

心外科

# Castor 支架结合开窗技术治疗主动脉弓部动脉瘤临床应用及效果分析\*

马宪鲁<sup>1,2</sup> 李祥<sup>1</sup> 张培喜<sup>1</sup> 谢琦<sup>3</sup> 陈远翔<sup>3</sup> 王韧<sup>3,4</sup>

**[摘要]** 目的:探讨 Castor 支架结合体外预开窗技术治疗累及 Z1 区、Z2 区的主动脉弓部动脉瘤的临床应用及效果。方法:回顾性分析 2021 年 6 月—2023 年 6 月主动脉弓部瘤接受 Castor 支架手术患者 32 例。其中主动脉弓部真性动脉瘤 14 例,主动脉弓部夹层动脉瘤 18 例。Castor 支架分支仅应用于左锁骨下动脉且未合并其他手术作为单纯手术组(23 例),Castor 支架分支应用于左颈总动脉且左锁骨下动脉开窗重建为开窗手术组(9 例)。结果:32 例患者手术成功率为 100%。术后并发症 1 例(1/32, 3.12%),发生在开窗手术组(1/9, 11.11%),患者术后 1 d 出现脑梗死,表现为右下肢肌力降低(肌力 0/1 级)。32 例患者随访 1~24.4 个月,中位随访时间 8 个月,期间 1 例(1/32, 3.12%)患者死亡,发生在单纯手术组(1/23, 4.35%),该患者术前合并食管癌,术后 2 年因营养不良及多器官功能衰竭死亡。术后复查胸主动脉 CTA 单纯手术组瘤体内径(35.3±4.6) mm,开窗手术组瘤体内径(33.2±3.9) mm,均较术前明显降低(均  $P < 0.05$ )。结论:Castor 支架技术结合开窗技术治疗累及 Z1 区、Z2 区的主动脉弓部瘤病变疗效确切,具有一定的安全性。

**[关键词]** Castor 支架;开窗技术;主动脉弓部动脉瘤;临床应用

**DOI:**10.13201/j.issn.1001-1439.2024.05.010

**[中图分类号]** R654.3 **[文献标志码]** A

## Clinical application and effect of Castor stent combined with fenestration technique in the treatment of aortic arch aneurysm

MA Xianlu<sup>1,2</sup> LI Xiang<sup>1</sup> ZHANG Peixi<sup>1</sup> XIE Qi<sup>3</sup> CHEN Yuanxiang<sup>3</sup> WANG Ren<sup>3,4</sup>

(<sup>1</sup>Department of Cardiovascular Surgery, Jining NO. 1 People's Hospital, Jining, Shandong, 272011, China; <sup>2</sup>Shengli Clinical College of Fujian Medical University; <sup>3</sup>Department of Cardiovascular Surgery, Fujian Provincial Hospital; <sup>4</sup>Department of Cardiovascular Surgery, Renji Hospital, School of Medicine, Shanghai Jiao Tong University)

Corresponding author: ZHANG Peixi, E-mail: zhangpeixiCVS@163.com

**Abstract Objective:** To investigate the clinical application and effects of Castor stent combined with in vitro pre-fenestration technique in treating aortic arch aneurysms involving Z1 and Z2 zones. **Methods:** Thirty-two patients with aortic arch aneurysms who underwent Castor stent surgery from June 2021 to June 2023 were retrospectively analyzed. There were 14 patients with true aortic arch aneurysms and 18 patients with dissected aortic arch aneurysms. The Castor stent branch was applied to the left subclavian artery only and was not combined with other operations as the simple surgery group ( $n=23$ ). The Castor stent branch was applied to the left common carotid artery and the left subclavian artery was reconstructed as the fenestration surgery group ( $n=9$ ). **Results:** The surgical success rate of 32 patients was 100%. Postoperative complications occurred in 1 case (1/32, 3.12%), which occurred in the fenestrated surgery group (1/9, 11.11%). Cerebral infarction occurred in the patient one day after surgery and was manifested as decreased muscle strength of the right lower limb (grade 0/1 muscle strength). All patients were followed up for 1–24.4 months, with a median time of 8 months. During the follow-up period, 1 patient died (1/32, 3.12%), which occurred in the simple surgery group (1/23, 4.35%). The patient was diagnosed with esophageal cancer before surgery and died 2 years after surgery due to malnutrition and

\*基金项目:福建省自然科学基金项目(No:2021J05066);济宁市重点研发计划项目(No:2023YXNS194)

<sup>1</sup>济宁市第一人民医院心脏大血管外科(山东济宁,272011)

<sup>2</sup>福建医科大学省立临床医学院

<sup>3</sup>福建省立医院心血管外科

<sup>4</sup>上海交通大学医学院附属仁济医院心血管外科

通信作者:张培喜, E-mail: zhangpeixiCVS@163.com

引用本文:马宪鲁,李祥,张培喜,等. Castor 支架结合开窗技术治疗主动脉弓部动脉瘤临床应用及效果分析[J]. 临床心血管病杂志, 2024, 40(5): 402-406. DOI: 10.13201/j.issn.1001-1439.2024.05.010.

multiple organ failure. The internal diameter of the thoracic aorta was  $(35.3 \pm 4.6)$  mm in the simple surgery group and  $(33.2 \pm 3.9)$  mm in the fenestrated surgery group, which were significantly lower than those before surgery (both  $P < 0.05$ ). **Conclusion:** The castor stent technique combined with the fenestration technique in treating aortic arch tumors involving Z1 and Z2 zones has a definite therapeutic effect and certain safety.

**Key words** Castor stent; prefenestration technique; aortic arch aneurysm; clinical application

主动脉弓是主动脉的横行部位,大部分位于心包外。由于结构复杂,弓上常分出无名动脉(innominate artery, IA)、左颈总动脉(left common carotid artery, LCCA)及左锁骨下动脉(left subclavian artery, LSA)三支。对于累积主动脉弓的疾病,常规的外科手术是主动脉弓置换术,但需要在体外循环及深低温停循环下进行<sup>[1-2]</sup>。虽然该术式几乎适用于所有的主动脉弓部病变,且外科技术、麻醉技术及重症监护技术取得了长足的进步,但文献报道的病死率及神经系统并发症仍在 7%~10%,并且急诊手术是导致患者死亡及重大并发症的危险因素<sup>[3]</sup>。随着微创技术的发展,胸主动脉腔内修复术(thoracic endovascular aortic repair, TEVAR)目前应用于多种主动脉病变,主动脉弓动脉瘤的外科治疗逐步从开放手术向腔内治疗发展<sup>[4-5]</sup>。在接受 TEVAR 的主动脉病变患者中,有近 40%的患者病变累积主动脉弓部,如何有效地建立具有复杂性及多样性的弓部分支血管的处理策略以及降低术后如内漏、通畅率低等并发症是微创治疗主动脉弓的重点及难点<sup>[6]</sup>。目前,重建弓部分支血管的常见方法包括杂交技术、烟囱技术、开窗技术和分支支架技术等,其目的是在获得足够的锚定区的同时,重建分支血管。Castor 支架是一种重建 LSA 的新型国产分支支架,早期应用于 TEVAR 治疗锚定区不足 15 mm 的 Stanford B 型主动脉夹层(type B aortic dissection, TBAD),目前已广泛用于临床<sup>[7]</sup>。但主动脉弓复杂的解剖结构不利于主动脉弓上分支血管的精确定位,分支可出现局部打折、狭窄,增加操作难度及后期分支闭塞的风险<sup>[8]</sup>。福建省立医院心血管外科通过使用 Castor 支架结合开窗技术治疗累及 Z1、Z2 区(Criado 分区)的主动脉弓部动脉瘤,重建 LCCA、LSA,取得较好的治疗效果,现报道如下。

## 1 对象与方法

### 1.1 对象

回顾性分析 2021 年 6 月—2023 年 6 月就诊于福建省立医院心血管外科的主动脉弓部瘤病变患者 32 例,男 26 例,女 6 例,平均年龄  $(69.9 \pm 10.9)$  岁。其中主动脉弓部真性动脉瘤 14 例,瘤体直径  $(43.3 \pm 5.4)$  mm;主动脉弓部夹层动脉瘤 18 例,瘤体直径  $(48.9 \pm 5.4)$  mm。病变累及 Z1 区 9 例,瘤体近端距离 LCCA 远端距离  $(4.1 \pm 2.8)$  mm;病变仅累及 Z2 区 23 例,瘤体近端距离 LSA 远端距离  $(5.2 \pm 3.3)$  mm。

纳入标准:①手术治疗均使用 Castor 分支支架;②疾病均涉及主动脉弓部病变及分支血管,动脉瘤累及主动脉弓 Z1 区或 Z2 区。排除标准:①股动脉及髂动脉直径过小或钙化明显,难以允许 Castor 分支支架通过;②手术涉及升主动脉、主动脉根部病变需常规正中开胸;③合并马方综合征、大动脉炎等自身免疫性疾病;④存在心率或血压等生命体征不稳定的情况。本次研究患者基础合并症:高血压病 22 例,肺部炎症 6 例,冠心病 4 例,心房颤动 5 例,脑梗死 4 例,糖尿病 10 例,肾功能不全 5 例。其他合并症包括食管癌全身转移、肝功能不全、呼吸衰竭、心包积液、胸腔积液、慢性阻塞性肺疾病、腹股沟斜疝、痛风及胆囊结石等。本研究已获得福建省立医院伦理委员会审查同意(No:伦理科研第[K2022-05-024])。

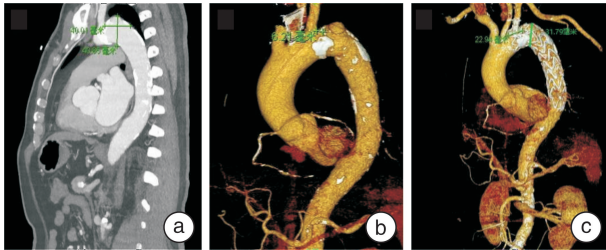
### 1.2 手术方法

32 例患者均接受 Castor 支架治疗主动脉弓部动脉瘤相关疾病,同时部分患者同期接受术前预开窗技术。将 Castor 支架分支仅应用于 LSA 且未合并其他手术患者作为单纯手术组(23 例),Castor 支架分支应用于 LCCA 且 LSA 开窗重建患者为开窗手术组(9 例)。

所有患者术前均常规完善术前实验室检查,完善心电图、心脏超声、冠状动脉(冠脉)CTA 检查排除冠脉病变及结构性心脏病变。术前诊断为主动脉夹层动脉瘤患者给予镇静、镇痛及控制血压(收缩压  $\leq 120$  mmHg, 1 mmHg = 0.133 kPa)、心率 ( $\leq 80$  次/min)等内科保守治疗,主动脉瘤样扩张患者重点在于控制血压(收缩压  $\leq 120$  mmHg)。所有患者术前均行胸腹主动脉 CTA 检查,评估病变特点,包括病变位置、弓部锚定区情况、夹层破口位置、受累分支情况及范围,通过检查结果精确测量主动脉弓的投照角度、分支血管距离、分支血管直径、主动脉弓部直径及降主动脉直径。手术均采用全身麻醉,手术过程均在飞利浦心血管系统 Al-luraXperFD20 的 Hybrid 手术室完成。

Castor(LSA)单纯手术:切开皮肤及皮下组织,显露左侧股动脉,充分游离备用,经皮逆行穿刺左肱动脉,植入 7F 穿刺鞘,右侧股动脉穿刺后置入 6F 动脉鞘,左侧股动脉 Seldinger 法穿刺后植入 14F 动脉鞘。右侧股动脉置入泥鳅导丝及造影导管;左侧股动脉置入泥鳅导丝及猪尾导管至主动脉窦部,交换超硬导丝,左侧肱动脉置入泥鳅导丝及单弯导管,下行后超选至左侧股动脉鞘内,撤出导

丝,建立左肱动脉-左股动脉通道。左肱动脉-左股动脉通道置入分支支架导丝,超硬导丝引导下植入 Castor 支架于主动脉弓,近端定位于 LCCA,分支定位于左锁骨下动脉,释放支架。再次行升主动脉造影,提示支架位置良好,再次造影提示主动脉弓三分支显影良好,未见造影剂外漏,腹腔血管显影良好。退出鞘管及输送鞘,左侧肱动脉穿刺点及腹股沟穿刺点加压包扎。见图 1。

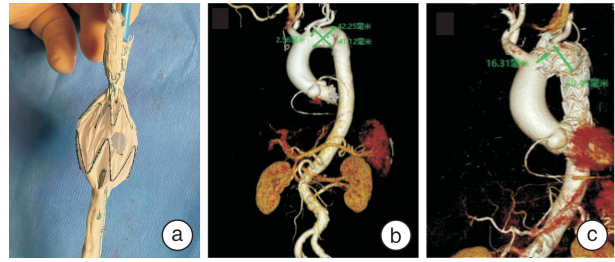


a: 术前胸主动脉矢状位主动脉弓部瘤内径大小 40.85 mm; b: 术前胸主动脉三维重建瘤体累及 Z2 区,瘤体近端距离 LSA 远端 6.21 mm; c: 术后胸主动脉三维重建瘤体内径大小 31.79 mm,瘤体近端锚定区 22.94 mm。

图 1 单纯手术组患者手术前后图像

Figure 1 Preoperative and postoperative images of a patient in the simple surgery group

开窗手术: Castor 支架分支血管置入 LCCA, LSA 予开窗技术处理。经穿刺左肱动脉,植入 7F 动脉鞘,切开左侧颈部切口,充分暴露 LCCA,置入 8F 鞘管;右侧腹股沟切口充分暴露右侧股动脉,置入 6F 鞘管。左侧肱动脉置入“泥鳅”导丝及造影导管至于升主动脉。取 Castor 支架,行体外开窗术:后撤部分外管和软鞘,露出部分支架;解开部分束缚线圈,放出部分支架;根据术前测量结果,将分支支架作为左颈总动脉开口的相对位置,据此标记左锁骨下动脉的开口位置;使用刀片破开覆膜,进行开窗;将支架原样退回软鞘和外管中,完成安装。LCCA 置入“泥鳅”导丝及单弯导管,导管引导下置入泥鳅导丝至真腔,下行后超选至右侧股动脉鞘内,将导丝及单弯导管一并由右股动脉拉出,撤出导丝,建立 LCCA-右股动脉通道,置入分支支架导丝,超硬导丝引导下植入 Castor 分支支架于主动脉弓,近端定位于 RCCA 开口远端,分支定位于 LCCA,释放支架前端。左侧肱动脉置入导丝、导管,经开窗位置进入支架内,确认开窗位置准确定位于 LSA,完全释放支架,造影提示支架位置形态良好,三分支血流通畅。左侧肱动脉交换超硬导丝,于开窗处植入球囊扩张支架,再次行升主动脉造影,退出鞘管及输送鞘。逐层缝合关闭切口,伤口加压包扎。见图 2。



a: 术前体外 Castor 支架预开窗; b: 术前胸主动脉三维重建瘤体累及 Z1 区,瘤体近端距离 LCCA 远端 2.56 mm,瘤体内径大小 41.12 mm; c: 术后胸主动脉三维重建瘤体内径大小 30.45 mm,瘤体近端锚定区 16.31 mm。

图 2 开窗手术组患者手术前后图像

Figure 2 Preoperative and postoperative images of a patient in the fenestration surgery group

### 1.3 术后处理

所有患者接受气管插管全身麻醉,穿刺口在术后徒手按压 20 min 后继续用弹力绷带伤口加压包扎 24 h,根据患者病情选择返回普通病房或 ICU 病房,术后常规给予心电监护、控制血压心率、抗炎、补液等对症治疗。常规术后 1 周进行胸腹主动脉 CTA 复查,排除支架有无狭窄、内漏、扭曲、易位等情况,评估真腔复张、假腔血栓机化及有无破口新发情况,根据患者转归情况办理出院。

### 1.4 并发症及随访事件

术后重点观察:神经系统并发症如缺血性脑卒中、脊髓缺血、肢体麻木、肢体无力等,支架源性新发破口,主动脉夹层逆撕,切口相关并发症,严重脏器功能衰竭或死亡。

患者出院后通过门诊复查方式进行随访,重点关注以下不良事件:死亡,支架内漏、狭窄、闭塞,再次手术干预。

## 2 结果

32 例患者的手术成功率为 100%。术后 CCU 监护时间(21.6±5.8) h。所有患者手术完毕拔出气管插管,无拔管延迟及再次插管。术后住院时间(9.0±5.2) d。术后并发症 1 例,发生在开窗手术组,该患者术后 1 d 出现脑梗死,表现为右下肢肌力降低(肌力 0/1 级),后转康复科功能恢复治疗后好转出院。

术后 1 周常规复查胸腹主动脉 CTA 检查,相关临床数据见表 1。其中,两组术后瘤体部位内径与术前相比均显著缩小(均  $P < 0.05$ )。

通过门诊复查方式对术后出院的 32 例患者进行随访,总体随访率为 100%。随访时间 1~24.4 个月,中位随访时间为 8 个月。随访期间 1 例(3.12%)患者死亡,发生在单纯手术组,该患者术前合并食管癌,术后 2 年因营养不良及多器官功能衰竭死亡。其余患者随访期间未诉胸痛、腹痛、头

晕、头痛及肢体麻木无力等症状,未出现支架内漏、狭窄、缺血性脑卒中及再次干预等。

表 1 患者术后临床资料

Table 1 Postoperative clinical data

项目	例(%), $\bar{X} \pm S$	
	单纯手术组 (23 例)	开窗手术组 (9 例)
手术时间/min	110.4 ± 31.7	156.9 ± 22.5 <sup>1)</sup>
术后并发症	0	1(11.11)
术后 1 周胸腹主动脉 CTA		
瘤体近端锚定区/mm	26.4 ± 2.3	24.1 ± 4.1
术后瘤体部位内径/mm	35.3 ± 4.6	33.2 ± 3.9
支架主体近端内径/mm	33.5 ± 2.0	34.0 ± 2.8
支架主体近端扩大比例/%	16.5 ± 5.8	15.8 ± 5.3
随访死亡	1(4.35)	0

与单纯手术组比较,<sup>1)</sup>  $P < 0.05$ 。

### 3 讨论

目前临床诊疗中,主动脉弓部手术仍是心血管外科医师面临的挑战性工作。主动脉弓部被人为地划分为 4 个区域,Z0 区为窦管交界平面至 IA 起始部远端;Z1 区为 IA 起始部远端至 LCCA 起始部远端的主动脉弓;Z2 区为 LCCA 起始部远端至 LSA 起始部远端的主动脉弓;Z3 区为距 LSA 起始部远端 2 cm 之内的主动脉弓,即主动脉狭部。为保证有效的锚定区,不同的主动脉弓部病变需要重建的弓上血管不同,锚定区位于 Z0 区,需重建 IA、LCCA、LSA;锚定区位于 Z1 区,需重建 LCCA、LSA;锚定区位于 Z2 区,且左椎动脉为优势支者,需重建 LSA。预计锚定区位于 Z1 及 Z2 者,因只需要重建 LCCA、LSA,常无需开胸,仅通过颈部切口分离靶血管并重建即可。而锚地区位于 Z0 者,需重建全部弓上 3 支血管,需要切开胸骨手术<sup>[9]</sup>。

Castor 支架的最初目的是治疗 TBAD 时获得足够锚定区( $\geq 15$  mm)的同时重建 LSA,避免因 LSA 缺血导致的严重并发症如颅内缺血、脊髓缺血、左上肢缺血和内漏等<sup>[10]</sup>。但病变累及主动脉弓部疾病有时需联合开窗技术、杂交技术及烟囱技术等将分支支架用来重建 LCCA 甚至 IA,这就使得 Castor 分支支架需灵活结合其他腔内治疗技术来应对复杂的主动脉弓部病变<sup>[11]</sup>。

由于目前国内外相关研究病例数少,且缺乏远期随访数据。本次回顾性研究的 32 例主动脉弓部动脉瘤患者中,包括真性动脉瘤及夹层动脉瘤,在排除马方综合征、大动脉炎等遗传或自身免疫性疾病外,在 Castor 支架技术基础上结合了开窗技术,能够有效解决复杂的主动脉弓部瘤病变。对于累及 Z2 区主动脉弓部瘤近端至 LSA 远端锚定区不

足 15 mm 的患者, Castor 主体支架近端锚定区位于 LCCA 远端,分支支架重建 LSA,在获得充足锚定区[(26.4 ± 2.3) mm]的同时,有效封闭了瘤体,术后瘤体内径[(35.3 ± 4.6) mm]较前明显缩小。而对于瘤体病变累及到 Z1 区,主动脉弓瘤体近端至 LCCA 远端锚定区不足 15 mm 的患者, Castor 主体支架近端锚定区位于 IA 远端,分支支架重建 LCCA,对于 LSA 采取覆膜支架术前预开窗处理,可以术中同时重建 LCCA、LSA 两根分支血管,术中同样获得丰富的锚定区[(24.1 ± 4.1) mm],术后瘤体内径[(33.2 ± 3.9) mm]缩小,较前明显改善。开窗手术组手术时间多于单存支架组,是因为术中需游离左颈内动脉,同时对支架部分取出进行开窗处理。手术成功率 100%,表明 Castor 分支支架结合开窗技术治疗主动脉弓部动脉瘤具有较好的安全性,能够有效地重建 LCCA、LSA。

研究表明,分支支架独特的一体化结构能够有效避免内漏及远期移位的风险,目前在主动脉溃疡、主动脉瘤及壁间血肿中均有报道<sup>[7,12-13]</sup>。开窗技术可以根据患者解剖形态重建分支血管,大小支架无缝对接,避免支架之间的缝隙以减少内漏的发生<sup>[14]</sup>。当面临分支支架对位不佳、弯折、狭窄及释放困难等情况时,可在分支支架处给予球囊扩张或置入球扩支架予以纠正。分支支架定位于 LCCA 然后开窗重建 LSA 确保左椎动脉血流及脑灌注对于脑梗死患者减少缺血性脑卒中不良事件具有重大意义<sup>[10]</sup>。

对于累及 Z1 区的主动脉弓部病变, Castor 分支支架重建 LSA 联合 LCCA 烟囱支架技术,可以在隔绝主动脉弓部病变的同时,重建主动脉弓上两个分支血管。常规烟囱技术可行性强、适用范围广,通过将主体支架定位于 LCCA 近端区域,在完成主体及分支支架释放同时,配合烟囱支架完成 LCCA 重建。其类似于开窗手术组,但操作中用于释放 Castor 支架的动脉鞘要大于单纯释放烟囱支架的动脉鞘,操作中可能对 LCCA 损伤大,术后压迫止血要求高。同时 Castor 支架释放是往外牵拉覆盖在分支支架的覆盖伞,在操作过程中对伴有动脉粥样硬化的 LCCA 内膜造成损伤,增加远期脑卒中发生率<sup>[15]</sup>。一项关于 234 例主动脉弓患者的回顾性研究显示,术中采取烟囱或开窗术式的效果及安全性无明显差异<sup>[16]</sup>。

Castor 分支支架手术常见的并发症包括缺血性脑卒中、脊髓缺血、肢体麻木无力等神经系统并发症,支架内漏、支架源性新发破口导致主动脉夹层逆撕以及严重脏器功能衰竭或死亡等。本次回顾性研究的 32 例患者中,开窗手术组 1 例患者术后出现脑梗死。缺血性脑卒中是多种腔内修复术常见的术后并发症,目前认为,主动脉弓及弓上分支血管内操作引起的动脉粥样斑块破裂是导致卒

中的主要原因<sup>[17]</sup>。在分支支架技术一项研究表明中,双分支支架置入脑卒中发生率为 33%,三分支支架置入脑卒中发生率为 40%,提示随着分支支架数量的增加,卒中发生风险会明显升高<sup>[18-19]</sup>。Castor 支架在操作期间需要准确定位分支支架位置,无法避免主体支架旋转解脱与分支导丝的缠绕、反复释放及主体支架回退等,主体支架近端与主动脉内壁的病变部位如溃疡、斑块、瘤体夹层内膜片反复摩擦出现部分脱落,增加了患者术后脑卒中的风险。随访不良事件中常涉及死亡以及支架内漏、狭窄、闭塞和再次手术干预等。本研究中,单纯手术组出现 1 例死亡,为术后 2 年食管癌转移导致营养不良及多器官功能衰竭,死因为食管癌相关并发症;其余患者随访期间未诉胸痛、腹痛、头晕、头痛及肢体麻木无力等症状,未出现支架内漏、狭窄、缺血性脑卒中及再次干预等。

综上所述,Castor 支架技术结合开窗技术治疗累及 Z1、Z2 区的主动脉弓部瘤病变疗效确切,能够有效重建主动脉弓上分支血管、隔绝病变部位及减少内漏发生。对于术后并发症及随访不良事件,大多跟患者自身的基础疾病有关。本次研究为单中心回顾性研究,分支支架联合其他腔内技术例数尚少,未来需要大样本量、多中心、长期随访研究来进一步验证。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

## 参考文献

- [1] Ho J, Chow S, Kwok M, et al. Total Aortic Arch Replacement and Frozen Elephant Trunk [J]. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 2021, 33(3): 656-662.
- [2] 张潇文, 李小平, 刘胜中. 经瘤腔内人工血管置换术治疗巨大主动脉弓部瘤 1 例[J]. *临床心血管病杂志*, 2022, 38(9): 764-766.
- [3] Sanphasitvong V, Wongkornrat W, Jantarawan T, et al. Mortality and complications following total aortic arch replacement; 14 years' experience[J]. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*, 2022, 30(6): 679-687.
- [4] Preventza O, Le Huu A, Olive J, et al. Endovascular repair of the ascending aorta: the last frontier[J]. *Ann Cardiothorac Surg*, 2022, 11(1): 26-30.
- [5] Sharaf OM, Kohtz PD, Arnaoutakis GJ. Aortic Arch Repair Using Open and Hybrid Techniques: A Systematic Review[J]. *Innovations (Phila)*, 2022, 17(4): 273-282.
- [6] Sharples L, Sastry P, Freeman C, et al. Endovascular stent grafting and open surgical replacement for chronic thoracic aortic aneurysms: a systematic review and prospective cohort study[J]. *Health Technol Assess*, 2022, 26(6): 1-166.
- [7] Fang C, Wang C, Liu K, et al. Early Outcomes of Left Subclavian Artery Revascularization Using Castor Single-Branched Stent-Graft in the Treatment of Type B Aortic Dissection or Intramural Hematoma[J]. *Ann Thorac Cardiovasc Surg*, 2021, 27(4): 251-259.
- [8] Lu Q. Application and evaluation of branch stent technique in the reconstruction of partial arch branch vessels[J]. *Chin J Practical Surg*, 2018, 38(12): 1369-1373.
- [9] Carrel T, Sundt TM 3rd, Kodolitsch Y, et al. Acute aortic dissection[J]. *Lancet*, 2023, 401(10378): 773-788.
- [10] Tian Y, Wang C, Xie P. Mid-term outcomes of left subclavian artery revascularization with Castor stent graft in treatment of type B aortic dissection in left subclavian artery[J]. *J Interv Med*, 2023, 6(2): 74-80.
- [11] Zhu J, Dai X, Noiniyom P, et al. Fenestrated Thoracic Endovascular Aortic Repair Using Physician-Modified Stent Grafts(PMSGs) in Zone 0 and Zone 1 for Aortic Arch Diseases[J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2019, 42(1): 19-27.
- [12] Huang B, Jia H, Lai H, et al. Outcomes of thoracic endovascular aortic repair for penetrating aortic ulcers involving the left subclavian artery with the Castor single-branched stent graft[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2022, 62(2): ezae102.
- [13] 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.
- [14] D'Oria M, Wanhainen A, DeMartino RR, et al. A scoping review of the rationale and evidence for cost-effectiveness analysis of fenestrated-branched endovascular repair for intact complex aortic aneurysms[J]. *J Vasc Surg*, 2020, 72(5): 1772-1782.
- [15] Okamura H, Arakawa M, Kitada Y, et al. Bail-Out Pull-Through Pull-Back Technique for Accidental Coverage of the Left Common Carotid Artery During Thoracic Endovascular Aortic Repair[J]. *J Endovasc Ther*, 2022, 29(2): 289-293.
- [16] Shu C, Fan B, Luo M, et al. Endovascular treatment for aortic arch pathologies: chimney, on-the-table fenestration, and in-situ fenestration techniques [J]. *J Thorac Dis*, 2020, 12(4): 1437-1448.
- [17] Shah AS, Akhmerov A, Gupta N, et al. Use of a Dual-Filter Cerebral Embolic Protection Device in Thoracic Endovascular Aortic Repair[J]. *Ann Vasc Surg*, 2020, 65: 54. e1-54. e4.
- [18] Tazaki J, Inoue K, Higami H, et al. Thoracic endovascular aortic repair with branched Inoue Stent Graft for arch aortic aneurysms[J]. *J Vasc Surg*, 2017, 66(5): 1340-1348. e5.
- [19] Wong J, Tenorio ER, Lima G, et al. Early Feasibility of Endovascular Repair of Distal Aortic Arch Aneurysms Using Patient-Specific Single Retrograde Left Subclavian Artery Branch Stent Graft[J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2023, 46(2): 249-254.