



doi:10.7659/j.issn.1005-6947.260221
http://dx.doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.260221
China Journal of General Surgery, 2026, 35(6):1120-1127.

· 述评 ·

复杂主动脉腔内修复术围手术期严重并发症的预防与处理

周旻^{1, 2, 3}, 符伟国^{1, 2, 3}

(1. 复旦大学附属中山医院 血管外科, 上海 200032; 2. 复旦大学血管外科研究所, 上海 200032; 3. 国家放射与治疗临床医学研究中心, 上海 200032)



符伟国

摘 要

随着腔内技术及器械的发展, 胸主动脉腔内修复术和腹主动脉腔内修复术的应用已由相对标准化治疗逐步拓展至开窗支架、分支支架、平行支架及医师改装支架等复杂多分支重建。与标准腔内修复术相比, 复杂主动脉腔内修复术通常涉及更长范围的主动脉覆盖、更多靶血管重建、更频繁的导丝导管操作及更高的器械依赖性, 其围手术期严重并发症谱亦随之改变。除内漏和支架移位等传统并发症外, 靶血管丢失或损伤、入路损伤、心脑血管事件、脊髓缺血、主动脉破裂或新发夹层, 以及器械故障等, 均可显著影响患者的围手术期安全性和远期预后。复杂主动脉腔内修复术的成功不仅取决于手术方案设计和技术实施, 更依赖于对并发症的风险识别、预防和及时救援。本文聚焦复杂主动脉腔内修复术围手术期严重并发症, 结合近年来指南、文献证据及临床实践, 对其发生机制、高危因素、预防策略和处理原则进行综述, 强调建立以精准术前评估、规范术中操作、动态围手术期监测及多学科协作为核心的全流程管理体系, 以提高复杂主动脉腔内修复术的安全性和临床疗效。

关键词

主动脉疾病; 主动脉夹层; 动脉瘤; 腔内修复术; 手术后并发症
中图分类号: R654.3

Prevention and management of severe perioperative complications after complex endovascular aortic repair

ZHOU Min^{1,2,3}, FU Weiguo^{1,2,3}

(1. Department of Vascular Surgery, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China; 2. Institute of Vascular Surgery, Fudan University, Shanghai 200032, China; 3. National Clinical Research Center for Radiology and Therapy, Shanghai 200032, China)

Abstract

With advances in endovascular techniques and devices, thoracic endovascular aortic repair and endovascular aneurysm repair have evolved from relatively standardized procedures to complex multibranched reconstruction strategies, including fenestrated, branched, parallel-graft, and physician-modified endograft techniques. Compared with standard endovascular repair, complex endovascular

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目 (2026J0011914)。

收稿日期: 2026-04-16; 修订日期: 2026-06-14。

作者简介: 符伟国, 复旦大学附属中山医院/复旦大学血管外科研究所/国家放射与治疗临床医学研究中心主任医师, 主要从事主动脉疾病临床诊疗和发病机制方面的研究。

通信作者: 符伟国, Email: fu.weiguo@zs-hospital.sh.cn

aortic repair usually involves longer aortic coverage, incorporation of multiple target vessels, more frequent guidewire and catheter manipulations, and greater device dependence. Accordingly, the spectrum of perioperative severe complications has changed substantially. In addition to conventional complications such as endoleak and stent-graft migration, target-vessel loss or injury, access-related vascular injury, cardiac and cerebrovascular events, spinal cord ischemia, aortic rupture or new-onset dissection, and device-related failure may markedly compromise procedural safety and long-term outcomes. The success of complex endovascular aortic repair depends not only on appropriate procedural planning and technical execution, but also on the ability to identify, prevent, and promptly manage complications. This review focuses on severe perioperative complications associated with complex endovascular aortic repair. Based on recent guidelines, published evidence, and clinical experience, it summarizes the mechanisms, risk factors, preventive strategies, and management principles of major complications. A whole-process management strategy centered on meticulous preoperative assessment, standardized intraoperative manipulation, dynamic perioperative monitoring, and multidisciplinary collaboration is emphasized to improve the safety and clinical effectiveness of complex endovascular aortic repair.

Key words

Aortic Diseases; Aortic Dissection; Aneurysm; Endovascular Repair; Postoperative Complications

CLC number: R654.3

主动脉疾病,尤其是复杂主动脉夹层与主动脉瘤,是血管外科领域最具挑战性的疾病之一。近年来,随着影像学评估、腔内技术和器械的快速发展,主动脉疾病的治疗模式逐渐由传统开放手术转向开放与腔内并重,部分复杂患者甚至以腔内或杂交方式为主^[1]。对于高龄、合并症较多或开放手术无法耐受的主动脉疾病患者,胸主动脉腔内修复术(thoracic endovascular aortic repair, TEVAR)和腹主动脉腔内修复术(endovascular aneurysm repair, EVAR)具有创伤小、恢复快和围手术期病死率低等优势,其应用范围不断扩大^[2-3]。此外,开窗支架、分支支架、平行支架等复杂多分支重建技术不断发展,使身体状况无法耐受开放手术的患者获得微创腔内治疗的机会^[4-5]。

然而,复杂主动脉腔内治疗并非常规TEVAR或EVAR的简单延伸,而是对术前规划、影像判读、术中操作和围手术期管理提出了更高要求。随着手术步骤增多、导丝导管交换频繁、分支重建难度增加及手术时间延长,并发症种类也从传统的内漏、支架移位等,扩展到靶血管丢失、心肌梗死、脑卒中、脊髓缺血、入路损伤甚至主动脉破裂等严重事件。部分并发症如识别和处理不及时,可迅速造成不可逆的脏器损害,甚至危及生命。一项纳入19家中心共计1 274例复杂主动脉瘤患者的国际多中心研究^[6]显示,复杂多分支腔内

重建术的严重不良事件发生率高达25.2%,5年总生存率仅55.0%。因此,在复杂主动脉腔内治疗中,临床关注点不应仅停留于技术成功,更应转向临床获益。本文将重点聚焦于复杂主动脉腔内治疗围手术期严重并发症的预防和处理。

1 复杂腔内治疗严重并发症分类

本文所称“复杂主动脉腔内治疗”,主要指在标准TEVAR/EVAR基础上需进行弓上分支、内脏分支、髂内动脉等重要分支重建的腔内手术,包括开窗技术、分支支架、平行支架、医师改装支架(physician-modified endograft, PMEG)及部分杂交腔内策略。从临床决策角度,可将复杂腔内治疗严重并发症分为六类:技术相关并发症、器官灌注相关并发症、神经系统并发症、入路相关并发症、器械相关并发症以及全身围手术期事件。

1.1 内漏

内漏是TEVAR/EVAR术后传统并发症之一,也是影响术后远期疗效的核心因素。其中,I型和III型内漏原则上需要及时处理,其发生原因主要是近远端锚定区不足、桥接支架重叠不够或支架移位,可以通过球囊塑形、延长支架、重新桥接等方法处理^[3]。在复杂主动脉腔内治疗中,分支重建会产生新的靶血管相关内漏,同时也增加了其

他类型内漏处理的难度。Kärkkäinen等^[7]扩展了新的内漏分型，Ic型内漏：桥接支架远端与靶血管之间锚定不足；IIIb型内漏：桥接支架覆膜破损或断裂；IIIc型内漏：桥接支架与开窗环、分支支架之间贴合不良或分离，具体分型见图1。Ic型内漏通常可通过延长桥接支架、改善靶血管远端锚定进行处理；IIIc型内漏多需重新球囊塑形、延长桥接支架或在原桥接支架内再次衬入覆膜支架；IIIb型内漏则需采用覆膜支架完整覆盖破损节段。需要注意的是，术后即刻发现的少量、低流量靶血管相关内漏并不一定均需立即干预，部分患者随访时可自行消失；但对于高流量、造影剂持续进入瘤腔、明确的Ic型或III型内漏以及随访中内漏持续存在并伴瘤腔增大的患者，应积极进行腔内修复。

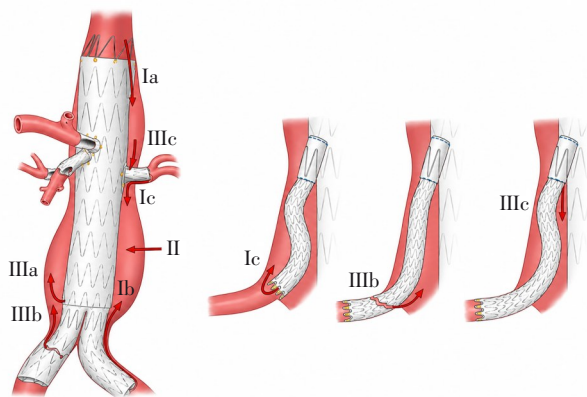


图1 复杂主动脉腔内治疗术后内漏分型示意图（改绘自Kärkkäinen等^[7]）

Figure 1 Schematic illustration of endoleak classification after complex endovascular aortic repair (adapted from Kärkkäinen et al.^[7])

1.2 靶血管丢失或损伤

靶血管丢失或损伤是复杂主动脉腔内治疗中最具代表性的技术并发症之一，常见于开窗支架、分支支架和PMEG技术。其主要后果为肾脏、肝脏、肠道等重要脏器灌注不足，严重时可导致肠缺血性坏死、急性肾损伤，甚至多器官功能衰竭。一项国际多中心PMEG研究^[6]显示，在1 274例接受开窗-分支支架重建内脏分支的患者中，靶血管的1、3、5年一期通畅率分别为96.9%、93.6%、90.3%。主体支架对位不准是最常见原因。复杂病变常伴有主动脉扭曲、成角及夹层真腔受压狭小，若术前测量不精确或术中对位判断不准，易导致开窗与靶血管开口错位。其次，主动脉严重扭曲

或夹层真腔狭小，导致靶血管超选困难，导丝、导管难以顺利进入靶血管。再者，束径导丝滑脱、释放过程中支架贴壁过早、超硬导丝在肾动脉等靶血管内控制不佳，也可造成靶血管丢失、夹层或破裂^[8]。慢性夹层相关胸腹主动脉夹层动脉瘤患者尤其应注意真腔受压、内脏分支起源复杂及内膜片影响，这类患者的术前规划与退行性动脉瘤并不完全相同。

预防靶血管相关并发症的关键在于术前精准规划和术中保留调整余地。术前应充分进行计算机断层扫描血管造影（computed tomography angiography, CTA）三维重建及中心线测量，准确测量病变长度、主动脉直径、判断靶血管开口方向。对于需要开窗或改装支架者，束径大小、长度及开窗位置必须进行个体化设计^[8]。值得注意的是，背部束径可能导致开窗孔位的相对位移，必要时可采取环形束径的方式。合理应用束径技术可在术中不阻断分支血流的前提下，为支架上下、左右调整保留空间，并在窗口轻度偏移时为导丝超选提供条件^[9]。若由上向下进行靶血管选择，开窗位置宜略高于靶血管实际开口，并且超选好一个分支再打开一段支架，以提高后续操作成功率^[8]。

术中需避免盲目追求一步释放到位，尤其是主动脉扭曲的患者。对于胸主动脉支架对位不满意者，必要时可退至降主动脉释放，不应在定位不清的情况下贸然释放。对于真腔狭小或扭曲严重患者，可考虑采用内嵌分支技术，并借助可调弯导管、可调弯鞘等提高分支超选成功率。束径导丝体外部分需固定好，支架前送和释放应始终轻柔，防止束径导丝滑脱。肾动脉等细小分支内导丝选择以兼顾支撑性与安全性为原则，术者和助手均应持续关注导丝头端位置及其与血管壁、肾脏轮廓的关系。一旦术中出现靶血管显影减弱、导丝无法进入、器官灌注异常或血流动力学不稳，应迅速判断属于靶血管丢失还是损伤。若为对位偏差导致的靶血管丢失，应尽快尝试经预留窗口重新选择、调整入路或采用平行支架等补救措施；若怀疑靶血管损伤，则应根据出血情况选择覆膜支架修复、选择性栓塞或紧急开放手术^[10]。对于无法在合理时间内完成安全补救的患者，及时中止复杂腔内操作并转为开放或杂交手术，往往优于在高风险状态下继续尝试^[11]。具体处理流程见图2。



图2 靶血管丢失或损伤处置流程图

Figure 2 Management algorithm for target-vessel loss or injury

1.3 入路相关并发症

入路相关并发症是主动脉腔内治疗最常见的围手术期问题之一,在复杂主动脉手术中尤为突出。由于复杂腔内治疗常需更粗的输送系统和更多器械交换,患者本身又常伴有髂股动脉狭窄、钙化和扭曲,因此入路损伤发生的风险明显增高。其临床表现包括穿刺部位出血、假性动脉瘤、髂股动脉夹层、血管撕裂、上肢神经损伤、远端缺血,甚至失血性休克^[12]。

预防入路相关并发症的核心是术前充分评估,术中谨慎通过^[13]。术前CTA除评估主动脉病变外,还应系统测量双侧股总动脉、髂外动脉和髂总动脉的直径,超声测量腋动脉/肱动脉直径,评估血管钙化、成角及扭曲程度。对于入路狭窄明显、钙化严重或存在既往手术瘢痕者,应提前准备外科显露、球囊预扩张、建立人工血管通路或调整入路,而不应在术中被动应对。对于带束径导丝的改装支架或头端与输送鞘存在明显缝隙的系统,尤其需要警惕通过狭窄扭曲血管时的损伤风险。

术中支架递送应遵循顺应血管走行、避免暴力推进的原则。必要时可进行球囊预扩张、交换更合适的鞘管穿过髂动脉或改用辅助人工血管通路^[14]。退鞘过程中建议同步手推造影剂,观察入路有无夹层或造影剂外渗。若发现异常,应立即停止操作并处理。对于高危患者,外科切开与血管修补应在术前即纳入方案。对于已发生的入路损伤,若仅为局限性夹层或轻度狭窄,可通过球

囊扩张或支架植入修复;如为血管撕裂、大量出血或腔内难以控制的损伤,则应果断开放止血、修补或行血管重建。术后仍需密切观察患肢灌注及足背动脉搏动,避免漏诊迟发性缺血损伤^[15]。

1.4 心脏并发症与急性肾损伤

复杂主动脉腔内治疗的患者多为中老年患者,常合并高血压、冠心病、糖尿病和慢性肾功能不全。复杂腔内治疗手术时间长、造影剂用量大、麻醉和容量管理要求高,血流动力学波动明显,因此,围手术期心脏不良事件和急性肾损伤等其他全身性事件发生的风险不容忽视^[16]。

围手术期心脏并发症的发生,一方面与患者既往冠状动脉病变和心功能储备有关,另一方面也与术中操作密切相关。复杂主动脉腔内治疗时,超硬导丝在升主动脉或主动脉瓣区停留和调整较多,若导丝塑形欠佳或头端控制不良,可能刺激主动脉根部甚至损伤冠状动脉开口。加之围手术期低血压、贫血、心动过速,容易诱发心肌供需失衡乃至急性心肌梗死^[17]。因此,术前应对患者进行规范的心脏风险评估。高危患者除常规的心电图、心肌酶谱、超声心动图以外,建议进一步行冠状动脉CTA,并请心内科会诊,以明确是否存在需要预先处理的冠状动脉病变。术中需加强与麻醉的协作,维持血流动力学稳定,避免明显低血压或血压剧烈波动。当超硬导丝顶在主动脉瓣时,应确保塑形自然、头端可视、受力柔和,尽量减少对主动脉根部和冠状动脉开口的刺激。

若术中或术后出现胸痛、心肌酶谱升高、心电图改变、室性心律失常、难以解释的低血压或乳酸升高，应高度警惕围手术期心肌缺血。此时应及时完善检查，并在必要时启动冠状动脉CTA和急诊介入流程。对于复杂主动脉腔内治疗患者而言，及时识别和快速处置心脏并发症，往往比事后补救更为关键。

急性肾损伤亦是复杂主动脉腔内修复术后常见且与预后密切相关的全身并发症，其发生与基线肾功能不全、肾动脉灌注受损、造影剂暴露、围手术期低血压、失血及栓塞事件等有关。术前应评估肾功能及肾动脉解剖，术中尽量减少造影剂用量并维持有效循环灌注，术后动态监测尿量、血肌酐及电解质。对于进行性肾功能恶化者，应及时排查肾动脉闭塞、栓塞或低灌注等可逆性原因，并在必要时联合肾内科进行肾脏替代治疗评估。

1.5 脑血管并发症

脑卒中是主动脉弓部及近弓部复杂腔内治疗最严重的神经系统并发症，也是影响术后功能结局的重要因素。其发生机制主要包括弓部粥样斑块或附壁血栓脱落栓塞、空气栓塞、脑灌注不足以及抗凝不足导致的血栓形成等^[18]。在复杂弓部腔内治疗中，双上肢大鞘置入、手术时间过长、肝素化不充分、反复弓上操作及患者本身弓上血管狭窄或动脉粥样硬化负荷重，均会增加脑梗死风险^[19-20]。

预防方面，术前应行颅内动脉、颈动脉及椎动脉CTA和上肢动脉超声，充分评估双侧腋动脉、颈动脉、椎动脉通畅性及主导供血情况，对弓上入路和脑循环代偿能力作出判断。术中在双上肢置鞘后，宜行弓上及必要的颅内造影，了解分支显影和脑灌注状况。复杂手术应进行活化凝血时间动态监测，并根据手术时间及时追加肝素。对于高风险患者，可联合脑氧监测，以便尽早发现灌注不足。术毕可根据术中操作范围、神经系统风险及造影条件复查弓上分支和颅内主要血管显影，以评估脑灌注及有无大血管闭塞。

一旦患者出现苏醒延迟、偏瘫、失语、意识障碍或后循环受累表现，应立即启动脑卒中绿色通道。对于大血管闭塞病例，可尽早行脑血管CTA及机械取栓手术；对后循环梗死同样不可掉以轻心。术后在神经内科、神经外科协作下进行

再灌注评估、脑保护和康复干预，有助于改善神经功能结局。

1.6 脊髓缺血与截瘫

脊髓缺血是胸腹主动脉复杂腔内修复术中最具灾难性的并发症。尽管发生率较低，但一旦出现截瘫，常导致永久性功能障碍，严重影响患者的生活质量。脊髓灌注依赖脊髓前动脉、肋间动脉、腰动脉、锁骨下动脉及髂内动脉等构成的侧支网络（图3）。复杂主动脉腔内治疗常需长段覆盖主动脉，甚至牺牲部分侧支血供，若同时合并围手术期低血压、出血、贫血、低氧或既往主动脉手术史，则更易导致脊髓缺血^[21]。临床实践提示，高龄、锁骨下动脉或腹腔干覆盖、持续吸烟、透析、移植物数量多、急诊手术、主动脉覆盖长度长、ASA分级高及手术时间长等，均提示脊髓缺血风险升高^[22-23]。

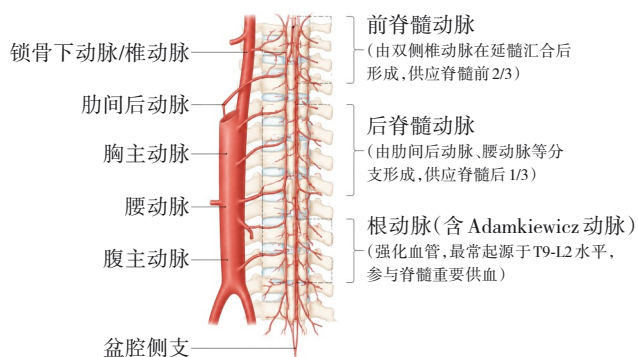


图3 脊髓血供及侧支网络示意图

Figure 3 Schematic illustration of spinal cord blood supply and the collateral network

脊髓保护应采用组合策略。术前应识别高危患者，评估是否需要分期治疗，必要时可采取临时外分支瘤腔灌注、二期栓塞等方式，为侧支循环建立预留时间^[24]。对长段胸腹主动脉覆盖或多分支重建患者，可根据中心经验、患者出血风险考虑是否进行预防性脑脊液引流。目前，循证医学证据尚不支持对所有患者常规采用术前预防性脑脊液引流策略^[25-26]。术中要严格控制失血，避免长时间低血压，并尽量维持充分平均动脉压。术后应持续进行神经功能观察，必要时维持较高脊髓灌注压，及时纠正贫血和低氧状态^[27]。

一旦出现下肢无力、感觉异常或括约肌功能障碍，应首先按脊髓缺血处理，而不应等待影像结果，推荐立即补救性引流或加强脑脊液引流、

提升平均动脉压、充分抗凝、纠正低氧和贫血^[28-29]。其他措施(如糖皮质激素、脱水治疗及高压氧等)尚缺乏高质量证据支持,不宜替代以提高脊髓灌注压、纠正低氧和贫血、脑脊液引流及恢复侧支灌注为核心的救援策略^[30-31]。

1.7 主动脉破裂与新发夹层

主动脉破裂和新发夹层较为罕见,但一旦发生往往直接威胁患者生命。其常见诱因包括球囊暴力扩张、硬导丝顶伤血管壁、在主动脉明显扭曲或钙化段强行推进器械等。对于主动脉夹层患者而言,由于主动脉管壁本身脆弱、真腔狭窄,这些风险更高。

预防的关键在于尊重病变本身的力学特征。对于夹层患者,应尽可能避免球囊扩张;硬导丝操作需柔和,避免直接损伤血管壁^[32]。对于急性主动脉夹层或合并壁间血肿的患者,若无紧急腔内干预指征,且锚定区条件不理想,应首先实施强化药物治疗,并在病变稳定及解剖条件改善后,再评估腔内治疗时机^[33]。若术中出现造影剂外渗、主动脉轮廓突变、血压骤降或新发剧烈疼痛,需警惕主动脉破裂或新发夹层。此时应迅速停止当前操作,近端阻断,必要时紧急追加覆膜支架封堵破口,并同步开展复苏、备血和开放手术准备。对新发夹层则需评估是否累及重要分支或影响锚定区安全,必要时调整手术方案。

1.8 器械相关意外情况

随着复杂腔内治疗的发展,器械相关并发症亦逐渐显现,如支架无法正常打开、输送鞘与支架间摩擦阻力过大、释放系统失灵、支架头端与tip头脱钩等。这类情况发生率极低,但一旦处理不当可迅速升级为主动脉损伤、靶血管丢失或需紧急中转开放手术。

其处理原则是切忌强行操作。当支架打开阻力异常或释放手感明显不符合常规时,应首先判断器械故障还是解剖受限。对尚可回收者,应尽快整体回收并重新评估;若已无法经腔内安全解决,则应进行开放取出或改用其他替代技术,如平行支架技术等。对于开展复杂腔内治疗的中心而言,器械故障应急预案、备用器械储备和中转开放能力同样属于手术安全体系的重要组成部分。

综上,复杂主动脉腔内治疗的围手术期严重并发症虽表现形式各异,但其发生往往与患者基础条件、病理解剖复杂性、术前规划不足、术中操作风险及围手术期管理不充分等多因素相关。临床处理应在明确并发症类型和严重程度的基础上,综合评估靶器官灌注、血流动力学状态及进一步腔内补救的可行性,及时采取针对性救援措施;对于腔内处理困难或存在持续恶化风险者,应果断启动开放或杂交手术救援。为便于临床快速掌握各类主要严重并发症的发生机制及处理原则,现将其归纳总结如下(表1)。

表1 复杂主动脉腔内治疗主要严重并发症的发生机制与处理要点

Table 1 Mechanisms and key management principles of major severe complications after complex endovascular aortic repair		
并发症	主要机制	处理原则
内漏	近远端锚定区不足、桥接支架重叠不足、分支反流、靶血管相关内漏	高流量内漏优先处理,低流量、II型内漏可先随访
靶血管丢失/损伤	开窗错位、主体支架贴壁过早、桥接支架打折、硬导丝损伤	保留导丝、重新超选、平行支架补救、开放或杂交手术救援
入路相关损伤	大鞘通过狭窄钙化入路、暴力推进或退鞘	球囊扩张/支架修复,严重者开放止血或重建
心脏并发症	心肌供需失衡、冠状动脉病变、导丝刺激	心内科协作,必要时冠状动脉CTA/介入,纠正诱因
脑血管并发症	弓部栓塞、空气栓塞、脑灌注不足、抗凝不足	卒中绿色通道;大血管闭塞评估取栓;神经内/外科协作
脊髓缺血	节段动脉覆盖和侧支网络受损叠加低灌注	提升平均动脉压、纠正贫血低氧、补救性脑脊液引流、综合策略
主动脉破裂/新发夹层	球囊或导丝损伤、锚定区不良、支架径向力过大	停止操作、液体复苏、追加覆膜支架、开放手术
器械相关意外	释放系统失灵、支架打不开、支架脱钩	避免强行操作,采用回收或替代技术,必要时开放取出

2 小结与展望

复杂主动脉腔内修复术正推动主动脉疾病治疗向微创化、个体化和精准化发展,但其技术复

杂性和围手术期风险亦随之增加。内漏、靶血管丢失或损伤、入路相关损伤、心脑血管并发症、脊髓缺血、主动脉破裂或新发夹层,以及器械相关意外等,均可能对患者围手术期安全性和远期

预后造成重要影响。因此,复杂主动脉腔内修复术的安全实施不应仅以技术成功为目标,而应强调以患者临床获益为导向的全流程风险管理。

在临床实践中,应坚持风险前移、防治结合和快速响应的原则:术前依托高质量影像学评估完成个体化规划,术中通过规范操作、实时监测和团队协作降低并发症发生风险,术后则通过动态随访和多学科救援实现并发症的早期识别与及时处理。未来,随着专用器械的迭代、影像融合导航和人工智能辅助规划技术的发展,以及高质量前瞻性临床证据的积累,复杂主动脉腔内修复术的适应证和安全边界有望进一步拓展。无论技术如何发展,严格把握适应证、审慎实施操作及具备完善救援能力,始终是保障复杂主动脉腔内修复术安全性的基础。

作者贡献声明:周旻负责文献检索、撰写初稿;符伟国负责论文框架、内容修改和审稿。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- [1] Wanhainen A, Gombert A, Antoniou GA, et al. European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2026 clinical practice guidelines on the management of descending thoracic and thoraco-abdominal aortic diseases-editor's choice[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2026, 71(2):172-270. doi:10.1016/j.ejvs.2025.12.050.
- [2] Mazzolai L, Teixido-Tura G, Lanzi S, et al. 2024 ESC Guidelines for the management of peripheral arterial and aortic diseases[J]. *Eur Heart J*, 2024, 45(36): 3538-3700. doi: 10.1093/eurheartj/ehae179.
- [3] Wanhainen A, Van Herzelee I, Bastos Goncalves F, et al. Editor's choice: European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2024 clinical practice guidelines on the management of abdominal aorto-iliac artery aneurysms[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2024, 67(2): 192-331. doi:10.1016/j.ejvs.2023.11.002.
- [4] Li R, Jiang J, Zhang J, et al. Endovascular management for post-dissection aortic aneurysm after prior proximal repair[J]. *iScience*, 2026, 29(3):115166. doi:10.1016/j.isci.2026.115166.
- [5] Huang Y, Colglazier J, Pochettino A, et al. Treatment trends and outcomes of endovascular versus open thoracoabdominal aortic aneurysm repair - a single-center comparative cohort study[J]. *Ann Surg*, 2025. doi: 10.1097/SLA.0000000000006848. [Online ahead of print]
- [6] Tsilimparis N, Gouveia E, Melo R, Tenorio ER, et al. Multicenter study on physician-modified endografts for thoracoabdominal and complex abdominal aortic aneurysm repair[J]. *Circulation*, 2024, 150(17): 1327-1342. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.123.068587.
- [7] Kärkkäinen JM, Tenorio ER, Jain A, et al. Outcomes of target vessel endoleaks after fenestrated-branched endovascular aortic repair[J]. *J Vasc Surg*, 2020, 72(2): 445-455. doi: 10.1016/j.jvs.2019.09.055.
- [8] Tenorio ER, Oderich GS. Pitfalls in sizing and planning for fenestrated and branched stent-grafts in patients with chronic post-dissection thoracoabdominal aortic aneurysms[J]. *J Cardiovasc Surg (Torino)*, 2025, 66(3): 167-177. doi: 10.23736/S0021-9509.25.13416-2.
- [9] Chait J, Tenorio ER, Mendes BC, et al. Impact of gap distance between fenestration and aortic wall on target artery instability following fenestrated-branched endovascular aortic repair[J]. *J Vasc Surg*, 2022, 76(1):79-87. doi:10.1016/j.jvs.2022.01.135.
- [10] Natour AK, Tabiei A, Colglazier JJ, et al. Role of open surgery as an adjunct or bailout in visceral and renal artery incorporation for fenestrated/branched endovascular aortic repair[J]. *J Vasc Surg*, 2026, 83(6):1494-1503. doi:10.1016/j.jvs.2026.01.023.
- [11] Vacirca A, Mesnard T, Huang Y, et al. Predictors of failure to rescue after fenestrated-branched endovascular aortic repair of thoracoabdominal aortic aneurysms[J]. *J Vasc Surg*, 2025, 82(1): 32-42. doi:10.1016/j.jvs.2025.02.032.
- [12] Sulzer T, Tenorio ER, Mesnard T, et al. Intraoperative complications during standard and complex endovascular aortic repair[J]. *Semin Vasc Surg*, 2023, 36(2): 189-201. doi: 10.1053/j.semvasc.2023.04.002.
- [13] Mesnard T, Vacirca A, Baghbani A, et al. Prospective evaluation of upper extremity access and total transfemoral approach during fenestrated and branched endovascular repair[J]. *J Vasc Surg*, 2024, 79(5):1013-1023. doi:10.1016/j.jvs.2023.12.033.
- [14] Dias-Neto M, Marcondes G, Tenorio ER, et al. Outcomes of iliofemoral conduits during fenestrated-branched endovascular repair of complex abdominal and thoracoabdominal aortic aneurysms[J]. *J Vasc Surg*, 2023, 77(3): 712-721. doi: 10.1016/j.jvs.2022.10.050.
- [15] Tenorio ER, Balachandran PW, Marcondes GB, et al. Incidence, predictive factors, and outcomes of intraprocedure adverse events during fenestrated-branched endovascular aortic repair of complex abdominal and thoracoabdominal aortic aneurysms[J]. *J Vasc Surg*, 2022, 75(3):783-793. doi:10.1016/j.jvs.2021.10.026.
- [16] Oderich GS, Huang Y, Harmsen WS, et al. Early and late aortic-related mortality and rupture after fenestrated-branched

- endovascular aortic repair of thoracoabdominal aortic aneurysms: a prospective multicenter cohort study[J]. *Circulation*, 2024, 150(17): 1343–1353. doi:10.1161/circulationaha.123.068234.
- [17] Ghouchani MS, Allameh SA, Farajzadegan Z, et al. Early results and outcome predictors of the off-the-shelf t-branch endograft for endovascular repair of thoracoabdominal aortic aneurysms: a systematic review and meta-analysis[J]. *Indian J Thorac Cardiovasc Surg*, 2025, 41(12):1704–1714. doi:10.1007/s12055-025-02044-0.
- [18] Jia H, Yuan P, Wu S, et al. The Evaluation of Outcomes after Thoracic Endovascular Aortic Repair for Type B Aortic Dissection in mainland China[J]. *Ann Vasc Surg*, 2024, 104: 217–226. doi: 10.1016/j.avsg.2023.12.087.
- [19] 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. doi: 10.1016/j.jacc.2023.04.053.
- [20] Abdelhalim MA, Tenorio ER, Oderich GS, et al. Multicenter trans-Atlantic experience with fenestrated-branched endovascular aortic repair of chronic post-dissection thoracoabdominal aortic aneurysms[J]. *J Vasc Surg*, 2023, 78(4): 854–862. doi: 10.1016/j.jvs.2023.05.053.
- [21] Tenorio ER, Oderich GS. Spinal cord protection: lessons learned from endovascular repair[J]. *Ann Cardiothorac Surg*, 2023, 12(5): 484–486. doi:10.21037/acs-2023-scp-0049.
- [22] Aucoin VJ, Motyl CM, Novak Z, et al. Predictors and outcomes of spinal cord injury following complex branched/fenestrated endovascular aortic repair in the US Aortic Research Consortium[J]. *J Vasc Surg*, 2023, 77(6):1578–1587. doi:10.1016/j.jvs.2023.01.205.
- [23] Piazza M, Squizzato F, Milan L, et al. Incidence and predictors of neurological complications following thoracic endovascular aneurysm repair in the global registry for endovascular aortic treatment[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2019, 58(4):512–519. doi: 10.1016/j.ejvs.2019.05.011.
- [24] Godeiro Fernandez M, Pimentel-Junior D, Dias-Neto M, et al. A systematic review and meta-analysis comparing single-stage versus multistaged approaches for endovascular repair of extensive thoracoabdominal aortic aneurysms[J]. *J Vasc Surg*, 2025, 82(1): 275–285. doi:10.1016/j.jvs.2025.01.234.
- [25] Sickels AD, Novak Z, Schanzer A, et al. Evolving practices of spinal drain use for branch/fenestrated endovascular aortic repair patients in the United States Aortic Research Consortium[J]. *J Vasc Surg*, 2025, 81(6):1266–1277. doi:10.1016/j.jvs.2025.01.216.
- [26] Mousa AY, Morcos R, Broce M, et al. New preoperative spinal cord ischemia risk stratification model for patients undergoing thoracic endovascular aortic repair[J]. *Vasc Endovascular Surg*, 2020, 54(6): 487–496. doi:10.1177/1538574420929135.
- [27] Chait J, Tabiei A, Oderich GS, et al. Spinal cord ischemia prevention and management in thoracoabdominal branched endovascular aortic repair[J]. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 2025, 37(4):363–371. doi:10.1053/j.semtcvs.2025.03.003.
- [28] Babocs D, Kanamori LR, Schmid BP, et al. Increasing clinical experience and changes in practice protocols improved outcomes of fenestrated branched endovascular repair of complex aortic aneurysms[J]. *J Vasc Surg*, 2025, 82(4):1156–1167. doi: 10.1016/j.jvs.2025.05.031.
- [29] Blakeslee-Carter J, Novak Z, Jansen JO, et al. Prospective randomized pilot trial comparing prophylactic and therapeutic cerebrospinal fluid drainage during complex endovascular thoracoabdominal aortic aneurysm repair[J]. *J Vasc Surg*, 2024, 80(1):11–19. doi:10.1016/j.jvs.2024.02.041.
- [30] Sickels AD, Novak Z, Scali ST, et al. A prevention protocol reduces spinal cord ischemia in patients undergoing branched/fenestrated endovascular aortic repair[J]. *J Vasc Surg*, 2025, 81(1):29–37. doi: 10.1016/j.jvs.2024.08.056.
- [31] Scali ST, Kim M, Kubilis P, et al. Implementation of a bundled protocol significantly reduces risk of spinal cord ischemia after branched or fenestrated endovascular aortic repair[J]. *J Vasc Surg*, 2018, 67(2):409–423. doi:10.1016/j.jvs.2017.05.136.
- [32] Wang LX, Zhao YF, Zhang W, et al. Retrograde type A aortic dissection after thoracic endovascular aortic repair: incidence, time trends and risk factors[J]. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 2021, 33(3):639–653. doi:10.1053/j.semtcvs.2020.11.010.
- [33] Naito N, Takagi H. Thoracic endovascular aortic repair for retrograde type A intramural hematoma or aortic dissection with intimal disruption in the descending aorta: Systematic review and meta-analysis[J]. *Perfusion*, 2025, 40(7): 1663–1677. doi: 10.1177/02676591251322963.

(本文编辑 宋涛)

本文引用格式:周旻,符伟国. 复杂主动脉腔内修复术围手术期严重并发症的预防与处理[J]. 中国普通外科杂志, 2026, 35(6):1120–1127. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.260221

Cite this article as: Zhou M, Fu WG. Prevention and management of severe perioperative complications after complex endovascular aortic repair[J]. *Chin J Gen Surg*, 2026, 35(6): 1120–1127. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.260221