

# 主动脉疾病治疗现状及思考

陈忠,王盛

(首都医科大学附属北京安贞医院血管外科,北京 100029)

**摘要:**主动脉瘤和主动脉夹层是血管外科常见疾病。随着腔内技术的发展,主动脉疾病的治疗进入了一个崭新的阶段。由于主动脉不同部位的解剖条件和血流动力学特点不同,治疗中存在的难点、解决方案亦不同。本文对主动脉瘤和主动脉夹层在不同解剖部位的难点和解决方案进行了综述。关于升主动脉的动脉瘤或夹层的腔内治疗,其难点在于在收缩期和舒张期中主动脉管径变化大、锚定困难、锚定区短以及缺少适宜的支架。主动脉弓部疾病的腔内治疗中,目前由一些专科医师参与研发的分支支架或开窗技术在临床腔内治疗中总体取得较满意结果,但还存在技术难度高及与支架的分支数量呈正相关的神经系统并发症发生率的限制。另外,关于支架原位或预开窗技术是否对主动脉疾病腔内治疗的远期效果存在影响还需继续观察。对于累及胸腹主动脉的病变,其难点在于大量内脏分支血管的存在及支架术后并发内漏的问题,相关分支支架已经进入多中心临床实验阶段,其远期结果还需观察;对于解剖条件不满足的患者,如果全身状况允许,开放手术仍然是可靠的治疗方法。因此,未来关于主动脉瘤及主动脉夹层疾病的腔内治疗,一方面,在支架材料上还需要研发柔韧性更好的合适的支架材料;另一方面,要严格把握手术适应证,谨慎选择腔内治疗。

**关键词:**主动脉瘤;主动脉夹层;腔内技术;治疗;支架

中图分类号:R543.1

文献标志码:A

## Current status and reflections on the treatment of aortic disease

CHEN Zhong, WANG Sheng

(Department of Vascular Surgery, Beijing Anzhen Hospital, Capital Medical University, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Aortic aneurysm and aortic dissection are common diseases in vascular surgery. With the development of endovascular technology, the treatment of aortic diseases has entered a brand-new stage. Due to the different anatomical conditions and hemodynamic characteristics of lesions in different parts of aorta, the difficulties and solutions are also different. Therefore, this article reviews the difficulties and solutions for aortic aneurysm and aortic dissection at different anatomical sites. Regarding endovascular treatment of aneurysms or dissection in the ascending aorta, the difficulty lies in the large variation in the diameter of the aortic during systole and diastole, which makes anchoring difficult. On the other hand, there is a lack of suitable stents for patients with a short anchoring zone. In aortic arch disease, branch stenting or fenestration techniques have achieved overall satisfactory results, but there are still limitations in the occurrence of neurological complications due to high technical difficulty and positive correlation with the number of branches of the stent. Additionally, the *in situ* or pre-opening stenting technique may have potential impacts on the long-term treatment of aortic disease, which needs to be further observed. For lesions involving the thoracic and abdominal aorta, the difficulty lies in the presence of a large number of visceral branch vessels and the complication of endovascular fistulas after stenting. Relevant branch stents have already entered the stage of multicenter clinical trials, and their long-term results need to be observed. For patients whose anatomical conditions do not meet the requirements of endovascular treatment, open surgery remains a reliable method, if systemic conditions allow. Therefore, for future endovascular treatment of aortic aneurysm and aortic dissection, more flexible stents are needed first; additionally, vascular surgeons should strictly follow the indications and carefully select the endovascular treatment.

**Key words:** Aortic aneurysm; Aortic dissection; Endovascular technique; Treatment; Stent

主动脉疾病是血管外科常见疾病,按照部位可分为升主动脉、主动脉弓、胸腹主动脉以及腹主动脉病变等,以主动脉瘤和主动脉夹层为主要疾病。复杂扩张性主动脉疾病是血管外科最复杂的疾病之一。主动脉疾病的治疗,历经几十年的发展,体现了从“巨创”到“微创”,从局部到整体的发展趋势。目前除了升主动脉疾病等复杂病变仍然以开放手术为主,主动脉其他部位疾病的治疗中,腔内治疗占据了主导地位。腔内治疗主动脉疾病的主要挑战包括主动脉弓部分支和内脏动脉分支的腔内重建以及移植物植入后主动脉管壁生物学和流体力学上的改变带来的影响等。近十余年来,腔内治疗发展迅速,技术创新和器材改良结合紧密,医工结合呈现出良好的发展势头。主动脉微创治疗使得越来越多的患者受益,主动脉疾病的治疗也因此发展到了一个崭新的阶段。目前治疗主动脉疾病的手段和器械众多,但都有各自的适应证和局限性,存在技术要求高、操作复杂、难以大规模推广、复杂病变并发症较多以及远期效果尚不明确等问题。另外,不同部位的主动脉病变解剖条件和血流动力学特点不同,治疗中存在的难点、解决方案和微创化的发展程度也各不相同。

## 1 升主动脉病变的治疗

### 1.1 开放手术

升主动脉病变包括升主动脉瘤和累及升主动脉的A型主动脉夹层,病变可累及冠状动脉开口和主动脉瓣,一直以来外科手术是主要的治疗手段。急性A型夹层手术患者(30d或住院)的早期死亡率在目前的多中心研究中,平均为17%左右:德国急性主动脉夹层A型注册研究17%<sup>[1]</sup>,国际主动脉夹层注册研究18%<sup>[2]</sup>,北欧急性A型主动脉夹层联层研究16%<sup>[3]</sup>。术前血流动力学稳定的患者术后一般表现良好,死亡率较低(约3%);相比之下,在血流动力学不稳定或术前灌注不良的患者中,死亡率很高(18%~40%)<sup>[4-5]</sup>。部分升主动脉瘤或者夹层未累及冠状动脉开口的可以采取相对保守的手术方式如升主动脉的移植物替换,通常在冠状动脉以上水平完成。但当内膜撕裂延伸至主动脉根部,或主动脉根部有动脉瘤,或主动脉瓣完整性和主动脉瓣功能存在不确定性时,则应更换主动脉根部。

### 1.2 腔内治疗

迄今为止,开放手术仍是升主动脉病变的主要治疗手段,但并非所有患者都能耐受开放手术。据统计,约有1/4的患者无法承受开放手术的风险<sup>[6]</sup>。

近年来,腔内治疗开始应用于升主动脉病变的治疗,符合适应证的腔内治疗能降低死亡率和并发症发生率,并为无法实施开放手术的患者提供可行的替代治疗。与传统的开放手术相比,腔内治疗具有创伤小、恢复快的优点。但因升主动脉自身解剖特点带来的技术困难以及缺乏远期数据的支持等原因,导致腔内治疗至今尚没有得以广泛开展。尽管如此,自2000年Dorros等<sup>[7]</sup>首次报道应用腔内技术修复急性A型夹层以来,腔内治疗已经作为部分高危或无法手术的患者开放手术的替代方案,并取得了较好的初步结果<sup>[8]</sup>。腔内治疗的死亡率在10%左右<sup>[8]</sup>,优于单纯内科治疗的36.7%<sup>[9]</sup>。

### 1.3 腔内治疗面临的挑战

升主动脉的腔内治疗避免了开放手术和体外循环带来的创伤和风险,但在技术上存在诸多挑战:①主动脉根部特殊的解剖结构如冠状动脉开口的存在、升主动脉的弯曲以及通过主动脉瓣排出血液的冲击力等,为近端锚定区的处理增加了多个层面的挑战;②从收缩期到舒张期的每个心动周期中,升主动脉的直径都在8%~15%之间变化,这些都为腔内治疗支架选择和定位带来困难。

升主动脉腔内治疗能否成功实施首先要看是否有合适的近端锚定区,通常把冠状动脉窦开口到夹层破口这一段主动脉作为近端锚定区。成功的腔内治疗要完全覆盖破口,隔绝假腔并保持冠状动脉的正常灌注。许多研究认为成功实施腔内治疗的近端锚定区长度应 $>2\text{ cm}$ ,符合此条件的病例占30%~79%<sup>[10-12]</sup>。Gore等<sup>[13]</sup>的ARISE试验是最早应用升主动脉支架治疗急性A型主动脉夹层的临床试验,入组患者的近端锚定区距离要求 $>2\text{ cm}$ 。Wisneski等<sup>[14]</sup>分析了53例急性A型主动脉夹层患者的影像学资料,近端锚定区 $>2\text{ cm}$ 的患者占66.0%,近端锚定区 $>1.5\text{ cm}$ 的占71.7%,近端锚定区 $>1.0\text{ cm}$ 的患者则占到了79.2%。如果将锚定区减少到 $1.0\text{ cm}$ ,则大约80%的患者有机会实施腔内治疗,因此,开发定位更精确,对锚定区需求更短的升主动脉支架能使更多的患者获得腔内治疗的机会。有学者提出了升主动脉带瓣支架移植物的想法,并收集患者的解剖数据,初步证明了其可行性<sup>[15]</sup>。更进一步的探索是腔内支架型Bentall术式,能解决部分病例近段锚定区过短的问题。2020年,Felipe Gaia等<sup>[16]</sup>首次将定制的主动脉瓣-升主动脉支架应用于人体,成功完成了首例endo-Bentall手术。

这些探索都证实了升主动脉并非是腔内治疗的

禁区,经过严格筛选的符合适应证的病例可以选择腔内治疗,但目前还属于探索性的尝试,升主动脉疾病的治疗仍以开放手术为主,腔内治疗还有很长的路要走。

## 2 主动脉弓部病变的治疗

主动脉弓部病变腔内治疗的主要难点在于弓部分支的腔内重建,需要采取各种技术来延长近端锚定区,包括杂交手术、分支技术、开窗技术(预开窗、原位开窗)和烟囱技术等。

### 2.1 杂交手术

较早开展的杂交技术效果确切,但仍有较大创伤和风险,尤其是对于高龄及一般情况差的患者,微创化的治疗可能是更佳选择。

### 2.2 分支支架技术

国内有微创心脉医疗的 Castor 单分支支架,国外有美敦力和戈尔公司的单分支支架、Cook 公司的双分支支架和三分支支架等,都已进入临床应用。近年,国内有关主动脉弓部腔内治疗的技术改进和新器械创新进展迅速,有多款新型器材已经应用于临床或正在进行临床试验,如郭伟教授自主研发的 WeFlow-Arch 模块内嵌主动脉弓覆膜支架<sup>[17]</sup>、张玮教授与杭州唯强医疗科技有限公司共同研发的 ZIPPER™ 一体式主动脉弓覆膜支架系统<sup>[18]</sup>、舒畅教授团队研发的主动脉创新一体式三分支支架系统<sup>[19]</sup>、李雷教授等研发的普适性三分支一体式胸主动脉覆膜支架系统等。这些新的器材使得累及主动脉弓部疾病的完全腔内治疗成为可能。

但支架技术还存在一定的局限性,实施过程或随访过程中还有一定数量的并发症发生,如内漏、神经系统并发症、逆行 A 型夹层等。报道显示,主动脉弓内支架植入术后的短期死亡率为 0~13.2%<sup>[20-22]</sup>。在这些报道中,短期死亡率与技术问题、内漏、分支血管支架置入困难、二次干预、逆行 A 型夹层、神经系统并发症、入路并发症和围手术期心肌梗死有关。其中,神经系统并发症仍然是一个值得关注的问题,分支支架植入需要在主动脉弓进行相对复杂的操作,这可能会导致主动脉弓部的动脉硬化斑块脱落,引起脑梗塞相关的神经系统并发症。而分支支架释放通常通过逆行穿刺右颈总动脉和左颈总动脉进行,需要穿刺或临时阻断颈动脉,从而增加了脑卒中的风险。此外,分支支架对位不良或扭曲等也会导致颈动脉供血不足,从而引起神经系统并发症。Tazaki 等<sup>[21]</sup>研究发现,术后 30 d 的死亡率和神经系

统并发症发生率随着移植物上分支数量的增加而增加。有的病例尽管实施顺利,在技术上取得了成功,但还是出现了神经系统并发症或死亡发生,表明手术死亡率和神经并发症的风险可能不仅与技术有关,还与主动脉弓本身病变有关。尽管上述研究显示腔内治疗手术死亡率和神经系统并发症可能与全弓置换手术和杂交手术相当,但仍具有微创技术带来的优势,如住院时间短、患者恢复快等,前景仍然是令人鼓舞的。

### 2.3 开窗技术

成品或定制的开窗及分支支架通常需要等待较长时间,临床应用受到一定限制,尤其对于急性或亚急性期患者。因此有术者采取台上预开窗或者原位开窗技术,后者包括穿刺针开窗和激光开窗等。秘加学等<sup>[23]</sup>报道,采用体外预开窗胸主动脉腔内修复术(thoracic endovascular aortic repair, TEVAR)治疗 72 例主动脉弓部疾病患者,包括单开窗及多开窗,总体手术成功率为 98.6%(71/72),随访 3~67 个月,无主动脉相关死亡。随访期间,所有弓上分支动脉保持通畅,无新发主动脉破裂、脊髓缺血、支架移位等严重支架相关并发症。彭智猷等<sup>[24]</sup>报道 TEVAR 联合原位激光开窗治疗 61 例累及弓部等主动脉病变,包括三开窗及双开窗,技术成功率为 100%;3 例(4.9%)患者出现术后一过性卒中症状,无严重卒中事件;术后 12 个月共 55 例患者行主动脉 CT 血管造影复查,其中 52 例主动脉弓部重塑良好。这些报道都显示了预开窗及原位开窗技术的有效性和安全性较好,但原位开窗和预开窗技术破坏了覆膜支架的主体结构,是否会带来远期不良影响还需要更多随访数据来证实。

### 2.4 烟囱技术

烟囱技术操作较简单,但有较多的内漏发生率,有报道显示,烟囱技术有 23% 的患者因内漏而需要二次处理<sup>[25]</sup>,因此烟囱技术可能更适用于紧急情况下的处理。

## 3 胸腹主动脉病变的治疗

胸腹主动脉病变包括腹主动脉瘤以及胸腹主动脉瘤(夹层)等。

### 3.1 腹主动脉病变

腹主动脉瘤的腔内治疗历经 30 多年的发展,已经日趋成熟,并逐步取代开放手术成为主要的治疗手段。对于解剖条件良好的腹主动脉瘤,腔内治疗已经展示出良好的近中期效果,但随着随访时间的

延长,相较于开放手术,有更多的并发症开始显现。如近端瘤颈退行病变导致的 I 型内漏,使瘤体直径增加的 II 型内漏等,都需要积极处理。II 型内漏越来越引起重视,部分 II 型内漏的处理比较棘手,处理方法包括栓塞、注射凝血胶以及腹腔镜下结扎肠系膜下动脉等,但其有效性和安全性尚需观察。在 EVAR 前仔细评估瘤体的分支动脉,预栓塞可能导致 II 型内漏的肠系膜下动脉或腰动脉是可行的方法,可有效预防 II 型内漏引起的瘤体增大。Yu 等<sup>[26]</sup>进行的一项 Meta 分析研究了主动脉侧支栓塞对预防术后 II 型内漏的结果,纳入了 2019 年至 2022 年的 4 篇研究,结果显示栓塞组的瘤腔扩张发生率为 4.3%,而对照组为 6.8% ( $OR=0.38;95\%CI:0.26\sim0.55$ ), II 型内漏的发生率为 19.7%,对照组为 37.4% ( $OR=0.38;95\%CI:0.30\sim0.47$ ), II 型内漏再干预的发生率为 1.2%,对照组为 11.2% ( $OR=0.12;95\%CI:0.06\sim0.23$ )。提示预栓塞联合 TEVAR 可降低动脉瘤体增大、II 型内漏和再干预的发生率。

### 3.2 胸腹主动脉病变

累及内脏动脉分支的胸腹主动脉病变仍然是目前研究的焦点。保留内脏动脉分支的方法包括平行支架技术(烟囱、潜望镜)、开窗技术、分支支架技术等。对于近肾腹主动脉瘤,烟囱技术和开窗技术比较常用;烟囱技术有较高的内漏发生率,但因技术相对简单,更适合急诊病例应用。美国 COOK 公司定制的开窗支架是较早应用于临床的定制支架,但定制周期较长。近年也有多款分支支架应用于胸腹主动脉瘤的腔内治疗,但对于解剖条件都有较严格的要求,而且远期预后也需要进一步观察。郭伟等<sup>[27-28]</sup>研发的 WeFlow-JAAA<sup>TM</sup> 多分支腹主动脉支架系统适用于近肾腹主动脉瘤, G-Branch<sup>TM</sup> 胸腹主动脉覆膜支架系统适用于胸腹主动脉瘤、肾周腹主动脉瘤,采用内嵌分支和外分支结合来保留主动脉分支,目前正进行全国性多中心临床研究,对胸腹主动脉疾病的腔内治疗起到了积极的推动作用。胸腹主动脉病变的腔内治疗进展迅速,但还没有一款产品适用于所有病变,而且远期效果也有待进一步观察,对于解剖条件不适合腔内治疗的患者,如果全身状况允许,开放手术仍然是可靠的治疗方法。

## 4 主动脉疾病治疗现状的思考

主动脉疾病的诊疗历经几十年的发展,取得了非凡的成就。通过对开放手术和腔内修复的不断改进,越来越多的患者得以救治。主动脉疾病的治疗

也是创新最活跃的领域之一,诸多新技术和新器材正逐渐应用于临床实践,一些传统意义上的难点问题,如内脏动脉分支的保留,目前有多种方法可以实现。对于许多不能耐受开放手术的患者,腔内治疗提供了新的治疗机会。

### 4.1 需重点解决腔内治疗的并发症问题

腔内治疗的远期效果仍待检验。随着随访时间的延长,腔内治疗的并发症逐渐显现,如 II 型内漏以及由于病变进展引发的 I 型内漏等,不仅增加了二次干预率,而且影响了患者的远期预后。复杂主动脉疾病尽管有多种技术可以选择,但仍存在适应证狭窄、围手术期及术后并发症发生率较高等问题。

另外,大范围的腔内移植物植入对心脏和主动脉血流动力学均有影响。目前的移植物材料硬度远远大于自体主动脉。这些材料增强了耐用性,但它们使主动脉僵硬、顺应性下降。主动脉顺应性具有降低心脏射血阻抗和工作负荷的关键功能,移植物植入后导致顺应性下降则增加心脏射血阻抗和工作负荷。有基础研究报道,TEVAR 后主动脉的急性硬化导致急性脉压升高、高血压、冠状动脉灌注减少,最终导致心力衰竭<sup>[29-30]</sup>。简化血流模型的计算研究已证实这一发现<sup>[31]</sup>,并且有临床研究表明在接受腔内修复治疗的胸腹主动脉瘤患者中,左心室每搏功增加<sup>[32]</sup>。这些研究提示腔内移植物植入对心脏和主动脉血流动力学的重要影响,研发质地更接近自体主动脉的人工材料也是未来研究的重点之一。

### 4.2 开放手术仍然是重要手段

目前对于复杂主动脉疾病的治疗仍处于探索阶段,尚缺乏统一的规范,尤其缺乏复杂主动脉疾病的准入制度,即手术者及其中心应具备较多的常规主动脉手术的经验才能获得复杂主动脉疾病的资质,目前我国尚缺乏这方面的规范。主动脉疾病的治疗既要考虑创新和规范化的平衡,也要考虑成本效益比。复杂主动脉疾病的治疗尤其是采用新技术、新器材进行治疗,费用较高,如围手术期或术后出现并发症则费用更高,这对于患者和医保都是不小的挑战。这就要求术者对患者的病情和一般状况进行综合考虑,审慎评估,严格把握手术适应证。虽然腔内治疗逐渐占据主流,但开放手术不应被放弃,两种术式在相当长一段时间内还将共存。部分不具备腔内治疗适应证或腔内治疗后出现并发症的患者仍将由开放手术来解决,这就要求血管外科医生必须具备进行开放手术的能力,而这种能力的培养和保持依赖于一定数量的开放手术训练。因此,如何培养外科医生开放手术能力也是需要重视的问题。

总之,主动脉疾病的治疗发展迅速,但也存在创新和规范化如何平衡、成本效益比如何把握、腔内和开放手术如何选择以及远期效果尚需评估等问题,仍需不断积累经验和循证医学证据,进一步提高主动脉疾病的治疗效果。

## 参考文献:

- [1] Czerny M, Schoenhoff F, Etz C, et al. The impact of pre-operative malperfusion on outcome in acute type A aortic dissection: results from the GERAADA registry [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2015, 65(24): 2628-2635.
- [2] Evangelista A, Isselbacher EM, Bossone E, et al. Insights from the international registry of acute aortic dissection: a 20-year experience of collaborative clinical research [J]. *Circulation*, 2018, 137(17): 1846-1860.
- [3] Geirsson A, Shioda K, Olsson C, et al. Differential outcomes of open and clamp-on distal anastomosis techniques in acute type A aortic dissection [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 157(5): 1750-1758.
- [4] Uchida K, Karube N, Kasama K, et al. Early reperfusion strategy improves the outcomes of surgery for type A acute aortic dissection with malperfusion [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2018, 156(2): 483-489.
- [5] Conzelmann LO, Weigang E, Mehlhorn U, et al. Mortality in patients with acute aortic dissection type A: analysis of pre- and intraoperative risk factors from the German Registry for Acute Aortic Dissection Type A (GERAADA) [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2016, 49(2): e44-e52. doi: 10.1093/ejcts/ezv356.
- [6] Hagan PG, Nienaber CA, Isselbacher EM, et al. The International Registry of Acute Aortic Dissection (IRAD): new insights into an old disease [J]. *JAMA*, 2000, 283(7): 897-903.
- [7] Dorros G, Dorros AM, Planton S, et al. Transseptal guide-wire stabilization facilitates stent-graft deployment for persistent proximal ascending aortic dissection [J]. *J Endovasc Ther*, 2000, 7(6): 506-512.
- [8] Wang CT, von Segesser LK, Maisano F, et al. Catheter-based treatment of the dissected ascending aorta: a systematic review [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2021, 59(1): 80-91.
- [9] Tsai TT, Evangelista A, Nienaber CA, et al. Long-term survival in patients presenting with type A acute aortic dissection: insights from the International Registry of Acute Aortic Dissection (IRAD) [J]. *Circulation*, 2006, 114(1 Suppl): I350-I356.
- [10] Sobocinski J, O'Brien N, Maurel B, et al. Endovascular approaches to acute aortic type A dissection: a CT-based feasibility study [J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2011, 42(4): 442-447.
- [11] Moon MC, Greenberg RK, Morales JP, et al. Computed tomography-based anatomic characterization of proximal aortic dissection with consideration for endovascular candidacy [J]. *J Vasc Surg*, 2011, 53(4): 942-949.
- [12] Huang C, Zhou M, Liu Z, et al. Computed tomography-based study exploring the feasibility of endovascular treatment of type A aortic dissection in the Chinese population [J]. *J Endovasc Ther*, 2014, 21(5): 707-713.
- [13] Gore WL, Associates. Gore announces successful patient implant of endovascular stent graft for the ascending aorta [ES/OL]. (2018-08-27) [2024-07-23] <https://www.gore.com/news-events/press-release/imp-ant-of-endovascular-stent-graft-ascending-aorta>.
- [14] Wisneski AD, Kumar V, Vartanian SM, et al. Toward endovascular treatment of type A aortic dissection with smaller landing zones and more patient eligibility [J]. *J Vasc Surg*, 2022, 75(1): 47-55.
- [15] Kreibich M, Soekeland T, Beyersdorf F, et al. Anatomic feasibility of an endovascular valve-carrying conduit for the treatment of type A aortic dissection [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 157(1): 26-34.
- [16] Felipe Gaia D, Bernal O, Castilho E, et al. First-in-human endo-bentall procedure for simultaneous treatment of the ascending aorta and aortic valve [J]. *JACC Case Rep*, 2020, 2(3): 480-485.
- [17] Liu F, Zhang H, Rong D, et al. Protocol for Guo's aortic Arch reconstruction: a prospective, multicentre and single-arm study to evaluate the safety and efficacy of the WeFlow-Arch modular inner branch stent-graft system for aortic arch lesions (GIANT study) [J]. *BMJ Open*, 2022, 12(10): e063245. doi: 10.1136/bmjopen-2022-063245.
- [18] 杨鹏. 四川大学华西医院应用主动脉弓部创新一体式三分支支架完成国际首例 Bentall 术后复杂主动脉弓部夹层全腔内修复术 [J]. *首都食品与医药*, 2023, 30(22): 10-11.
- [19] 左健, 刘金成, 俞世强, 等. 新型全腔内股动脉三分支覆膜支架系统治疗主动脉弓部病变的 FIM 研究 [J]. *中国普通外科杂志*, 2024, 33(6): 894-900. ZUO Jian, LIU Jincheng, YU Shiqiang, et al. First-in-man study of a new femoral endovascular access supra-arch branched stent graft for the treatment of aortic arch disease [J]. *China Journal of General Surgery*, 2024, 33(6): 894-900.
- [20] Spear R, Clough RE, Fabre D, et al. Total endovascular treatment of aortic arch disease using an arch endograft with 3 inner branches [J]. *J Endovasc Ther*, 2017, 24(4): 534-538.

- [21] 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.
- [22] Czerny M, Rylski B, Morlock J, et al. Orthotopic branched endovascular aortic arch repair in patients who cannot undergo classical surgery[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2018, 53(5): 1007-1012.
- [23] 秘家学, 戴向晨, 刘宗玮, 等. 体外预开窗 TEVAR 治疗主动脉弓部疾病的中期结果分析[J]. *血管与腔内血管外科杂志*, 2021, 7(7): 773-777.  
BI Jiaxue, DAI Xiangchen, LIU Zongwei, et al. Mid-term outcomes of physician-modified fenestrated tevar in the treatment of aortic arch diseases[J]. *Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 2021, 7(7): 773-777.
- [24] 彭智猷, 金剑, 叶开创, 等. 鞘转流系统辅助下胸主动脉腔内修复术联合原位激光开窗治疗主动脉弓部病变的临床结果[J]. *中华血管外科杂志*, 2022, 7(1): 43-47.  
PENG Zhiyou, JIN Jian, YE Kaichuang, et al. Clinical results of sheath-based bypass system-assisted thoracic endovascular aortic repair with in situ laser fenestration for aortic arch disease[J]. *Chinese Journal of Vascular Surgery*, 2022, 7(1): 43-47.
- [25] Mangialardi N, Serrao E, Kasemi H, et al. Chimney technique for aortic arch pathologies: an 11-year single-center experience[J]. *J Endovasc Ther*, 2014, 21(2): 312-323.
- [26] Yu HYH, Lindström D, Wanhainen A, et al. An updated systematic review and meta-analysis of pre-emptive aortic side branch embolization to prevent type II endoleaks after endovascular aneurysm repair[J]. *J Vasc Surg*, 2023, 77(6): 1815-1821.
- [27] Gao JP, Zhang HP, Jia X, et al. A prospective, multi-center, single-arm clinical trial cohort to evaluate the safety and effectiveness of a novel stent graft system (WeFlow-JAAA) for the treatment of juxtarenal abdominal aortic aneurysm: A study protocol[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2022, 9: 1013834. doi: 10.3389/fcvm.2022.1013834.
- [28] Guo W, He Y, Zhang H, et al. Total endovascular repair of complex thoracoabdominal/abdominal aortic aneurysms with a Four-Branched Off-the-Shelf G-Branch™ Stent Graft[J]. *Ann Vasc Surg*, 2021, 71: 534. doi: 10.1016/j.avsg.2020.08.155.
- [29] Dobson G, Flewitt J, Tyberg JV, et al. Endografting of the descending thoracic aorta increases ascending aortic input impedance and attenuates pressure transmission in dogs[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2006, 32(2): 129-135.
- [30] Zacharoulis AA, Arapi SM, Lazaros GA, et al. Changes in coronary flow reserve following stent implantation in the swine descending thoracic aorta[J]. *J Endovasc Ther*, 2007, 14(4): 544-550.
- [31] Vardoulis O, Coppens E, Martin B, et al. Impact of aortic grafts on arterial pressure: a computational fluid dynamics study[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2011, 42(5): 704-710.
- [32] van Bakel TMJ, Arthurs CJ, Nauta FJH, et al. Cardiac remodelling following thoracic endovascular aortic repair for descending aortic aneurysms[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2019, 55(6): 1061-1070.

(编辑:房红娟)