



doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250429
http://dx.doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.250429
China Journal of General Surgery, 2025, 34(12):2577-2585.

· 动脉疾病专题研究 ·

应用Castor分支型支架联合无名动脉烟囱技术行 Z0区TEVAR的初步临床研究

张雷^{1,2}, 李睿^{1,2}, 李全明^{1,2}, 黎明^{1,2}, 何昊^{1,2}, 夏德芴^{1,2}, 李鑫^{1,2}, 舒畅^{1,2,3}

(1. 中南大学湘雅二医院 血管外科, 湖南 长沙 410011; 2. 中南大学血管病研究所, 湖南 长沙 410011; 3. 中国医学科学院阜外医院/国家心血管病中心 血管外科, 北京 100037)

摘要

背景与目的: 胸主动脉腔内修复术 (TEVAR) 已成为治疗胸主动脉疾病的重要微创手段, 但在近端锚定区位于 Z0 区的复杂主动脉弓部病变中, 如何同期重建弓上分支血管仍是技术难点。Castor 分支型主动脉覆膜支架可实现左颈总动脉 (LCCA) 的一体化重建, 但其在 Z0 区应用通常需联合其他技术重建无名动脉 (IA)。本研究旨在初步评估 Castor 分支型支架重建 LCCA 联合 IA 烟囱支架技术在 Z0 区 TEVAR 中的技术可行性及短期疗效。

方法: 回顾性分析 2024 年 2 月—2024 年 6 月在中南大学湘雅二医院接受 Castor 分支型主动脉覆膜支架重建 LCCA 联合 IA 烟囱支架技术行 Z0 区 TEVAR 的主动脉疾病患者资料。收集并分析患者围手术期临床特征、手术相关参数及随访结果, 主要观察指标包括技术成功率、围手术期并发症发生情况及弓上分支血管通畅率。左锁骨下动脉 (LSA) 是否同期重建依据术前影像学评估结果个体化决策。

结果: 共纳入 6 例患者, 平均年龄 51.5 岁, 男性 5 例。原发病包括主动脉夹层 4 例、主动脉弓部动脉瘤 1 例及穿透性主动脉溃疡 1 例。所有患者均成功完成手术, 技术成功率为 100%。其中 3 例同期行 LSA 血运重建。术后 30 d 内未发生死亡、脑卒中、截瘫、内漏、逆撕性 A 型主动脉夹层、支架移位及上肢缺血等严重并发症。中位随访 13 (11~15) 个月, 随访期间未出现主要不良心脑血管事件或支架相关并发症, 影像学显示 IA、LCCA 及重建 LSA 通畅率均为 100%。

结论: 在严格筛选的小样本患者中, Castor 分支型主动脉覆膜支架重建 LCCA 联合 IA 烟囱支架技术用于 Z0 区 TEVAR 在技术上可行, 且短期随访结果显示分支血管通畅率良好。但其安全性及远期疗效仍需通过更大样本量及长期随访研究进一步验证。

关键词

主动脉疾病; Castor 分支型支架; 烟囱支架技术; 血管内操作
中图分类号: R654.3

Preliminary clinical experience of zone 0 TEVAR using a Castor branched stent-graft combined with the innominate artery chimney technique

ZHANG Lei^{1,2}, LI Rui^{1,2}, LI Quanming^{1,2}, LI Ming^{1,2}, HE Hao^{1,2}, XIA Dexiang^{1,2}, LI Xin^{1,2}, SHU Chang^{1,2,3}

(1. Department of Vascular Surgery, Second Xiangya Hospital, Central South University, Changsha 410011, China;

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (82120108005); 中南大学研究生自主探索创新基金资助项目 (2022XQLH153)。

收稿日期: 2025-08-04; **修订日期:** 2025-12-16。

作者简介: 张雷, 中南大学湘雅二医院博士研究生, 主要从事外周血管及主动脉疾病方面的研究 (李睿为本文共同第一作者)。

通信作者: 李鑫, Email: lixin1981@csu.edu.cn; 舒畅, Email: shuchang@csu.edu.cn

2. Institute of Vascular Diseases, Central South University, Changsha 410011, China; 3. Department of Vascular Surgery, Fuwai Hospital, National Center for Cardiovascular Diseases, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100037, China)

Abstract

Background and Aims: Thoracic endovascular aortic repair (TEVAR) has become an important minimally invasive treatment for thoracic aortic diseases. However, management of complex aortic arch lesions requiring a proximal landing zone in zone 0 (Z0) remains technically challenging due to the need for supra-aortic branch reconstruction. The Castor single-branched stent-graft enables integrated reconstruction of the left common carotid artery (LCCA), but its application in Z0 TEVAR often necessitates adjunctive techniques for innominate artery (IA) revascularization. This study aimed to preliminarily evaluate the technical feasibility and short-term outcomes of Z0 TEVAR using a Castor branched stent-graft for LCCA reconstruction combined with an IA chimney stent.

Methods: Patients with aortic pathologies who underwent Z0 TEVAR using a Castor branched stent-graft for LCCA reconstruction combined with an IA chimney stent at the Second Xiangya Hospital of Central South University between February and June 2024 were retrospectively reviewed. Perioperative data and follow-up outcomes were analyzed. Primary endpoints included technical success, perioperative complications, and patency of reconstructed supra-aortic branches. Concomitant left subclavian artery (LSA) revascularization was determined on an individualized basis according to preoperative imaging findings.

Results: Six patients (mean age 51.5 years; 5 males) were included, with underlying pathologies comprising aortic dissection ($n=4$), aortic arch aneurysm ($n=1$), and penetrating aortic ulcer ($n=1$). All procedures were successfully completed, yielding a technical success rate of 100%. Concomitant LSA revascularization was performed in three patients. No mortality, stroke, spinal cord ischemia, endoleak, retrograde type A aortic dissection, stent migration, or upper extremity ischemia occurred within 30 days postoperatively. During a median follow-up of 13 months (range, 11–15 months), no major adverse cardiovascular or cerebrovascular events or stent-related complications were observed. Imaging follow-up demonstrated 100% patency of the IA, LCCA, and reconstructed LSA.

Conclusion: In a small, carefully selected cohort, Z0 TEVAR using a Castor branched stent-graft for LCCA reconstruction combined with an IA chimney stent is technically feasible and associated with favorable short-term branch patency. Further studies with larger sample sizes and longer follow-up are required to validate its safety and long-term efficacy.

Key words

Aortic Diseases; Castor branched stent; Chimney Technique; Endovascular Procedures

CLC number: R654.3

主动脉弓部疾病因其解剖结构复杂、围手术期并发症发生率及死亡率较高等特点，一直是血管外科与心血管外科领域的重要临床挑战^[1-3]。在此类疾病的治疗中，实现主动脉弓上分支血管的功能性重建并有效控制相关并发症是决定预后的关键因素。胸主动脉腔内修复术（thoracic endovascular aortic repair, TEVAR）凭借其微创优势及较低的致死性并发症发生率，已成为主动脉疾病治疗领域的重要技术手段^[4-5]。然而，对于需在

Z0区建立近端锚定区的复杂弓部病变，腔内同期重建弓上三支血管成为技术核心与难点。根据现有文献回顾，目前尚无关于Z0区TEVAR技术或器械选择的明确方案。

Castor分支型主动脉覆膜支架作为我国自主研发的一体化单分支支架系统，于2017年获得国家药品监督管理局的商业使用批准。现有研究已证实其在Z2区TEVAR中重建左锁骨下动脉（left subclavian artery, LSA）的安全性和有效性^[6-8]，并

有研究初步探索了其在Z1区TEVAR中重建左颈总动脉(left common carotid artery, LCCA)的可行性^[9]。然而针对需同期重建弓上三支血管的Z0区TEVAR, Castor支架的应用证据仍极为有限。为探索Z0区的优化重建方案,本研究提出创新性联合策略: Castor分支提供LCCA血管重建,同时应用烟囱支架技术重建无名动脉(innominate artery, IA)以扩展近端锚定区;并基于术前计算机断层扫描血管成像(computed tomography angiography, CTA)评估的椎动脉优势及后循环灌注状况,以此为依据决定是否同期重建LSA。尽管这一创新性组合策略为复杂主动脉病变的腔内治疗提供了新思路,但目前尚缺乏系统的临床证据支持。鉴于解剖结构的复杂性以及Z0区重建的证据有限,本研究旨在作为一项初步探索性研究,评估Castor分支型主动脉覆膜支架重建LCCA联合IA烟囱支架技术在Z0区TEVAR中的技术可行性与短期疗效。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性收集2024年2月—2024年6月在中南大学湘雅二医院接受Castor分支型主动脉覆膜支架重建LCCA联合IA烟囱支架植入手术的主动脉疾病患者资料。纳入标准:(1)经术前CTA或术中造影确定近端锚定区位于Z0区;(2)主动脉穿透性溃疡需满足深度>10 mm或基底宽度>20 mm;(3)主动脉弓部动脉瘤最大径>50 mm;(4)临床资料完整(包括术前基线数据、围手术期影像学资料及随访记录)。排除标准:(1)合并升主动脉壁间血肿或升主动脉夹层;(2)主动脉弓近端锚定区最大直径>40 mm或存在重度钙化;(3)LCCA直径>12 mm(基于Castor支架分支最大可用直径);(4)患者放弃手术或在术前准备期间死亡或预存生存期<2年;(5)缺失术前基线数据、围手术期关键影像学资料(术前CTA/术后即刻造影)或术后1个月随访CTA中任意一项者。按以上标准最终纳入6例患者。因本研究旨在初步评估技术操作可行性,未进行样本量计算,其样本量也与现有文献中针对复杂弓部重建新技术的初步探索性研究的样本量相近^[10-11]。本研究经中南大学湘雅二医院医学伦理委员会批准[审批号:(2024)伦审第(K342)号]。

1.2 手术方法

所有患者均在全麻下于杂交手术室完成支架植入手术,主要手术步骤如下:(1)建立血管通路:全身麻醉下穿刺股动脉、解剖LCCA及右侧肱动脉建立血管通路。(2)影像评估:数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)明确主动脉病变位置,测定拟锚定区主动脉、LCCA以及IA直径选取合适尺寸的支架。(3)建立主体支架及烟囱支架释放轨道:全身肝素化后(100 IU/kg),自LCCA将125 mm长度的MP导管及260 mm长度的长泥鳅导丝送至股动脉,建立LCCA-降主动脉-股动脉牵引导丝轨道,交换超硬导丝,建立Castor分支型主动脉覆膜支架释放轨道;同期经右肱动脉将Amplatz导丝置于升主动脉,转动球管明确Amplatz导丝贴近主动脉后壁位于超硬导丝背侧后,沿Amplatz导丝将烟囱覆膜支架预置入IA。(4)植入支架及术后评估:将Castor分支型主动脉覆膜支架沿预定导丝轨道植入,释放过程中动态调整分支与主体支架的旋转角度,确保分支支架精准锚定于LCCA开口后释放主体支架。随后释放IA烟囱支架并确保其近端覆膜段与Castor主体支架重叠≥10 mm且远端固定于IA无病变血管段。(5)支架植入后处理与即时评估:IA烟囱支架均选用覆膜支架以降低内漏风险,其直径较IA直径大5%~10%以防止过度受压。释放后即刻选择直径匹配IA烟囱支架的顺应性球囊,对支架重叠段行低压[不超过8 atm(1 atm=101.325 kPa)]后扩张,促进支架贴壁,同时避免压迫Castor分支支架。术后造影确认主动脉病变完全隔绝且弓上各分支血流通畅。(6)LSA重建决策:是否同期重建LSA依据术前CTA评估结果个体化决定,重点综合考虑椎动脉优势及后循环灌注情况。当存在左侧椎动脉优势(定义为优势侧与非优势侧椎动脉直径比值≥1.5:1),或影像学提示后循环血供主要依赖左椎动脉时,倾向于同期行LSA血运重建。后循环灌注依赖的影像学依据包括:非优势侧椎动脉发育不全(直径<2 mm)或闭塞,或CTA及三维重建显示基底动脉血流主要来源于左椎动脉,而对侧椎动脉显影缺如或显影极差。

1.3 围手术期处理及随访

术后给予患者广谱抗生素预防感染,并联合应用低分子肝素4 000 IU(2次/d)皮下注射行抗凝治疗,预防分支支架血栓形成。术后5~7 d行全

主动脉CTA复查评估支架位置、内漏情况及分支血管通畅性。出院后继续予以双联抗血小板治疗(阿司匹林 100 mg, 1次/d, 联合氯吡格雷 75 mg, 1次/d), 疗程6个月, 之后改为长期单药抗血小板治疗(阿司匹林 100 mg, 1次/d)。制定标准化随访方案, 在1、6、12个月时进行连续的CTA检查, 以评估支架移植物位置稳定性、内漏情况、分支血管通畅性及患者生存状况。之后每年行1次CTA随访, 或根据临床指征进行调整。

1.4 数据收集

(1) 基线资料: 记录患者人口学特征(年龄、性别)、合并症(高血压、糖尿病、脑梗死病史、冠心病、肾功能不全、肺部感染)、吸烟史、主动脉病变类型及椎动脉优势情况。(2) 手术参数: 详细记录支架系统型号(Castor分支型主动脉覆膜支架、分支支架及人工血管型号)、技术成功率(定义为支架系统成功输送至目标锚定区, 主支架及分支支架精确定位释放, 术中造影证实弓上分支血管血流通畅, 无需要术中干预的I型或III型内漏, 同时完全隔绝病变)、手术时间(定义为皮肤切开至缝合完成时间)、术中并发症(包括内漏、支架移位、脑卒中等)。(3) 随访指标: 通过门诊CTA复查(术后1、6、12个月)联合电话随访, 评估患者生存状态、严重并发症发生率(主要不良心脑血管事件、内漏、截瘫、支架相关新发破口、逆撕性A型夹层及上肢缺血)及重建的弓部分支血管及桥血管通畅率。

2 结果

2.1 患者的基线资料

6例患者的平均年龄(51.5 ± 13.7)岁, 5例为男性。6例患者均合并高血压, 糖尿病、肺部感染、肾功能不全、肾病综合征各1例。5例患者有吸烟史。病变类型分布为: 主动脉夹层4例(66.7%), 主动脉弓部动脉瘤1例(16.7%), 穿透性主动脉溃疡1例(16.7%)。主动脉弓分型显示: 3例(50.0%)为I型主动脉弓, 其弓上三支分支动脉(IA、LCCA及LSA)均起源于主动脉弓大弯侧同一平面; 另3例(50.0%)为II型主动脉弓, IA起源于主动脉弓大弯侧与小弯侧移行区。椎动脉

优势型评估显示: 3例(50.0%)存在左侧椎动脉优势型供血, 无单发左椎动脉解剖变异(表1)。

表1 6例患者的基线资料

Table 1 Baseline characteristics of the 6 patients

资料	数值
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	51.5±13.7
男性[n(%)]	5(83.3)
合并症[n(%)]	
高血压	6(100.0)
糖尿病	1(16.7)
肺部感染	1(16.7)
肾功能不全	1(16.7)
肾病综合征	1(16.7)
吸烟史[n(%)]	5(83.3)
主动脉疾病类型[n(%)]	
主动脉夹层	4(66.7)
主动脉弓部动脉瘤	1(16.7)
穿透性主动脉溃疡	1(16.7)
主动脉弓类型[n(%)]	
I型	3(50.0)
II型	3(50.0)
左椎动脉[n(%)]	
左椎动脉优势	3(50.0)
左椎动脉均衡	3(50.0)

2.2 手术相关资料

6例患者均在全麻下采用Castor分支型主动脉覆膜支架重建LCCA, 其中, 3例患者同期行LSA血运重建, 包括: 1例左椎动脉优势型患者行LSA原位开窗+支架植入术; 1例合并左前臂自体动静脉瘘的尿毒症患者先行LSA栓塞, 继行LCCA-LSA转流术; 1例左椎动脉优势型患者先行LSA栓塞, 继行LCCA-LSA转流术。其余3例未行LSA重建患者中, 1例左椎动脉优势患者因个人意愿拒绝同期行LSA血运重建, 余2例患者非左椎动脉优势。以上数据及每例患者的Castor分支型支架型号、分支架型号及解剖数据[包括IA前缘及后缘直径(A1、A2)、LSA直径(A3)、IA后缘至LCCA前缘的距离(L1)、IA直径(L2)、LCCA直径(L3)]等资料见表2。平均手术时间为155.8 min, 技术成功率为100%, 术后30 d内无死亡病例, 未发生脑卒中、截瘫、内漏、逆撕A型夹层、支架移位及上肢缺血等严重并发症。

表2 6例患者疾病类型、解剖参数及支架与手术资料

Table 2 Disease types, anatomical parameters, and stent and procedural details of the six patients

患者编号	病变类型	A1 (mm)	A2 (mm)	A3 (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	Castor分支型支架型号 (mm)	烟囱支架型号 (mm)
1	主动脉夹层	33	28	9.5	6	12.4	8	32/26/10/200/25/15	Fluency 14/40
2	穿透性溃疡	42.8	39.8	11.0	5.7	12.8	8.7	44/38/10/200/25/10	Fluency 14/40
3	动脉瘤	34.9	32	8.7	6.5	12.5	8.5	36/30/10/200/25/15	Fluency 14/40
4	主动脉夹层	30.3	29.5	9.2	3.5	11.6	8.8	34/28/10/200/25/15	Fluency 13.5/40
5	主动脉夹层	30.1	29	7.5	3	12.4	8	32/26/10/200/25/15	Fluency 14/60
6	主动脉夹层	32.4	29.9	7.2	3.8	12.0	7.6	34/28/10/200/25/15	Fluency 13.5/40

表2 6例患者疾病类型、解剖参数及支架与手术资料(续)

Table 2 Disease types, anatomical parameters, and stent and procedural details of the six patients (continued)

患者编号	椎动脉优势	是否重建	LSA处理方式	人工血管型号(mm)	手术时间(min)
1	等	是	先行LSA栓塞,继行LCCA-LSA转流	6	190
2	左	是	LSA原位开窗+支架植入	—	160
3	等	否	LSA栓塞	—	115
4	右	否	LSA栓塞	—	100
5	左	否	LSA栓塞	—	110
6	左	是	先行LSA栓塞,继行LCCA-LSA转流	6	260

2.3 随访结果

所有患者均完成随访,中位随访时间13(11~15)个月,结果显示,随访期间无主要不良心脑血管事件、截瘫、内漏、支架相关新发破口、逆

撕性A型主动脉夹层以及上肢缺血。影像学检查显示所有重建后的IA、LCCA、LSA及桥血管通畅率100%,未发现狭窄或闭塞征。典型患者的影像学资料见(图1-2)。

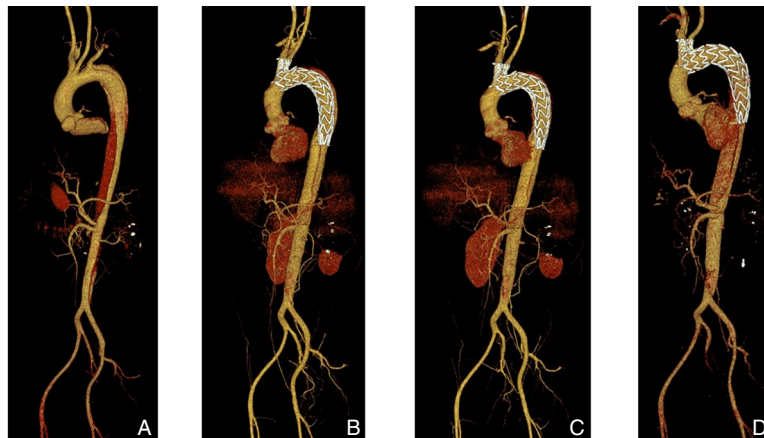


图1 典型患者CTA图像 A:术前;B:术后即刻;C:术后1个月;D:术后12个月

Figure 1 Representative CTA images of a typical patient A: Preoperative image; B: Immediate postoperative image; C: One-month postoperative follow-up; D: Twelve-month postoperative follow-up

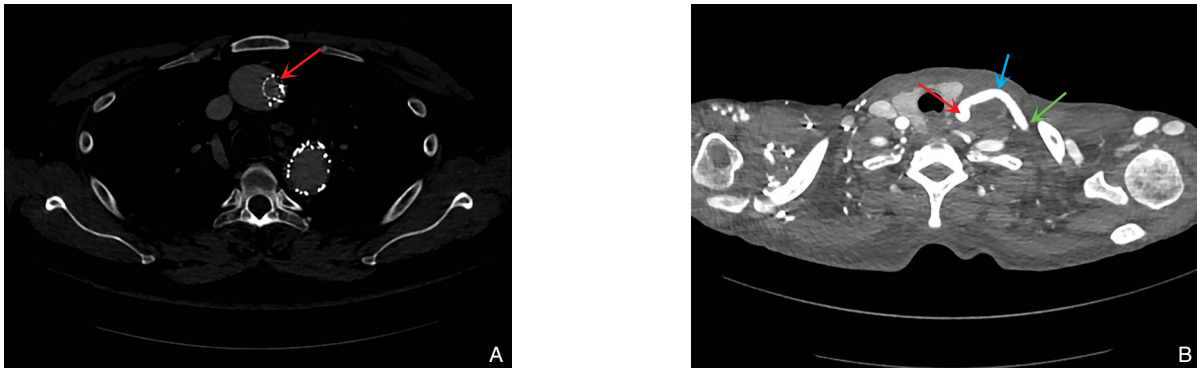


图2 代表性CT图像 A: TEVAR近端“日偏食样”结构(红色箭头); B: 术后随访显示LCCA-LSA人工血管转流术后后流畅通(红色箭头指示LCCA, 绿色箭头指示LSA, 蓝色箭头指示桥血管)

Figure 2 Representative CT images A: "Partial solar eclipse-like" configuration at the proximal landing zone after TEVAR (shown by red arrow); B: Follow-up imaging showing patent blood flow after LCCA-LSA bypass grafting (red arrow indicates the LCCA, green arrow indicates the LSA, and blue arrow indicates the bypass graft)

3 讨论

根据主动脉弓解剖学特征及弓上分支血管的解剖定位, 主动脉弓及近端降主动脉通常被划分为Z0~Z3区, 其中Z0区特指主动脉瓣远端开始至IA后缘之间的解剖区域。常规TEVAR常用于有足够健康锚定区的Z3区及以远的主动脉病变, 然而, 对于锚定区位于Z0区的复杂病变, 需同期重建弓上三支血管, 常规TEVAR难以满足临床需求。为应对缺乏专用支架移植物进行主动脉Z0区TEVAR的挑战, 已发展出多种手术技术和新型装置, 目前临床上应用的治疗策略包括: (1) 杂交手术技术; (2) 多烟囱支架技术; (3) 多分支开窗技术(原位开窗/体外开窗); (4) 定制多分支架技术。现有文献报道显示, 以上技术均能达到良好的近期治疗效果^[12-15]。然而, 各技术方案仍存在显著局限性。

杂交手术技术相较于传统开胸手术通过降低操作复杂度与组织创伤程度, 但其围手术期死亡率及并发症发生率仍居高不下^[16-17]。烟囱支架技术由于主体支架、分支支架与主动脉壁之间存在的“缝隙”, 该技术存在较高的Ia型内漏发生率(16%~20.1%)^[18-19], 且主动脉弓上分支远期闭塞率也可达4%~12.7%^[18]。而针对重建多分支的主动脉弓部病变, 临床数据显示单烟囱技术、双烟囱技术、三烟囱技术内漏概率逐步呈递增趋势^[20-21]。开窗技术因其短期及长期并发症发生率显著低于烟囱技术在临床中广泛应用^[22]。然而开窗操作对支架系统结构稳定性及密封性的影响尚不明确, 尤其在需多分支开窗的复杂解剖条件下^[23]。尽管

定制多分支支架在满足个体化需求及实现多分支腔内重建方面具有潜力, 但其较长的生产周期限制了在急诊情况下的应用; 高昂的制造成本及对专业技术知识的严苛要求显著制约了其可及性, 导致目前仅有少数医疗中心能提供该治疗, 尚未达到普及程度^[24]。

Castor分支型主动脉覆膜支架作为目前唯一能隔绝主动脉病变同时保持弓上分支血流通畅的一体化单分支支架, 多项研究证实其在Z2区TEVAR具有可靠的安全性和有效性, 技术成功率可达90.48%~100%, 中远期分支通畅率(93%~98.8%)及假腔血栓化率(97.1%~100%)均较理想, 且逆撕性A型夹层发生率低^[25-27]。此外, 应用Castor分支型支架重建LCCA在Z1区TEVAR中展现出潜力^[19,28-29], 但其单独应用于Z0区TEVAR常需联合其他技术重建IA, 因此, 本研究提出应用于Z0区TEVAR的创新联合策略: 通过Castor分支重建LCCA, 联合烟囱支架技术重建IA, 并基于术前CTA评估的椎动脉优势及后循环灌注状况评估是否同期LSA重建。

脑卒中是Z0区TEVAR的致命并发症, 与单分支重建相比, 多分支重建具有更高的卒中风险^[30], 理论上, 该风险的增加与操作导丝、部署支架系统于多个血管分支所伴随的技术复杂性及时间延长有关。本研究中全组技术成功率100%, 平均手术时间155.8 min, 术后即刻拔管率100%, 所有患者术后1周内均顺利出院。通过联合应用烟囱技术、血管转流术等多种技术策略, 围手术期未发

生脑卒中,随访期间亦未出现迟发性神经系统并发症。进一步分析表明,Castor分支型主动脉覆膜支架重建LCCA联合IA烟囱支架技术可进一步延伸近端锚定区至Z0区的技术方案初步可行。但本研究随访时间相对较短,中位随访时间仅为13个月,尚不足以评估其长期疗效及并发症发生率。

逆撕性A型夹层是Z0区TEVAR的关键风险。研究^[31]指出虽然Z0区TEVAR为管理复杂主动脉弓病变提供了一种微创方法,但随着在主动脉内操作频率的增加,内膜损伤的风险升高,并且由于血流动力学改变和主动脉内结构变化,逆撕A型夹层的风险也随之增加。尽管Castor的近端裸支架设计具有理论优势,并且在这个有限的样本组中未出现逆撕性A型夹层,但极小的样本量和较短的随访时间使得无法就这种设计在Z0区的TEVAR中的疗效得出任何结论,仍然需要多中心、大样本及更长时间的随访才能进行初步的风险评估。

内漏亦是主动脉弓病变多分支重建术的关键挑战,其发生率直接影响手术预后。而本研究中采用的手术方式,IA烟囱支架与Castor分支型主动脉覆膜支架近端可构成轻度受压的“日偏食样”结构,该形态学特征可有效维持IA及主动脉血流动力学稳定。相较于传统平行支架技术,本研究中采用的手术方式通过优化支架-自体血管结构空间关系,可能减少支架与动脉壁间的无效腔,潜在降低I型内漏发生率^[32]。Castor支架独特的一体化设计也在一定程度上减少了II型内漏的发生率,此外本术式未对支架的结构做出任何改造,理论上消除了III型内漏的发生率。需特别强调的是,本研究对内漏的评估存在显著局限:受限于极小样本量和较短的随访时间,零内漏结果无法反映该技术的真实风险,尤其难以评估烟囱技术相关的Ia型内漏;此外,缺乏独立盲法影像学评估可能引入主观偏倚,而“日偏食样”结构的血流动力学稳定性仅为理论推测,未经计算流体力学模拟或长期影像验证。这些因素共同制约了内漏预防效应的客观评价。

尽管本研究为小样本探索性分析,未设立直接对照组,但将本技术路径与当前Z0区主流技术进行对比,对于理解其潜在价值与定位至关重要。目前,应用定制多分支支架(如上述新型一体三支架^[13])是实现解剖学上最理想重建的方式,但其价格昂贵、定制周期长,限制了急诊应

用与广泛普及。相比之下,本研究所采用的“Castor单分支+烟囱”策略,利用了成熟的商业化组件,具备即取即用、成本相对可控的优势,尤其适用于无法等待定制周期的紧急或亚紧急病例。与多开窗技术(无论是体外或原位开窗)相比,本技术保留了Castor支架的一体化结构完整性,避免了开窗操作可能带来的覆膜损伤、疲劳风险以及III型内漏的潜在风险;其劣势在于仍需依赖1枚平行支架,理论上仍存在“gutter”相关Ia型内漏的风险,且对近端锚定区形态要求更为严格。相较于杂交手术,本技术完全通过腔内完成,创伤更小,避免了开胸手术相关的全身性并发症。因此,该联合技术可被视为介于定制多分支支架、多开窗技术与杂交手术之间的一种“中庸”但实用的解决方案,其在简化操作、降低成本和保证主动脉弓上双分支(LCCA与IA)可靠重建之间寻求了平衡。然而,必须承认,其长期可靠性,特别是烟囱支架的通畅性与内漏风险,仍需与上述成熟技术进行前瞻性对比研究来最终确认。

此外,本研究的局限性必须予以充分重视:首先,极小的样本量($n=6$)限制了统计效力,而中位随访时间13个月远不足以评估TEVAR的远期疗效(通常需 ≥ 5 年),具体而言,低发生率但后果严重的事件(如逆撕性A型主动脉夹层)在本研究中未发生,但这不能完全排除其在更大群体和更长时间随访中出现;同样,分支支架(包括Castor分支与烟囱支架)的长期通畅性、内漏(尤其是与烟囱技术相关的Ia型内漏)的发生风险,均有待于更长时间的影像学随访监测来揭示;再者,严格的病例筛选标准(排除LCCA钙化/狭窄、近端锚定区直径 ≤ 40 mm等)使人群局限于理想解剖亚组,存在显著选择偏倚;最后,缺失对照组使结果无法与现有技术(如杂交手术、多开窗技术以及定制多分支支架技术)进行风险收益比较。因此,当前结论仅反映技术操作在特定条件下的初步可行性,未来需要通过前瞻性、多中心、大样本的队列研究或注册研究,并进行长期随访,以全面评估该技术的安全性与远期疗效。

在锚定区直径 ≤ 40 mm且无严重钙化、LCCA直径 ≤ 12 mm的严格筛选患者中,应用Castor分支型支架重建LCCA联合IA烟囱支架技术进行Z0区TEVAR具备初步操作可行性,短期随访显示分支通畅率良好。然而,受限于极小样本量($n=6$)及

较短随访期（中位随访时间13个月），本研究无法对该技术相关的远期风险（如逆撕性A型夹层、分支支架闭塞及内漏）作出明确判断，该结果不足以支持任何安全性结论。当前该技术应严格限于经验丰富中心开展的探索性研究，其临床推广需前瞻性大样本长期随访研究验证。

作者贡献声明：张雷负责论文设计、论文撰写；夏德芎负责论文数据收集、数据分析；李全明、黎明、何昊、李睿负责数据分析；李鑫、舒畅负责论文指导、论文修改及论文最终审阅。

利益冲突：所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- [1] Rocha RV, Lindsay TF, Friedrich JO, et al. Systematic review of contemporary outcomes of endovascular and open thoracoabdominal aortic aneurysm repair[J]. *J Vasc Surg*, 2020, 71(4):1396-1412. doi:10.1016/j.jvs.2019.06.216.
- [2] Kavanagh EP, Sultan S, Jordan F, et al. Hybrid repair versus conventional open repair for aortic arch dissection[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2021, 7(7):CD012920. doi:10.1002/14651858.CD012920.pub2.
- [3] 蔡宇宸, 陈鑫, 王晓棣. 主动脉弓部病变的外科治疗现状[J]. *医学研究杂志*, 2021, 50(8):162-165. doi:10.11969/j.issn.1673-548X.2021.08.037.
Cai YC, Chen X, Wang XD. The current status of surgical treatment for aortic arch lesions[J]. *Journal of Medical Research*, 2021, 50(8):162-165. doi:10.11969/j.issn.1673-548X.2021.08.037.
- [4] Yuan X, Mitsis A, Tang YD, et al. The IRAD and beyond: what have we unravelled so far?[J]. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 67(1):146-153. doi:10.1007/s11748-017-0817-6.
- [5] Upchurch GR Jr, Escobar GA, Azizzadeh A, et al. Society for Vascular Surgery clinical practice guidelines of thoracic endovascular aortic repair for descending thoracic aortic aneurysms[J]. *J Vasc Surg*, 2021, 73(1):55S-83S. doi:10.1016/j.jvs.2020.05.076.
- [6] 朱凡, 郭媛媛, 李慧, 等. 单分支主动脉覆膜支架修复伴锚定区不足的急性Stanford B型夹层:附8例报告[J]. *中国普通外科杂志*, 2021, 30(12):1403-1410. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2021.12.003.
Zhu F, Guo YY, Li H, et al. Single-branched stent graft for repair of Stanford B aortic dissections with inadequate landing zone: a report of 8 cases[J]. *China Journal of General Surgery*, 2021, 30(12):1403-1410. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2021.12.003.
- [7] 张楠, 曹辉, 秦晶, 等. Castor分支一体化支架治疗主动脉夹层及动脉瘤的临床分析[J]. *实用癌症杂志*, 2023, 38(3):454-457. doi:10.3969/j.issn.1001-5930.2023.03.026.
Zhang N, Cao H, Qin J, et al. Clinical Analysis of Castor Branch Integrated Stent in the Treatment of Aortic Dissection and Aneurysm[J]. *The Practical Journal of Cancer*, 2023, 38(3):454-457. doi:10.3969/j.issn.1001-5930.2023.03.026.
- [8] 方敏, 张昊, 张雷, 等. Castor单分支支架腔内治疗Stanford B型主动脉夹层单中心回顾性研究[J]. *中国普通外科杂志*, 2024, 33(6):901-908. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.06.005.
Fang M, Zhang H, Zhang L, et al. Endovascular treatment of type B aortic dissection with the Castor single-branched stent: a single-center retrospective study[J]. *China Journal of General Surgery*, 2024, 33(6):901-908. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.06.005.
- [9] 孙文超, 刘涛, 裴长安, 等. Castor支架在主动脉弓病变中重建左颈总动脉的可行性和有效性研究[J]. *中国普通外科杂志*, 2024, 33(6):909-917. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.06.006.
Sun WC, Liu T, Pei CA, et al. Feasibility and efficacy of using Castor stent for reconstruction of the left common carotid artery in aortic arch lesions[J]. *China Journal of General Surgery*, 2024, 33(6):909-917. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.06.006.
- [10] Guo W, Song C, Bao J, et al. A novel endovascular robotic system for treatment of lower extremity peripheral arterial disease: first-in-human experience[J]. *J Endovasc Ther*, 2025, 32(1):18-28. doi:10.1177/15266028231182027.
- [11] Song C, Xia S, Zhang L, et al. A novel endovascular robotic-assisted system for endovascular aortic repair: first-in-human evaluation of practicability and safety[J]. *Eur Radiol*, 2023, 33(11):7408-7418. doi:10.1007/s00330-023-09810-x.
- [12] Zhu L, Li X, Lu Q. A systematic review and meta-analysis of thoracic endovascular aortic repair with the proximal landing zone 0[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2023, 10:1034354. doi:10.3389/fcvm.2023.1034354.
- [13] Kudo T, Kuratani T, Shirakawa Y, et al. Comparison of the outcomes of total endovascular aortic arch repair between branched endograft and chimney endograft technique in zone 0 landing[J]. *J Endovasc Ther*, 2022, 29(3):427-437. doi:10.1177/15266028211059912.
- [14] Kudo T, Kuratani T, Shimamura K, et al. Long-term results of hybrid aortic arch repair using landing zone 0: a single-centre study[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2021, 59(6):1227-1235. doi:10.1093/ejcts/ezab016.
- [15] 舒畅, 何昊, 李全明, 等. 新型一体三分支支架系统用于主动脉弓部病变的FIM研究[J]. *中国普通外科杂志*, 2023, 32(6):824-831. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2023.06.003.

- Shu C, He H, Li QM, et al. First-in-man study of a novel integrated supra-arch branched stent-graft system for aortic arch lesions[J]. *China Journal of General Surgery*, 2023, 32(6): 824–831. doi: [10.7659/j.issn.1005-6947.2023.06.003](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.2023.06.003).
- [16] Yoshitake A, Hachiya T, Okamoto K, et al. Postoperative stroke after debranching with thoracic endovascular aortic repair[J]. *Ann Vasc Surg*, 2016, 36:132–138. doi:[10.1016/j.avsg.2016.02.039](https://doi.org/10.1016/j.avsg.2016.02.039).
- [17] Zhan Y, Kooperkamp H, Lofftus S, et al. Conventional open versus hybrid aortic arch repair: a meta-analysis of propensity-matched studies[J]. *J Thorac Dis*, 2021, 13(8):4714–4722. doi:[10.21037/jtd-21-183](https://doi.org/10.21037/jtd-21-183).
- [18] Ding H, Liu Y, Xie N, et al. Outcomes of chimney technique for preservation of the left subclavian artery in type B aortic dissection[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2019, 57(3):374–381. doi: [10.1016/j.ejvs.2018.09.005](https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2018.09.005).
- [19] Scurto L, Peluso N, Pascucci F, et al. Type 1A endoleak after TEVAR in the aortic arch: a review of the literature[J]. *J Pers Med*, 2022, 12(8):1279. doi:[10.3390/jpm12081279](https://doi.org/10.3390/jpm12081279).
- [20] Wang T, Shu C, Li M, et al. Thoracic endovascular aortic repair with single/double chimney technique for aortic arch pathologies[J]. *J Endovasc Ther*, 2017, 24(3):383–393. doi:[10.1177/1526602817698702](https://doi.org/10.1177/1526602817698702).
- [21] Wang L, Huang Y, Guo D, et al. Application of triple-chimney technique using C-TAG and Viabahn or Excluder iliac extension in TEVAR treatment of aortic arch dilation diseases[J]. *J Thorac Dis*, 2018, 10(6):3783–3790. doi:[10.21037/jtd.2018.06.105](https://doi.org/10.21037/jtd.2018.06.105).
- [22] 舒畅, 李鑫, 李全明, 等. 支架自显影定位法体外开窗技术在主动脉弓部腔内修复术中的应用:附113例国际多中心病例回顾性分析[J]. *中国普通外科杂志*, 2020, 29(12):1426–1434. doi:[10.7659/j.issn.1005-6947.2020.12.003](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.2020.12.003).
- Shu C, Li X, Li QM, et al. Application of self-radiopaque markers guiding physician-modified fenestration in aortic arch endovascular repair: an international multi-center retrospective analysis of 113 cases[J]. *China Journal of General Surgery*, 2020, 29(12): 1426–1434. doi:[10.7659/j.issn.1005-6947.2020.12.003](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.2020.12.003).
- [23] Kopp R, Katada Y, Kondo S, et al. Multicenter analysis of endovascular aortic arch in situ stent-graft fenestrations for aortic arch pathologies[J]. *Ann Vasc Surg*, 2019, 59:36–47. doi:[10.1016/j.avsg.2019.02.005](https://doi.org/10.1016/j.avsg.2019.02.005).
- [24] Lei Y, Chen X, Li Z, et al. A new process for customized patient-specific aortic stent graft using 3D printing technique[J]. *Med Eng Phys*, 2020, 77:80–87. doi:[10.1016/j.medengphy.2019.12.002](https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2019.12.002).
- [25] Żołnierczuk M, Rynio P, Rybicka A, et al. Initial multicenter experience with the new Castor arch branched device in Europe: a middle-term results study[J]. *J Endovasc Ther*, 2024: 15266028241304307. doi:[10.1177/15266028241304307](https://doi.org/10.1177/15266028241304307).
- [26] Jing Z, Lu Q, Feng J, et al. Endovascular repair of aortic dissection involving the left subclavian artery by Castor stent graft: a multicentre prospective trial[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2020, 60(6):854–861. doi:[10.1016/j.ejvs.2020.08.022](https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2020.08.022).
- [27] Li X, Zhou Q, Li C, et al. Thoracic endovascular aortic repair with unibody single-branched stent-graft for type B aortic dissection: a real-world multicenter study[J]. *Int J Surg*, 2025, 111(1):941–949. doi:[10.1097/js9.0000000000002029](https://doi.org/10.1097/js9.0000000000002029).
- [28] Ren J, Chen Y, Erdemutu E, et al. Midterm outcomes of multicenter Castor single-branch stent graft use in the treatment of thoracic aortic diseases[J]. *J Endovasc Ther*, 2025, 32(6):2105–2114. doi: [10.1177/15266028241234500](https://doi.org/10.1177/15266028241234500).
- [29] Luo ZR, Zhang JX, Huang ZY, et al. Endovascular repair of aortic pathologies involving the aortic arch using Castor stent-graft combined with in-vitro fenestration technology[J]. *BMC Cardiovasc Disord*, 2023, 23(1): 107. doi: [10.1186/s12872-023-03138-6](https://doi.org/10.1186/s12872-023-03138-6).
- [30] Liu M, Wu X, Wu S, et al. Comparison of chimney and fenestrated techniques for supra-aortic branch revascularization during thoracic endovascular aortic repair: a systematic review and meta-analysis[J]. *CardioVascular Interv Radiol*, 2023, 46(10): 1315–1328. doi:[10.1007/s00270-023-03537-4](https://doi.org/10.1007/s00270-023-03537-4).
- [31] Isselbacher EM, Preventza O, Hamilton Black J 3rd, et al. 2022 ACC/AHA guideline for the diagnosis and management of aortic disease A report of the American Heart Association/American College of Cardiology Joint Committee on Clinical Practice Guidelines[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2023, 166(5):e182–e331. doi:[10.1016/j.jtcvs.2023.04.023](https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2023.04.023).
- [32] Fang J, Tian C, Chen D, et al. Efficacy of endovascular repair using single left common carotid artery stent combined with Castor single-branched stent-graft in the treatment of regional diseases of zone 2 of the aorta[J]. *J Endovasc Ther*, 2025, 32(4): 1205–1213. doi:[10.1177/15266028231224249](https://doi.org/10.1177/15266028231224249).

(本文编辑 宋涛)

本文引用格式:张雷,李睿,李全明,等.应用Castor分支型支架联合无名动脉烟囱技术行Z0区TEVAR的初步临床研究[J].*中国普通外科杂志*, 2025, 34(12): 2577–2585. doi: [10.7659/j.issn.1005-6947.250429](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.250429)

Cite this article as: Zhang L, Li R, Li QM, et al. Preliminary clinical experience of zone 0 TEVAR using a Castor branched stent-graft combined with the innominate artery chimney technique[J]. *Chin J Gen Surg*, 2025, 34(12): 2577–2585. doi: [10.7659/j.issn.1005-6947.250429](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.250429)