医科大学第一医院心功能室

<sup>3</sup>石家庄市人民医院心内科

通信作者,王硕,E-mail:ws19860913@163.com

引用本文:李柳,郑庆厚,赵欢,等.应用心肺运动试验评价经导管主动脉瓣置换术在无症状主动脉瓣重度狭窄患者中的疗效[J].临床心血管病杂志,2024,40(4):307-311. DOI:10.13201/j.issn.1001-1439.2024.04.011.

tiveness indicators of TAVR surgery: BNP, maximum cross-valve flow rate, systolic cross-valve pressure difference and mean cross-valve pressure difference were significantly improved compared with those before surgery. ③ Exercise tolerance indexes of TAVR surgery: Weber's heart function, peak oxygen uptake, anaerobic threshold, carbon dioxide equivalent slope, systolic blood pressure drop and ST-T changes were significantly improved compared with those before surgery. **Conclusion:** Cardiopulmonary exercise test can evaluate the efficacy of TAVR in asymptomatic patients with severe aortic stenosis.

**Key words** cardiopulmonary exercise testing; severe aortic stenosis; transcatheter aortic valve replacement

随着人口老龄化加剧,退行性心脏瓣膜病就诊人数显著增加<sup>[1]</sup>。其中,主动脉瓣狭窄尤其是重度狭窄的患者,未经治疗5年病死率高达88%<sup>[2]</sup>。主动脉瓣重度狭窄患者最主要的临床症状是心力衰竭(心衰)<sup>[3]</sup>。心肺运动试验(cardiopulmonary exercise testing, CPET)广泛应用于心衰患者预后评估<sup>[4]</sup>。而在临床实践中观察到,约一半的主动脉瓣重度狭窄患者无临床症状,仅在体检或者行心脏彩超中偶然发现<sup>[5]</sup>。这些无症状的主动脉瓣重度狭窄患者仍然有猝死风险<sup>[6]</sup>。对于无症状的重度主动脉瓣狭窄患者进行早期干预能使患者明显获益<sup>[7]</sup>。近年来经导管主动脉瓣置换术(transcatheter aortic valve replacement, TAVR)因其“创伤小、疗效好”越来越被患者接受<sup>[2]</sup>。自国产Venus-A瓣膜、VitaFlow自膨瓣膜上市后,我国的TAVR治疗也在蓬勃发展<sup>[8]</sup>。河北医科大学第一医院心脏中心自2020年5月起开展TAVR手术,截至2023年5月已经完成手术50余例,其中28例是无症状患者。本研究对在本院完成TAVR手术的无症状主动脉瓣重度狭窄患者进行回顾性分析,总结国产VitaFlow自膨瓣膜的疗效,观察患者术前及术后关键心功能指标[脑钠肽(BNP)<sup>[9]</sup>、主动脉瓣最大跨瓣流速、收缩期主动脉瓣跨瓣压差、左心室射血分数、左心室舒张末期内径]以及心肺运动试验(峰值摄氧量、无氧阈、二氧化碳当量斜率、Weber心功能分级<sup>[10]</sup>)的情况,为指导无症状重度主动脉瓣狭窄患者治疗提供依据。

## 1 对象与方法

### 1.1 对象

回顾性选择自2020年5月—2023年5月在河北医科大学第一医院心脏中心住院行TAVR手术并完成3个月随访的无症状主动脉瓣重度狭窄患者28例。本研究获得河北医科大学第一医院医学伦理委员会审查批准(No: S000489),所有患者均自愿参与并签署知情同意书。

入选标准<sup>[11]</sup>: ①年龄60~85岁; ②主动脉瓣重度狭窄患者,超声心动图示跨主动脉瓣血流速度 $\geq 4.0$  m/s,或跨主动脉瓣平均压力差 $\geq 40$  mmHg (1 mmHg=0.133 kPa),或主动脉瓣口面积 $< 1.0$  cm<sup>2</sup>,或有效主动脉瓣口面积指数 $< 0.5$  cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>; ③解剖学上适合TAVR:包括瓣膜钙化程度、主动脉瓣环内径、主动脉窦内径及高度、冠状动脉(冠

脉)开口高度、入径血管内径等; ④外科术后人工生物瓣衰败; ⑤参考2014年美国瓣膜管理指南<sup>[7]</sup>,外科手术极高危,或中,高危且年龄 $\geq 70$ 岁; ⑥纠治主动脉瓣狭窄(aortic stenosis, AS)后的预期寿命超过12个月。

排除标准<sup>[12]</sup>: ①患者有主动脉瓣狭窄相关症状:如气促、胸痛、晕厥、乏力,纽约心脏病协会(New York Heart Association, NYHA)心功能分级Ⅱ级以上; ②对镍钛合金、造影剂及相关成分过敏或抵抗; ③无法接受抗凝或抗血小板治疗; ④感染性心内膜炎活动期或其他活动性感染; ⑤左心室内血栓; ⑥主动脉瓣赘生物; ⑦左心室流出道梗阻; ⑧入径或者主动脉根部解剖形态上不适合TAVR; ⑨纠治AS后的预期寿命 $< 12$ 个月; ⑩冠脉狭窄需要处理以及心肌梗死、脑梗死急性期; ⑪慢性阻塞性肺疾病及哮喘; ⑫本单位伦理委员会认为不适宜入选的患者。

### 1.2 研究方案

本研究纳入28例患者,按照行业相关要求组建我院TAVR多学科团队(multiple disciplinary team, MDT)<sup>[13]</sup>,由该团队专家组负责患者全程管理,包括筛选、评估、术前准备、围术期管理以及出院随访。由于TAVR手术的特殊性,所有TAVR患者的心脏彩超、心肺运动试验以及复查均由我院心脏超声科和心功能室的同一位主任医师操作。

### 1.3 TAVR术前管理

患者入院均完善TAVR术前常规检查,包括血常规、血生化、凝血、动脉血气分析、心肺运动试验、心脏彩超、双下肢血管彩超、肺功能、主动脉多排计算机断层扫描(multislices computed tomography, MSCT)<sup>[12]</sup>、冠脉CTA+CTFFR、头胸CT,并给予双联抗血小板、调脂、降压、降糖等对症治疗。术前备血,并在术前24h行MDT讨论,对病情、术式、入路、瓣膜型号进行准备。

### 1.4 手术过程

手术在我院心脏专用杂交手术室进行,体外循环湿化备用,非插管全身麻醉下进行。根据术前冠脉CTA+CTFFR结果,其中有2例患者TAVR术前行冠脉PCI+TAVR一站式手术,对1例冠脉开口偏低患者给予指引导丝至冠脉保护,经术前处理所有患者均未发生冠脉堵塞。经颈内静脉入径放置临时起搏器导管于右心室心尖部。在超声引

导下穿刺双侧股动脉,预先放置动脉缝合装置,随后置入动脉鞘管,选择优势路径应用瓣膜球囊扩张导管扩张后送入 VitaFlow 自膨式瓣膜,对侧放置猪尾导管至主动脉根部,供测压与造影。瓣膜置入成功率 100%,随后心脏彩超评估,应用压迫及外科缝合入径血管行止血,术毕送入 CCU 恢复<sup>[12]</sup>。

### 1.5 TAVR 术后管理

术后 7 d 严密心电监护,所有患者术后 1 d、7 d、3 个月行心功能指标、心脏彩超复查,术后 3 个月行心肺运动试验。

所有患者均给予双联抗血小板(阿司匹林 100 mg qd+氯吡格雷 75 mg qd)治疗 3~6 个月后,终身单药抗血小板治疗(阿司匹林 100 mg qd)<sup>[14]</sup>;对于心房颤动(房颤)患者,联合抗凝治疗(利伐沙班 10 mg qd)<sup>[15]</sup>。所有患者均根据具体情况给予改善心衰预后药物(包括美托洛尔、沙库巴曲缬沙坦、维立西呱、伊伐布雷定等)。

### 1.6 心肺运动试验方案

采用意大利科迈公司 Quark PFT Ergo 型心肺运动测试系统,采用连续递增运动(Ramp)方案进行测试<sup>[16]</sup>。

连接设备的环节:连接运动血压、面罩,用头套将面罩固定,测试面罩与患者面部敷贴松紧度合适,无漏气现象。连接心电电极:酒精棉球清洁皮肤,贴电极至相应位置。

心肺运动试验开始前,应根据患者具体情况设定合理的运动踏车负荷递增方案。步骤如下:①静息状态心肺数据采集:患者坐于踏车上,保持静息状态,匀速呼吸,记录心电图情况,采集氧耗量、二氧化碳排出量。②热身运动-空蹬:要求患者以 60 转/min(55~65 转/min)的速度匀速踏车,此时踏车功率为 0 瓦。记录心电图、血压、气体代谢指标。③负荷运动试验:按照个体化的递增负荷功率进行踏车运动,直到达到运动极限或出现阳性指标,记录运动过程中的心电、气体代谢指标、血压等指标。④恢复阶段:患者在踏车上倒转空蹬 1 min 后逐步恢复静息状态,记录恢复过程中的心电图、血压、气体代谢指标。

终止运动的绝对指征<sup>[16]</sup>:①出现中度至重度心绞痛;②出现发绀或面色苍白、严重疲乏、呼吸困难等;③心电图示相邻导联 ST 段水平型或下斜型压低 $\geq 0.2$  mV,持续 2 min 及以上;ST 段弓背向上型抬高 $\geq 0.1$  mV;④运动中随着负荷增加收缩压下降 $>10$  mmHg;或持续低于基线值;⑤收缩压 $>220$  mmHg,舒张压 $>110$  mmHg;⑥严重心律失常,如持续性室性心动过速、频发室性期前收缩、快速房颤等;二度或三度房室传导阻滞;⑦因下肢无力或肌肉疼痛、痉挛,导致踏车转速明显下降;⑧中枢系统症状,如眩晕、视觉障碍、共济失调、感觉异常、意识障碍;⑨患者要求停止运动。

### 1.7 观察指标

安全性指标:瓣膜置入即刻成功率、瓣膜移位、死亡、心脏传导阻滞<sup>[17]</sup>、瓣周漏、冠脉阻塞、脑卒中、入径血管破裂、心脏压塞、主动脉夹层、大出血。

有效性指标:术前及术后 1 d、7 d、3 个月的临床症状、BNP、心脏彩超(主动脉瓣最大跨瓣流速、收缩期主动脉瓣跨瓣压差、左心室射血分数、左心室舒张末期径)。

运动耐量指标:术前及术后 3 个月行心肺运动试验,观察峰值摄氧量、无氧阈、二氧化碳当量斜率、Weber 心功能分级、收缩压、ST-T 的变化情况。

### 1.8 统计学处理

所有数据均用 SPSS 23.0 软件处理,连续性变量若符合正态分布,用  $\bar{X} \pm S$  表示,采用 *t* 检验;若不符合正态分布,以  $M(P_{25}, P_{75})$  表示,采用 *U* 检验。计数资料用百分率(%)表示,用  $\chi^2$  检验或 Fisher 确切概率法计算。 $P < 0.05$ (双侧)为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 患者的临床特征

共 28 例患者,其中男 17 例(60.7%),女 11 例(39.3%),平均年龄(66.31 $\pm$ 9.47)岁,BMI(24.9 $\pm$ 3.2) kg/m<sup>2</sup>,二叶式主动脉瓣 8 例(28.5%),合并糖尿病 4 例(14.2%),高血压 9 例(32.1%),房颤 4 例(14.2%),完全性束支传导阻滞 1 例(3.5%)。吸烟 7 例(2.5%),心脑血管病家族史 12 例(42.8%)。

第 1 秒用力呼气容积 FEV<sub>1</sub>(82.6 $\pm$ 6.7)%。主动脉瓣收缩期跨瓣压差(85.8 $\pm$ 26.9) mmHg,主动脉平均跨瓣压差(51.6 $\pm$ 11.7) mmHg,主动脉瓣最大跨瓣流速(459.6 $\pm$ 67.2) cm/s,左心室射血分数(57.7 $\pm$ 15.6)%,左心室舒张末期径(46.8 $\pm$ 11.2) mm,BNP(279.5 $\pm$ 132.3) pg/mL,ALT(41.2 $\pm$ 9.7) U/L,AST(40.8 $\pm$ 10.5) U/L,Scr(85.3 $\pm$ 16.59) $\mu$ mol/L。

### 2.2 患者的合并用药情况

患者的合并用药情况,他汀 11 例(39.2%),阿司匹林 28 例(100%),氯吡格雷 28 例(100%),利伐沙班 4 例(14.2%), $\beta$ 受体阻滞剂 10 例(35.7%),降糖药物 4 例(14.2%),利尿剂 2 例(7.1%),ACEI/ARB/ARNI 9 例(32.1%)。

### 2.3 安全性指标

瓣膜植入即刻成功率 100%,发生瓣膜移位 0 例;新发束支阻滞 1 例(3.5%),无症状;瓣周漏 1 例(3.5%),且 $<2$  mm;无一例发生死亡、三度房室传导阻滞、植入永久起搏器、冠脉阻塞、脑卒中、入径血管破裂、心脏压塞、主动脉夹层、大出血病例。

### 2.4 手术前后有效性指标

术后心功能指标 BNP 在术后 7 d 开始明显好转,术后 7 d 以及术后 3 个月与术前差异有统计学

意义( $P=0.001$ );主动脉瓣最大跨瓣流速、主动脉瓣收缩期跨瓣压差、主动脉瓣平均跨瓣压差在术后1 d、7 d及3个月复查均差异有统计学意义( $P=0.001$ );左心室舒张末期内径、左心室射血分数在术后3个月较术前差异无统计学意义。见表1。

### 2.5 手术前后运动耐量指标

因病例数较少,无法应用 $\chi^2$ 检验,故应用

Fisher确切概率法计算。术后3个月的Weber心功能分级明显好转,A级占比较术前明显增加,差异有统计学意义( $P=0.009$ ),C级占比较术前明显减少,差异有统计学意义( $P=0.002$ );峰值摄氧量、无氧阈、二氧化碳当量斜率、收缩压下降、ST-T改变均较术前明显改善( $P<0.05$ )。见表2。

表1 手术前后有效性指标

有效性指标	术前(28例)	术后1 d(28例)	术后7 d(28例)	术后3个月(28例)
BNP/(pg/mL)	279.5±132.3	263.1±75.2	189.7±49.6 <sup>1)</sup>	164.8±49.5 <sup>1)</sup>
主动脉瓣最大跨瓣流速/(cm/s)	459.6±67.2	226.3±41.6 <sup>1)</sup>	219.5±40.2 <sup>1)</sup>	214.2±42.3 <sup>1)</sup>
主动脉瓣收缩期跨瓣压差/mmHg	85.8±26.9	21.7±6.1 <sup>1)</sup>	21.1±6.3 <sup>1)</sup>	20.9±4.9 <sup>1)</sup>
主动脉瓣平均跨瓣压差/mmHg	51.6±11.7	13.7±7.2 <sup>1)</sup>	12.5±6.9 <sup>1)</sup>	12.3±5.2 <sup>1)</sup>
左心室射血分数/%	57.7±15.6	59.2±9.3	59.6±8.7	59.3±10.8
左心室舒张末期内径/mm	46.8±11.2	45.9±12.1	43.7±10.7	41.5±9.4

与术前比较,<sup>1)</sup> $P<0.05$ 。

表2 手术前后心肺运动试验比较

心肺运动指标	术前(28例)	术后3个月(28例)	F/t	P
Weber心功能分级				
A	4(14.2)	14(50.0)	8.187	0.009 <sup>1)</sup>
B	7(25.0)	10(35.7)	0.760	0.562
C	16(57.1)	4(14.2)	11.200	0.002 <sup>1)</sup>
D	1(3.5)	0	1.018	1.000
峰值摄氧量/(mL/kg/min)	15.61±3.62	19.75±4.02	4.049	0.001 <sup>1)</sup>
无氧阈/(mL/kg/min)	11.14±2.78	14.39±2.98	4.219	0.001 <sup>1)</sup>
二氧化碳当量斜率	27.53±4.76	24.31±4.03	2.731	0.008 <sup>1)</sup>
收缩压下降	9(32.1)	1(3.5)	7.791	0.012 <sup>1)</sup>
ST-T改变	11(39.2)	2(7.1)	8.114	0.010 <sup>1)</sup>

与术前比较,<sup>1)</sup> $P<0.05$ 。

### 3 讨论

心肺运动试验通过测量从静态到动态过程中气管内的气体交换来了解心肺代谢功能情况,是国际公认的评价心肺功能的重要手段<sup>[18]</sup>。其中,峰值摄氧量、无氧阈是反映运动耐量以及心血管功能的指标<sup>[19]</sup>,并且可根据结果对患者进行Weber心功能分级<sup>[9]</sup>。峰值摄氧量是运动中摄氧量的最大值,反映心排血量的高低,是预测慢性心衰患者预后的最佳指标<sup>[20]</sup>;无氧阈是运动中有氧代谢摄氧量的最大值,反映组织氧供需平衡情况<sup>[21]</sup>。Weber心功能分级较传统NYHA心功能分级对心衰患者生存期的预测更准确<sup>[22]</sup>。二氧化碳当量斜率反映人体通气效率,其值与生理无效腔呈正比,近年来二氧化碳当量斜率被认为是心脏瓣膜病心衰患者预后的独立预测因子<sup>[19]</sup>。欧洲心脏病协会认为心肺运动试验过程中出现收缩压下降以及ST-T改变,是主动脉瓣置换治疗的适应证<sup>[23]</sup>。心肺运动试验具有无创、客观、定量、敏感的优点,在评价无

症状主动脉瓣重度狭窄患者心功能和预后方面具有极高的价值。

本研究从我院行TAVR手术并完成3个月随访的无症状主动脉瓣重度狭窄的28例患者着手,在我院TAVR团队MDT专家组负责患者全程管理下,观察其安全性指标、有效性指标、运动耐量指标。最终结果显示,TAVR手术在无症状主动脉瓣重度狭窄患者中应用安全、有效,且能改善患者运动耐量。牛冠男等<sup>[24]</sup>通过观察30例TAVR患者术后30 d超声心动图变化,证实了TAVR可改善合并左心室收缩功能下降的主动脉瓣重度狭窄患者的左心室射血分数。冯晔子等<sup>[25]</sup>通过观察36例TAVR患者6个月后的心脏彩超情况,证实TAVR可改善主动脉瓣重度狭窄患者的左心室射血分数、左心室舒张末期内径、左心室收缩末期内径,TAVR的安全性和有效性良好。均与本研究的TAVR患者术后呈现相同的一致性,证实了TAVR手术的安全性和有效性。而通过心肺运动

试验去评估无症状性主动脉瓣重度狭窄患者 TAVR 术后的研究目前尚少,本研究证实,对于无症状性主动脉瓣重度狭窄患者,其心肺运动试验指标已经显著下降,Weber 心功能分级 C 级和 D 级占比(60.7%),峰值摄氧量、无氧阈、二氧化碳当量斜率均因主动脉瓣重度狭窄显著受损。对于这类患者,TAVR 术后的心肺运动试验指标显著好转,提示 TAVR 手术可明显改善其运动耐量、心功能以及预后。

综上所述,TAVR 手术可改善无症状主动脉瓣重度狭窄患者的心功能和运动耐量。但本研究为单中心数据,样本量偏少,随访时间短,TAVR 手术的应用效果仍需多中心、大样本、长期的随访验证。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

### 参考文献

[1] 罗达,付金容,黎明江,等. ECMO 辅助下 TAVR 术治疗低流速低压差主动脉瓣重度狭窄合并重度关闭不全 1 例[J]. 中国临床案例成果数据库,2022,4(1):6486-6486.

[2] 王世杰,刘鹏,温姝钰,等. 主动脉瓣疾病手术治疗现状与进展[J]. 临床心血管病杂志,2023,39(6):417-424.

[3] 张波,吴东峰,邓金龙,等. VA-ECMO 在主动脉瓣狭窄介入治疗中的置管策略[J]. 临床心血管病杂志,2023,39(11):836-839.

[4] 陈凌辉,刘宗军,郜俊清,等. 运动康复对 PCI 术后患者心肺功能和预后的影响[J]. 临床心血管病杂志,2022,38(7):577-581.

[5] Mueller S, Haller B, Halle M, et al. Effect of training on peak oxygen consumption in patients with heart failure with preserved ejection fraction-reply[J]. JAMA,2021,326(8):772-773.

[6] Redford S, Bjor N, Pibarot T, et al. Stress testing in asymptomatic aortic stenosis[J]. Circulation,2017,135(20):1956-1976.

[7] 杨兴生,孙静平,林逸贤. 经导管主动脉瓣植入术的现状 & 未来[J]. 中国医刊,2012,47(3):3.

[8] 高好考,贾慧丰,李成祥. 经皮冠状动脉介入术治疗外科二尖瓣和主动脉瓣瓣膜置换术后左主干完全闭塞 1 例[J]. 临床心血管病杂志,2023,39(11):898-900.

[9] 陈凤英,邓颖,李燕,等. 急性心力衰竭中国急诊管理指南(2022)[J]. 临床急诊杂志,2022,23(8):519-547.

[10] Weber KT, Janicki JS, McElroy PA. Determination of aerobic capacity and the severity of chronic cardiac and circulatory failure. [J]. Circulation,1987,76(6 Pt 2):40-45.

[11] 党梦秋,范嘉祺,朱齐丰,等.《经导管主动脉瓣置换术中国专家共识(2020 新版)》解读[J]. 华西医学,2021,36(9):1191-1195.

[12] 中国医师协会心血管内科医师分会结构性心脏病专业委员会. 经导管主动脉瓣置换术中国专家共识(2020 新版)[J]. 中国介入心脏病学杂志,2020,28

(6):301-309.

[13] 中国医师协会心血管内科医师分会结构性心脏病专业委员会,中华医学会心血管病学分会结构性心脏病学组. 经导管主动脉瓣置换术团队建设及运行规范中国专家建议[J]. 中国介入心脏病学杂志,2018,26(1):2-6.

[14] Falk V, Ruschitzka F, Windecker S, et al. 2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease[J]. Euro J Cardio-Thoracic Surg,2017,52(4):110.

[15] Nishimura RA, Otto CM, Bonow RO, et al. 2017 AHA/ACC Focused Update of the 2014 AHA/ACC guideline for the management of patients with valvular heart disease[J]. J Am Coll Cardiol,2017,70(2):252-289.

[16] 中华医学会心血管病学分会,中国康复医学会心肺预防与康复专业委员会,中华心血管病杂志编辑委员会. 心肺运动试验临床规范应用中国专家共识[J]. 中华心血管病杂志,2022,10(50):973-986.

[17] 杜招娜,芦秀燕,邵一兵,等. 经导管主动脉瓣置换术后左束支传导阻滞的研究进展[J]. 临床心血管病杂志,2024,40(1):5-9.

[18] 张琳,田新瑞. 心肺运动试验对围手术期风险评估的研究进展[J]. 心肺血管病杂志,2023,42(4):375-379.

[19] Choi J, Park JS, Choi HJ, et al. Peak VO<sub>2</sub> and VE/VCO<sub>2</sub> exhibit differential prognostic capacity for predicting cardiac events[J]. Euro Heart J,2023,Supplement\_2:110.

[20] Olimpieri A, Ferraro F, Gambardella R, et al. C43 relationship between echocardiographic data and cardiopulmonary exercise test parameters in adult congenital heart disease patients: a retrospective clinical study[J]. Euro Heart J Supplements,2023,Supplement\_D:110.

[21] Kirsch MK, Vitiello DV, Trachsel LDT, et al. Cardiac hemodynamic responses to exercise training in patients with coronary heart disease[J]. Euro J Prevent Cardiol,2023,Supplement\_1:110.

[22] Sugimoto T, Bandera F, Alfonzetti E, et al. 4303 Revisiting the weber and ventilatory classifications in heart failure by combining exercise stress echo with gas exchange phenotyping[J]. Euro Heart J,2019,Supplement\_1:110.

[23] 单月宏,朱家麟. 无症状主动脉瓣狭窄的外科治疗——运动试验是关键检查[J]. 英国医学杂志:中文版(BMJ),2004,7(6):328-328.

[24] 牛冠男,吴永健. 主动脉瓣重度狭窄患者接受经导管主动脉瓣置换术治疗后的左心收缩功能变化[J]. 中西医结合心血管病杂志,2017,4(12):39-40.

[25] 冯哞子,曹丰,李苏雷,等. 主动脉瓣重度狭窄患者经导管主动脉瓣置换术的安全性和有效性分析[J]. 中国介入心脏病学杂志,2022,30(1):29-32.

(收稿日期:2023-11-20)