doi:10.11659/jjssx.11E025110

·临床研究·

Stanford B型主动脉夹层术后主动脉重塑不良的影响因素与列线图模型

张 波,王同建,梁家立,张 勇,任 超 (中国人民解放军联勤保障部队第九六〇医院心外科,山东 济南 250031)

[摘 要] **目的** 探讨Stanford B型主动脉夹层(TBAD)患者胸主动脉腔内修复术(TEVAR)后主动脉重塑不良的影响因素,并构建列线图预测模型。**方法** 将2020年1月至2025年1月于本院进行TEVAR的260例TBAD患者根据随机数字表法分为模型集(n=182)和验证集(n=78)。根据术后3个月主动脉重塑情况将模型集患者分为重塑良好组(n=122)和重塑不良组(n=60)。采用多因素*Logistic*回归法分析TBAD患者TEVAR后主动脉重塑不良的影响因素,并构建列线图风险预测模型;模型的预测区分度、一致性分别采用受试者工作特征(*ROC*)曲线、校准曲线评估。**结果** 随访结果显示,260例TBAD患者TEVAR后主动脉重塑不良发生率为31.15%。重塑良好组与重塑不良组患者在主动脉弓长度、破口数目、假腔直径、假腔分支灌注情况、发病至手术时间、血小板计数(PLT)水平上存在显著差异(P<0.05)。多因素*Logistic*回归结果显示,主动脉弓长度增加(OR=0.807)和PLT较高(OR=0.945)是TEVAR后主动脉重塑不良的保护因素(P<0.05),破口数目≥3个(OR=3.528)、假腔直径较大(OR=1.492)、假腔有分支灌注(OR=4.021)和发病至手术时间较长(OR=2.094)为TEVAR后主动脉重塑不良的危险因素(P<0.05)。*ROC*分析中,模型集和验证集的曲线下面积(*AUC*)分别为0.933(95%*CI*:0.899~0.967)、0.948(95%*CI*:0.904~0.992);*Hosmer-Lemeshow*检验显示,模型集χ^2=2.490、P=0.962,验证集χ^2=5.265、P=0.741。**结论** TBAD患者TEVAR后主动脉重塑不良与主动脉弓长度、破口数目、假腔直径、假腔分支灌注情况、发病至手术时间、PLT水平密切相关,基于上述6个因素构建的列线图模型预测TEVAR后主动脉重塑不良风险的效能较高。

[关键词] Stanford B型主动脉夹层;胸主动脉腔内修复术;主动脉重塑不良;影响因素;列线图
[中图分类号] R654.3 [文献标志码] A [收稿日期] 2025-11-18

Influencing factors and a nomogram model for poor aortic remodeling after thoracic endovascular aortic repair in patients with Stanford type B aortic dissection

ZHANG Bo, WANG Tong-jian, LIANG Jia-li, ZHANG Yong, REN Chao (Department of Cardiac Surgery, the 960th Hospital of the Joint Logistics Support Force, Chinese People's Liberation Army, Jinan Shandong 250031, China)

Abstract: Objective To explore the influencing factors for poor aortic remodeling after thoracic endovascular aortic repair (TEVAR) in patients with Stanford type B aortic dissection (TBAD), and to construct a nomogram prediction model. **Methods** A total of 260 TBAD patients who underwent TEVAR in our hospital from January 2020 to January 2025 were divided into the model set (n=182) and the validation set (n=78) by random number table method. Patients in the model set were divided into the good remodeling group (n=122) and the poor remodeling group (n=60) according to the aortic remodeling situation at 3 months after surgery. Multivariate *Logistic* regression analysis was performed to identify the influencing factors for poor aortic remodeling after TEVAR in TBAD patients, and the nomogram risk prediction model was constructed. The predictive discrimination and consistency of the model were evaluated by *receiver operating characteristic* (*ROC*) curve and *calibration curve*, respectively. **Results** The follow-up results showed that the incidence of poor aortic remodeling after TEVAR in 260 patients with TBAD was 31.15%. There were statistically significant differences between the good remodeling group and the poor remodeling group in terms of the aortic arch length, the number of tears, the diameter of the false lumen, the false lumen branch perfusion, the time from onset to surgery, and platelet count (PLT) level (P<0.05). Multivariate *Logistic* regression analysis showed that increased aortic arch length (OR=0.807) and higher PLT level (OR=0.945) were the protective factors for poor aortic remodeling after TEVAR (P<0.05), while the number of tears ≥ 3 (OR=3.528), the larger diameter of the false lumen (OR=1.492), false lumen branch perfusion (OR=4.021), and the longer time from onset to surgery (OR=2.094) were the risk factors for poor aortic remodeling after TEVAR (P<0.05). In the *ROC* analysis, the *area under the curve* (*AUC*) of the model set and the validation set were 0.933 (95%*CI*: 0.899 to 0.967) and 0.948 (95%*CI*: 0.904 to 0.992), respectively. The *Hosmer-Lemeshow* test showed χ^2=2.490, P=0.962 in the model set, and χ^2=5.265, P=0.741 in the validation set. **Conclusion** The poor aortic remodeling after TEVAR in patients with TBAD is closely related to the aortic arch length, the number of tears, the diameter of the false lumen, the false lumen branch perfusion, the time from onset to surgery, and PLT level. The nomogram model constructed based on the above six factors has a high efficacy in predicting the risk of poor aortic remodeling after TEVAR.

Keywords: Stanford type B aortic dissection; thoracic endovascular aortic repair; poor aortic remodeling; influencing factors; nomogram

[基金项目] 济南市科技计划项目(202134002);山东第二医科大学附属医院科技发展项目(2023FYM098)
[通信作者] 任 超,E-mail:pffalm@163.com

主动脉夹层指主动脉壁内膜与中层发生撕裂,导致血液流入中层,形成假腔,起病急骤,是极其危险的血管疾病[1]。Stanford B型主动脉夹层(Stanford type B aortic dissection,TBAD)仅累及降主动脉,不累及升主动脉,高血压是导致TBAD发生的主要因素。此外,动脉粥样硬化、马方综合征、吸烟等也会增加TBAD发生风险[2-3]。TBAD会出现剧烈胸痛、晕厥、冒冷汗等症状,严重者导致心肌缺血、脑缺血等,需及时治疗[4]。胸主动脉腔内修复术(thoracic endovascular aortic repair,TEVAR)是治疗TBAD的一种微创手术,需要通过将覆膜支架植入病变部位,以封闭破口、扩张真腔,实现血管重塑[5]。但部分患者进行TEVAR治疗后血管重塑不良,真腔扩张不明显,假腔未血栓化,对预后极其不利,可能需要二次手术[6]。TEVAR后主动脉重塑不良与多种因素有关,列线图模型能够根据各个影响因素的权重对结局事件发生风险进行预测[7]。因此,本研究基于TBAD患者TEVAR后主动脉重塑不良的影响因素构建列线图模型,以期为TEVAR后主动脉重塑情况进行预测。

1 资料与方法

1.1 临床资料

选取2020年1月至2025年1月于我院进行TEVAR的260例TBAD患者为研究对象,采用随机数字表法分为模型集(n=182)和验证集(n=78),两数据集患者的临床资料比较差异均无统计学意义(P>0.05)。纳入标准:①经CT血管成像(computed tomography angiography,CTA)确诊为TBAD[8];②TEVAR后3个月进行复查;③年龄>18岁。排除标准:①临床资料不全;②合并自身免疫性疾病;③合并遗传性结缔组织病;④沟通障碍;⑤肝、肾功能不全。本研究经我院医学伦理委员会审核通过[批准号:(2025)科研伦理审第(107)号]。

1.2 方法

1.2.1 术后主动脉重塑情况评估 采用CTA评估主动脉重塑情况,将真腔直径增加≤5 mm,假腔直径增加或体积增大,假腔内有血栓形成定义为重塑不良。根据术后3个月主动脉重塑情况将模型集患者分为重塑良好组和重塑不良组。

1.2.2 临床资料收集 从医院电子病历中收集患者年龄、既往史、发病至手术时间、植入支架数量,及术前测量的主动脉弓直径、长度和曲率、真腔与假腔的直径、假腔分支灌注情况、舒张压、血小板计数(platelet count,PLT)等相关资料。

1.3 统计学分析

采用SPSS 25.0统计学软件处理数据。计数资料以率(%)表示,组间比较采用χ^2检验;计量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用t检验。TBAD患者TEVAR后主动脉重塑不良的影响因素采用多因素*Logistic*回归分析,并基于各个影响因素建立预测TEVAR后主动脉重塑不良风险的列线图;采用受试者工作特征(*receiver operating characteristic*,*ROC*)曲线、*Hosmer-Lemeshow*检验、校准曲线评估列线图预测主动脉重塑情况的区分度、一致性。P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 模型集、验证集患者TEVAR后主动脉重塑不良情况

模型集182例患者中,60例(32.97%)重塑不良;验证集78例患者中,21例(26.92%)重塑不良。260例TBAD患者TEVAR后主动脉重塑不良发生率为31.15%。

2.2 重塑良好组、重塑不良组患者临床资料比较

相比重塑良好组,重塑不良组患者主动脉弓长度较短(P<0.05),假腔直径较大(P<0.05),发病至手术时间较长(P<0.05),PLT较低(P<0.05),且破口数目≥3个和假腔有分支灌注的占比较高(P<0.05),见表1。

2.3 模型集患者TEVAR后主动脉重塑不良的影响因素分析

以模型集中TBAD患者TEVAR后主动脉重塑情况(重塑良好=0,重塑不良=1)为因变量,以表1中有统计学差异的6个因素为自变量进行多因素回归分析,结果显示:主动脉弓长度增加(OR=0.807)和PLT较高(OR=0.945)是TEVAR后主动脉重塑不良的保护因素(P<0.05);破口数目≥3个(OR=3.528)、假腔直径较大(OR=1.492)、假腔有分支灌注(OR=4.021)和发病至手术时间较长(OR=2.094)是TEVAR后主动脉重塑不良的危险因素(P<0.05),见表2。

2.4 基于模型集数据构建预测TBAD患者TEVAR后主动脉重塑不良的列线图模型

基于上述6个因素构建的预测TBAD患者TEVAR后主动脉重塑不良的列线图模型显示,主动脉弓长度越短、假腔直径越长、发病至手术时间越长、PLT越低,

表1 模型集中重塑良好组、重塑不良组患者的临床资料比较

指标		重塑良好组（n=122）	重塑不良组（n=60）	t/χ^2	P
年龄（岁）		57.22±6.28	58.47±6.53	1.246	0.214
体质量指数（kg/m^2）		23.46±2.49	23.84±2.61	0.953	0.342
性别[例（%）]	男	66（54.10）	37（61.67）	0.938	0.333
	女	56（45.90）	23（38.33）		
高血压[例（%）]		78（63.93）	46（76.67）	3.003	0.083
糖尿病[例（%）]		29（23.77）	11（18.33）	0.693	0.405
高脂血症[例（%）]		34（27.87）	14（23.33）	0.426	0.514
冠心病[例（%）]		20（16.39）	12（20.00）	0.361	0.548
吸烟[例（%）]		45（36.89）	25（41.67）	0.388	0.533
饮酒[例（%）]		47（38.52）	28（46.67）	1.101	0.294
主动脉曲率（°）		43.29±3.25	44.16±3.42	1.669	0.097
主动脉弓直径（mm）		115.76±11.58	113.25±10.09	1.432	0.154
主动脉弓长度（mm）		39.05±4.87	34.40±4.12	6.359	<0.001
破口数目[例（%）]	1~2个	87（71.31）	31（51.67）	6.808	0.009
	≥3个	35（28.69）	29（48.33）		
主动脉弓分型[例（%）]	B1	32（26.23）	21（35.00）	1.764	0.414
	B2	58（47.54）	27（45.00）		
	B3	32（26.23）	12（20.00）		
真腔直径（mm）		18.31±2.97	17.43±2.91	1.892	0.060
假腔直径（mm）		24.90±4.11	30.32±4.24	8.277	<0.001
假腔有分支灌注[例（%）]	否	79（64.75）	27（45.00）	6.453	0.011
	是	43（35.25）	33（55.00）		
发病至手术时间（d）		7.45±1.58	9.53±1.71	8.124	<0.001
植入支架数量[例（%）]	<2个	71（58.20）	28（46.67）	2.155	0.142
	≥2个	51（41.80）	32（53.33）		
收缩压（mmHg）		155.37±7.05	157.41±7.24	1.819	0.071
舒张压（mmHg）		97.63±5.24	98.25±5.68	0.730	0.466
心率（次/分）		78.31±4.69	79.52±4.57	1.650	0.101
白细胞计数（×10^9/L）		8.72±1.41	9.03±1.49	1.368	0.173
PLT（×10^9/L）		183.77±24.85	167.02±19.32	4.582	<0.001

得分越高，见图1；破口数目≥3个增加11分权重；假腔有分支灌注增加12分权重。总得分为138、154、166和178分时，对应的预测概率分别为0.1、0.4、0.7和0.9。

2.5 模型的预测效能评估

*ROC*分析显示，模型集的曲线下面积（*area under the curve*，*AUC*）为0.933（95%*CI*：0.899~0.967），验证集的*AUC*为0.948（95%*CI*：0.904~0.992），见图2；*Hosmer-Lemeshow*检验显示，模型集χ^2=2.490、*P*=0.962，验证集χ^2=5.265、*P*=0.741，且校准曲线与理想曲线吻合度高，见图3。

3 讨论

TEVAR具有创伤小、并发症少、术后住院时间短等优势，近年来，腔内手术技术不断成熟，TBAD的手术方式也从开放手术向TEVAR转变，TEVAR后的恢复情况也备受关注[9]。本研究显示，进行TEVAR的260例TBAD患者中，81例（31.15%）患者主动脉重塑不良，与既往研究报道的36.67%（55/150）接近[10]，高于杨阳等[11]报道的21.76%（79/363），这一差异可能与其随访时间较长有关。

单因素分析显示，不同重塑情况的TBAD患者在主动脉弓长度、破口数目、假腔直径、假腔分支灌注情况、发病至手术时间和PLT水平上存在显著差异，提示这几个因素可能与TEVAR后主动脉重塑不良有关。进一步分析显示，主动脉弓长度越短、假腔直径越大、发病至手术时间越长、PLT越低，主动脉重塑不良风险越高；此外，破口数目≥3个和假腔有分支灌注的患者主动脉重塑不良风险较高。殷春等[12]的研究也报道，治疗时间窗和较多破口为影响TEVAR后主动脉重塑的因素。另有研究表明，PLT较低不利于TEVAR后主动脉重塑，但破口数量和主动脉弓长度与TEVAR后主动脉重塑不良无关[13]。以上研究偏倚可能与样本量、患者情况等不同有关。主动脉弓长度较短，其曲率可能也会较大，植入支架后会导致主动脉弓发生形变，不利于术后主动脉重塑。较多的破口数是假腔持续通畅的有利因素，同时会增加假腔内压力，导致假腔持续扩张[14]。假腔直径越大，血流速度也会越快，会阻碍假腔内血栓形成和吸收，影响主动脉重塑速度和程度[15]。假腔内形成血栓是主动脉重塑良好的重要标志，越早形成血栓越有利于主动脉重塑，假腔内若有分支灌注，将阻碍血栓形成，延缓主动脉重塑[16-17]。低水平PLT不利于血液凝固，影响假腔血栓形成。殷春等[12]的研究认为，发病7 d内进行TEVAR有利于术后主动脉重塑。Yu等[18]的研究也表明，越早进行手术，术后主动脉重塑情况越好。

本研究进一步基于单因素及多因素分析筛选出的6个影响因素构建预测模型，该模型可通过各影响

表2 模型集患者TEVAR后主动脉重塑不良的多因素*Logistic*回归分析结果

变量	赋值	β	*SE*	Wald χ^2	*P*	*OR*	95%*CI*	
							下限	上限
主动脉弓长度	连续变量	−0.214	0.064	11.190	0.001	0.807	0.712	0.915
破口数目	1~2个=0，≥3个=1	1.261	0.626	4.057	0.044	3.528	1.035	12.028
假腔直径	连续变量	0.400	0.087	21.383	<0.001	1.492	1.259	1.768
假腔有分支灌注	否=0，是=1	1.392	0.622	5.013	0.025	4.021	1.189	13.594
发病至手术时间	连续变量	0.739	0.183	16.374	<0.001	2.094	1.464	2.996
PLT	连续变量	−0.056	0.016	12.381	<0.001	0.945	0.916	0.975

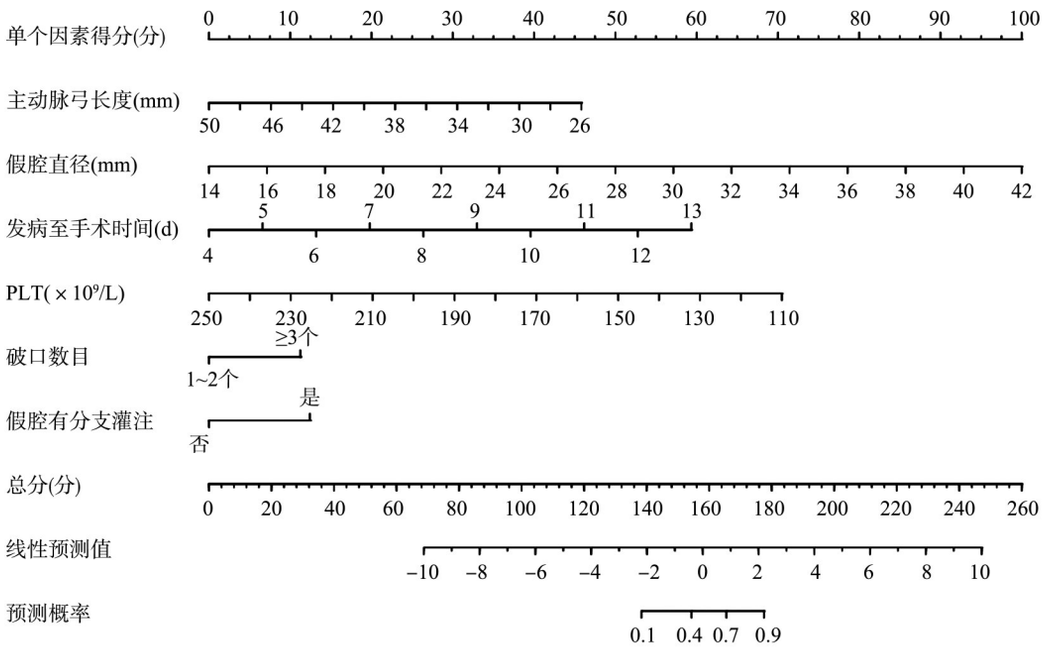


图1 列线图风险模型

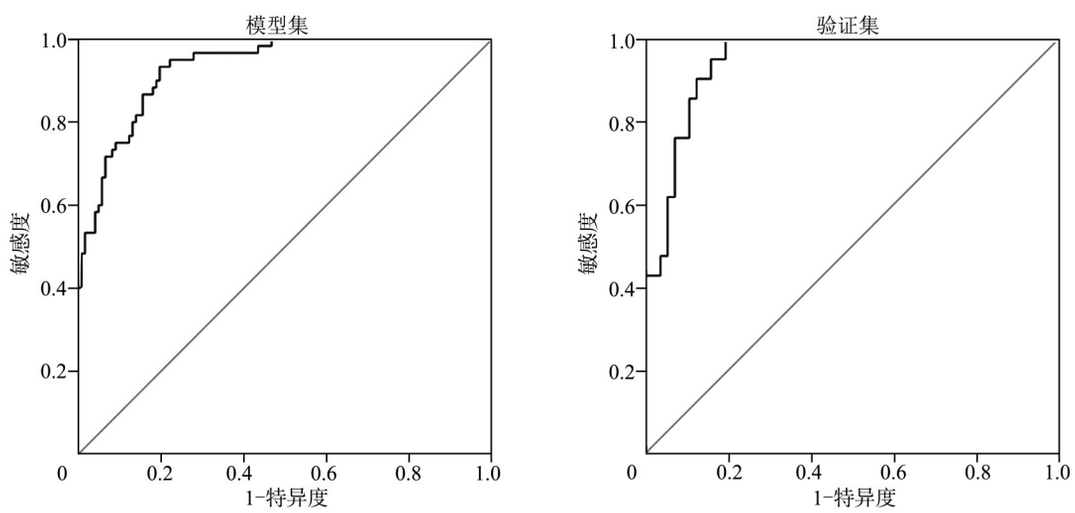


图2 *ROC* 曲线

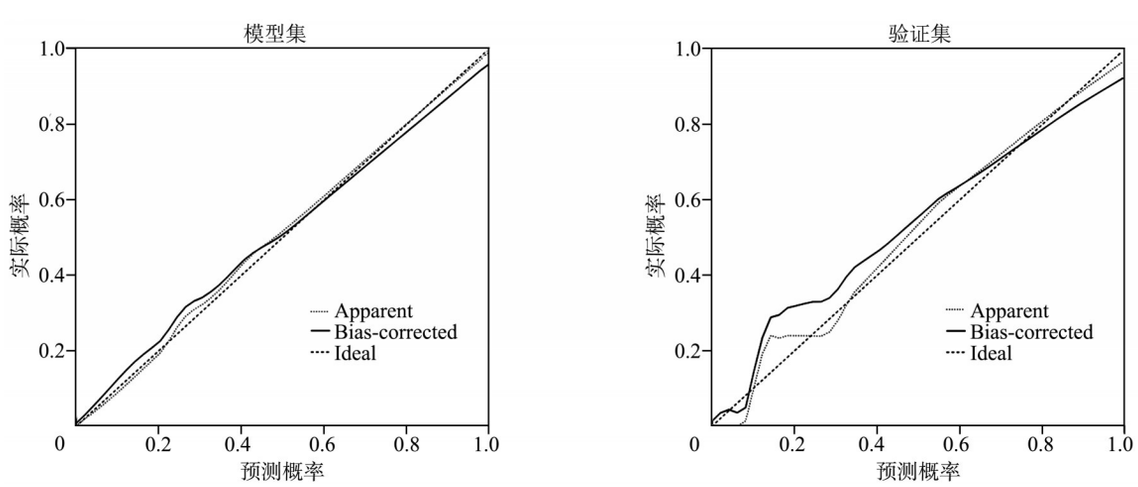


图3 校准曲线

因素的总得分推算主动脉重塑不良的风险值,总分越高,发生主动脉重塑不良的风险也越高。*ROC*曲线分析及*Hosmer-Lemeshow*检验结果显示:该模型对主动脉重塑情况的区分度良好,预测概率与实际概率接近,提示其具备优异的预测效能;且本研究构建的列线图模型区分度优于殷春等[12]所构建的模型。

综上所述,主动脉弓长度、破口数目、假腔直径、假腔分支灌注情况、发病至手术时间、PLT水平与TBAD患者TEVAR后主动脉重塑不良密切相关,基于上述因素构建的列线图模型在TEVAR后主动脉重塑不良的风险预测上具有一定价值,但预测风险值的准确性有待多中心研究验证。

[参考文献]

[1] Ogami T, Arnaoutakis GJ, Isselbacher EM, et al. Long-term outcomes after recurrent acute thoracic aortic dissection: insights from the international registry of aortic dissection[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2025,169(1):1-10. doi: 10.1016/j.jtcvs.2024.03.029.

[2] Yu Y, Wang J, Duan B, et al. Thoracic endovascular aortic repair versus open surgery for Stanford type b aortic dissection: a meta-analysis and systematic review[J]. Heart Surg Forum, 2023, 26(3): E303-E310. doi: 10.59958/hsf.5333.

[3] Li S, Chang S, Guo R, et al. Thoracic aneurysm and dissection gene variants increase the risk of aortic-related adverse events in early-onset isolated Stanford type B aortic dissection after endovascular aortic repair[J]. J Thorac Dis, 2023, 15(6): 2905-2915. doi: 10.21037/jtd-22-1529.

[4] Hong X, Lin Y, Xie X, et al. Long-term outcomes of thoracic endovascular aortic repair for chronic Stanford type B aortic dissection[J]. Vascular, 2024, 32(3): 483-489. doi: 10.1177/17085381231153695.

[5] 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.

[6] Lu C, Wang H, Yang P, et al. Early results of the newly-designed flow-dynamics dense mesh stent for residual dissection after proximal repair of Stanford type A or type B aortic dissection: a preliminary single-center report from a multicenter, prospective, and randomized study[J]. J Endovasc Ther, 2024, 31(5): 984-994. doi: 10.1177/15266028231163057.

[7] Wang J, Li M, Li J, et al. Safety and efficacy of thoracic endovascular aortic repair for acute Stanford type B aortic dissection with retrograde type A intramural hematoma[J]. J Vasc Surg, 2023, 78(1): 61-69. doi: 10.1016/j.jvs.2023.02.021.

[8] 中国医师协会心血管外科分会大血管外科专业委员会. 主动脉夹层诊断与治疗规范中国专家共识[J]. 中华胸心血管外科杂志, 2017,33(11):641-654. doi: 10.3760/cma.j.issn.1001-4497.2017.11.001.

[9] Zhou M, Luo X, Wang X, et al. Deep learning prediction for distal aortic remodeling after thoracic endovascular aortic repair in Stanford type B aortic dissection[J]. J Endovasc Ther, 2024, 31(5): 910-918. doi: 10.1177/15266028231160101.

[10] 阿依别克·乃比,叶尔买克·唐沙哈尔,郭永忠. Stanford B型主动脉夹层患者胸主动脉腔内修复术后主动脉重塑的影响因素分析[J]. 血管与腔内血管外科杂志, 2025, 11(3): 295-299. doi: 10.19418/j.cnki.issn2096-0646.2025.03.02.

[11] 杨　阳,杨　雍,刘纪宁,等. 急性Stanford B型主动脉夹层患者术后支架远端主动脉负性重塑的影响因素分析及其预测指标[J]. 血管与腔内血管外科杂志,2023,9(10):1250-1254. doi:10.19418/j.cnki.issn2096-0646.2023.10.21.

[12] 殷　春,王　慧,郭振平. 急性期Stanford B型主动脉夹层病人介入治疗时间窗对术后主动脉重塑的影响[J]. 中西医结合心脑血管病杂志,2024,22(5):914-920. doi: 10.12102/j.issn.1672-1349.2024.05.028.

[13] 海依娜尔·赛力克汗,刘军乐,丁贺义,等. Stanford B型主动脉夹层腔内修复术后早期主动脉重塑的影响因素[J]. 中国血管外科杂志(电子版),2024,16(2):133-138. doi: 10.3969/j.issn.1674-7429.2024.02.006.

[14] 燕亚州,胡何节,方征东,等. Stanford B型主动脉夹层患者胸主动脉腔内修复术后腹主动脉重塑的影响因素[J]. 血管与腔内血管外科杂志, 2022, 8(5): 517-523. doi: 10.19418/j.cnki.issn2096-0646.2022.05.02.

[15] Wan Ab Naim WN, Sun Z, et al. Comparison of diametric and volumetric changes in Stanford type B aortic dissection patients in assessing aortic remodeling post-stent graft treatment[J]. Quant Imaging Med Surg, 2021, 11(5): 1723-1736. doi: 10.21037/qims-20-814.

[16] Wang J, Chen B, Gao F. Exploring hemodynamic mechanisms and re-intervention strategies for partial false lumen thrombosis in Stanford type B aortic dissection after thoracic aortic endovascular repair[J]. Int J Cardiol, 2024, 417(1): 132494. doi: 10.1016/j.ijcard.2024.132494.

[17] Zhang S, Sun W, Liu S, et al. Does alse lumen thrombosis lead to better outcomes in patients with aortic dissection: a meta-analysis and systematic review[J]. Heart Surg Forum, 2023, 26(5): E628-E638. doi: 10.59958/hsf.5739.

[18] Yu B, Li T, Liu H. Retrospective analysis of factors associated with aortic remodeling in patients with Stanford type B aortic dissection after thoracic endovascular aortic repair[J]. J Cardiothorac Surg, 2021, 16(1): 190-196. doi: 10.1186/s13019-021-01571-2.

(编辑:刘　艺)