

胸腹主动脉瘤开放修复脊髓保护策略的研究进展

周永康,孙境,张帅,钱向阳

(中国医学科学院阜外医院心血管外科,北京 100037)

摘要:胸腹主动脉瘤(thoracoabdominal aortic aneurysm, TAAA)是一种极其凶险的疾病,开放手术是其治疗的金标准。几十年来,尽管外科技术和辅助手段已取得长足进步,但由于TAAA开放修复手术时间长、创伤大,围术期并发症发生率一直居高不下。脊髓损伤是最严重的并发症之一,通常会导致截瘫、下肢轻瘫等难以接受的结局,因此TAAA开放修复围术期脊髓保护策略一直是学者们研究的重点。本文就TAAA开放修复中脊髓保护策略的研究进展进行综述。

关键词:胸腹主动脉瘤;开放修复;脊髓损伤;脊髓保护

中图分类号:R543.1

文献标志码:A

Progress in spinal cord protection strategies for open repair of thoracoabdominal aortic aneurysms

ZHOU Yongkang, SUN Jing, ZHANG Shuai, QIAN Xiangyang

(Department of Cardiovascular Surgery, Fuwai Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: Thoracoabdominal aortic aneurysm (TAAA) is an extremely dangerous disease, and open surgery has been the gold standard for its treatment. In the past decades, despite significant advances in surgical techniques and adjuncts, the incidence of perioperative complications has remained high due to the lengthy and traumatic nature of open repair surgery for TAAA. Spinal cord injury is one of the most serious complications, which usually lead to unacceptable outcomes such as paraplegia and paraparesis of lower limbs. Therefore, the perioperative spinal cord protection strategies in open repair of TAAA have been the focus of scholars' research. This review discussed the research progress of spinal cord protection strategies in open repair of TAAA.

Key words: Thoracoabdominal aortic aneurysm; Open repair; Spinal cord injury; Spinal cord protection

胸腹主动脉瘤(thoracoabdominal aortic aneurysm, TAAA)是指同时累及胸降主动脉及腹主动脉的主动脉瘤,在未经干预的情况下预后很差。开放修复一直是其治疗的金标准,但由于其手术时间长、累及范围广,且阻断主动脉正常血流,常不可避免地造成多器官系统的损伤,通常需要多学科方法以确保足够的器官灌注,从而最大程度地减少围术期并发症。自1978年Crawford首次采用脑脊液引流、体外循环、深低温停循环等现代技术以来^[1],TAAA开放治疗的器官保护策略有了很大发展,但术后并发症的发生率仍居高不下,死亡、截瘫等严重

不良事件仍不可忽视。据统计,TAAA开放修复的死亡率可达7.5%,并有2.9%和2.4%患者术后发生永久性截瘫和轻瘫^[2]。本文讨论了TAAA开放修复中脊髓保护的机制,以及现有辅助手段的最新进展,希望为脊髓保护策略提供最新证据。

1 脊髓损伤(spinal cord injury, SCI)机制

SCI是TAAA开放修复最严重的并发症之一,常导致患者术后双下肢瘫痪,生活质量大大降低。

近年来,脑脊液引流、远端主动脉灌注、肋间动脉再植等脊髓保护相关技术已取得很大进展,但开放TAAA修复术中SCI的总发生率仍在8%左右,具体取决于患者的术前合并症、手术的紧迫性以及外科医生的经验和中心手术量等,其中半数以上SCI患者可能出现截瘫、下肢轻瘫等难以接受的结局^[2-3]。

1.1 脊髓血供及解剖基础

脊髓血供的经典理论^[4]认为,起源于双侧椎动脉的脊髓前动脉(anterior spinal cord artery, ASA)提供脊髓主要的血液供应。Adamkiewicz动脉(1888年首次描述并以Albert W. Adamkiewicz的名字命名)是ASA的主要分支,常起源于T7和L1之间的下胸椎或上腰椎区域,几十年来曾一度被认为是维持脊髓血供的关键通路,但其保护的临床证据一直存在争议。因此,重新评估脊髓血供的解剖结构对减少术后截瘫的发生具有重要意义。

近年来,脊髓灌注的“侧支网络”理论已经开始取代脊髓血供的经典理解,它否认了Adamkiewicz动脉的主要血供作用,认为脊髓血流源自椎管和周围组织中小动脉的纵向网络,除了已知的肋间和腰(节段)动脉外,还有髂动脉和锁骨下动脉等,这意味着节段动脉再植可能是不必要的^[5]。侧支网络理论支持术后常规维持适度高血压和脑脊液引流,以发展脊髓侧支营养供应;并促进了脊髓预处理技术的出现,通过微创分期节段动脉弹簧圈栓塞术来启动侧支网络,促进侧支循环重构,从而更好地耐受TAAA开放修复。

1.2 SCI机制

SCI可以用缺血性梗死模型解释,由3种主要机制引起:①术中主动脉阻断时间较长,脊髓灌注长时间中断引起不可逆的缺血损伤;②广泛节段动脉结扎(开放修复)或覆盖(腔内修复)后,缺乏节段动脉的供血,导致脊髓血液供应永久性减少;③长时间SCI后的血流恢复引起缺血再灌注损伤,继发动脉周围水肿和脊髓肿胀,从而进一步减少脊髓灌注量^[5-6]。

据报道,近60%的持续性SCI病例并不是在术后立即出现的。迟发性SCI通常出现在有血流动力学不稳定(心房颤动、血容量不足、出血、快速性心律失常、心力衰竭或感染)的情况下,导致脊髓灌注减少、节段动脉血栓形成、脊髓水肿和再灌注损伤,一般在开放性TAAA修复术后2周内发生。值得注意的是,即使术后立即进行完整的神经系统检查,患者也可能在2周内出现迟发性SCI,提示术后应继续严密监测患者神经系统状况^[7]。

1.3 SCI危险因素

部分潜在危险因素能够影响胸腹主动脉瘤开放修复患者的SCI发生率,可能对SCI高危患者的识别有提示作用。患者较差的术前状况(较高脑脊液压力和高乳酸浓度)、术中大量失血、远端主动脉手术史、低容量中心(TAAA手术量不高于每年3次)等都会导致SCI的高发生率。此外,动脉瘤的范围和分型也会影响患者SCI的发生率,Crawford II型和III型TAAA开放治疗患者比Crawford I型和IV型TAAA患者更常见,II型TAAA修复的永久性SCI发生率可达15%^[8-9]。

2 脊髓保护策略

脊髓的有效灌注压是指平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)与脑脊液压(cerebrospinal fluid pressure, CSFP)或中心静脉压(central venous pressure, CVP)之差,取两者中较大者^[10]。因此,为加强脊髓灌注,提高MAP和降低CSFP是研究者关注的重点。主动脉手术期间脊髓的灌注可以通过多种辅助手段来增强,这些辅助手段已被大量文献描述并有广泛的证据支持,包括脑脊液引流(cerebrospinal fluid drainage, CSFD)、全身低温、远端主动脉灌注、肋间动脉再植、左锁骨下动脉血运重建等,不同中心选用辅助手段的组合也不同。见表1。

表1 TAAA开放修复中脊髓保护策略的选择
Table 1 Selection of spinal cord protection strategy in TAAA open repair

技术类型	具体策略	优势	证据等级及推荐强度
CSFD	预防性CSFD		II a C ^[11]
	术中CSFD	降低鞘内压力,改善脊髓血供	I A ^[7]
	术后保持48 h以上CSFD	促进神经功能恢复	II aC ^[7]
低温	浅低温 32~34.8℃	降低脊髓耗氧量,提高脊髓缺血耐受性,减少缺血再灌注相关炎症反应	无
	深低温 15~18.8℃		
远端主动脉灌注	左心转流	增加远端灌注,减少终末器官缺血	II aC ^[11]
	股一股转流	降低近端主动脉游离的难度,对远端各脏器灌注提供有效保护	

续表

技术类型	具体策略	优势	证据等级及推荐强度
增加脊髓侧支灌注	主-髂转流	操作简单,避免损伤左心房	II aC ^[12]
	节段动脉再植	保证节段动脉灌注,维持脊髓主要血液供应	
	主动脉分期修复	提前建立侧支循环,减少术中脊髓缺血	
	术后维持轻度高血压	增加侧支灌注量	
神经生理监测	躯体感觉诱发电位	监测上行感觉通路和下行运动通路功能完整性	II B ^[13]
	运动诱发电位		
	近红外光谱	无创实时监测,有助于早期发现脊髓灌注不足	

2.1 CSFD

脑脊液引流可以通过降低鞘内压力改善脊髓血供,是TAAA修复中恢复脊髓灌注、预防截瘫和轻瘫的重要措施^[8]。2014年欧洲指南推荐CSFD用于开放性TAAA修复(I类推荐,B级证据),2022年美国指南提高了证据等级(I类推荐,A级证据),并建议在开放性TAAA修复术后保持48h及以上的CSFD(II a类推荐,C级证据)^[7-13]。此外,预防性脑脊液引流的应用仍存在争议。2024年欧洲指南推荐脊髓损伤风险较高的TAAA开放修复患者考虑预防性脑脊液引流(II a类推荐,C级证据)^[11],但Bisdas等^[14]报道,预防性使用脑脊液引流并不能降低SCI发生率,并且与TAAA血管内修复中6%的不良事件发生率相关。研究发现,术前脑脊液乳酸浓度是TAAA修复中SCI的早期预测因子,维持较高的全身动脉压和肋间动脉重建对于TAAA修复中的脊髓保护也至关重要^[15-16]。已发表的CSFD相关研究主要由病例报告、系统性回顾和小型随机对照研究组成,还需要大规模随机对照试验确认CSFD的效果及引流方案(使用时机与持续时间等)。

2.2 低温

低温是减少脊髓缺血和梗死区的方法之一,它降低了脊髓神经元的代谢率和耗氧量,提高脊髓对缺血的耐受性,并可以延长主动脉阻断和远端停循环期间的安全期,从而确保有足够的时间重建供应脊髓的节段动脉。除了降低代谢率外,低温还起到稳定细胞膜和减少缺血再灌注期间的炎症反应的作用。低温可以是中度的(浅低温,32~34.8℃),也可以是深度的(深低温,15~18.8℃)。在难以近端阻断动脉的情况下可使用深低温,但其主要缺点是需要完全肝素化的体外循环,以及较长的降温和升温泵血时间等^[5,17]。

2.3 远端主动脉灌注

主动脉的阻断破坏了全身循环,并导致主动脉远端缺血,从而造成脊髓损伤。增加远端主动

脉灌注可以增加近端主动脉阻断钳以下水平的脊髓灌注,是减少SCI的主要方式之一。尽管缺乏使用远端主动脉灌注进行脊髓保护的随机对照试验,但大量观察性研究验证了其减轻脊髓损伤的作用^[6,18]。

目前较为成熟的远端主动脉灌注方法是体外循环(cardiopulmonary bypass, CPB)和左心转流(left heart bypass, LHB)。CPB的使用有助于将温热的含氧血液灌注到远端主动脉和分支血管,必要时可以停循环并通过自体血回收来最大限度地减少输血需求。LHB技术通过引流管引流出已氧合的左心房血液,并用离心泵泵入远端主动脉,可有效增加远端灌注,从而最大限度地减少阻断钳远端的器官缺血,现已成为国际主流的循环管理方式。此外,股一股转流技术也被国内学者所采纳,并取得了较好的临床效果。胡海瓯等^[19]分析了安贞医院137例股一股转流体外氧合下行胸腹主动脉开放修复的患者,发现该技术可以降低近端主动脉游离的难度,并对远端各脏器灌注提供有效保护。

近年来,一些旁路转流技术逐渐走入术者视野,优点是无需体外循环机,操作简单,避免损伤左心房,但缺点是不能调节流量。Dong等^[8]对183例接受择期修复的Crawford II型和III型TAAA患者进行研究,发现采用主-髂动脉搭桥术患者中SCI的发生率为5.7%,主-髂动脉搭桥组的脊髓保护效果与开放TAAA修复中使用CPB和LHB的效果相当。

2.4 增加脊髓侧支灌注

根据脊髓血供解剖的经典理论,SCI主要是由于主动脉修复过程中节段动脉灌注的急性破坏所致,因此节段动脉的再植对于预防截瘫至关重要^[7]。然而,节段动脉再植在TAAA修复中的作用仍有很大争议。Etz等^[20]通过对100例待TAAA开放修复术的患者进行神经生理监测发现,闭塞节段动脉后,多数患者的运动诱发电位(motor evoked potentials, MEP)水平仍保持不变,或增加后很快恢

复到基线水平,脊髓灌注没有得到明显改善,说明节段动脉的常规植入可能是不必要的。Lee等^[21]回顾性分析了193例行胸腹主动脉置换术患者的节段动脉再植结果和术后SCI发生率,发现节段动脉再植失败患者SCI的发生率明显高于再植成功的患者。

近年研究基于脊髓灌注的侧支网络理论,认为可以通过提高有效侧支灌注、脊髓预缺血耐受等改善脊髓血供,包括预防性左锁骨下动脉血运重建术、维持适度高血压、节段动脉再植,主动脉分期修复(节段动脉预缺血)等^[20-23]。预防性左锁骨下动脉血运重建术可以通过增加椎动脉和肋颈干的血流量来预防SCI。Etz等^[12]建议TAAA开放修复术后持续SCI的患者术后平均动脉压比术前升高80 mmHg以上(IIa类推荐,C级证据)。节段动脉的分阶段栓塞可以使侧支循环发生重构,激活脊髓血管网络的动脉生成,从而为脊髓提供足够的灌注,它构成了主动脉分期修复的基础,并被多项研究提供证据支持。2014年,Geisbüsch等^[22]率先在动物实验中微创化栓塞节段动脉,提供了TAAA分期修复的证据。动物研究显示获益后,有临床研究陆续报道了节段动脉预缺血在TAAA开放修复患者中的应用,但患者的临床结局并不完美^[23-24]。术前节段动脉栓塞的确切方法、时机和临床作用还需更多大规模研究验证。

2.5 神经生理监测

术中监测脊髓神经元活动为早期发现SCI、术中脊髓功能的评估以及干预策略的实施提供指导,并可确定SCI高危患者的最佳灌注压^[25]。躯体感觉诱发电位(somatosensory evoked potentials, SSEP)和MEP能够提供TAAA开放修复中对脊髓血流灌注的非侵入性实时评估,分别用于监测上行感觉通路和下行运动通路功能完整性。最近,监测脊髓氧合的近红外光谱(near-infrared spectroscopy, NIRS)技术被提出,可以对TAAA修复期间和术后脊髓区域氧合血流动力学变化进行无创实时监测,有助于早期发现脊髓灌注不足。这些检测神经元缺血早期迹象的方法已在术中使用,研究者试图在SCI可逆时进行干预,以最大程度减轻SCI^[5]。

MEP/SSEP监测的单独和组合应用均可预测即发和迟发型SCI,可以提供对术中决策至关重要的操作数据^[25-26]。然而,由于神经生理检测存在多种局限性,如测量结果需要经验丰富的神经生理学家来解读、需要提前使用肌松剂、MEP测量的大量假阳性和假阴性结果、深低温下无法区分脊髓损伤程度等,近年文献不支持在TAAA开放修复中常规监

测MEP和SSEP,在2022美国指南中也未提及神经生理监测的使用^[7,27-28]。

2.6 药物制剂

一些新型药物制剂已在动物实验模型中得到验证,在联合其他脊柱保护策略时,可同时降低SCI的风险和程度,包括鞘内注射罂粟碱、巴比妥酸盐、类固醇、纳洛酮和甘露醇等^[5]。术中给予糖皮质激素也可作为SCI患者的辅助治疗(IIb类推荐,C级证据),可以减少脊髓水肿^[26]。然而,还缺少临床研究证明此类药物对降低人类SCI风险的有效性。

2.7 术后管理

术后管理对于避免迟发性截瘫也很重要。应尽早对术后患者的中枢神经功能做评估,并对疑似功能缺失的患者做影像学检查,早期截瘫也是有可能康复的^[29-30]。细致地维持适当的血压、前负荷及心脏收缩状态以保持充足的脊髓灌注,可以将患者目标收缩压设定在130 mmHg(1 mmHg = 0.133 kPa)以上,维持CSFD并保持脑脊液压力低于10 mmHg,血红蛋白水平保持在100 g/L以上,心输出量保持在最佳水平[心脏指数 $2.5 \text{ L}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$]^[31]。有证据表明,在SCI的治疗中,抢救性椎管引流可能有效,SCI结局可被逆转^[32]。

3 总结与展望

自TAAA修复术问世以来,最大程度的减少脊髓、内脏等器官损伤一直是外科学技术演变的焦点。近年来,TAAA的开放修复已形成较为成熟的器官保护策略,CSFD、LHB技术、低温、主动脉分期修复等多种保护策略的出现使患者脊髓并发症大大减少。未来,TAAA开放修复的脊髓保护策略应向系统性、多模式的个性化保护方案发展,仍需大规模的前瞻性临床试验来指导脊髓保护策略的合理应用。

参考文献:

- [1] Crawford ES, Snyder DM, Cho GC, et al. Progress in treatment of thoracoabdominal and abdominal aortic aneurysms involving celiac, superior mesenteric, and renal arteries[J]. *Ann Surg*, 1978, 188(3): 404-422.
- [2] Coselli JS, LeMaire SA, Preventza O, et al. Outcomes of 3309 thoracoabdominal aortic aneurysm repairs [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2016, 151(5): 1323-37.
- [3] Moulakakis KG, Karaolani G, Antonopoulos CN, et al. Open repair of thoracoabdominal aortic aneurysms in experienced centers[J]. *J Vasc Surg*, 2018, 68(2): 634-645.

- [4] Amato ACM, Stolf NAG. Preoperative assessment of the spinal cord vasculature [M]// Tshomba Y, Baccellieri D, Chiesa R. Visceral Vessels and Aortic Repair. Cham: Springer, 2019: 285-295.
- [5] Amabile A, Lewis E, Costa V, et al. Spinal cord protection in open and endovascular approaches to thoracoabdominal aortic aneurysms[J]. *Vascular*, 2023, 31(5): 874-883.
- [6] Arora L, Hosn MA. Spinal cord perfusion protection for thoraco-abdominal aortic aneurysm surgery[J]. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2019, 32(1): 72-79.
- [7] Isselbacher EM, Preventza O, Hamilton Black J 3rd, et al. 2022 ACC/AHA guideline for the diagnosis and management of aortic disease: a report of the American Heart Association/American College of Cardiology Joint Committee on clinical practice guidelines[J]. *Circulation*, 2022, 146(24): e334-e482.
- [8] Dong XH, Ge YP, Wang R, et al. Spinal cord protection of aorto-iliac bypass in open repair of extent II and III thoracoabdominal aortic aneurysm [J]. *Heart Lung Circ*, 2022, 31(2): 255-262.
- [9] 梁刚柱,张韬,张杨.胸腹主动脉瘤内脏动脉分支重建专家共识[J].*血管与腔内血管外科杂志*, 2023, 9(4): 385-394.
LIANG Gangzhu, ZHANG Tao, ZHANG Yang. Expert consensus on reconstruction of visceral arterial branches in thoracoabdominal aortic aneurysm[J]. *Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 2023, 9(4): 385-394.
- [10] Miller LK, Patel VI, Wagener G. Spinal cord protection for thoracoabdominal aortic surgery[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2022, 36(2): 577-586.
- [11] Authors/Task Force Members, Czerny M, Grabenwöger M, et al. EACTS/STS guidelines for diagnosing and treating acute and chronic syndromes of the aortic organ [J]. *Ann Thorac Surg*, 2024; S0003-S4975(24)00077-8. doi:10.1016/j.athoracsur.2024.01.021.
- [12] Etz CD, Weigang E, Hartert M, et al. Contemporary spinal cord protection during thoracic and thoracoabdominal aortic surgery and endovascular aortic repair: a position paper of the vascular domain of the European Association for Cardio-Thoracic Surgery[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2015, 47(6): 943-957.
- [13] Erbel R, Aboyans V, Boileau C, et al. 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases: document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult. The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Aortic Diseases of the European Society of Cardiology (ESC) [J]. *Eur Heart J*, 2014, 35(41): 2873-2926.
- [14] Bisdas T, Panuccio G, Sugimoto M, et al. Risk factors for spinal cord ischemia after endovascular repair of thoracoabdominal aortic aneurysms[J]. *J Vasc Surg*, 2015, 61(6): 1408-1416.
- [15] Zangrillo A, Buratti L, Carozzo A, et al. Intrathecal lactate as a predictor of early- but not late-onset spinal cord injury in thoracoabdominal aneurysmectomy [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2014, 28(3): 473-478.
- [16] Zhang L, Sun XG, Yu CT, et al. Intercostal artery reconstruction: the simple and effective technique on spinal cord protection during thoracoabdominal aortic replacement[J]. *Ann Vasc Surg*, 2016, 34: 62-67. doi:10.1016/j.avsg.2015.12.030.
- [17] Okita Y. Fighting spinal cord complication during surgery for thoracoabdominal aortic disease[J]. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*, 2011, 59(2): 79-90.
- [18] Hsu CC, Kwan GN, van Driel ML, et al. Distal aortic perfusion during thoracoabdominal aneurysm repair for prevention of paraplegia [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2012(3): CD008197. doi: 10.1002/14651858.CD008197.pub2.
- [19] 胡海瓿,朱俊明,郑铁,等.股股转流下胸腹主动脉瘤的外科治疗[J].*中国心血管病研究*, 2023, 21(5): 385-389.
HU Haiou, ZHU Junming, ZHENG Tie, et al. Surgical treatment of thoracoabdominal aortic aneurysm under femoral-femoral bypass [J]. *Chinese Journal of Cardiovascular Research*, 2023, 21(5): 385-389.
- [20] Etz CD, Halstead JC, Spielvogel D, et al. Thoracic and thoracoabdominal aneurysm repair: is reimplantation of spinal cord arteries a waste of time? [J]. *Ann Thorac Surg*, 2006, 82(5): 1670-1677.
- [21] Lee JH, Kim H, Chang HW, et al. Incidence of spinal cord ischemia according to the patency of reimplanted segmental arteries during thoracoabdominal aortic replacement[J]. *J Cardiovasc Surg*, 2022, 63(1): 37-43.
- [22] Geisbüsch S, Stefanovic A, Koruth JS, et al. Endovascular coil embolization of segmental arteries prevents paraplegia after subsequent thoracoabdominal aneurysm repair: an experimental model [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2014, 147(1): 220-226.
- [23] Etz CD, Debus ES, Mohr FW, et al. First-in-man endovascular preconditioning of the paraspinal collateral network by segmental artery coil embolization to prevent ischemic spinal cord injury[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2015, 149(4): 1074-1079.
- [24] Doukas P, Gombert A, Kotelis D, et al. Motor evoked potential-guided segmental artery revascularization during open thoracoabdominal aortic aneurysm surgery after coil embolization as a part of the minimally invasive staged segmental artery coil embolization concept [J]. *J Vasc Surg Cases Innov Tech*, 2022, 8(2): 206-209.

- [25] Tanaka A, Nguyen H, Smith HN, et al. Neuromonitoring for descending thoracic and thoracoabdominal aortic aneurysm repair[J]. *Ann Cardiothorac Surg*, 2023, 12(5): 509-510.
- [26] Keyhani K, Miller CC 3rd, Estrera AL, et al. Analysis of motor and somatosensory evoked potentials during thoracic and thoracoabdominal aortic aneurysm repair[J]. *J Vasc Surg*, 2009, 49(1): 36-41.
- [27] Banga PV, Oderich GS, Reis de Souza L, et al. Neuro-monitoring, cerebrospinal fluid drainage, and selective use of iliofemoral conduits to minimize risk of spinal cord injury during complex endovascular aortic repair[J]. *J Endovasc Ther*, 2016, 23(1): 139-149.
- [28] Kise Y, Kuniyoshi Y, Ando M, et al. Direct monitoring of reconstructed segmental arterial pressure during deep hypothermic thoracoabdominal aortic aneurysm surgery[J]. *Ann Vasc Dis*, 2019, 12(4): 537-540.
- [29] Gombert A, Ketting S, Rückbeil MV, et al. Perioperative and long-term outcome after ascending aortic and arch repair with elephant trunk and open thoracoabdominal aortic aneurysm repair[J]. *J Vasc Surg*, 2022, 75(3): 824-832.
- [30] 谢燕,宋怡,管玉龙.胸腹主动脉瘤外科手术围术期管理的研究进展[J/OL].*中国胸心血管外科临床杂志*: 2023. doi:10.7507/1007-4848.202302045.
- [31] Tanaka A, Smith HN, Safi HJ, et al. Open treatments for thoracoabdominal aortic aneurysm repair[J]. *Methodist Debaque Cardiovasc J*, 2023, 19(2): 49-58.
- [32] Martin DJ, Martin TD, Hess PJ, et al. Spinal cord ischemia after TEVAR in patients with abdominal aortic aneurysms[J]. *J Vasc Surg*, 2009, 49(2): 302-306.

(编辑:房红娟)

(上接第 29 页)

- [25] Charlton-Ouw KM, Sandhu HK, Huang G, et al. Reinfection after resection and revascularization of infected infrarenal abdominal aortic grafts[J]. *J Vasc Surg*, 2014, 59(3): 684-692.
- [26] Oderich GS, Bower TC, Hofer J, et al. *In situ* rifampin-soaked grafts with omental coverage and antibiotic suppression are durable with low reinfection rates in patients with aortic graft enteric erosion or fistula[J]. *J Vasc Surg*, 2011, 53(1): 99-106, 107.
- [27] Oda T, Minatoya K, Kobayashi J, et al. Prosthetic vascular graft infection through a Median sternotomy: a multicentre review[J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2015, 20(6): 701-706.

(编辑:房红娟)