doi:10.11659/jjssx.09E025014

·心血管外科专栏·

3D打印辅助预开窗TEVAR治疗累及左锁骨下动脉Stanford B型主动脉夹层的前瞻随机对照研究

葛 静[1],邹坪益[2],韩帅贤[3],陈汉林[3],张 强[1],陈健康[4] (1.遂宁市中心医院心脏大血管外科,四川 遂宁 629000;2.遂宁市中医院心血管病科,四川 遂宁 629000;3.川北医学院临床医学院,四川 南充 637000;4.遂宁市中心医院放射影像科,四川 遂宁 629000)

[摘 要] **目的** 研究3D打印辅助预开窗胸主动脉腔内修复术(TEVAR)治疗累及左锁骨下动脉的Stanford B型主动脉夹层(TBAD)的效果。**方法** 选取2020年1月至2024年12月遂宁市中心医院收治的190例累及左锁骨下动脉的TBAD患者,按随机数字表法分为原位开窗组(95例)、3D预开窗组(95例)。原位开窗组患者行原位开窗TEVAR治疗,3D预开窗组患者行3D打印辅助预开窗TEVAR治疗。对比2组患者手术相关指标、手术效果、内漏发生情况及其他并发症发生情况。**结果** 3D预开窗组患者透视时间、辐射总剂量面积乘积均短/少于原位开窗组($P<0.05$);2组患者手术时间、锚钉区域长度、主动脉支架成功释放且左锁骨下动脉重建成功率、手术成功率、内漏发生率、二次手术率及其他并发症发生率比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。**结论** 3D打印辅助预开窗与原位开窗TEVAR治疗累及左锁骨下动脉的TBAD均具有良好手术效果,且3D打印辅助预开窗技术可缩短术中透视时间,减少术中辐射剂量。

[关键词] 主动脉夹层;胸主动脉腔内修复术;开窗技术;3D打印技术;辐射
[中图分类号] R543.1 [文献标志码] A [收稿日期] 2025-09-05

Prospective randomized controlled study on 3D printing-assisted pre-fenestration TEVAR for Stanford type B aortic dissection involving the left subclavian artery

GE Jing[1], ZOU Ping-yi[2], HAN Shuai-xian[3], CHEN Han-lin[3], ZHANG Qiang[1], CHEN Jian-kang[4] (1. Department of Cardiovascular and Great Vascular Surgery, Suining Central Hospital, Suining Sichuan 629000, China; 2. Department of Cardiovascular Medicine, Suining Municipal Hospital of Traditional Chinese Medicine, Suining Sichuan 629000, China; 3. Clinical Medical School, Chuanbei Medical College, Nanchong Sichuan 637000, China; 4. Department of Radiology, Suining Central Hospital, Suining Sichuan 629000, China)

Abstract: Objective To investigate the efficacy of 3D printing-assisted pre-fenestration thoracic endovascular aortic repair (TEVAR) in the treatment of Stanford type B aortic dissection (TBAD) involving the left subclavian artery. **Methods** A total of 190 patients with

[基金项目] 中国医学科学院医学与健康科技创新工程(2016-CXGC01-3)
[通信作者] 邹坪益,E-mail:446425065@qq.com

[10] Jenkins KJ, Gauvreau K, Newburger JW, et al. Consensus-based method for risk adjustment for surgery for congenital heart disease[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2002, 123(1): 110-118. doi: 10.1067/mtc.2002.119064.

[11] Dotson A, Covas T, Halstater B, et al. Congenital heart disease[J]. Prim Care, 2024, 51(1): 125-142. doi: 10.1016/j.pop.2023.07.007.

[12] Fakhri D, Damayanti NMAS, Nurhanif M. Comparison of risk stratification scoring system as a predictor of mortality and morbidity in congenital heart disease patients requiring surgery[J]. Ann Pediatr Cardiol, 2023, 16(5): 349-353. doi: 10.4103/apc.apc_142_23.

[13] Furnaz S, Shaikh AS, Qureshi R, et al. Factors associated with poor outcomes after congenital heart surgery in low-resource setting in Pakistan: insight from the IQIC registry - a descriptive analysis[J]. BMJ Open, 2023, 13(12): e078884. doi: 10.1136/bmjopen-2023-078884.

[14] Tanyildiz M, Yetimakman AF, Yazici MU, et al. Effect of cardiopulmonary bypass on thiol/disulfide homeostasis in congenital heart surgery[J]. Turk Gogus Kalp Damar Cerrahisi Derg, 2023, 31(4): 454-466. doi: 10.5606/tgkdc.dergisi.2023.25283.

[15] Ouyang R, Leng S, Chen L, et al. Assessment of right ventricular diastolic function in pediatric patients with repaired tetralogy of Fallot by cardiovascular magnetic resonance and echocardiography[J]. Eur Radiol, 2024, 34(8): 5487-5500. doi: 10.1007/s00330-023-10538-x.

[16] Pereira SS, Jacquemyn X, Kutty S. Echocardiographic markers at diagnosis of persistent pulmonary hypertension of the newborn[J]. J Perinat Med, 2024, 52(9): 991-1001. doi: 10.1515/jpm-2023-0346.

[17] 沈俊飞,王昭军,冯雪虹,等. 扩张型心肌病病人左室整体纵向应变与心功能及预后的关系[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2023, 21(9): 1683-1686. doi: 10.12102/j.issn.1672-1349.2023.09.027.

(编辑:龙小芬)

TBAD involving left subclavian artery in Suining Central Hospital from January 2020 to December 2024 were selected and divided into in situ fenestration group (95 cases) and 3D pre-fenestration group (95 cases) according to the random number table method. Patients in the in situ fenestration group were treated with in situ fenestration TEVAR, and patients in the 3D pre-fenestration group were treated with 3D printing-assisted pre-fenestration TEVAR. The operation related indexes, operation effect, occurrence of endoleak and other complications were compared between the two groups. **Results** The fluoroscopy time and total radiation dose area product of patients in the 3D pre-fenestration group were less than those in the in situ fenestration group (P<0.05). There were no significant differences in operation time, length of anchor area, successful release of aortic stent and success rate of left subclavian artery reconstruction, success rate of operation, occurrence of endoleak, rate of secondary operation, and incidence of other complications between the two groups (P>0.05). **Conclusion** Both 3D printing-assisted pre-fenestration and in-situ fenestration TEVAR treatments for TBAD involving the left subclavian artery demonstrate good surgical outcomes, and the 3D printing-assisted pre-fenestration technique can reduce intraoperative fluoroscopy time and radiation dose.

Keywords: aortic dissection; thoracic endovascular aortic repair; fenestration technique; 3D printing technology; radiation

胸主动脉腔内修复术(thoracic endovascular aortic repair,TEVAR)是临床治疗Stanford B型主动脉夹层(type B aortic dissection, TBAD)的一线方案,但TEVAR对于近端锚定区不足的累及左锁骨下动脉的TBAD患者仍存在一些弊端[1-2]。原位开窗技术是TEVAR中重建左锁骨下动脉的常用措施,其优势在于可解决锚定区不足问题,但其存在术中开窗破膜及阻断分支动脉血流而可能导致远端动脉栓塞问题;体外预开窗技术虽难度高,但其相较于原位开窗可减少透视时间及辐射剂量,一定程度上减少了远端动脉栓塞事件[3-4]。然而,体外预开窗技术关键在于精确测量相关参数以确保窗口位置的准确性[5-6]。近年来有研究将3D打印模型应用于TEVAR中,发现其能精确复制主动脉夹层复杂的解剖结构,可满足不同场景的术前规划需求[7-8]。但既往研究多为病例分析,尚缺乏随机对照试验。因此,本研究开展了一项3D打印辅助预开窗TEVAR与原位开窗TEVAR治疗累及左锁骨下动脉的TBAD的随机对照试验,旨在分析3D打印辅助预开窗TEVAR的手术效率及安全性,以此为TBAD的临床治疗方案制定提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 临床资料

选取2020年1月至2024年12月遂宁市中心医院收治的190例累及左锁骨下动脉的TBAD患者。纳入标准:经主动脉计算机断层扫描血管成像(computed tomography angiography,CTA)检查确诊为TBAD,且夹层病变已累及左锁骨下动脉;符合TEVAR适应证;左锁骨下动脉起始角>45°;第一破口距离左锁骨下动脉开口超过1 cm;均在发病1周内进行手术;未行其他心脏手术;年龄20~80岁。排除标准:机体耐受性较差,无法进行TEVAR;患者或家属无法接受TEVAR;左锁骨下动脉开口处严重狭窄或钙化;近端锚定区>20 mm;既往有TEVAR手术史;术前1个月内发生脑梗死;合并严重脑外伤;术前昏迷、器官衰竭。脱落及剔除标准:对比剂过敏、图像质量较差;无法接受随访;研究期间因自身原因退出研究。按随机数字表法将患者分为原位开窗组(95例)和3D预开窗组(95例)。其中原位开窗组男52例,女43例,平均年龄(55.63±4.20)岁,平均体质量指数(21.96±1.02)kg/m^2,吸烟史47例。3D预开窗组男56例,女39例,平均年龄(54.90±4.51)岁,平均体质量指数(22.21±1.14)kg/m^2,吸烟史50例。2组患者一般资料比较,差异无统计学意义(P>0.05)。本研究获得遂宁市中心医院伦理委员会审批(批准号:2017-877),患者或家属签署对本研究的知情同意书。

1.2 方法

CTA扫描:TEVAR前采用GE Discovery CT750 HD进行全主动脉CTA扫描,范围从颈部至腹股沟区,包括整个夹层累及范围,评估主动脉弓直径、分支动脉切线直径、破口距离等。扫描条件:电流280 mA、电压120 kV,结果经DICOM格式导出,见图1。

3D打印技术:采用GEADW 4.6工作站导出75% R-R间期CTDICOM图像。使用Mimics软件对图像进行阈值分割确定目标结构范围,切割明确3D模型成像范围,包括主动脉弓及部分降主动脉。将处理完成的3D数字模型导入3-Matic软件,进行布尔减法运算,经2次布尔减法运算后得到3D血管模具,导出STL文件,传送至极光尔沃3D打印机,用水溶性PVA材料打印模具,即可得到3D模型。使用游标卡尺测量3D模型,与CTA扫描结果进行对比,二者测量结果基本一致,各径线上测量偏差<1 mm。固定模型,将覆膜支架在

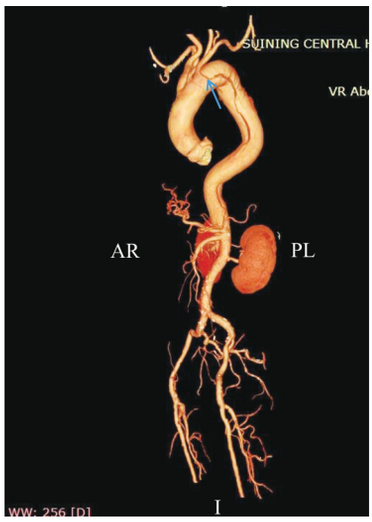
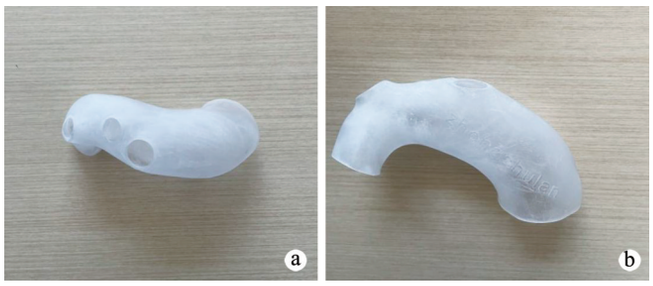


图1　术前胸腹主动脉CTA三维重建显示主动脉夹层全程(蓝色箭头指主动脉夹层累及左锁骨下动脉)

模型中打开释放,标记重要血管分支后,取出支架进行测量,通过血管模型进行手术规划,制定手术方案。术中将标记的支架进行开窗,将标志物缝于开窗支架上,回收支架并按手术方案进行TEVAR,见图2。

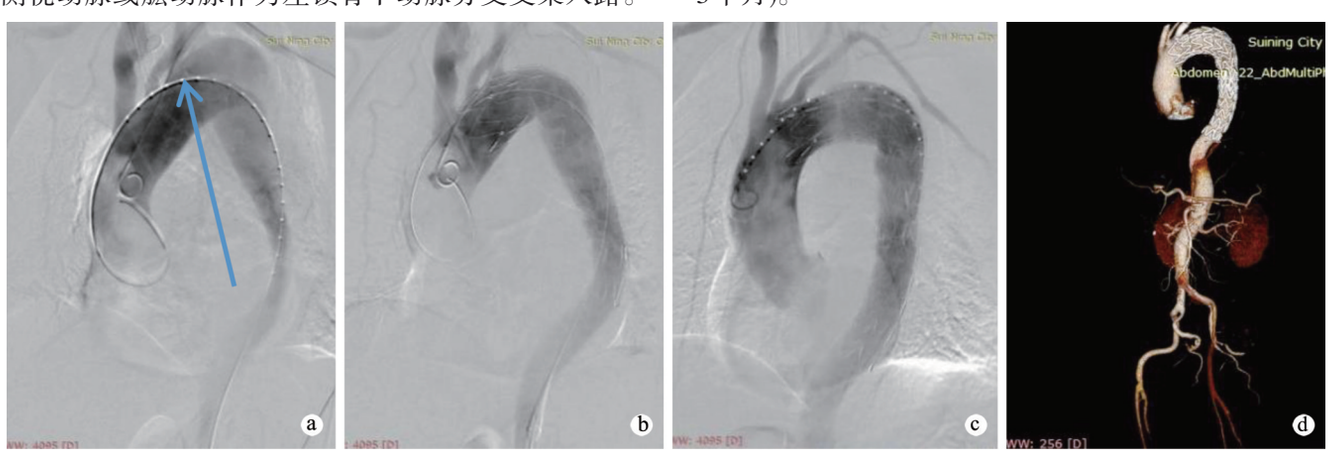
TEVAR手术操作:TEVAR在全身麻醉下进行,控制收缩压在100~120 mmHg,心率60次/分。主动脉覆膜支架为MicroPort® Hercules®,其近端无裸区;借助支架黄金标记点或覆膜编织纹理进行开窗位置辅助定位。左锁骨下动脉分支支架为Gore®Viabahn®覆膜支架。患者仰卧,常规消毒并经皮建立通路,全身肝素化。经皮穿刺右侧股动脉作为主体支架输送入路,左侧桡动脉或肱动脉作为左锁骨下动脉分支支架入路。



a:俯视图;b:侧面观

图2　3D打印模型显示主动脉弓及主动脉弓分支血管位置

使用数字减影血管造影系统进行引导,以Body模式,每秒30帧,推注对比剂碘美普尔行全主动脉造影,动态观察其形态、病变位置;选择Coro 3040电影模式。3D预开窗组在透视下将术前已在体外预先开窗的主体支架送入主动脉病变预设位置并释放,造影确定左锁骨下动脉开口位置,球囊扩张左锁骨下动脉后释放分支支架;造影显示支架位置良好、充分膨胀,左锁骨下动脉显影清晰、近端病变隔绝成功;术后3个月复查CTA,三维重建显示夹层第一破口完全封堵、无内漏、无支架移位、支架形态良好,左锁骨下动脉血供良好,见图3。原位开窗组在透视下将主体支架送至主动脉病变预设位置并释放,以多角度观察左锁骨下动脉与主动脉弓开口关系,确定开窗位置后原位开窗,针刺破膜,球囊扩张开窗孔径后释放左锁骨下动脉分支支架,造影观察支架释放情况。所有患者术前均接受负荷剂量双联抗血小板治疗,术后予以口服阿司匹林(100 mg/d,维持6个月)+氯吡格雷(75 mg/d,维持3个月)。



a:支架释放前,主动脉造影显示夹层破口累及左锁骨下动脉(蓝色箭头);b:支架释放后,主动脉造影显示支架完全封堵夹层第一破口;c:左锁骨下动脉裸支架置入后,主动脉造影显示左锁骨下动脉血流通畅;d:术后胸腹主动脉CTA三维重建

图3　3D预开窗组TEVAR主动脉造影与CTA影像

1.3　观察指标

手术相关指标:记录手术时间及数字减影血管造影系统中辐射相关数据,包括透视时间、辐射总剂量面积乘积、锚定区域长度。通过主动脉支架释放、左锁骨下动脉重建及手术成功情况评估手术效果,其中主动脉支架成功释放指主体支架被输送至预定位置

并成功展开,未遮挡弓上三大分支(无名动脉、左颈总动脉、左锁骨下动脉)开口;左锁骨下动脉成功重建指通过开窗技术成功保留或重建左锁骨下动脉血流;手术成功指同时成功完成主动脉支架释放和左锁骨下动脉重建,且术后无严重并发症(如Ia型内漏、中风等)。记录术后即刻与术后复查时内漏发生情况,统计二次手术情况。内漏分型包括Ⅰa型(漏口在近端)、Ⅰb型(漏口在支架远端)、Ⅱ型(内漏在支架覆盖侧支血管血液的反流)、Ⅲ型(支架结构故障致内漏形成)。术后通过定期门诊复查,统计患者术后逆撕夹层、新发脑梗死、肾功能恶化、入路并发症等其他并发症发生情况。

1.4 统计学方法

采用SPSS 27.0软件处理数据,非正态分布的计量资料以中位数(四分位间距)[$M(Q_1,Q_3)$]表示,组间差异比较采用*Mann-Whitney U*检验。符合正态分布的计量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间差异比较采用t检验。计数资料以率(%)表示,采用*Fisher*精确概率法或χ^2检验;等级资料采用秩和检验。$P<0.05$为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 2组患者手术相关指标比较

2组患者手术时间、锚钉区域长度比较,差异无统计学意义($P>0.05$);3D预开窗组患者透视时间、辐射总剂量面积乘积均短/少于原位开窗组($P<0.05$),见表1。

2.2 2组患者手术效果与内漏发生情况比较

3D预开窗组95例患者的所有主体支架均成功释放。其中有91例主动脉支架成功释放且左锁骨下动脉成功重建,窗口对位良好,91例患者中有85例患者植入分支支架,6例因对位左锁骨下动脉良好、血流充沛,综合考虑后未植入支架。另外4例左锁骨下动脉重建失败原因为:1例因导丝缠绕主动脉支架;3例因左锁骨下动脉起源前壁,导致窗口无法对位准确,均改行烟囱支架。术后即刻有6例出现内漏,未进行处理,Ⅰa、Ⅰb型内漏患者术后1个月复查CT显示内漏消失,Ⅱ型内漏患者术后3个月复查显示内漏消失。术后2个月随访时,1例患者出现新发Ⅲ型内漏,予以二次手术进行封堵,预后良好。

原位开窗组95例患者的所有主体支架均成功释放。其中有87例主动脉支架成功释放且左锁骨下动脉成功重建,窗口对位良好。另外8例左锁骨下动脉重建失败原因为:主动脉开口处成角过于锐利,导致鞘管头端难以置于覆膜上,最终均采用烟囱支架补救。术后即刻有4例患者出现内漏,术后1个月复查显示内漏消失。

2组患者主动脉支架成功释放且左锁骨下动脉重建成功率、手术成功率、内漏发生率、二次手术率比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),见表2。

表1 2组患者手术相关指标比较

组别	n	手术时间(min)	透视时间(min)	辐射总剂量面积乘积(μGy·m²)	锚钉区域长度(mm)
3D预开窗组	95	130.98±32.50	29.35±5.09	45 345.50±3 506.10	15(7,20)
原位开窗组	95	123.65±35.82	35.05±4.57	68 951.00±5 860.40	16(7,21)
t/U		1.477	8.122	33.691	0.596
P		0.141	0.001	0.000	0.603

表2 2组患者手术效果与内漏发生情况比较[例(%)]

组别	n	内漏发生情况				主动脉支架成功释放且左锁骨下动脉重建成功	手术成功	二次手术
		Ⅰa型	Ⅰb型	Ⅱ型	Ⅲ型			
3D预开窗组	95	4(4.21)	1(1.05)	1(1.05)	1(1.05)	91(95.79)	89(93.68)	0(0)
原位开窗组	95	3(3.16)	1(1.05)	0(0)	0(0)	87(91.58)	91(95.79)	1(1.05)
χ^2			0.422			1.423	0.422	-
P			0.516			0.233	0.516	0.500

-:*Fisher*精确概率法检验

2.3 2组患者其他并发症发生情况比较

定期随访6个月,2组患者逆撕夹层、新发脑梗死、肾功能恶化、入路并发症发生率比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),见表3。

表3 2组患者其他并发症发生情况比较[例(%)]

组别	n	逆撕夹层	新发脑梗死	肾功能恶化	入路并发症
3D预开窗组	95	0(0)	1(1.05)	3(3.16)	1(1.05)
原位开窗组	95	1(1.05)	3(3.16)	4(4.21)	2(2.11)
χ^2		-	0.255	0.000	0.000
P		0.500	0.613	1.000	1.000

-:*Fisher*精确概率法检验

3 讨论

原位开窗、预开窗是TEVAR术中重建左锁骨下动

脉的常见技术,但预开窗需精确术前测量技术、术中安全可控定位技术,学习曲线早期易因定位不准确导致左锁骨下动脉重建不良,影响手术效果[9-10]。本研究将3D打印技术应用于预开窗TEVAR中,术前通过CTA扫描结果使用3-Matic软件设计主动脉弓数字模型,并打印3D模型,经测量后发现其与CTA扫描结果基本一致,且通过3D打印模型能直观地了解、掌握主动脉夹层及其与分支的关系,标记血管分支,并在模型内模拟血管腔内支架释放、分支开口定位,制定手术方案,按手术方案施行TEVAR,获得了良好效果。

本研究结果显示,与原位开窗TEVAR比较,使用3D打印模型辅助预开窗TEVAR治疗累及左锁骨下动脉的术中透视时间及辐射总剂量面积乘积明显减少。其可能的原因为原位开窗时需持续透视确定针刺破膜位置,对患者造成的辐射暴露较大[11],而术前根据3D打印模型详细并准确地了解血管分支解剖学结构,制定可靠的手术计划,可减少术中反复透视确认次数,从而减少辐射量。此外,本研究发现2组患者手术时间无明显差异。而周保宁等[12]研究显示TEVAR使用原位开窗的手术时间短于体外开窗。这可能是由于以往体外预开窗TEVAR为预防内漏,术中改造支架并回收,增加了术中操作复杂程度,从而延长了手术时间[13-14]。本研究在术前使用3D打印模型模拟支架释放及分支血管开口定位,制定了详细的手术计划,充分做好应对措施,可能因此减少了手术时间。

既往研究提出,对于累及左锁骨下动脉的TBAD,由于分支支架与开窗口易出现裂隙,且球囊扩张易造成主体支架覆膜撕裂,会增加内漏发生风险[15-16]。林先东等[17]对两种开窗方式进行系统评价发现,预开窗的术后内漏发生率及再干预率较原位开窗更高,但并无统计学差异。也有学者提出,原位开窗分支架与开窗口贴合较为紧密,可减少Ⅲ型内漏发生[18-19]。本研究结果显示,3D预开窗组术后有7例出现内漏,其中1例为术后2个月随访时发生了Ⅲ型内漏,需进行二次手术;原位开窗组术后有4例患者出现Ⅰ型内漏。尽管内漏类型与数量分布有所不同,但2组总体手术成功率无显著差异。提示两种技术在实现左锁骨下动脉重建与总体手术成功方面效能相当。对于术后发现Ⅰa型内漏但选择保守观察的患者,本研究认为其内漏与支架贴壁不良相关,非抗凝不足所致,故未调整抗凝/抗血小板方案。此外,内漏发生率的差异可能与具体技术的操作特点、学习曲线及器械因素有关,但受限于样本量,尚需进一步研究确认。

临床循证发现,开窗口与左锁骨下动脉开口精准对位是预开窗技术成功的关键[20]。相较于传统影像学数据在体外行盲开窗技术,本研究使用3D打印辅助预开窗,术前通过模拟左锁骨下动脉开口定位及开窗设计,从而提高了术中窗口与血管开口的对位精准度,有利于从根本上解决传统预开窗技术对术者空间想象能力不足与经验依赖过高的问题。这可能是本研究中3D预开窗组术中透视时间及辐射剂量显著减少的关键因素。另外,也有研究提出,近端锚定区域长度越短,支架实际锚定区域越小,内漏及夹层逆撕发生风险越高[21-22]。本研究中患者近端锚定区域长度无明显差异,因此排除了锚定区长度对结果的影响。在并发症方面,本研究中2组患者围术期与术后早期并发症无显著差异,3D预开窗组1例患者在术后1个月出现新发脑梗死,原位开窗组有3例患者在术后1个月出现新发脑梗死,均处于较低水平(1.05% *vs.* 3.16%),所有脑梗死事件均发生在围术期,提示栓塞来源可能为术中操作,而非远期支架通畅性问题。本研究在术后6个月的随访中发现原位开窗组肾功能恶化发生率为4.21%、3D预开窗组为3.16%,这些发生肾功能恶化的患者均合并高血压及慢性肾脏基础病,考虑为患者自身基础疾病进展结果。因此,对于合并慢性肾脏病的主动脉夹层患者,术后长期严格管理血压及肾功能至关重要。

综上所述,3D打印辅助预开窗与原位开窗TEVAR治疗累及左锁骨下动脉的TBAD均具有显著效果,且使用3D打印辅助预开窗技术可缩短术中透视时间,减少术中辐射剂量。临床可根据患者具体病情、适应证及术者手术操作熟练程度选择合适的手术方法,以保证精准化及个体化治疗需求。但本研究也有不足之处,由于样本量有限,未能对不同支架型号及不同支架长度进行限定,可能会影响结果判定,未来有待开展大样本前瞻性研究,针对不同支架类型进行亚组分析;此外,本研究随访时间较短,主要基于术后6个月的复查结果分析,未来需要更长随访期的研究来确认其远期疗效。

[参考文献]

[1] Wang C, Pozzoli A, Von Segesser LK, et al. Management of left subclavian artery in type B aortic dissection treated with thoracic endovascular aorta repair[J]. J Vasc Surg, 2023, 77(5): 1553-1561. e2. doi: 10.1016/j.jvs.2022.10.013.

[2] Piffaretti G, Franchin M, Gnesutta A, et al. Anatomic feasibility of

in-situ fenestration for isolate left subclavian artery preservation during thoracic endovascular aortic repair using an adjustable needle puncturing system[J]. J Clin Med,2023,13(1):162. doi: 10.3390/jcm13010162.

[3] Piffaretti G,Gaggiano A,Pratesi G,et al. Preliminary experience of the isolate left subclavian artery in-situ fenestration during 'zone 2' thoracic endovascular aortic repair[J]. Eur J Cardiothorac Surg,2024,66(4):ezae332. doi: 10.1093/ejcts/ezae332.

[4] 王 辰,庞昕焱. 近端锚定区不足的主动脉弓部疾病腔内修复术中Castor分支支架置入联合体外预开窗应用观察[J]. 山东医药,2023,63(23):62-64. doi: 10.3969/j.issn.1002-266X.2023.23.015.

[5] 贺一伟,张永恒. 不同入路重建左锁骨下动脉的有效性和安全性比较[J]. 心肺血管病杂志,2023,42(9):935-940. doi: 10.3969/j.issn.1007-5062.2023.09.010.

[6] 韩月雪,刘 昭,刘 晨,等. 开窗-分支胸主动脉腔内修复术治疗主动脉弓部病变术后并发症危险因素的多中心回顾性研究[J]. 中华普通外科杂志,2024,39(9):667-672. doi: 10.3760/cma.j.cn113855-20231231-00462.

[7] 陈世远,余朝文,高 涌,等. 3D打印、体外开窗、CTA与DSA融合在胸腹主动脉瘤腔内治疗中的应用[J]. 中华普通外科学文献(电子版),2023,17(2):128. doi: 10.3877/cma.j.issn.1674-0793.2023.02.018.

[8] Zasada WA, Stępak H, Węglewska M, et al. The utility of three-dimensional printing in physician-modified stent grafts for aortic lesions repair[J]. J Clin Med,2024,13(10):2977. doi: 10.3390/jcm13102977.

[9] 马宪鲁,李 祥,张培喜,等. Castor支架结合开窗技术治疗主动脉弓部动脉瘤临床应用及效果分析[J]. 临床心血管病杂志,2024,40(5):402-406. doi:10.13201/j.issn.1001-1439.2024.05.010.

[10] George MJ, Dias-Neto M, Ramos Tenorio E, et al. 3D printing in aortic endovascular therapies[J]. J Cardiovasc Surg (Torino),2022,63(5):597-605. doi: 10.23736/S0021-9509.22.12407-9.

[11] 薛 芳,韩晓峰,王 刚,等. 对比体外预开窗与原位开窗胸主动脉腔内修复术治疗主动脉疾病辐射剂量[J]. 中国介入影像与治疗学,2024,21(9):553-556. doi: 10.13929/j.issn.1672-8475.2024.09.010.

[12] 周保宁,化召辉,张 帅,等. 原位开窗与体外预开窗技术重建左锁骨下动脉治疗不良近端锚定区主动脉弓部病变的疗效分析[J]. 中国普通外科杂志,2023,32(12):1892-1900. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2023.12.008.

[13] 胡凡果,朱杰昌,戴向晨,等. 体外预开窗腔内修复治疗非健康锚定区及短锚定区B型主动脉夹层的前瞻性单中心研究[J]. 中华普通外科杂志,2020,35(7):536-539. doi: 10.3760/cma.j.cn113855-20200119-00038.

[14] 洪 昊,刘小斌,杜心灵,等. 预开窗与血管转流术治疗累及左锁骨下动脉B型主动脉夹层的疗效比较[J]. 中国胸心血管外科临床杂志,2021,28(7):788-791. doi: 10.7507/1007-4848.202011099.

[15] Shraer N, Youssefi P, Monin JL, et al. Aortic valve fenestration: respect it or fix it[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2022, 62(1): ezac263. doi: 10.1093/ejcts/ezac263.

[16] David TE,Seidman MA,David CM,et al. Outcomes of reimplantation of the aortic valve in patients with aortic cusp fenestration[J]. Ann Thorac Surg, 2023, 115(1): 106-111. doi: 10.1016/j.athoracsur.2021.12.070.

[17] 林先东,王 韧,游 斌,等. 原位开窗技术和预开窗技术治疗胸主动脉疾病的系统评价及荟萃分析[J]. 中华胸心血管外科杂志,2022,38(11):688-698. doi:10.3760/cma.j.cn112434-20210327-00114.

[18] Saccenti L,Kobeiter H,Tacher V. Is in situ fenestration the future of complex TEVAR[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2024, 47(6): 728-729. doi: 10.1007/s00270-024-03760-7.

[19] Rhudy AK, Fleischer W, Vasquez JJR, et al. Thoracic endovascular repair of a ruptured thoracic aortic aneurysm with in situ laser fenestration of the left subclavian and left common carotid artery[J]. J Vasc Surg Cases Innov Tech,2024,11(2):101692. doi:10.1016/j.jvscit.2024.101692.

[20] 刘洪涛,张庆桥,王文亮,等. 基于3D打印辅助胸主动脉腔内修复术治疗Stanford B型主动脉夹层的临床效果[J]. 中国临床医生杂志,2024,52(12):1469-1472. doi: 10.3969/j.issn.2095-8552.2024.12.023.

[21] Mesar T, Alie-Cusson FS, Rathore A, et al. A more proximal landing zone is preferred for thoracic endovascular repair of acute type B aortic dissections[J]. J Vasc Surg, 2022, 75(1): 38-46. doi: 10.1016/j.jvs.2021.06.036.

[22] Brescia AA, Wanken ZJ, Ohman JW, et al. Update on existing and upcoming branched and fenestrated thoracic aortic arch stent grafts[J]. Semin Intervent Radiol,2025,41(6):595-600. doi: 10.1055/s-0044-1800847.

(编辑:杨 颖)