



doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250289  
http://dx.doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.250289  
China Journal of General Surgery, 2025, 34(12):2679-2687.

· 文献综述 ·

## B型主动脉夹层TEVAR术后远端新发破口：机制、风险因素与干预策略

邹海龙, 张天华

(哈尔滨医科大学附属第二医院 血管外科, 黑龙江 哈尔滨 150000)

### 摘要

胸主动脉腔内修复术 (TEVAR) 已成为 Stanford B 型主动脉夹层 (TBAD) 的首选治疗方式。然而, 支架移植物诱导的远端新发破口 (dSINE) 作为一种重要的远期并发症, 可导致假腔持续灌注、主动脉瘤样扩张甚至破裂, 严重影响患者远期预后。近年来, 随着 TEVAR 应用的不断扩大, dSINE 的发生机制、危险因素及干预策略逐渐受到关注。本文系统总结了 TBAD 患者 TEVAR 术后 dSINE 的流行病学特征、组织学与生物力学机制、患者及支架相关危险因素, 并重点总结了当前预防与治疗策略, 包括支架尺寸优化、二次 TEVAR 及多种新型腔内技术的应用进展, 旨在为降低 dSINE 发生率、优化术后管理及改善患者长期预后提供理论依据与实践指导。

### 关键词

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

## Distal stent graft-induced new entry after TEVAR for type B aortic dissection: mechanisms, risk factors, and intervention strategies

ZOU Hailong, ZHANG Tianhua

(Department of Vascular Surgery, the Second Affiliated Hospital of Harbin Medical University, Harbin 150000, China)

### Abstract

Thoracic endovascular aortic repair (TEVAR) has become the preferred treatment for Stanford type B aortic dissection (TBAD). However, distal stent graft-induced new entry (dSINE) remains a significant long-term complication, which may result in persistent false lumen perfusion, progressive aneurysmal degeneration, and even aortic rupture, thereby adversely affecting long-term outcomes. With the expanding application of TEVAR, increasing attention has been paid to the mechanisms, risk factors, and management strategies of dSINE. This review systematically summarizes the epidemiology, histopathological and biomechanical mechanisms, as well as patient- and device-related risk factors for dSINE following TEVAR in TBAD. Current preventive and therapeutic strategies, including stent sizing optimization, secondary TEVAR, and emerging endovascular techniques, are also discussed, aiming to provide insights for reducing dSINE incidence and improving long-term prognosis.

### Key words

Aortic Dissection; Endovascular Aneurysm Repair; Postoperative Complications; Review  
CLC number: R654.3

收稿日期: 2025-05-25; 修订日期: 2025-07-01。

作者简介: 邹海龙, 哈尔滨医科大学附属第二医院硕士研究生, 主要从事血管外科方面的研究。

通信作者: 张天华, Email: hunterzth@163.com

Stanford B型主动脉夹层 (Stanford type B aortic dissection, TBAD) 是一种急性心血管疾病, 其特征是动脉血流撕裂主动脉内膜并进入中层, 沿动脉壁向远端延伸, 形成真、假两腔分离的病理状态<sup>[1]</sup>。该病起病急骤, 常引发持续性疼痛、主动脉破裂和器官缺血等症状<sup>[2]</sup>。胸主动脉腔内修复术 (thoracic endovascular aortic repair, TEVAR) 目前被推荐作为处理急性和慢性TBAD的首选介入疗法<sup>[3]</sup>。TEVAR术后并发症发生率据估计可高达38%, 主要包括内漏、上肢缺血、脑血管事件、脊髓缺血及植入后综合征等<sup>[4]</sup>。支架移植物诱发的新发破口 (stent graft-induced new entry, SINE) 特指完全由支架自身导致的新发主动脉内膜撕裂, 需排除自然病程进展或血管内操作所致医源性损伤<sup>[5]</sup>。随着TEVAR技术的广泛应用, TBAD患者术后SINE的发生率呈现显著上升趋势。近端SINE可能引发逆行性A型夹层; 远端新发破口 (dSINE) 则通过维持假腔开放, 导致进行性动脉瘤样扩张及破裂风险<sup>[6]</sup>。与内漏等传统并发症不同, dSINE具有发生隐匿、进展缓慢但远期危害显著的特点。本文旨在综述dSINE的形成机制、危险因素、预防策略及治疗选择的最新研究进展, 并探讨未来研究方向。通过系统分析当前面临的挑战和干预策略创新, 为优化TBAD患者TEVAR术后管理提供理论依据。

## 1 dSINE的发生现状与病理基础

### 1.1 发生率

dSINE的总体发生率约为7.9%, 其在不同病程阶段差异显著: 慢性期患者的发生率可达12.9%, 而急性期患者仅为4.3%。该并发症具有隐匿性特点, 缺乏典型临床表现, 主要于术后12~36个月的影像学随访中检出<sup>[6]</sup>。Xiang等<sup>[7]</sup>对行TEVAR的226例单纯性TBAD患者进行了回顾性分析, 其中16例患者(7.1%)发生了dSINE。Liu等<sup>[8]</sup>回顾性调查了177例接受TEVAR治疗TBAD的患者, 11例患者(6.21%)发生了dSINE。

### 1.2 形成机制

**1.2.1 组织学机制** 从症状起始至诊断时间, TBAD可分为: 超急性期 (<24 h)、急性期 (24 h至14 d)、亚急性期 (15 d至3个月) 和慢性期 (>3个月), 这种时间分类具有预后意义<sup>[9]</sup>。主动脉壁组织结构异常在不同时期表现各异。急性期TBAD主动脉壁

结构脆弱性更为显著<sup>[10]</sup>, 此时血流动力学状态不稳定, 内膜片处于急性炎症状态, 且动脉壁存在充血水肿、组织脆性增加等病理改变, 导致血管对支架的机械耐受性显著降低。此时实施TEVAR术可能加剧局部炎症反应, 增加夹层向远端延伸或近端逆撕的风险<sup>[11-12]</sup>。慢性期TBAD残余假腔血栓形成率低。其内膜片发生进行性纤维化与钙化, 这种病理改变虽增加了内膜的刚性, 却降低了其可塑性, 真腔重塑能力减弱, 僵硬的慢性期内膜与支架移植物接触时更易发生局部损伤<sup>[12-14]</sup>。在评估dSINE的风险时, 需特别关注主动脉壁因病变导致的病理性脆弱<sup>[5]</sup>。马方综合征 (Marfan syndrome, MFS)、Loeys-Dietz综合征、血管性Ehlers-Danlos综合征等结缔组织病因弹性纤维结构缺陷和胶原代谢紊乱, 导致细胞外基质稳态失衡, 不仅显著增加主动脉夹层的发生风险, 更成为dSINE形成的重要病理基础<sup>[15-16]</sup>。Dong等<sup>[5]</sup>的研究显示, 6例MFS患者TEVAR术后出现2例SINE (33.33%), 显著高于645例非MFS患者的21例SINE (3.26%)。

**1.2.2 生物力学机制** 在TEVAR中, 支架移植物需覆盖主动脉内膜原发破口, 依靠“径向力”(即向外扩张的力量) 锚定于主动脉壁, 防止移位。然而, 当支架直径远大于远端着落区真腔直径时(即远端放大率), 过强的径向力会持续压迫内膜片, 导致dSINE的发生<sup>[12]</sup>。除支架对管壁的径向力外, 另一关键力学因素是“回弹力”, 当支架移植物在主动脉弓处被动弯曲时, 其固有趋向是回弹至初始笔直状态。这种回弹力对主动脉壁造成的损伤多见于曲率较大的一侧, 且弯曲程度越大, 回弹力越强<sup>[5][7]</sup>。多项研究<sup>[17-18]</sup>证实, 血流动力学因素与支架移植物植入后发生SINE及移植物移位的风险相关。管壁切应力 (wall shear stress, WSS) 也是发生dSINE的影响因素, 是基于血液黏度、血流速度和血管半径计算得出。植入的支架移植物在血流动力学作用下承受的表面力称为位移力。Osswald等<sup>[19]</sup>回顾性分析了5例冷冻象鼻术后发生dSINE的患者, 计算得出WSS在支架移植物外曲率处显著高于内曲率处。

### 1.3 患者相关危险因素

**1.3.1 夹层分期** Liu等<sup>[13]</sup>把110例接受TEVAR术的TBAD患者根据手术时间分为急性期组和慢性期组。研究证明急性期组患者TEVAR术后假腔完全血栓化率及假腔最大直径减小程度优于慢性

期组患者。慢性期组患者血管壁对重叠支架适应性较差,残余假腔血栓形成率低。其内膜增厚、纤维化更重,真腔重塑能力减弱。Jang等<sup>[14]</sup>对62例TBAD慢性期的患者行TEVAR术,20例(32.3%)发生SINE。TBAD慢性期TEVAR术后SINE的发生率显著高于急性期主动脉夹层(32.3% vs. 5.9%)。Orimoto等<sup>[20]</sup>发现,TBAD慢性期患者的dSINE发生率更高,且与夹层持续时间呈正相关。

**1.3.2 主动脉解剖学特征** 支架移植物通常近端锚定于主动脉弓部,远端延伸至降主动脉中段。由于主动脉存在生理性锥度,其管腔直径自弓部向远端逐渐减小,导致降主动脉中段直径显著小于弓部。因此,引入锥度比的概念,定义为(近端 $\varphi$ -远端 $\varphi$ )/(近端 $\varphi$ ) $\times 100\%$ ,其中 $\varphi$ 为锚定区的直径<sup>[21]</sup>。研究<sup>[5,21]</sup>显示,急性和慢性TBAD患者的锥度比显著高于正常人,Xu等<sup>[21]</sup>将42例TBAD患者分为急性组(23例)和慢性组(19例),并设20名健康成人作为对照组;通过影像学测量发现,三组的主动脉锥度比分别为急性组23.6%、慢性组31.5%、对照组13.0%,且患者组的锥度比显著高于对照组( $P<0.001$ ),提示病理性锥度变化与夹层病程相关。锥度比每增加10%,主动脉相关再次干预的风险可增加高达4.5倍<sup>[21]</sup>。这说明主动脉的生理性锥度缩减和支架移植物远端放大率之间的协同作用与dSINE的发生密不可分。

Dong等<sup>[7]</sup>回顾性分析226例患者,基于头臂干起点与主动脉弓顶部的距离将主动脉弓分为I、II、III型。非dSINE组中I、II、III型患者分别为111例(52.9%)、63例(30.0%)和36例(17.1%),而dSINE组中分别为2例(12.5%)、3例(18.8%)和11例(68.8%),表明dSINE患者中III型主动脉弓比例显著更高。多变量Cox比例风险模型分析证实III型主动脉弓是dSINE发生的独立危险因素,相较于I型,其风险比(HR)高达6.4<sup>[23]</sup>。

靶向主动脉段(target aortic segment, TAS)曲折度定义为支架覆盖主动脉段的弯曲程度。Chen等<sup>[24]</sup>的研究显示,TAS高曲折组患者的dSINE发生率高于低曲折组患者(39% vs. 7%)。TAS高曲折度被提示为预测dSINE发生的潜在标识,但可能不适用于2个或2个以上支架移植物的患者。

## 1.4 支架相关危险因素

**1.4.1 锚定区位置与支架远端放大率** 当前,TEVAR术式要求移植物近端具备一段长度至少20 mm

的相对健康主动脉区域作为近端锚定区(proximal landing zone, PLZ)。TBAD患者的真腔常被假腔压缩呈新月形,导致支架移植物尺寸选择困难,当前主要基于PLZ的健康主动脉直径评估,若其长度不足或形态不佳,将显著影响支架稳定性,导致修复失败<sup>[25-26]</sup>。远端锚定区(distal landing zone, DLZ)通常位于病变主动脉内,可能导致dSINE<sup>[7]</sup>。有研究<sup>[14,26-27]</sup>提出锥度比和放大率(支架远端直径/DLZ真腔直径)是dSINE的两个预测因素。支架尺寸依据PLZ选择,需通过适度过大施加径向力以确保固定和防止移位。Dong等<sup>[5]</sup>指出依据PLZ选择的大尺寸支架可能对脆弱内膜施加过大径向力,虽在近端健康段有效锚定,但由于主动脉存在生理性锥度变化,DLZ直径显著小于PLZ,导致支架在DLZ对主动脉壁施加的径向力过大,成为内膜撕裂的重要危险因素<sup>[28]</sup>。Jang等<sup>[14]</sup>发现,21例发生dSINE的患者中,发生于支架移植物远端17例(81.0%),显著高于近端4例(19.0%)。因此,当前TBAD TEVAR治疗的支架尺寸选择主要基于PLZ进行个体化决策,其核心争议在于平衡近端密封性(防止内漏)与远端安全性(避免夹层逆行扩展或新破口)一尺寸过大可能诱发远端损伤,而尺寸过小则增加内漏风险。

**1.4.2 支架覆盖长度不足** 现有临床证据表明,支架移植物覆盖长度不足是dSINE形成的重要危险因素之一。Li等<sup>[29]</sup>发现,选用<145 mm的支架移植物可增加dSINE的发生率。然而,随着支架移植物覆盖长度的增加,患者发生脊髓缺血或截瘫的风险亦显著升高。Zhao等<sup>[30]</sup>研究显示,在319例使用支架移植物长度<165 mm的患者中,有32例患者发生了dSINE。TEVAR支架移植物的构型和长度通常根据夹层的解剖特征选择。Kan等<sup>[31]</sup>利用虚拟支架移植物部署仿真模型模拟患者主动脉壁几何形态,评估支架长度对主动脉壁局部应力变化的影响。研究表明,增加支架长度会使其对主动脉壁的最大应力从DLZ移开;其中,中等长度支架的最大应力值降低约17%,而长支架的最大应力值可降低60%。

**1.4.3 支架结构特异性** 支架移植物内的连接杆可增强其弹性回直力,可帮助支架移植物在多个关节处通过血管的弯曲,抵抗血管的扭曲,但当支架置入弯曲的主动脉段时,连接杆会引发支架移植物与主动脉壁的相互作用,会产生更大的回弹力和径向力,显著降低其柔顺性,导致局部内

膜中层损伤。D'cruz等<sup>[32]</sup>研究显示带连接杆的支架移植物是dSINE的一项风险因素。

## 2 干预策略

### 2.1 夹层分期预防

亚急性期进行支架植入，血管壁重塑效果较佳。此阶段，主动脉壁炎症反应及水肿消退，而管壁尚未完全纤维化，假腔内血栓也未完全机化。支架提供的持续性径向支撑力有利于促进内膜贴合及假腔内血栓机化<sup>[33]</sup>。Zhao等<sup>[34]</sup>的Meta分析（纳入3 769例患者）显示，与急性期相比，亚急性期TBAD患者的30 d并发症发生率、30 d病死率、再干预率及1年病死率均显著降低。亚急性期主动脉壁与内膜片和血栓可能处于它们各自的理想状态，即炎症消退，水肿减轻，从而置入支架后更有利于主动壁的重塑<sup>[35]</sup>。

### 2.2 支架尺寸选择

以往，TEVAR治疗中，支架移植物尺寸通常按动脉瘤的远端放大率的15%~20%进行选择，以获得足够的径向支撑力，确保其在主动脉壁的锚定。Shimono等<sup>[36]</sup>认为，在急性主动脉夹层的腔内修复术中，可选用放大率为10%的支架移植物，在慢性主动脉夹层中可选用放大率为20%的支架移植物。陆清声等<sup>[37-39]</sup>则认为应将放大率下调至0~5%，其依据在于需强径向支撑力抵抗血流冲击、防止移位的情况（如主动脉瘤）与主动脉夹层存在差异—后者仅需支架封闭破口周围区域，待假腔压力下降，真腔便可逐渐自然扩张。陈政<sup>[40]</sup>表明，支架放大率每增加1%，dSINE发生风险相应增加2%；当锥度比>23.61%时，患者远期dSINE风险亦增加2%。从支架力学角度分析引入慢性外扩张力（chronic outward force, COF）即支架从压缩状态释放后持续作用于主动脉真腔壁的支撑力。研究表明，当不同品牌支架的放大率处于24.53%~31.25%区间以下时，其COF随放大率增长较快且呈线性变化，但多数支架在放大率20%左右达到较高水平。因此，将支架放大率控制在20%以下，可减少不同品牌支架的COF差异，避免过高COF损伤血管壁，进而促进血管重塑。

### 2.3 二次TEVAR

在发生dSINE后可通过再行TEVAR植入新的覆膜支架封堵远端新发破口。再行TEVAR的适应

证包括假腔持续扩大、胸痛、内膜破裂和脏器缺血症状<sup>[5,12]</sup>。研究通过对比分析证明了发生dSINE后尽早再行TEVAR是有效的<sup>[41]</sup>；二次TEVAR以手术创伤小、低并发症风险及高效性为特点，是治疗TEVAR术后dSINE的优选方案<sup>[35,42]</sup>。

### 2.4 创新支架技术

**2.4.1 远端限制性裸支架（restrictive bare stent, RBS）** 限制性支架技术的操作要点是将裸支架远端锚定于正常主动脉段，其近端与预置的主体覆膜支架远端对接后释放主体支架，实现近端完全封闭原发破口，远端精准套入裸支架内（重叠30~40 mm）。该技术中，RBS可调控真腔扩张、抑制支架过度形变，并通过锚定远端内膜边缘来削减主体支架的径向力与回弹力，从而显著降低脆弱内膜继发性损伤风险<sup>[42]</sup>。Feng等<sup>[43]</sup>对465例TBAD患者的研究显示，接受TEVAR联合远端RBS治疗的154例患者，在随访期间均未发生dSINE。Li等<sup>[44]</sup>认为，虽然TEVAR+RBS可改善主动脉重塑并降低SINE发生率，但其裸支架尺寸偏小且为直筒型，难以适应上降主动脉形态；他们采用远端限制性覆膜支架（restrictive covered stent, RCS）治疗53例患者（其中锥形RCS 43例，直筒型RCS 10例，含13例TBAD），所有患者均未发生dSINE。

**2.4.2 锥形支架技术** 锥形支架的设计既适配主动脉的生理锥度，能有效避免因支架远端尺寸不匹配导致的过度径向力损伤内膜。魏广源<sup>[45]</sup>将接受TEVAR的患者分为锥形支架组与筒形支架组，结果显示两组在真腔扩大和假腔缩小方面均有统计学意义，但术后主动脉重塑未见显著差异。熊建明<sup>[46]</sup>对60例TBAD患者均采用Hercules锥形覆膜支架治疗，所有患者术后均未发生dSINE；该支架采用渐细设计，远端直径较近端小6、8或10 mm，适用于真腔狭小的患者。

**2.4.3 PETTICOAT（provisional extension to induce complete attachment）技术** PETTICOAT技术指在覆膜支架远端衔接金属裸支架。其作用机制为：裸支架固定内膜片，阻止真腔塌陷，促进假腔血栓化，同时避免过度径向力损伤内膜。Qiu等<sup>[47]</sup>涉及914例患者的8项观察性研究显示，PETTICOAT技术有可能降低部分胸主动脉夹层血栓形成率及再次干预率，PETTICOAT组dSINE率低于非裸支架组。裸支架能够分散支架远端径向和回弹力，可以弥

补主支架体锥度缺陷,并预防dSINE。此技术在不断增加分支血管支架的情况下,在病死率和器官缺血并发症发生率方面达到了与传统TEVAR相似的效果,有助于促进分支灌注的重塑,但两组之间主动脉相关病死率没有差异。He等<sup>[48]</sup>采用改良PETTICOAT技术,即先在预定远端着陆区放置裸支架,然后放置近端覆膜支架,这样可以防止支架移植远端对主动脉的过度径向力,防止早期主动脉壁损伤、晚期dSINE,并促进真腔扩张和假腔血栓形成。改良PETTICOAT组的dSINE率显著低于传统TEVAR组(0% vs. 15%,  $P=0.01$ )。Orimoto等<sup>[20]</sup>采用PETTICOAT-snowshoe技术预防双腔TBAD(伴有假腔通畅和真腔从胸主动脉到终末主动脉狭窄的TBAD和残余TBAD)的dSINE,即最初部署近端支架移植,然后在上腹部动脉上方延伸裸支架,并在裸支架内部署第2个支架移植。该技术在短期至中期随访中有效预防dSINE,且降主动脉真腔重塑效果较传统TEVAR显著改善。

**2.4.4 STABILISE 技术** 作为PETTICOAT的进阶,在裸支架植入后,对覆膜支架远端和裸支架行球囊扩张,使内膜片与主动脉壁贴合,但需警惕球囊过度扩张致主动脉破裂风险,尤其适用于急性期且主动脉远端无扩张者<sup>[49]</sup>。Bayfield等<sup>[50]</sup>的一项Meta分析纳入9项相关研究共192例患者,其中13例接受STABILISE治疗,晚期再次干预发生率为11%,假腔完全闭塞率为93%,研究表明其可接受的手术安全性,再干预率低,且假腔完全闭塞效果优异。Melissano等<sup>[51]</sup>的研究纳入10例接受了STABILISE治疗的患者,术后30d技术及临床成功率均达100%,胸主动脉远端分支完全血栓化,无I型内漏,所有患者灌注不良均解除。尽管该技术在单中心研究中展现出良好的初期疗效,但因球囊扩张期存在主动脉破裂风险,未能立即获得学界普遍认可。

**2.4.5 Knickerbocker 技术** Knickerbocker支架移植是一种双锥形管状内移植,首先进行TEVAR,然后使用直径足以覆盖完整主动脉直径的超大号支架,将真腔远端延伸至膈动脉水平,在第2个支架移植中段放置顺应性球囊,球囊扩张破裂夹层膜使支架呈球形向假腔扩张<sup>[52]</sup>。Rohlfes等<sup>[53]</sup>的一项回顾性观察性研究纳入了16例接受Knickerbocker支架的患者,其中15例(93.8%)存在完全的远端假腔闭塞。此方法的研究较少,且球囊扩张过程

中存在主动脉破裂出血的风险,临床上仍需进一步研究。

**2.4.6 开窗或分支支架技术** 当夹层累及或临近重要分支时,开窗或分支支架技术(fenestrated/branched stent, F/B-TEVAR)可在延长锚定区的同时避免覆盖分支开口。Oikonomou等<sup>[54]</sup>研究显示,技术成功率为68/71(94.4%),术后12、24和36个月的累积生存率分别为84.7%、80.7%和70.0%,术后12个月假腔血栓化率为85.4%,且在随访期间动脉瘤囊平均缩小了9.2mm。此研究表明,F/B-TEVAR治疗慢性主动脉夹层是可行的,完全假腔血栓形成率高和动脉瘤囊消退率高。但是由于患者数量较少,随访时间有限,结果可能存在偏倚。Zhang等<sup>[55]</sup>纳入了22例使用Weflow嵌入式分支支架治疗涉及左锁骨下动脉(left subclavian artery, LSA)的患者,技术成功率为100%,术后1、2、12个月LSA支架通畅率均为100%,8例假腔完全血栓化,14例假腔部分血栓化。此研究表明分支支架具有良好的效果,但其样本量较小,随访时间节点也较少,仍需进一步改进。

## 2.5 假腔栓塞技术

糖果塞(candy-plug, CP)技术是由Köolbel等<sup>[56-57]</sup>在2013年提出,他们将1个42mm的Zenith胸主动脉支架植入假腔内,在中间放置1根直径减小缝合线,使其成为糖果包装形象,然后在支架中部放置1个血管封堵器,完全阻隔假腔血流。Palm等<sup>[58]</sup>改良了CP技术,采用Gore Excluder 36~45mm主动脉延长器,将其转变成CP装置,放置于胸主动脉远端的假腔中。术后1个月,假腔的逆向血流停止,主动脉直径由69mm减小至66mm,假腔直径由37mm减小至34mm,真腔保持不变。Karaolanis等<sup>[59]</sup>的一项Meta分析纳入了128例接受了CP的患者,研究显示技术成功率为96%,假腔血栓化率为71%,早期和晚期再干预率分别为7.1%和12.8%。由于CP技术长期耐久性数据有限,仍需进行更大样本量、更长时间随访以及现有设备的比较,来进一步验证其安全性和有效性。

弹簧圈栓塞技术是一种安全有效的方法,能够促进夹层手术后假腔血栓化及主动脉重塑。Li等<sup>[60]</sup>一项单中心回顾性研究纳入了18例接受Interlock™可解脱纤维弹簧圈栓塞治疗的患者,术后假腔面积较术前显著减小( $P=0.0003$ ),假腔血栓化面积增加( $P<0.001$ )。研究表明,使用

Interlock™可解脱纤维弹簧圈栓塞治疗B型夹层治疗后残留的假腔是安全有效的，但其需要更大的样本量和在长期随访研究中进一步研究。

## 2.6 生物标志物

目前基于生物标志物的精准预防是前沿方向之一。Zhao等<sup>[61]</sup>首先纳入了60例TBAD患者和健康受试者外周血和主动脉病变分别进行蛋白质组学和单细胞转录组学分析。研究发现，与表型高度相关的巨噬细胞通过CXCL3/CXCR2轴协调中性粒细胞胞外陷阱(neutrophil extracellular trap, NET)的形成，从而促进夹层的进展。在该研究的小鼠模型中，药物Cl-amidine(阻断CitH3)或DNase I(降解NET)显著降低夹层破裂率。后续研究纳入116例夹层患者队列，CitH3水平分析显示，高CitH3组主动脉相关不良事件发生率显著高于低水平组，且多因素Cox回归证实CitH3与IL-1 $\beta$ 可能是dSINE独立风险因素。通过CitH3或CXCL3/CXCR2轴抑制NET形成，可改善夹层的进展。

## 2.7 血流动力学

血流动力学模拟在个体化治疗中应用前景广阔，通过建立患者特异性主动脉模型，可术前预测支架植入后的壁应力分布和高风险区域。从血流速度、WSS等方面研究夹层术后力学特征，为dSINE产生原因提供依据。一项TEVAR术后dSINE的血流动力学分析研究<sup>[62]</sup>纳入1例患者，对该患者术后进行主动脉模型重建和血流动力学分析显示主动脉形态改变，支架远端锚定区真腔直径骤变，导致局部血流加速、内膜暴露于高WSS，进而诱导dSINE形成。采用限制性支架可预防远端新发破口，有效抑制主动脉过度扩张，降低WSS，并减轻支架所致血管内膜损伤。

## 3 小结与展望

dSINE的防治需综合多因素：慢性期纤维化内膜与支架机械应力的冲突是核心矛盾；锥度比异常、III型主动脉弓及支架放大率>20%是独立危险因素。当前策略包括：(1)亚急性期手术以平衡血管重塑与炎症反应；(2)RBS或锥形支架分散远端应力；(3)PETTICOAT技术促进假腔血栓化；(4)假腔栓塞技术(如CP)阻断血流。未来方向在于：开发生物可降解支架适配主动脉生物学特性，利用CitH3等生物标志物预警dSINE，结合血流动力

学模拟优化支架部署。多学科协同创新是突破现有挑战的关键，旨在提升TEVAR长期疗效。未来，融合生物标志物、血流动力学模拟与个体化支架设计的精准TEVAR策略，或将成为降低dSINE发生率的关键方向

作者贡献声明：邹海龙负责文献的收集整理及文章的撰写；张天华负责文章撰写、质控和修改。

利益冲突：所有作者均声明不存在利益冲突。

## 参考文献

- [1] 吴小冬, 曹生军. 腔内修复术在不同年龄段Stanford B型主动脉夹层患者中的疗效观察[J]. 中外医学研究, 2025, 23(3):29-32. doi:10.14033/j.cnki.cfmr.2025.03.009.  
Wu XD, Cao SJ. Efficacy of endovascular repair in stanford type B aortic dissection patients across different age groups[J]. Chinese and Foreign Medical Research, 2025, 23(3):29-32. doi:10.14033/j.cnki.cfmr.2025.03.009.
- [2] 卫紫琼, 贾静静, 王红雷. 覆膜支架腔内修复术对Stanford B型主动脉夹层治疗效果与安全性的Meta分析[J]. 中国循证心血管医学杂志, 2024, 16(11):1295-1299. doi:10.3969/j.issn.1674-4055.2024.11.04.  
Wei ZQ, Jia JJ, Wang HL. Meta-analysis of the efficacy and safety of stent-graft endovascular repair for Stanford type B aortic dissection[J]. Chinese Journal of Evidence-Bases Cardiovascular Medicine, 2024, 16(11):1295-1299. doi:10.3969/j.issn.1674-4055.2024.11.04.
- [3] 胡西塔尔·木汗曼提别克, 贾钢毅, 哈力木拉提·木尔提扎, 等. 介入治疗复杂Stanford B型主动脉夹层[J]. 中国介入影像与治疗学, 2025, 22(1):6-10. doi:10.13929/j.issn.1672-8475.2025.01.002.  
Huxitaer·MHMTBK, Jia GY, Halimulati·METZ, et al. Interventional treatment of complex Stanford B aortic dissection[J]. Chinese Journal of Interventional Imaging and Therapy, 2025, 22(1):6-10. doi:10.13929/j.issn.1672-8475.2025.01.002.
- [4] Bordes SJ, Vefali B, Montorfano L, et al. Evaluation and management of complications of endovascular aneurysm repair of the thoracic aorta[J]. Cureus, 2023, 15(3):e36930. doi:10.7759/cureus.36930.
- [5] Dong Z, Fu W, Wang Y, et al. Stent graft-induced new entry after endovascular repair for Stanford type B aortic dissection[J]. J Vasc Surg, 2010, 52(6):1450-1457. doi:10.1016/j.jvs.2010.05.121.
- [6] 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(5):1610-1614. doi:10.1016/j.jvs.2018.07.086.

- [7] Xiang D, Chai B, Gui Y, et al. Risk factors for distal stent graft-induced new entry after endovascular repair in uncomplicated type B aortic dissection[J]. *J Vasc Surg*, 2023, 77(1):37-45. doi:10.1016/j.jvs.2022.08.032.
- [8] Liu F, Ge YY, Rong D, et al. A S-shaped association of distal oversizing ratio with distal stent-graft-induced new entry following thoracic endovascular aortic repair for stanford B aortic dissection[J]. *Ann Vasc Surg*, 2021, 77: 54-62. doi: 10.1016/j.avsg.2021.04.038.
- [9] Lopes A, Mendes Pedro L, Gouveia e Melo R, et al. The evolution of management of type B aortic dissection in a series of 100 consecutive cases in a tertiary center[J]. *Rev Portuguesa De Cardiologia*, 2023, 42(7):603-612. doi:10.1016/j.repc.2022.11.006.
- [10] Nakamura K, Kobayashi K, Nakai S, et al. Safe and favorable prognosis of thoracic endovascular aortic repair for the low-risk patients with non-acute type B aortic dissection[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2024, 11: 1442800. doi: 10.3389/fcvm.2024.1442800.
- [11] 计博斓, 田民, 刘训强. 急性期 Stanford B型主动脉夹层腔内治疗研究进展[J]. *中华介入放射学电子杂志*, 2019, 7(3):227-230. doi: 10.3877/cma.j.issn.2095-5782.2019.03.011.
- Ji BL, Tian M, Liu XQ. Research progress on endovascular aortic repair for treatment of acute Stanford type B aortic dissection[J]. *Chinese Journal of Interventional Radiology:Electric Edition*, 2019, 7(3):227-230. doi:10.3877/cma.j.issn.2095-5782.2019.03.011.
- [12] 刘跃, 邱昌涛, 李玥锦, 等. B型主动脉夹层患者胸主动脉腔内修复术后远端新发破口的原因和危险因素及防治措施研究进展[J]. *山东医药*, 2023, 63(21):102-106. doi:10.3969/j.issn.1002-266X.2023.21.025.
- Liu Y, Qiu CT, Li YJ, et al. Research progress on the causes, risk factors and prevention measures of new distal breaks in the postoperative endovascular repair of the thoracic aortic aneurysm in patients with type B aortic dissection[J]. *Shandong Medical Journal*, 2023, 63(21): 102-106. doi: 10.3969/j. issn. 1002-266X.2023.21.025.
- [13] Liu Y, Zhang N, Chi K, et al. Surgical timing of endoluminal repair of Stanford type B aortic coarctation and relationship to prognosis: a single-center retrospective cohort study[J]. *J Thorac Dis*, 2023, 15(1):135-145. doi:10.21037/jtd-22-1736.
- [14] 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(3):676-685. doi:10.1016/j.jvs.2016.09.022.
- [15] Asta L, D'Angelo GA, Marinelli D, et al. Genetic basis, new diagnostic approaches, and updated therapeutic strategies of the syndromic aortic diseases: Marfan, loeys-dietz, and vascular ehlers-danlos syndrome[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2023, 20(16): 6615. doi:10.3390/ijerph20166615.
- [16] Menichini C, Pirola S, Guo BL, et al. High wall stress may predict the formation of stent-graft-induced new entries after thoracic endovascular aortic repair[J]. *J Endovasc Ther*, 2018, 25(5): 571-577. doi:10.1177/1526602818791827.
- [17] Hosaka I, Uzuka T, Umata R, et al. Stent-induced new entry and device migration associated with hemodynamic stress after thoracic endovascular aortic repair for type B chronic aortic dissection using computational fluid dynamics analysis: a case report[J]. *Gen Thorac Cardiovasc Surg Cases*, 2024, 3(1):8. doi:10.1186/s44215-024-00146-6.
- [18] 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(2):302-306. doi:10.1177/15266028221075548.
- [19] Osswald A, Weymann A, Tsagakis K, et al. First insights into the role of wall shear stress in the development of a distal stent graft induced new entry through computational fluid dynamics simulations[J]. *J Thorac Dis*, 2023, 15(2):281-290. doi: 10.21037/jtd-22-1206.
- [20] Orimoto Y, Ishibashi H, Maruyama Y, et al. The PETTICOAT-snowshoe technique prevents distal stent graft-induced new entry in patients with aortic dissection[J]. *Ann Vasc Surg*, 2022, 84: 201-210. doi:10.1016/j.avsg.2022.01.013.
- [21] 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(2): 244-248. doi:10.1510/icvts.2007.163154.
- [22] Ouchi T, Kato N, Kato H, et al. Relevance of aortic dissection chronicity to the development of stent graft-induced new entry[J]. *Ann Thorac Surg*, 2020, 110(6): 1983-1989. doi: 10.1016/j.athoracsur.2020.04.032.
- [23] Marrocco-Trischitta MM, de Beaufort HW, Secchi F, et al. A geometric reappraisal of proximal landing zones for thoracic endovascular aortic repair according to aortic arch types[J]. *J Vasc Surg*, 2017, 65(6):1584-1590. doi:10.1016/j.jvs.2016.10.113.
- [24] Chen CK, Chou HP, Chang YY, et al. Association between targeted aortic segment tortuosity and stent-graft-induced new entry after thoracic endovascular aortic repair for aortic dissection or intramural hematoma[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2020, 214(3):679-686. doi:10.2214/AJR.19.21398.
- [25] 黄鑫, 戴仕林, 尚玉强. 胸主动脉腔内修复术联合左锁骨下动脉重建术治疗 Stanford B型主动脉夹层患者近端锚定区不足的预后分析[J]. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2025, 32(4):515-520. doi:10.7507/1007-4848.202311003.
- Huang X, Dai SL, Shang YQ. Prognostic analysis of thoracic endovascular aortic repair combined with left subclavian artery revascularization for Stanford type B aortic dissection patients with insufficient proximal landing zone[J]. *Chinese Journal of Clinical Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 2025, 32(4): 515-520. doi:

- 10.7507/1007-4848.202311003.
- [26] Weng SH, Weng CF, Chen WY, et al. Reintervention for distal stent graft-induced new entry after endovascular repair with a stainless steel-based device in aortic dissection[J]. *J Vasc Surg*, 2013, 57(1): 64-71. doi:10.1016/j.jvs.2012.07.006.
- [27] Huang CY, Weng SH, Weng CF, et al. Factors predictive of distal stent graft-induced new entry after hybrid arch elephant trunk repair with stainless steel - based device in aortic dissection[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2013, 146(3): 623-630. doi: 10.1016/j.jtcvs.2012.07.052.
- [28] Burdess A, D'Oria M, Mani K, et al. Early experience with a novel dissection-specific stent-graft to prevent distal stent-graft-induced new entry tears after thoracic endovascular repair of chronic type B aortic dissections[J]. *Ann Vasc Surg*, 2022, 81:36-47. doi:10.1016/j.avsg.2021.10.048.
- [29] Li Q, Wang LF, Ma WG, et al. Risk factors for distal stent graft-induced new entry following endovascular repair of type B aortic dissection[J]. *J Thorac Dis*, 2015, 7(11):1907-1916. doi: 10.3978/j.issn.2072-1439.2015.11.27.
- [30] 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(1):93-103. doi:10.1016/j.jvs.2017.04.066.
- [31] Kan X, Ma T, Dong Z, et al. Patient-specific virtual stent-graft deployment for type B aortic dissection: a pilot study of the impact of stent-graft length[J]. *Front Physiol*, 2021, 12: 718140. doi: 10.3389/fphys.2021.718140.
- [32] D'cruz RT, Syn N, Wee I, et al. Risk factors for distal stent graft-induced new entry in type B aortic dissections: Systematic review and meta-analysis[J]. *J Vasc Surg*, 2019, 70(5): 1682-1693. doi: 10.1016/j.jvs.2019.02.040.
- [33] 徐江, 胡胡节, 王晓天, 等. 亚急性期 Stanford B型主动脉夹层远端破口特点及其对腔内修复术患者主动脉重塑的影响[J]. *山东医药*, 2018, 58(22):38-41. doi: 10.3969/j.issn.1002-266X.2018.22.011.
- Xu J, Hu HJ, Wang XT, et al. Characteristics of distal rupture of Stanford B aortic dissection in subacute stage and its influence on aortic remodeling in patients undergoing endovascular repair[J]. *Shandong Medical Journal*, 2018, 58(22): 38-41. doi: 10.3969/j.issn.1002-266X.2018.22.011.
- [34] Zhao W, Yang Y, Wu Z, et al. Endovascular repair of acute vs. subacute uncomplicated type B aortic dissection: a systematic review and meta-analysis[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2023, 10: 1189750. doi:10.3389/fcvm.2023.1189750.
- [35] 陈丽, 王雅, 王效增, 等. Stanford B型主动脉夹层腔内修复术后覆膜支架远端再发夹层临床诊治分析[J]. *中国实用内科杂志*, 2017, 37(1):59-62. doi:10.19538/j.nk2017010115.
- Chen L, Wang Y, Wang XZ, et al. Diagnosis and treatment of distal redissection after endovascular repair of Stanford B aortic dissection[J]. *Chinese Journal of Practical Internal Medicine*, 2017, 37(1):59-62. doi:10.19538/j.nk2017010115.
- [36] Shimono T, Kato N, Yasuda F, et al. Transluminal stent-graft placements for the treatments of acute onset and chronic aortic dissections[J]. *Circulation*, 2002, 106(12 Suppl 1):I241-I247.
- [37] 陆清声. 如何预防主动脉夹层腔内修复术后近端逆撕[J]. *中国血管外科杂志: 电子版*, 2019, 11(4): 309-310. doi: 10.3969/j.issn.1674-7429.2019.04.018.
- Lu QS. How to prevent proximal avulsion after endovascular repair of aortic dissection[J]. *Chinese Journal of Vascular Surgery: Electronic Version*, 2019, 11(4):309-310. doi:10.3969/j.issn.1674-7429.2019.04.018.
- [38] van Prehn J, Schlösser FV, Muhs BE, et al. Oversizing of aortic stent grafts for abdominal aneurysm repair: a systematic review of the benefits and risks[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2009, 38(1): 42-53. doi:10.1016/j.ejvs.2009.03.025.
- [39] 陆清声, 景在平. B型主动脉夹层腔内治疗的技术要点[J]. *外科理论与实践*, 2015, 20(4): 309-311. doi: 10.16139/j.1007-9610.2015.04.008.
- Lu QS, Jing ZP. Technical points of endovascular treatment of type B aortic dissection[J]. *Journal of Surgery Concepts & Practice*, 2015, 20(4):309-311. doi:10.16139/j.1007-9610.2015.04.008.
- [40] 陈政. B型主动脉夹层 TEVAR 术后支架所致远端裂口与支架关系的研究[D]. 上海:中国人民解放军海军军医大学, 2019.
- Chen Z. The study of correlation between stent-induced distal re-entry and stent-grafts after TEVAR for type B aortic dissection[D]. Shanghai:Naval Medical University, 2019.
- [41] 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(6): 822-830. doi:10.1016/j.ejvs.2019.04.015.
- [42] 查斌山, 朱化刚, 谢文涛, 等. 矫正性裸支架理念在治疗复杂主动脉疾病中的应用[J]. *中国介入影像与治疗学*, 2015, 12(2):65-69. doi:10.13929/j.1672-8475.2015.02.001.
- Zha BS, Zhu HG, Xie WT, et al. Application of corrective stent technique in endovascular aortic repair of complicated aortic lesion[J]. *Chinese Journal of Interventional Imaging and Therapy*, 2015, 12(2):65-69. doi:10.13929/j.1672-8475.2015.02.001.
- [43] Feng J, Lu Q, Zhao Z, et al. Restrictive bare stent for prevention of stent graft-induced distal redissection after thoracic endovascular aortic repair for type B aortic dissection[J]. *J Vasc Surg*, 2013, 57(2 Suppl):44S-52S. doi:10.1016/j.jvs.2012.06.117.
- [44] Li F, Wu X, Zhang X, et al. Clinical outcomes of distal tapered restrictive covered stent applied in endovascular treatment of aortic dissection involving zone 0[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2021, 61(3):413-421. doi:10.1016/j.ejvs.2020.11.037.
- [45] 魏广源. 锥形与筒形支架治疗非急性期 Stanford B型主动脉夹层

- 血管重塑的回顾性研究[D]. 昆明: 昆明医科大学, 2018.
- Wei GY. Retrospective study of aortic remodeling after treating non-acute Stanford B aortic dissection with tapered stent graft versus tubing (non-tapered) stent graft[D]. Kunming: Kunming Medical University, 2018.
- [46] 熊建明. 锥形覆膜支架治疗主动脉夹层动脉瘤疗效分析[J]. 中外医疗, 2015, 34(5): 104-106. doi: 10.16662/j.cnki.1674-0742.2015.05.023.
- Xiong JM. A single-center's experience on clinical application of tapered design stent-graft in the treatment of aortic dissection[J]. China Foreign Medical Treatment, 2015, 34(5): 104-106. doi: 10.16662/j.cnki.1674-0742.2015.05.023.
- [47] Qiu P, Zha B, Zhang X, et al. A meta-analysis of combined proximal stent grafting with or without adjunctive distal bare stent for the management of aortic dissection[J]. J Vasc Surg, 2020, 72(3):1109-1120.e6. doi:10.1016/j.jvs.2020.02.052.
- [48] 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(4): 450-459. doi: 10.1016/j.ejvs.2015.04.035.
- [49] Kahlberg A, Mascia D, Bertoglio L, et al. New technical approach for type B dissection: from the PETTICOAT to the STABILISE concept[J]. J Cardiovasc Surg (Torino), 2019, 60(3):281-288. doi: 10.23736/S0021-9509.19.10904-4.
- [50] Bayfield NGR, Bennett A, Ritter JC. Stent-assisted balloon-induced intimal disruption and relamination in aortic dissection repair (STABILISE): a meta-analysis of early outcomes[J]. Ann Vasc Surg, 2024, 98:146-154. doi:10.1016/j.avsg.2023.06.028.
- [51] Melissano G, Bertoglio L, Rinaldi E, et al. Satisfactory short-term outcomes of the STABILISE technique for type B aortic dissection[J]. J Vasc Surg, 2018, 68(4): 966-975. doi: 10.1016/j.jvs.2018.01.029.
- [52] Kölbel T, Carpenter SW, Lohrenz C, et al. Addressing persistent false lumen flow in chronic aortic dissection: the knickerbocker technique[J]. J Endovasc Ther, 2014, 21(1):117-122. doi:10.1583/13-4463MR-R.1.
- [53] Rohlfes 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(4):609-614. doi:10.1177/15266028221090439.
- [54] Oikonomou K, Kasprzak P, Katsargyris A, et al. Mid-term results of fenestrated/branched stent grafting to treat post-dissection thoraco-abdominal aneurysms[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2019, 57(1): 102-109. doi:10.1016/j.ejvs.2018.07.032.
- [55] Zhang M, Zhang J, Niu X, et al. Efficacy of wflow embedded branch stents in the treatment of stanford type B dissection involving left subclavian artery[J]. Altern Ther Health Med, 2024: AT9296.
- [56] Kölbel T, Lohrenz C, Kieback A, et al. Distal false lumen occlusion in aortic dissection with a homemade extra-large vascular plug: the candy-plug technique[J]. J Endovasc Ther, 2013, 20(4):484-489. doi:10.1583/13-4318.1.
- [57] Li HL, Chan YC, Jia HY, et al. Methods and outcomes of endovascular false lumen embolization for thoracic aortic dissection[J]. Ann Vasc Surg, 2022, 85: 371-382. doi: 10.1016/j.avsg.2022.03.020.
- [58] Palm E, Valtola A, Manninen H, et al. A modified candy-plug technique to occlude false lumen in aortic dissection[J]. CVIR Endovasc, 2022, 5(1):57. doi:10.1186/s42155-022-00331-0.
- [59] Karaolani GI, Kotopoulos K, D'Amico R, et al. The fate of false lumen in type B and residual type A aortic dissection using the candy-plug technique: a systematic review and meta-analysis[J]. J Endovasc Ther, 2025. doi: 10.1177/15266028251344808. [Online ahead of print]
- [60] Li Z, Zhang J, Yu L, et al. Coil embolization for persistent false lumen in type B aortic dissection: a single-center retrospective study[J]. Asian J Surg, 2024, 47(12): 5462-5463. doi: 10.1016/j.asjsur.2024.06.103.
- [61] Zhao YF, Zuo ZA, Li ZY, et al. Integrated multi-omics profiling reveals neutrophil extracellular traps potentiate Aortic dissection progression[J]. Nat Commun, 2024, 15(1): 10736. doi: 10.1038/s41467-024-55038-8.
- [62] 李铃燕, 李达, 樊瑜波, 等. 1例Stanford B型主动脉夹层TEVAR术后新发破口的血流动力学分析[J]. 医用生物力学, 2022, 37(2): 323-328. doi:10.16156/j.1004-7220.2022.02.021.
- Li LY, Li D, Fan YB, et al. Hemodynamic analysis of redissection after endovascular repair for one stanford type B aortic dissection case[J]. Journal of Medical Biomechanics, 2022, 37(2): 323-328. doi:10.16156/j.1004-7220.2022.02.021.

( 本文编辑 熊杨 )

本文引用格式:邹海龙,张天华.B型主动脉夹层TEVAR术后远端新发破口:机制、风险因素与干预策略[J].中国普通外科杂志,2025,34(12):2679-2687. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250289

Cite this article as: Zou HL, Zhang TH. Distal stent graft-induced new entry after TEVAR for type B aortic dissection: mechanisms, risk factors, and intervention strategies[J]. Chin J Gen Surg, 2025, 34(12): 2672-2680. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250289