

• 综 述 General review •

Stanford B 型主动脉夹层腔内修复术后主动脉扩张性病变的研究进展

李天祯

【摘要】 胸主动脉腔内修复术(thoracic endovascular aortic repair, TEVAR)目前是 Stanford B 型主动脉夹层(type B aortic dissection, TBAD)的主要治疗方法,当下治疗原则以封堵近端破口为主,而旷置远端破口导致假腔血栓化受阻;主动脉形态及支架远端弹性应力变化,导致管腔局部点压力扩大,形成新发破口或再发夹层导致假腔瘤样扩张,甚至急性破裂致死。术后应通过定期 CTA 随访,严密监测支架远端管径变化、残留破口直径及假腔血栓化程度。本文通过总结国内外文献,对 TEVAR 后主动脉扩张性病变的发病原因、机制及处理方法等进行归纳并作综述。

【关键词】 胸主动脉腔内修复术; 主动脉夹层; 支架移植物远端新发破口

中图分类号:R543.1 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2024)-04-0443-06

Research progress in aortic dilatation lesions occurring after endovascular repair of Stanford type B aortic dissection LI Tianyi. Department of Medical Imaging, The First Affiliated Hospital of Ningbo University, Ningbo, Zhejiang Province 315010, China

Corresponding author: LI Tianyi, E-mail: 15145292818@163.com

【Abstract】 At present, thoracic endovascular aortic repair(TEVAR) is the main therapeutic method for Stanford type B aortic dissection(TBAD). The current treatment principle is mainly to occlude the proximal rupture, while the distal rupture is left open, causing the false lumen unable to become thrombosis. Changes in aortic morphology and elastic stress at the distal end of the stent will lead to increased pressure at the local point of the lumen and produce a new rupture or recurrent dissection, thus, causing tumor-like expansion of the false lumen, or even leading to acute rupture and death. After operation, regular CTA follow-up is required so as to closely monitor the changes in the distal stent diameter, the residual rupture diameter and the degree of thrombosis within the false lumen. By reviewing the domestic and foreign literature, this article summarizes the causes, mechanisms and treatment of aortic dilatation lesions occurring after TEVAR for TBAD. (J Intervent Radiol, 2024, 33: 443-448)

【Key words】 thoracic endovascular aortic repair; aortic dissection; distal stent graft-induced new entry

胸主动脉腔内修复(thoracic endovascular aortic repair, TEVAR)最初普遍应用于主动脉瘤的治疗,自Dake等在1994年首次采用内移植术成功治疗主动脉扩张性疾病以来,血管腔内治疗技术以及诸多腔内治疗器械得到了飞速发展,TEVAR也逐渐成为Stanford B型夹层(type B aortic dissection, TBAD)的首选外科治疗方法。Xiong等^[1]在一项Meta分析中纳入了2001~2007年接受TEVAR的B型主动脉夹层患者1304例,结果显示技术成功率大于99%,

围手术期病死率为2.5%。另有研究显示,近年来,国内Stanford B型夹层行腔内修复术完成率可达99%及以上^[2]。由此可见,TEVAR在临床实践中具有良好的安全性,围手术期病死率与开放性手术相比显著降低,在一定程度上替代了开胸人造血管置换术这一传统的治疗方法。

对于B型主动脉夹层患者,腔内修复术治疗目的为封堵原发性内膜破口,阻止血液进入假腔,促进假腔血栓形成进而引起主动脉重构,使主动脉分

支及相应脏器恢复血供^[3]。但是,在国内外的多个随访中发现,TEVAR 后主动脉重塑效果不甚理想,部分患者术后可出现全主动脉或假腔直径增大或瘤样扩张。TEVAR 后主动脉扩张性病变是指支架植入后发生在远端的主动脉病变,其主要原因有:内漏导致的假腔持续供血;支架移植物远端新发破口;腔内修复术后局部炎症加重;主动脉壁中层薄弱导致新的主动脉扩张以及覆膜支架覆盖长度较短等^[4]。TEVAR 后主动脉扩张性疾病一旦出现即可能出现主动脉内膜撕裂,甚至可能导致患者死亡。目前对于该病的报道较少。本文将从 TEVAR 后主动脉扩张性疾病的发病原因、机制以及处理方法进行综述。

1 发病原因及机制

1.1 内漏导致的假腔持续供血

内漏是 TEVAR 后的常见并发症,是指支架移植物与锚定区贴合不充分,导致仍有血流进入假腔。内漏主要分为 4 型:I 型内漏主要是指血液经近心端(I a)或远心端(I b)主动脉间的缝隙流入假腔,原因包括:主动脉弓近端解剖不良,支架直径选择不当,支架塑性不佳,锚定区与支架贴附不紧密等^[5]。II 型内漏是指反流,包括来源于远端裂口逆流,大动脉和内脏动脉单个(II a)或多个(II b)小分支动脉反流入假腔。III 型内漏是指与移植物毁损或连接有关的内漏,包括支架毁损、人造血管破裂以及穿孔等^[6]。IV 型内漏是指移植物密封性能较差,形成广泛渗漏。

其中,I 型内漏较为严重,部分患者可能需要进行 2 次手术。内漏发生时,高速血流会使支架与主动脉间隙压力逐渐增大,覆膜支架对主动脉壁的压力以及假腔内的压力也随之增大,假腔直径亦是如此,因而出现主动脉扩张,甚至瘤样扩张的概率也会增加^[7]。因此,在临床诊疗的过程中应对内漏患者进行严密的随访,必要时对主动脉严重扩张者进行 2 次手术治疗。

1.2 支架移植物远端新发破口

支架移植物远端新发破口(distal stent graft-induced new entry, dSINE)是指覆膜支架封堵破口后,夹层内膜与移植物远端接触部位再次发生撕裂,形成新发破口。dSINE 可能发生在支架远端 2~3 cm 内,其发生过程与未经处理的残余内膜撕裂不同,通常是血管腔内操作过程中由于疾病进展或医源性损伤引起的多处内膜撕裂,发生率为 1.3%~

34.8%,可导致主动脉扩张,甚至是假性动脉瘤、再剥离和破裂,死亡率高达 28.6%^[8]。导致 dSINE 的危险因素可能有如下几个方面。

1.2.1 慢性期主动脉夹层 由于急性 TBAD 患者内膜更薄、延展性大,当血管内置入支架后更容易拉伸并恢复到原来的形态,所以 TEVAR 后主动脉重塑效果较好。然而,慢性期患者由于发病时间较长,内膜发生纤维化而增厚,移植物会对僵硬的真腔产生持续性损伤,最终会导致新的内膜撕裂^[9]。Huang 等^[11]在研究中也描述了从起病到初次行 TEVAR 治疗历时 18 个月的病例,dSINE 风险增加了 3.5 倍。故而夹层患者确诊后应尽快治疗,以期得到更好的疗效。

1.2.2 主动脉和夹层内膜相对脆弱 TEVAR 治疗是将支架移植物近端锚定在近心端的正常管壁,远端留置于真腔内,从而封堵破口,诱导假腔血栓化形成,达到扩大真腔的目的。然而,有些 TBAD 患者累及范围较大且不只有一个破口,所以移植物远端锚定区常位于病变节段。而夹层内膜瓣因其撕裂时产生的水肿及炎症反应而相对较为脆弱,难以抵抗来自支架末端的机械脉冲刺激和强大的径向力,故而会增加主动脉壁的损伤风险,而最终导致瘤样扩张甚至撕裂^[11]。

除去疾病进展导致的主动脉壁和夹层内膜损伤,患者自身患有的先天结缔组织病变也会使内膜相对脆弱。马凡(Marfan)综合征患者由于血管壁结缔组织异常,导致主动脉壁弹性纤维病理性拉长,顺应性下降,在病程迁延期间可反复出现新发破口,易发生主动脉夹层破裂等并发症。这类患者接受 TEVAR 治疗后,因其主动脉壁的脆弱性导致 dSINE 发生的可能性更大^[12-13]。

1.2.3 支架移植物的弹性应力 在血管腔内放置移植物的过程中,支架移植物依靠其直径扩张与主动脉壁贴合,因此支架本身具有的弹性应力与夹层形态密切相关,包括支架移植物长度、支架远端扩张率、支架远端与降主动脉纵轴的夹角、锚定区的真腔锥度等都与 dSINE 的发生相关。然而,目前很多研究得出的结论相悖,对于上述因素涉及到的测量方法也不一致,故而争议尚存。

Ma 等^[14]在一项回顾性分析中,共对 997 例患者进行了平均 2.6 年的随访,在研究中发现,支架的长度<165 mm 被认为可能会产生更大的弹力或使支架与主动脉壁产生相互作用,导致 TEVAR 后远端破口发生率提高。同时,选择较短的支架也可能使支架远端与降主动脉纵轴成角,进而会导致

远端局部主动脉壁承受的点压力过大,术后主动脉扩张的发生率也随之增大。而适当选择较长的支架可以使支架远端与主动脉壁贴合的更加紧密,可以尽量避免支架与主动脉壁径向成角。

在放置支架移植物时,支架本身产生的弹性回直能力也是发生 dSINE 的原因之一。移植物如放置于主动脉弓处,有弹回到最初笔直状态的趋势,作用力集中于支架两端,可能会使僵硬的内膜受到损伤,导致术后主动脉重构不佳^[15]。

除此之外,支架远端的径向力也会导致 dSINE 的发生。降主动脉的生理形态由近心端至远心端逐渐变细,Xu 等^[16]根据 20 例健康成年人的 CTA,测量了主动脉弓部和主动脉中段直径,得到的渐细率为 $(13.0\pm 4.7)\%$,而夹层发生时血液不断从破口流入假腔,真腔受到明显的压缩,渐细率增加至 $(23.6\pm 11.3)\%$,呈现出更细的锥形改变。术前选定的支架的扩张率通常在近端锚定区直径基础上扩大 $10\%\sim 15\%$,此时,当近端锚定区较大的支架移植物与相对较细的锥形真腔不匹配时,则会导致支架远端边缘径向力增加,随着时间的推移,支架远端撕裂的发生率随之上升。Zhao 等^[17]在研究中也得到了这样的结论,并发现采用限制性裸支架,可以减少远端过长和内膜损伤,从而改善相应水平的主动脉重构。有学者在 TEVAR 远期并发症的回顾性分析中也发现,过大的支架会产生较强的机械径向力,很容易导致主动脉内膜新发撕裂。从以上几个方面来分析,使用锥形支架更符合主动脉渐细的形态学变化,并可以根据远端主动脉管腔情况选择合适的锥度,从而大大降低了支架远端再发夹层的概率^[18]。

1.2.4 支架相对移位 近些年来使用的主动脉支架近端附着区已经配备了钩和倒钩,以防止支架移行,但支架远端固定和连接仍然仅依赖于支架本身的扩张^[19]。支架移植物的迁移与支架远端显著的位移力和搏动性移植物运动有关,同时也取决于支架位移力的大小和方向,且主要由支架端部的压力方向变化导致。研究表明,高血压不仅是 TEVAR 后支架位移的危险因素,并且支架近端锚定面积 $>30\%$ 会导致支架位移的风险增加^[20]。在 Qing 等^[21]的建模和分析中,支架近端和远端的角度在总位移力中起着关键作用,如角度没有显著差异,则两端的压力将相互抵消从而位移力较小,反之则位移力将增大。因此,支架近端和远端角度最小化,可以降低 TEVAR 后的位移风险。

通常发生支架移位的患者是在随访 CTA 时发

现且无任何临床症状,少部分患者可以表现为胸痛、发热、呼吸困难等非特异症状。如患者确诊为支架移位引发的远端新发夹层,应密切监测患者血压,并根据患者的临床症状选择适当的治疗措施。血压维持稳定并无其他临床症状者,可密切观察随访 CTA,如随访期间患者出现胸痛,CTA 出现假腔持续增大或呈瘤样扩张,则可再次进行手术^[22]。

1.3 逆行性 A 型主动脉夹层

逆行性 A 型主动脉夹层(retrograde type A aortic dissection, RTAD) 是一种罕见但致命的并发症,TEVAR 后可导致升主动脉扩张,虽然它的发病率在 $1.33\%\sim 3.17\%$ 之间,但死亡率高达 42% ^[23]。其原因可归纳为以下几点:

1.3.1 主动脉本身因素 ①主动脉夹层发生及干预过程中,主动脉的原始形状发生了改变,由此产生的解剖异常致使主动脉内膜损伤;②动脉粥样硬化导致的主动脉形态迂曲、僵硬,使得支架移植物近端的主动脉内膜僵硬、受损;③马凡综合征或其他结缔组织病和主动脉瓣或二尖瓣畸形的患者 TEVAR 后更容易发生 RTAD。

1.3.2 手术操作过程因素 术中对主动脉壁的损伤是引起 RTAD 的另一个重要原因。随着介入手术的增多,导管引起的医源性主动脉夹层越来越受到重视。介入手术中,导丝、支架系统的送入过程有可能对血管壁造成损伤,而诱发逆行性 A 型夹层发生^[24]。另外,支架植入后球囊扩张也是导致 TEVAR 后 RTAD 的危险因素,使用球囊扩张可以加强支架附着,但是同时也会增大支架对主动脉壁的张力,尤其是在急性水肿期,管壁更加脆弱,内膜发生再次破裂的可能性增加^[25]。

1.3.3 支架相关因素 ①支架尺寸过大($>20\%$)会增加对主动脉壁的径向力,也有研究认为移植物内腔尺寸 $>9\%$,每增加 1% ,RTAD 的风险增加 14% ,过度的径向力会破坏脆弱的主动脉壁;②近端裸支架金属端更易损伤主动脉内膜,甚至完全嵌入内膜,同时其金属尖端更易集中应力,则主动脉内膜损伤概率增加^[21,26]。

1.4 其他

主动脉中层退行性改变、遗传性结缔组织病、先天性主动脉畸形等都会导致管壁弹力纤维表达或排列的改变。例如马凡综合征、Ehlers-Danlos 综合征都会使主动脉壁脆性增加,这类患者腔内修复术后发生主动脉扩张或主动脉撕裂的可能性更高。所以,针对这种特殊的患病群体,如何制定更加安

全的治疗方案还有待商榷^[27]。

2 处理方法

传统的 TEVAR 手术仍以封堵近端破口为主,显著的主动脉重构通常局限于支架覆盖区域,而腹主动脉仍存在血流交通,部分内脏动脉因由假腔供血而灌注不良。因此,在 TEVAR 的基础上引入了多种血管内辅助技术。

2.1 PETTICOAT 技术

预置延伸以诱导完全贴合(provisional extension to induce complete attachment,PETTICOAT)技术是指第一阶段植入覆膜支架封闭主破裂口,随后将限制性裸金属支架(bare metal stent,BMS)延伸至远端主动脉,2个支架的重叠范围至少 30 mm,即使第 1 支架远端边缘出现了新发破口,也会被第 2 支架覆盖,且 BMS 的置入可在覆膜支架远端限制其过度扩张^[28],该技术可以显著并持续扩大胸腹主动脉真腔(TL)直径,起到保护局部管壁和稳定血流动力学的作用,降低 dSINE 发生率,且在远期随访中其主动脉再介入术率显著低于单独封闭近端入口,而且在腹主动脉重塑方面也有显著改善。然而,该技术同样存在一定的局限性,Kobayashi 等^[29]报道了 1 例 PETTICOAT 治疗主动脉夹层后 BMS 的迁移,作者认为 TL 的扩张会影响支架于 TL 内表面的一致性,也就是影响支架外曲率,导致 BMS 迁移。

另有研究者提出一种改良的 PETTICOAT 技术,即在胸部覆膜支架置入前率先置入裸金属支架,认为这样比传统 PETTICOAT 技术更有效地预防 SINE 事件和 2 次干预的要求^[30]。然而在事先部署裸金属支架的情况下,胸部覆膜支架的远端与主动脉内膜之间的间隙会增加 Ib 型或 III 型内漏的风险^[31]。

此外,在 PETTICOAT 的基础上,还有部分学者提出了诸多改良技术。

(1)E-PETTICOAT 技术:于 2018 年首次提出,在标准 PETTICOAT 技术的基础上,在裸金属支架远端增加了延长至髂分支的平行支架。在 Wamala 等^[32]的研究中,有 49 例患者植入了内脏支架及髂动脉支架,术后随访中发现,中期 47%、15%和 24%的患者在腹腔干、肾动脉和主动脉分叉处观察到完全假腔(FL)血栓形成,远端主动脉持续 FL 灌注主要是髂动脉、内脏动脉、腰主动脉和远端主动脉重新进入引起,从而导致主动脉瘤生长的风险增加。E-PETTICOAT 技术后持续的 FL 灌注可能是晚期动脉瘤生长的重要因素。

(2)Full-Petticoat 技术:全 PETTICOAT 技术近端以覆膜支架封闭入撕裂口,并且扩展裸金属支架至终端主动脉分叉处以扩张缩窄的 TL,实现了对整个降主动脉的全覆盖。因此,在治疗因急性 TBAD 而出现肢体缺血改变的患者时,可以选择 TEVAR 和 Full-Petticoat 技术^[33]。

2.2 STABILIZE 技术

支架辅助球囊诱导内膜破裂及再贴合(stent-assisted balloon-induced intimal disruption and relamination in aortic dissection repair,STABILIZE)技术与 PETTICOAT 技术相似。单纯 STABLE 技术包含两个阶段:第一阶段包括近端的主撕裂口封闭和置入远端裸金属支架,第二阶段根据患者主动脉情况置入分支血管覆膜支架或较短的主动脉支架以封堵次级撕裂口。而 STABILIZE 技术在 STABLE 技术的基础上进行改进,在覆膜支架远端进行球囊扩张来使支架将内膜层重新逼近到胸腹主动脉外壁,从而完全消除 FL,立即恢复单腔胸腹主动脉血流灌注。有研究阐述,该技术的支架远端的直径不超过 42 mm,长度至少 20 mm,在技术可行的情况下,近端支架移植覆盖通常应延伸至腹腔干以上 100~150 mm,以保护肋间动脉。

尽管 Steady 技术的短期重塑效果较好,可以导致 FL 血栓化,主动脉最大径减小。然而在 Vecchini 等^[34]的研究中,1 年后的随访结果中部分患者术后 CTA 显示,在裸支架水平主动脉直径显著增加的发生率为 41.8%,这可能与手术中强制主动脉重塑而使其变得脆弱或与 AD 的自然演变有关;另外,还与手术时机相关。慢性期 AD 的主动脉内膜瓣僵硬,即使用球囊扩张后,依然不能完全复位,故而封堵效果不佳,或可导致新的内膜撕裂,进而导致主动脉瘤形成^[34-36]。

2.3 Knickerbocker 技术

于 2014 年由 Kolbel 等首次提出,即在常规 TEVAR 后,如在支架远端观察到 FL 逆行流动,在降主动脉临时使用可控辅助球囊扩张 TL,阻止血流从远端破口逆行进入假腔,从而诱导 FL 血栓形成到胸主动脉远端;需要注意的是,远端主动脉直径需要在正常范围(<35 mm),且这种技术只适用于主动脉夹层术后再发 Stanford B 型夹层,或夹层累及腹主动脉,并多发破口者^[37]。Beaufort 等^[38]在其单中心研究中发现,Knickerbocker 技术在亚急性患者中的主动脉阳性重塑效果更好;然而 Rohlfes 等^[39]在研究中纳入了慢性期 TBAD 患者,术后随访中部分

患者 FL 完全血栓化, 未出现 SINE 及主动脉扩张, 并且该技术避免覆盖较长主动脉段, 从而降低了脊髓损伤的风险。

2.4 3D 打印技术制作个性化支架

近些年来, 有学者采用先进的 3D 打印技术制作的个性化支架更能顺应主动脉的几何特征, 使复杂的主动脉解剖结构可视化, 并有助于术中更加精准的定位, 对于血管迂曲者还可通过术前模拟手术过程从而提高手术的安全性^[40]。黄树杰等^[41]在实验中发现, 运用 3D 打印技术结合改良输送技术能够降低降主动脉扩张性疾病。

3 小结与展望

目前, Stanford B 型主动脉夹层腔内修复术已经日渐成熟, 随着介入技术的发展, 截瘫、卒中等严重并发症的发病率呈下降趋势。然而, 近年来在多个长期随访研究中, 对 TEVAR 后主动脉扩张性病变的报道逐渐增多, 并有患者因术后发生的假腔瘤样扩张或主动脉夹层急性撕裂而死亡。这就提示我们在临床治疗中, 应根据患者一般情况及影像学检查结果制定更加合理的腔内治疗方案, 如适当增加锚定区长度, 使用锥形支架或在远端植入限制性裸支架等方法。除此之外, 还应密切随访 CTA, 观察 FL 状态, 从而降低不良预后的发生风险。

另外, TEVAR 后发生主动脉扩张是由支架移植物与主动脉的形态之间的差异造成, 虽然一些辅助改良血管内技术可以改善这一并发症的发生, 但是研制新的符合主动脉生物学特性的人工材料也是避免此类晚期并发症的研究方向之一, 期待新的材料能够为预防 TEVAR 后主动脉扩张做出贡献。

[参考文献]

- [1] Xiong J, Jiang B, Guo W, et al. Endovascular stent graft placement in patients with type B aortic dissection: a meta-analysis in China[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2009, 138: 865-872.
- [2] Hanna JM, Andersen ND, Ganapathi AM, et al. Five-year results for endovascular repair of acute complicated type B aortic dissection[J]. J Vasc Surg, 2014, 59: 96-106.
- [3] Tanious MA, Boitano L, Canha BL, et al. Thoracic aortic remodeling with endo-grafting after a decade of TEVAR experience[J]. J Vasc Surg, 2021, 73: 844-849.
- [4] 王睿涵, 司逸, 符伟国. 浅析 Stanford B 型主动脉夹层胸主动脉腔内修复术后支架远端并发症[J]. 中华血管外科杂志, 2021, 6: 209-214.
- [5] Qi RD, Zhu JM, Liu YM, et al. The repair of a type Ia endoleak following thoracic endovascular aortic repair using a stented elephant trunk procedure[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2018, 155: 1391-1396.
- [6] Sharafuddin MJ, Reece TB, Papia G, et al. Proposed classification of endoleaks after endovascular treatment of Stanford type-B aortic dissections[J]. Vascular, 2019, 27: 585-594.
- [7] 杨素萍, 简远熙, 张文卿, 等. Stanford B 型主动脉夹层腔内修复术后 I 型内漏危险因素分析[J]. 介入放射学杂志, 2021, 30: 769-773.
- [8] Kapetanios D, Banafsche R, Jerkku T, et al. Current evidence on aortic remodeling after endovascular repair[J]. J Cardiovasc Surg(Torino), 2019, 60: 186-190.
- [9] Li Q, Ma WG, Zheng J, et al. Distal stent graft-induced new entry after TEVAR of type B aortic dissection: experience in 15 years[J]. Ann Thorac Surg, 2019, 107: 718-724.
- [10] Jang H, Kim MD, Kim GM, et al. Risk factors for stent graft-induced new entry after thoracic endovascular aortic repair for Stanford type B aortic dissection[J]. J Vasc Surg, 2017, 65: 676-685.
- [11] Huang CY, Hsu HL, Chen PL, et al. The impact of distal stent graft-induced new entry on aortic remodeling of chronic type B dissection[J]. Ann Thorac Surg, 2018, 105: 785-793.
- [12] Janosi RA, Tsagakis K, Bettin M, et al. Thoracic aortic aneurysm expansion due to late distal stent graft-induced new entry[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2015, 85: E43-E53.
- [13] 冯宇, 计晓娟. 马方综合征的诊断与治疗研究进展[J]. 局解手术学杂志, 2020, 29: 158-161.
- [14] Ma T, Dong ZH, Fu WG, et al. Incidence and risk factors for retrograde type A dissection and stent graft-induced new entry after thoracic endovascular aortic repair[J]. J Vasc Surg, 2018, 67: 1026-1033.
- [15] Canaud L, Gandet T, Sfeir J, et al. Risk factors for distal stent graft-induced new entry tear after endovascular repair of thoracic aortic dissection[J]. J Vasc Surg, 2019, 69: 1610-1614.
- [16] Xu SD, Huang FJ, Du JH, et al. A study of aortic dimension in type B aortic dissection[J]. Interact Cardiovasc Thorac Surg, 2008, 7: 244-248.
- [17] Zhao Y, Yin H, Chen Y, et al. Restrictive bare stent prevents distal stent graft-induced new entry in endovascular repair of type B aortic dissection[J]. J Vasc Surg, 2018, 67: 93-103.
- [18] Lortz J, Leinburger F, Tsagakis K, et al. Distal stent graft induced new entry: risk factors in acute and chronic type B aortic dissections[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2019, 58: 822-830.
- [19] Roos H, Tokarev M, Chernoray V, et al. Displacement forces in stent grafts: influence of diameter variation and curvature asymmetry[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2016, 52: 150-156.
- [20] Domanin M, Bissacco D, Romarowsky RM, et al. Drag forces after thoracic endovascular aortic repair general review of the literature[J]. Ann Vasc Surg, 2021, 75: 479-488.
- [21] Qing M, Liu Z, Zheng TH. Fast and accurate computation of the displacement force of stent grafts after endovascular aneurysm repair[J]. Bioengineering (Basel), 2022, 9: 447.

- [22] 刘 峰,葛阳阳,郭 伟. Stanford B 型主动脉夹层腔内修复术后支架移植物远端新发破口的发生机制与预防措施[J]. 中华外科杂志, 2018, 56:749-752.
- [23] Jubouri M, Al-Tawil M, Yip H, et al. Mid- and long-term outcomes of thoracic endovascular aortic repair in acute and subacute uncomplicated type B aortic dissection[J]. J Card Surg, 2022, 37: 1328-1339.
- [24] 王国权,翟水亭,李天晓,等. 覆膜支架血管腔内修复术后不可忽视的严重并发症——逆行性 A 型夹层[J]. 介入放射学杂志, 2011, 20:940-943.
- [25] Zhou J,Yao X, Guo B,et al. Surgical treatment of retrograde type a aortic dissection after thoracic endovascular aortic repair[J]. Int Heart J, 2022, 63: 286-292.
- [26] Hu W,Zhang Y,Guo L,et al. A graft inversion technique for retrograde type A aortic dissection after thoracic endovascular repair for type B aortic dissection[J]. J Cardiothorac Surg, 2019, 14: 29.
- [27] Attizzani GF, Capodanno D, Ohno Y, et al. Mechanisms, pathophysiology, and clinical aspects of incomplete stent apposition[J]. J Am Coll Cardiol, 2014, 63: 1355-1367.
- [28] 高天欣,马 维,梅玉倩,等. 预置延伸以诱导完全贴合技术在主动脉夹层腔内治疗中的研究进展[J]. 中国介入心脏病学杂志, 2020, 28:705-708.
- [29] Kobayashi K, Yamashita A, Kuroda Y, et al. Unexpected bare metal stent migration associated with aortic remodeling after PETTICOAT technique for aortic dissection[J]. J Endovasc Ther, 2023, 30: 302-306.
- [30] He H, Yao K, Nie WP, et al. Modified petticoat technique with pre - placement of a distal bare stent improves early aortic remodeling after complicated acute stanford type B aortic dissection[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2015, 50: 450-459.
- [31] Huang CY, Hsu HL, Chen PL, et al. Aortic remodeling after hybrid provisional extension to induce complete attachment aortic repair of chronic residual type I aortic dissection[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2019, 158: 1007-1016.
- [32] Wamala I, Nazari - Shafti MTZ, Heck R, et al. Aortic remodelling and late outcomes following thoracic endovascular repair with a bare-metal stent distal extension among patients with complicated type-B aortic dissection[J]. Interact Cardiovasc Thorac Surg, 2022, 35: ivac244.
- [33] Nishina T, Yoshida Y, Mizuno A, et al. Is TEVAR with full petticoat technique effective for complicated acute type B dissection cases?[J]. Ann Vasc Dis, 2018, 11: 350-354.
- [34] Vecchini F, Hauptert G, Baudry A, et al. Risk factors for incomplete aortic remodeling with stent-assisted balloon-induced intimal disruption and relamination in aortic dissection repair for complicated aortic dissection: results of a multicenter study[J]. J Endovasc Ther, 2022: 15266028221111984.
- [35] Langouet Q, Marchand E, Nauta A, et al. Initial study of the extended STABILISE technique for complete remodeling in aortic dissection[J]. Ann Vasc Surg, 2022, 86: 373-379.
- [36] Mascia D, Rinaldi E, Kahlberg A, et al. The STABILISE technique to address malperfusion on acute-subacute type B aortic dissections[J]. J Cardiovasc Surg(Torino), 2022, 63: 131-136.
- [37] Jubouri M, Patel R, Tan SZ, et al. Fate and Consequences of the false lumen after thoracic endovascular aortic repair in type B aortic dissection[J]. Ann Vasc Surg, 2023, 94:32-37.
- [38] de Beaufort HWL,Vos JA,Heijmen RH. Initial single - center experience with the knickerbocker technique during thoracic endovascular aortic repair to block retrograde false lumen flow in patients with type B aortic dissection[J]. J Endovasc Ther, 2022: 15266028221134889.
- [39] Rohlfs F, Tsilimparis N, Panuccio G, et al. The knickerbocker technique: technical aspects and single-center results of a new endovascular method for false lumen occlusion in chronic aortic dissection[J]. J Endovasc Ther, 2023, 30:609-614.
- [40] Zhou G,Liu W,Zhang Y,et al. Application of three-dimensional printing in interventional medicine[J].J Interv Med, 2020, 3: 1-16.
- [41] 黄树杰,龙安妮,王 迁,等. 基于 3D 打印技术的个性化主动脉覆膜支架的动物实验研究[J]. 中国循环杂志, 2020, 35: 390-394.

(收稿日期:2023-02-20)

(本文编辑:茹 实)