

# 主动脉弓部小弯侧动脉瘤的非分支支架重建技术研究进展

顾沅芮 于存涛

(中国医学科学院 北京协和医学院 国家心血管病中心阜外医院血管外科, 北京 100037)

**【摘要】** 分支支架重建技术能很好地重建主动脉弓部小弯侧动脉瘤,但其技术难度较大、支架型号有限并且有缺货的风险。非分支支架重建技术的技术难度较小,能在必要时进行补救性治疗,且使用的支架型号较多,缺货风险较小。在开展主动脉弓部的分支支架重建前,应先掌握非分支支架重建技术。现通过检索相关文献,对主动脉弓部的非分支支架重建技术进行介绍。

**【关键词】** 主动脉弓部动脉瘤;主动脉弓部小弯侧动脉瘤;非分支支架重建技术

**【DOI】** 10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2025.03.002

## Non-Branching Stent Reconstruction Technique for Small Curved Lateral Aneurysms of the Aortic Arch

GU Yuanrui, YU Cuntao

(Department of Vascular Surgery, Fuwai Hospital, National Center for Cardiovascular Disease, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100037, China)

**【Abstract】** The branching stent reconstruction technique provides excellent reconstruction of small curved lateral aneurysms of the aortic arch, but it is technically difficult, stent models are limited, and there is a risk of stock-outs. The non-branching stent reconstruction technique is less technically challenging, allows for remedial treatment when necessary, and utilizes a wider range of stent types with less risk of stock-outs. Before carrying out branching stent reconstruction of the aortic arch, non-branching stent reconstruction techniques should be mastered first. This article introduces the non-branching stent reconstruction technique for the aortic arch by searching relevant literature.

**【Keywords】** Aneurysm of the aortic arch; Small curved lateral aneurysms of the aortic arch; Non-branching stent reconstruction technique

主动脉是人体最大的动脉,胸部主动脉起自主动脉瓣环,于主动脉裂孔处移行为腹部主动脉<sup>[1]</sup>。胸主动脉瘤是最常见的胸主动脉疾病,其余病变还包括假性动脉瘤、夹层、壁内血肿、创伤和感染等。胸主动脉瘤可无症状地增大,直至破裂,胸主动脉瘤破裂的死亡率>90%<sup>[2]</sup>。从20世纪80年代起,胸主动脉瘤的发病率逐年增加,最近研究<sup>[3]</sup>显示美国胸主动脉瘤的发病率为10.4/10万人年。从解剖学角度来看,胸部主动脉瘤可分为升主动脉瘤、弓部主动脉瘤、降主动脉瘤<sup>[1]</sup>。主动脉弓部起自升主动脉,止于第4胸椎下缘,主动脉弓大弯侧从右向左依次发出无名动脉、左颈总动脉以及左锁骨下动脉<sup>[4]</sup>。虽然主动脉弓部动脉瘤的真实发病率和自然病程仍未可知,但主动脉弓部动脉瘤给外科开放手术治疗带来了巨大挑战,并可能导致神经损伤和危及生命的心血管事件的发生<sup>[4]</sup>。

与腹主动脉瘤和胸主动脉瘤的开放手术相比,腔内主动脉瘤修复术的失血量较少,手术时间和住院时间较短,死亡率和发病率均较低<sup>[5-6]</sup>。腔内主动脉弓修复术曾一度被认为是实现全腔内主动脉修复术的“技术壁垒”<sup>[7]</sup>。随着腔内技术和经验的不断发展,对于无法行外科开放手术且解剖结构合适的患者,腔内主动脉弓修复术已成为一种可行的选择<sup>[8-9]</sup>。欧洲血管外科学会和欧洲心胸外科协会的最新共识<sup>[9]</sup>指出,对于不适合行开放手术且解剖结构合适的患者,应考虑行腔内主动脉弓修复术(IIa类,B级)。相较于主动脉弓部其余部位的动脉瘤,小弯侧的动脉瘤最容易实现全腔内治疗。要实现主动脉弓部小弯侧动脉瘤的全腔内治疗,重建好主动脉弓部大弯侧的分支最为重要。分支支架重建技术能很好地重建主动脉弓部小弯侧动脉瘤,但其技术难度较大、支架型号有限并

**基金项目:** 国家重点研发计划项目(2023YFB3810100);中央高校基本科研业务费专项(3332024132);北京市自然科学基金青年项目(7224341);阜外医院高水平医院临床科研专项(2022-GSP-GG-24,2023-GSP-GG-27)

**通信作者:** 于存涛, E-mail: cuntaoyu@126.com

且有缺货风险。非分支支架重建技术的技术难度较小,能在必要时进行补救性治疗,并且使用的支架型号较多以及缺货风险较小。在开展主动脉弓部的分支支架重建前,应先掌握非分支支架重建技术,现通过检索相关文献,对主动脉弓部的非分支支架重建技术进行介绍与总结。

## 1 重建策略

非分支支架重建技术主要分为平行支架技术以及开窗技术,平行支架技术主要分为烟囱技术和潜望镜技术,开窗技术主要分为原位开窗技术以及体外开窗技术<sup>[10]</sup>。对主动脉弓部小弯侧动脉瘤进行全腔内重建时,根据动脉瘤与弓上动脉的相对位置不同需采用不同的分支重建策略,分支重建策略主要分为单分支重建和多分支重建。弓上动脉重建优先的程度存在明显的差异,由于右颈总动脉(起自无名动脉)和左颈总动脉是大脑的主要供血动脉,故无名动脉和左颈总动脉的优先程度明显高于左锁骨下动脉,进行分支重建时要尽量保证无名动脉和左颈总动脉重建分支的有效性以及耐久性。

### 1.1 单分支重建策略

单分支重建是指左锁骨下动脉的分支重建,由于主动脉弓小弯侧动脉瘤靠近左锁骨下动脉,主动脉主体支架覆盖左锁骨下动脉即可隔绝动脉瘤,此时只需对左锁骨下动脉进行分支重建,现介绍常见的非分支支架重建技术。

#### 1.1.1 平行支架技术

1999 年,Greenberg 等<sup>[11]</sup>为了在治疗腹主动脉瘤的同时保留肾动脉,创造出了平行支架技术。2002 年,Criado 等<sup>[12]</sup>首次使用平行支架技术重建被主动脉覆膜支架意外覆盖的左锁骨下动脉。2007 年,Criado 等<sup>[13]</sup>将平行支架技术广泛用于主动脉腔内修复手术中的弓上分支重建,并将该技术命名为平行支架技术。平行支架技术是将分支支架的近心端与主动脉内的主体支架平行排列,分支支架的远心端植入分支动脉内<sup>[10]</sup>。根据分支支架近心端与主体支架的位置关系,可将平行支架技术分为烟囱技术和潜望镜技术。烟囱技术是分支支架近心端与主体支架近心端平行排列,潜望镜技术是分支支架近心端与主体支架远心端平行排列。烟囱技术中分支支架的近心端超出主体支架近心端的长度应 $>5\text{ mm}$ ,潜望镜技术中分支支架的近心端超出主体支架远心端的长度应 $>10\text{ mm}$ <sup>[14]</sup>。在释放分支支架后通常需用球囊对其进行扩张,并且根据造影结果决定是否在分支支架内植入裸支架以增加其支撑力。

平行支架技术的优势在于操作简便,学习周期

短,便于推广,无需改造现有支架,手术成功率以及远期通畅率较高,然而平行支架技术最明显的劣势在于容易发生 I a 型内漏(发生率为 $10\%\sim 32\%$ )<sup>[15]</sup>。为降低 I a 型内漏的发生率,中国医学科学院阜外医院舒畅教授联合先健科技公司研发了 Longuette™ 裙边支架。该支架是通过支架外围的裙边来阻挡主体支架与分支支架间沟槽中的血流,从而达到降低内漏发生率的效果,该支架的临床试验结果显示虽然术后即刻 I a 型内漏的发生率仍较高,但远期内漏的发生率明显降低<sup>[16]</sup>。

#### 1.1.2 开窗技术

开窗技术主要分为原位开窗技术和体外预开窗技术,原位开窗技术是在释放主体支架之后通过分支血管在主体支架上打孔,从而使血流能进入被主体支架覆盖的分支血管,体外预开窗技术是在充分测量好分支血管的位置后,在体外释放主体支架进行打孔,打孔完成后再装回鞘管,并在主动脉内合适的位置释放。

2004 年,McWilliams 等<sup>[17]</sup>报道了原位开窗技术在开通主体支架覆盖的左锁骨下动脉的首次临床应用。原位开窗技术使用到的开窗方式包括针刺、激光以及射频等,相较于针刺开窗,激光开窗技术的可控性更高并且导致的覆膜撕裂更少<sup>[18]</sup>。主体支架的覆膜材料主要分为两种(聚四氟乙烯和涤纶),聚四氟乙烯比涤纶更容易穿透,但覆膜的受损程度也更大<sup>[18-19]</sup>。在对覆膜材料为聚四氟乙烯的支架进行原位开窗时,尽量避免使用激光开窗技术,因为有可能导致氯化氢、三氟乙酸盐和其他有毒物质的释放<sup>[18]</sup>。不是所有患者都能接受原位开窗技术重建分支,分支血管的走行以及其与主动脉弓的位置关系是决定是否进行原位开窗技术的关键因素。仅进行左锁骨下动脉的原位开窗时,技术成功率为 $97.2\%$ ,死亡率和脑卒中发生率分别为 $5.7\%$ 和 $2.9\%$ <sup>[18]</sup>。原位开窗技术拥有极高的成功率以及较低的并发症发生率,但该技术对主体支架进行了一定程度的破坏,可能会导致支架的远期稳定性下降。

体外预开窗技术最初是用于治疗不适合进行开放手术治疗的近肾腹主动脉瘤、肾旁腹主动脉瘤以及胸腹主动脉瘤患者<sup>[18-20]</sup>。中国戴向晨教授等<sup>[10]</sup>的相关研究显示体外预开窗技术仅用于重建左锁骨下动脉时,技术成功率为 $94.8\%$ ,围手术期及术后半年均未发生死亡以及脑卒中。相较于原位开窗技术,体外预开窗技术的优势在于直视下进行主体支架开窗,可避免破坏主体支架的金属骨架并对开窗边缘进行加固,能极大程度地保持主体支架的稳定性。

相较于平行支架技术,开窗技术的优势在于内漏发生率低、分支支架闭塞率低以及符合人体血流动力学<sup>[21]</sup>,其劣势在于操作技术要求更高、有损伤主动脉以及开窗部位与自体血管对位不齐的风险,并且改造后主体支架的耐久性仍有待观察。

## 1.2 多分支重建策略

多分支重建是指对无名动脉、左颈总动脉以及左锁骨下动脉中的两个或全部分支进行重建,其中多分支重建的非分支支架重建技术主要包括平行支架技术和开窗技术。

### 1.2.1 平行支架技术

平行支架技术同时重建左锁骨下动脉和头部供血动脉(无名动脉或左颈总动脉)时,应优先保证头部供血动脉支架的远期通畅率,避免平行支架间形成交叉<sup>[14]</sup>。内漏是平行支架技术的主要并发症,相关报告显示,相较于单分支平行支架技术,双分支和三分支平行支架技术的内漏发生率更高<sup>[22-23]</sup>,主要原因是双分支和三分支技术残留的缝隙更多且更大。双分支和三分支平行支架技术的内漏发生率为 20%~37%<sup>[14-15]</sup>。除了内漏的风险,多枚分支支架聚集在主动脉弓部还会导致局部血流动力学的改变,导致血栓形成、支架断裂以及夹层逆撕等并发症<sup>[14]</sup>。并且植入多枚平行支架时,支架放大率的选择也十分困难,过小会增高内漏发生率,过大会增高夹层逆撕发生率<sup>[14]</sup>。相较于单分支平行支架技术,双分支和三分支平行支架技术除了内漏发生率更高,术后不良事件发生率以及全因死亡率也更高<sup>[15]</sup>。

### 1.2.2 开窗技术

主动脉弓部小弯侧动脉瘤在使用开窗技术重建弓上多分支时,内漏的发生率极低。进行体外预开窗时,在不破坏支架主体结构以及不增加内漏发生率的基础上尽量将窗开得足够大,这样将降低支架释放时的对位要求。文献报道原位开窗技术重建弓部三分支的神经系统并发症发生率为 6.7%~28.6%<sup>[24]</sup>,而体外预开窗的术后脑卒中/短暂性脑缺血发作发生率为 2.1%<sup>[18]</sup>。笔者认为对于需使用开窗技术进行多分支重建的主动脉弓部小弯侧动脉瘤,体外预开窗技术优于原位开窗技术。若患者颈动脉无狭窄或狭窄较轻且脑部无缺血症状,有丰富经验的医院也可选择原位开窗技术。

## 2 总结

主动脉弓部动脉瘤中小弯侧动脉瘤最容易实现全腔内治疗,要实现主动脉弓部小弯侧动脉瘤的全腔内治疗,重建好主动脉弓部大弯侧的分支最为重要。医生根据患者的实际情况以及自己的经验,合理运用

平行支架技术以及开窗技术,能安全有效地治疗主动脉弓部小弯侧动脉瘤。

虽然主动脉弓部的非分支支架重建技术能安全有效地治疗主动脉弓部小弯侧动脉瘤,但这些技术均有其固有的缺点。在熟练掌握非分支支架重建技术的基础上,应积极学习并掌握主动脉弓部的分支支架重建技术,进而更好地治疗主动脉弓部小弯侧动脉瘤。

## 参考文献

- [1] Gedney R, Wooster M. Thoracic aortic aneurysms and arch disease [J]. *Surg Clin North Am*, 2023, 103(4): 615-627.
- [2] Gouveia E, Melo R, Silva Duarte G, Lopes A, et al. Incidence and prevalence of thoracic aortic aneurysms: a systematic review and meta-analysis of population-based studies [J]. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 2022, 34(1): 1-16.
- [3] Ellahi A, Shaikh FN, Kashif H, et al. Effectiveness of endovascular repair versus open surgery for the treatment of thoracoabdominal aneurysm: a systematic review and meta analysis [J]. *Ann Med Surg (Lond)*, 2022, 81: 104477.
- [4] Sethi S, Parekh U. Aortic arch aneurysm [M]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2025.
- [5] Li RD, Chia MC, Eskandari MK. Comprehensive evaluation of common open and endovascular procedures and their relationship with postdischarge complications [J]. *Ann Vasc Surg*, 2023, 88: 127-138.
- [6] Li RD, Soult MC. Advanced endovascular treatment of complex aortic pathology [J]. *Surg Clin North Am*, 2023, 103(4s): e1-e11.
- [7] Cao L, Zhang H, Ge Y, et al. Avoiding stroke in patients undergoing endovascular aortic arch repair: JACC review topic of the week [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2023, 82(3): 265-277.
- [8] Writing Committee Members; Isselbacher EM, Preventza O, 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 Am Coll Cardiol*, 2022, 80(24): e223-e393.
- [9] Czerny M, Schmidli J, Adler S, et al. Editor's choice—Current options and recommendations for the treatment of thoracic aortic pathologies involving the aortic arch: an expert consensus document of the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) & the European Society for Vascular Surgery (ESVS) [J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2019, 57(2): 165-198.
- [10] 戴向晨, 陈永辉. 主动脉弓上分支血管腔内重建的策略 [J]. *中国血管外科杂志(电子版)*, 2023, 15(1): 13-16.
- [11] Greenberg RK, Clair D, Srivastava S, et al. Should patients with challenging anatomy be offered endovascular aneurysm repair? [J]. *J Vasc Surg*, 2003, 38(5): 990-996.
- [12] Criado FJ, Barnatan MF, Rizk Y, et al. Technical strategies to expand stent-graft applicability in the aortic arch and proximal descending thoracic aorta [J]. *J Endovasc Ther*, 2002, 9(suppl 2): II32-II38.
- [13] Criado FJ. A percutaneous technique for preservation of arch branch patency during thoracic endovascular aortic repair (TEVAR): retrograde catheterization and stenting [J]. *J Endovasc Ther*, 2007, 14(1): 54-58.
- [14] 郭宝磊, 符伟国, 郭大乔, 等. 多枚平行支架重建弓上分支全腔内修复主动脉弓部疾病的手术疗效分析 [J]. *中国临床医学*, 2022, 29(3): 377-382.
- [15] 李尚谦. TEVAR 联合烟囱技术治疗主动脉弓部疾病的临床研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2022.

(下转第 209 页)

- control versus rate-control trial in patients with heart failure and atrial fibrillation: results from the RAFT-AF trial [J]. *Circulation*, 2022, 145 (23): 1693-1704.
- [35] Chieng D, Sugumar H, Segan L, et al. Atrial fibrillation ablation for heart failure with preserved ejection fraction: a randomized controlled trial [J]. *JACC Heart Fail*, 2023, 11 (6): 646-658.
- [36] Mahalleh M, Soleimani H, Pazoki M, et al. Heart failure with preserved ejection fraction and atrial fibrillation: catheter ablation vs. standard medical therapy — A systematic review and meta-analysis [J]. *Heart Fail Rev*, 2025, 30 (1): 1-15.
- [37] Oraii A, McIntyre WF, Parkash R, et al. Atrial fibrillation ablation in heart failure with reduced vs preserved ejection fraction: a systematic review and meta-analysis [J]. *JAMA Cardiol*, 2024, 9 (6): 545-555.
- [38] Sugumar H, Nanayakkara S, Vizi D, et al. A prospective STudy using invAsive haemodynamic measurements folLowing catheter ablation for AF and early HFpEF: STALL AF-HFpEF [J]. *Eur J Heart Fail*, 2021, 23 (5): 785-796.
- [39] Kosiborod MN, Abildstrøm SZ, Borlaug BA, et al. Semaglutide in patients with heart failure with preserved ejection fraction and obesity [J]. *N Engl J Med*, 2023, 389 (12): 1069-1084.
- [40] Wang Q, Zhuo C, Xia Q, et al. Sacubitril/valsartan can reduce atrial fibrillation recurrence after catheter ablation in patients with persistent atrial fibrillation [J]. *Cardiovasc Drugs Ther*, 2023, 37 (3): 549-560.
- [41] Zhang Z, Xiao Y, Dai Y, et al. Device therapy for patients with atrial fibrillation and heart failure with preserved ejection fraction [J]. *Heart Fail Rev*, 2024, 29 (2): 417-430.

收稿日期: 2024-10-10

(上接第 200 页)

- [16] Shu C, Li X, Dardik A, et al. Early results of a novel gutter-free chimney stent-graft system to treat aortic arch dissection: single-center data from a prospective clinical trial [J]. *J Endovasc Ther*, 2022, 29 (2): 258-265.
- [17] McWilliams RG, Murphy M, Hartley D, et al. In situ stent-graft fenestration to preserve the left subclavian artery [J]. *J Endovasc Ther*, 2004, 11 (2): 170-174.
- [18] Atkins MD, Lumsden AB. Parallel grafts and physician modified endografts for endovascular repair of the aortic arch [J]. *Ann Cardiothorac Surg*, 2022, 11 (1): 16-25.
- [19] Riga CV, Bicknell CD, Basra M, et al. In vitro fenestration of aortic stent-grafts: implications of puncture methods for in situ fenestration durability [J]. *J Endovasc Ther*, 2013, 20 (4): 536-543.
- [20] Canonge J, Jayet J, Heim F, et al. Comprehensive review of physician modified aortic stent grafts: technical and clinical outcomes [J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2021, 61 (4): 560-569.
- [21] Xiang Y, Qiu C, He Y, et al. A single center experience of in situ needle fenestration of supra-aortic branches during thoracic endovascular aortic repair [J]. *Ann Vasc Surg*, 2019, 61: 107-115.
- [22] Zhao Y, Feng J, Yan X, et al. Outcomes of the chimney technique for endovascular repair of aortic dissection involving the arch branches [J]. *Ann Vasc Surg*, 2019, 58: 238-247. e3.
- [23] Shahverdyan R, Gawenda M, Brunkwall J. Triple-barrel graft as a novel strategy to preserve supra-aortic branches in arch-TEVAR procedures: clinical study and systematic review [J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2013, 45 (1): 28-35.
- [24] 叶鹏. 完全经皮途径原位微针穿刺开窗技术在累及主动脉弓部病变的临床系列研究 [D]. 广州: 南方医科大学, 2023.

收稿日期: 2024-08-30