

• 专家共识 •

胸腹主动脉瘤内脏动脉分支重建专家共识

中国微循环学会周围血管疾病专业委员会

摘要: 胸腹主动脉瘤(TAAA)累及重要内脏动脉分支的患者病变复杂,腔外或腔内的修复术是其主要治疗方式,随着技术的不断更新迭代,两种治疗方式的适应证不断拓宽,但目前相应的技术及材料仍未普及,复杂TAAA的内脏重建术式在各个中心仍较局限,存在决策灰区。本共识由国内多位具有丰富TAAA治疗经验的专家在充分总结临床经验和系统回顾分析国内外相关文献的基础上,对TAAA内脏动脉分支重建技术经过多次交流、探讨后总结而成。共识系统阐述了开放手术修复(OSR)、腔内及杂交手术修复TAAA、术后并发症的预防及治疗,就涉及内脏动脉分支重建的复杂TAAA的治疗方式做出推荐,以制定促进TAAA修复的同时重建内脏动脉血运的最佳决策。

关键词: 主动脉瘤; 内脏动脉分支重建; 专家共识

中图分类号: R543 **文献标识码:** A **doi:** 10.19418/j.cnki.issn2096-0646.2023.04.01

Expert consensus on reconstruction of visceral arterial branches in thoracoabdominal aortic aneurysm

Peripheral Vascular Disease Committee of Chinese Society of Microcirculation

Abstract: Patients with complex thoracoabdominal aortic aneurysm (TAAA) involving important visceral arterial branches often have complicated conditions, and extraluminal or endoluminal repair is the main treatment method, with the continuous update of technology, the indications of the two treatment methods expand continuously. However, the appropriate techniques and materials are still not widely available, the complexity of visceral reconstruction of TAAA is still limited in each center, and there are grey areas for decision making. This consensus is the result of a number of discussions on the technique of visceral arterial branch reconstruction in TAAA by experts with extensive experience in the treatment of TAAA in China, based on thorough summary of clinical trial experience, systematic review and analysis of the relevant domestic and international literature. The consensus systematically discusses the prevention and treatment of post-operative complications of open surgery repair (OSR), endovascular and hybrid surgery for TAAA repair, and makes recommendations on the treatment of complex TAAA involving the reconstruction of visceral arterial branches, in order to facilitate the formulation of optimal decisions for the reconstruction of visceral arterial blood flow while repairing TAAA.

Key words: aortic aneurysm; visceral arterial branch reconstruction; expert consensus

1 共识形成方法

胸腹主动脉瘤(thoracoabdominal aortic aneurysm, TAAA)从胸部延伸至腹部的同时常累及重要内脏动脉分支,包括腹腔干、肠系膜上动脉、肾动脉、肠系膜下动脉等。目

前,临床普遍采用的TAAA分型方法是Crawford分型^[1-2]: I型,累及左锁骨下动脉至腹主动脉上段; II型,累及范围最广,从左锁骨下动脉至主动脉分叉部; III型,累及远端胸主动脉(第6肋以下)并延伸至主动脉分叉; IV型,上至膈水平的胸主动脉,下至腹主动脉分叉; V型,从远端胸主动脉

[[△]基金项目] 中央高水平医院临床科研专项(2022-PUMCH-C-062); 国家自然科学基金(82070492)

[通信作者] 郑月宏(Zheng Yuehong, corresponding author), 主任医师、科主任、博士生导师, E-mail: yuehongzheng@yahoo.com

薛冠华(Xue Guanhu, corresponding author), 主任医师, E-mail: Guanhuaxue@yeah.net

(第6肋以下)延伸至肾动脉上方。TAAA 的治疗方式主要为传统开放手术修复 (open surgery repair, OSR)、腔内修复术 (endovascular aortic repair, EVAR) 和杂交手术, 但如何重建重要内脏动脉分支是治疗 TAAA 的关键, 并且内脏动脉分支重建技术使腔内修复累及内脏动脉分支的 TAAA 成为现实。传统 OSR 和 EVAR 各有优缺点, 其中, 传统 OSR 的难度较大, 并且围手术期并发症发生率高, 而 EVAR 存在内脏动脉远期通畅率低等问题, 因此, 需要进行完善的术前检查、精确的术前测量, 并结合患者自身及各中心的具体情况评估风险与收益, 进而制定 TAAA 的治疗方案。由中国微循环学会周围血管疾病专业委员会发起并组织专业委员会专家组拟定关键问题, 经多次讨论、总结专家临床经验, 并结合国内外文献报道, 特制定《胸腹主动脉瘤内脏动脉分支重建专家共识》, 内容包括开放手术、腔内重建、杂交手术重建、并发症预防及治疗等, 进而形成推荐意见。本共识的证据等级和推荐强度参考推荐意见分级评价, 制订与评估 (grading of recommendations assessment, development and evaluation, GRADE) 分类方法, 详细内容见表1、表2。

表1 证据等级	
证据等级	内容
A	数据源于多个随机对照临床研究或荟萃分析; 未来研究几乎不可能改变现有疗效评价结果的可信度
B	数据源于单个随机对照临床研究或大样本量非随机对照研究; 未来研究可能对现有疗效评价有重要影响, 可能改变评估结果的可信度
C	数据源于专家观点和/或小样本量或回顾性研究、注册登记研究; 未来研究很可能对现有疗效评价有重要影响, 改变评估结果可信度的可能性较大

表2 推荐强度	
推荐强度	内容
I	证据和/或普遍认同某一特定治疗或操作有益、有用、有效
II	某一特定治疗或操作的有用性、有效性的证据和/或意见有分歧
II a	证据、意见的权重偏向有用和/或有效
II b	有用性和/或有效性还没有很好的证据
III	某一特定治疗或操作无效, 且在某些案例中有害

2 OSR

从1955年 Etheredge 等^[1]完成首例 TAAA 的外科手术治

疗至今, OSR 治疗 TAAA 已取得巨大进展, 成为 TAAA 的主要治疗方式。随着手术技术与医疗器械的进步, TAAA 患者 OSR 的成功率和病死率得到了极大改善, 但目前仍是心血管外科领域最复杂的手术之一。OSR 旨在替换病变远端主动脉全长的同时保护脊髓和内脏器官, 从而避免缺血相关并发症的发生。内脏动脉分支的重建是 TAAA 外科修复的关键, TAAA 常累及上肢和内脏动脉, 手术入路、手术方式的选择均复杂, 传统的手术方式主要包括 DeBakey 术式、Crawford 改良术式及片状吻合修复肋间动脉。

2.1 DeBakey 术式

该术式近端采用人工血管进行降主动脉端侧的吻合, 其主要优点是没有阻断主动脉, 并且在不阻断内脏动脉供血的情况下直接进行内脏动脉吻合术。

2.2 Crawford 改良术式

采用补片吻合内脏动脉分支, 单次阻断, 依次完成主动脉和内脏动脉分支补片吻合后恢复主动脉及内脏血运, 根据解剖情况, 通常将腹腔干、肠系膜上动脉、右肾动脉同时吻合, 将左肾动脉单独吻合。术中内脏缺血时间相对较短。不切除主动脉, 直接在瘤腔内采用人工血管进行动脉吻合, 操作相对简单, 不仅缩短了手术时间, 还减少了术中出血等并发症的发生。

2.3 片状吻合修复肋间动脉

在 TAAA 的 OSR 中, 肋间动脉和内脏动脉的重建是关键的技术步骤。重建肋间动脉最简单的一种方式是将带有肋间动脉开口的主动脉壁片状吻合至人工血管上, 主要优势在于减少吻合口数量。然而, 在动脉瘤较大的情况下, 特别是当肋间动脉开口相互间移位明显时, 必须分别移植每个肋间动脉开口。另外, 为了方便分支重建而保留的主动脉壁可能会出现远期瘤样扩张, 特别是马方综合征患者^[4]。关于内脏动脉的重建问题, 有研究在深低温下修复 TAAA 运用预先缝制好的四分支人工血管重建内脏动脉技术, 通过人工血管分别灌注内脏动脉, 从而实现对内脏的保护^[5]。然而, 深低温也有潜在的问题, 如更长的体外循环 (cardiopulmonary bypass, CPB) 时间、更高的凝血功能异常和肺功能异常发生率等。重建内脏动脉时, 需特别注意避免将内脏向右旋转, 因为内脏动脉, 特别是左肾动脉, 在内脏复位后容易出现扭曲。

推荐意见1: 尽管腔内技术发展突飞猛进, 但 OSR 仍是治疗 TAAA 的金标准, Crawford 改良术式采用补片吻合内脏动脉分支, 操作相对简单, 是目前常用的术式。(证据等级: C; 推荐强度: II a)

推荐意见2: 对带有肋间动脉开口的主动脉壁进行片状吻合修复肋间动脉, 但保留的主动脉壁可能出现远期瘤

样扩张。(证据等级: B; 推荐强度: II)

推荐意见3: 重建内脏动脉时注意避免将内脏向右旋转, 特别是左肾动脉。(证据等级: C; 推荐强度: II a)

3 EVAR

EVAR具有创伤小、围手术期恢复快等特点, 已逐渐成为治疗TAAA的主要手段, 但EVAR的实施需要腹主动脉瘤的解剖结构适合, 并不适用于瘤颈短或者扭曲、累及内脏动脉分支等存在复杂情况的TAAA。随着技术和材料的不断更新, 腔内修复TAAA的技术不断增多, 包括开窗支架主动脉瘤腔内修复术(fenestrated endovascular aneurysm repair, FEVAR)、平行支架移植术(parallel grafting, PG)技术、分支支架主动脉瘤腔内修复术(branched endovascular aneurysm repair, BEVAR)等, 其可以在重建内脏动脉分支的同时隔绝TAAA, 采用开窗或分支支架技术腔内修复TAAA并重建内脏动脉分支血流, 不需要进行长段主动脉的暴露及主动脉的钳夹, 避免了内脏缺血情况的发生^[6], 可有效降低肾功能衰竭、心肺系统并发症的发生率和患者病死率。2001年, Anderson等^[7]进行了应用开窗支架治疗主动脉疾病的首次报道。目前, 采用开窗或分支支架技术对复杂主动脉瘤进行EVAR并重建内脏动脉分支的方式已经被广泛认可并应用, 治疗范围已经从平肾腹主动脉瘤扩展到TAAA、主动脉弓动脉瘤及慢性夹层动脉瘤。对于解剖条件适合、无明确禁忌的患者, 开窗或分支支架EVAR成为复杂腹主动脉瘤的首选治疗方案^[8]。

3.1 TAAA 腔内修复中内脏动脉分支重建的术前影像学评估

进行复杂TAAA的EVAR前, 无论采用何种方式重建内脏动脉分支, 均必须通过高质量的影像学检查对病变进行详细的评估和测量。目前, 对于进行TAAA腔内修复及内脏动脉分支重建的患者, 计算机断层血管成像(computed tomography angiography, CTA)是常规的术前影像学检查方法。术前需要对全主动脉进行薄层CTA检查, 并通过专业的软件来建立高质量的3D重建图像, 从而获得主动脉直径、病变直径、病变长度、病变形态、内脏动脉发出位置、走向及治疗入路等重要参数, 由专业人员进行仔细的测量和评估后确定内脏动脉分支的重建方式, 如当采用定制开窗或分支支架对内脏动脉分支进行重建时, 需由专业人员通过CTA图像测量主体支架的直径和长度, 从而确定选用支架的类型、大小、位置、朝向等参数, 并决定是否采取束径、预置导丝、预置导管等方法, 并反馈给临床医师, 双方达成共识后开始制作支架。成品支架无需根据病变的解剖形态和参数专门进行设计和制作, 也

无需医师对支架进行改制, 但其临床应用对病变的解剖条件有一定的要求, 术前同样需要对病变的CTA图像进行专业评估, 确定是否符合其应用条件。改制支架则需要有经验的临床医师采用专业软件对CTA图像中的病变参数进行测量, 从而确定改制支架的相关参数。对于慢性夹层动脉瘤, 还需要通过对真假腔累及的范围、血流动力学情况及内脏动脉的供血来源进行仔细评估后再制定手术计划。

3.2 FEVAR

通过在主动脉覆膜支架上开孔来达到重建内脏血管和增加支架近端锚定区域的目的, 但其运用受到解剖结构的限制。

国内的FEVAR仍以医师改制支架(physician-modified endograft, PMEG)为主, 包括体内原位开窗技术和体外开窗技术, 其中, 体外开窗技术在直视下开窗, 具有以下优势: (1)可避开支架骨架, 选择恰当的开窗位置和大小。(2)避免了原位开窗破膜所致动脉栓塞的发生。(3)体外开窗后可对窗口进行缝合加固, 也便于术中释放支架时窗口的定位。(4)减少了体内开窗时对靶血管造成的损伤。体外开窗技术也存在局限性, 如预开窗技术的难度较高, 需要将窗口与靶血管精准对合, 否则将造成靶器官缺血, 并且体外开窗后可能会有支架回装困难的风险。体内原位开窗技术则是在展开的主动脉支架织物上精准破膜, 从而达到重建内脏血管的目的, 具有迅速隔离动脉瘤、开窗位置准确、避免支架体外释放后体内释放困难的优点, 但会使患者处于短时间的脏器缺血状态, 因此, 应选择合适的开窗顺序, 将再灌注损伤降至最低。另外, 与预开窗一样, 体内原位开窗技术也存在发生内漏的风险。

FEVAR还可使用公司制备的支架, Wang等^[9]对100例使用公司制备的开窗支架的患者的临床资料进行了回顾性分析, 结果显示, 手术成功率为98%, 术后30 d的死亡率为2%, 15%的患者出现内漏, 以II型内漏为主, 表明采用公司制备支架仍然是安全有效的。Oderich等^[10]通过随访时间长达5年的前瞻性、多中心研究评估了公司制备支架在近肾腹主动脉瘤(juxtarenal abdominal aortic aneurysm, JRAAA)治疗中的应用效果, 结果显示, 术后全因死亡率为11.2%, 动脉瘤相关病死率为3.2%, IA型内漏、IB型内漏患者各1例, 支架移位患者2例, 动脉瘤囊扩大患者4例。

Nordon等^[11]的研究比较了FEVAR与OSR对JRAAA的疗效, 结果显示, 与FEVAR相比, OSR术后30 d, 患者的病死率升高了2%。Gouveia等^[12]的研究系统回顾了PMEG治疗复杂腹主动脉瘤的效果, 成功率为96.1%, 择期手术患者术后30 d死亡率为3.0%, 急诊患者术后30 d死亡率为9.7%, PMEG术后成功率和死亡率均在可接受的范围

内。有研究发现,与PG技术相比,PMEG对TAAA的治疗效果更好,术后Ia型内漏的发生率低,尤其是在TAAA IV型中(TAAA I~Ⅲ型:2.2% PMEG vs 10.0% PG; TAAA IV型:1.2% PMEG vs 21.6% PG);1年生存率更高,尤其是在TAAA I~Ⅲ型中(TAAA I~Ⅲ型:PMEG 85.0% vs PG 74.0%; TAAA IV型:PMEG 84.0% vs PG 78.0%)^[13]。

推荐意见4: PMEG是目前国内使用较多的一种开窗方式,分为体内开窗与体外开窗,尽管存在局限性,但仍可在技术相对成熟的中心开展。(证据等级:C;推荐强度:Ⅱa)

3.3 PG 技术

平行支架技术将主体支架覆盖重要内脏动脉后,在主动脉及支架主体之间植入与主体支架平行的覆膜支架,远端定位于内脏动脉内。平行支架技术分为烟囱支架技术、潜望镜技术和八爪鱼技术等类型^[14]。

烟囱支架技术是指在腹主动脉支架主体与血管之间,利用支架建立一个与主体平行的烟囱状管道,开口于近心端,用于重建重要内脏动脉。2019年欧洲血管外科学会(European Society for Vascular Surgery, ESVS)发布的指南推荐,当近端锚定区大于15 mm、主体支架放大率达30%、烟囱支架重建数目不超过2支内脏动脉时,可获得最佳的治疗效果^[8],在进行EVAR的过程中,意外覆盖重要内脏动脉分支后也可使用烟囱状移植进行补救。大部分烟囱状移植被更大的主动脉支架移植紧紧包围,具有良好的近端封闭性,然而相对较大的烟囱状移植会在周围产生大的缝隙,导致近端I型内漏的发生。潜望镜技术与烟囱技术类似,区别在于通过潜望镜支架在主体远端锚定区逆行性供给内脏动脉分支。烟囱支架与潜望镜支架的优势在于操作相对简单,手术时间较短,材料获取容易,适合一般情况不佳、无法耐受长时间手术的危重及急诊患者。Taneva等^[15]的研究回顾了2008—2014年伯克利注册记录中使用3个烟囱支架和4个烟囱支架腔内修复肾上型腹主动脉瘤(suprarenal abdominal aortic aneurysm, SRAAA)的病例,植入成功率为97.1%,2年内无烟囱支架相关死亡病例。Cherfan等^[16]的研究回顾了1997—2020年58例接受烟囱或潜望镜支架治疗患者的临床资料,发现术后即刻和随访期间的并发症发生率高,手术结束时,有16例患者出现内漏;住院期间,有12例患者需返回手术室再次进行手术治疗;在随访过程中,58例患者中,有14例患者出现一处或多处内漏。Taneva等^[15]和Cherfan等^[16]的研究结论有所矛盾的原因可能是因为采用2个以上烟囱支架治疗方案的中心通常操作经验较为丰富,并且后者的急诊手术患者数量较多(16.5% vs 36.2%)。

推荐意见5: 平行支架技术与主体支架技术之间存在的缝隙是造成内漏的重要因素,但仍是一种安全、有效且现成的治疗手段,也可用于复杂的内脏主动脉瘤修复。(证据等级:B;推荐强度:Ⅰ)

推荐意见6: 烟囱支架与潜望镜支架技术简单,易操作,不仅可运用于危重及急诊患者,还可作为EVAR过程中意外覆盖重要内脏动脉后的补救措施。(证据等级:B;推荐强度:Ⅰ)

3.4 BEVAR

BEVAR是一种在主体支架上附加额外覆膜小支架的技术,起到重建内脏动脉分支的作用。分支支架分为外分支支架和内分支支架。在使用外分支支架时,分支开口水平需要较实际靶分支血管高出1~2 cm,同时内脏动脉分支水平的主动脉直径也要大于主体支架直径,从而保证一定的操作空间,但是,当主动脉支架主体与动脉瘤壁之间的空间相对较小时,外分支支架可能被动脉瘤壁压迫或者扭转,从而使导管无法通过,此时,内分支支架可以解决这一问题,但内分支支架会缩减支架主体内的空间,尤其是在需要进行多条内脏动脉分支重建的情况下,故也存在局限性,因此,临床上通常采取内分支支架与外分支支架相结合的方式重建TAAA的内脏动脉分支。

目前,一款定制分支支架胸腹主动脉覆膜支架系统FIM研究的中期随访结果较好,受试者状态良好,未发生内漏、支架移位及分支血管狭窄或闭塞,并且于2021年11月正式开启临床试验。Cook公司的另一款定制分支支架适用于复杂腹主动脉瘤(abdominal aortic aneurysm, AAA)及TAAA的修复,已在临床应用多年。Chuter等^[17]于2001年首次应用该定制分支支架成功治疗TAAA并进行内脏动脉分支的重建。Greenberg等^[18]于2009年首次报道了该定制分支支架治疗复杂AAA的多中心临床研究结果。其他类似的临床研究同样证实了该定制分支支架在复杂AAA、TAAA治疗及内脏动脉分支重建中的良好应用效果^[19-21]。定制支架的设计、制作和运输通常需要6~8个星期,不适用于需要急诊手术的患者,包括需要急诊手术的TAAA患者,如症状性TAAA或破裂性TAAA,对于这些病例,成品分支支架是更加合适的选择。大部分采用定制支架进行TAAA的患者,其解剖条件也同样适用于成品分支支架的修复,研究表明,采用定制支架进行腔内修复的TAAA患者中,有49%~88%的患者同时符合成品分支支架的适用修复指征^[22-24]。同样,有研究表明,对于解剖条件合适的患者,成品分支支架与定制支架在治疗的安全性、有效性及持久性方面无明显差别^[25-26]。目前,临床上,已有一款外分支支架是已经获批用于TAAA腔内修复的成品分支支架,

临床应用广泛,相关的临床应用数据大部分来自于此支架,但该支架对管腔有一定的要求,较为狭窄的管腔可能会导致分支压迫、折叠等不良事件发生。对于慢性夹层动脉瘤的治疗,外分支支架还有可能通过真假腔之间的内膜破口延伸至假腔,导致治疗的失败^[27]。Bosiers等^[28]的研究对该款支架的安全性进行了短期评估,结果显示,治疗后30 d和1年病死率均较低,分别是1.3%、8.8%,1年内主体通畅率为100%。一篇纳入7篇文献(197例患者)的系统性回顾及Meta分析发现,对于择期或急诊进行的主动脉瘤修复,该款分支支架均是安全、有效的治疗选择^[29],部分其他分支支架亦表现出可接受的安全性和有效性^[30-31]。

推荐意见7: 外分支支架适用于瘤腔腹主动脉瘤或可以使用内分支支架与外分支支架相结合的方式重建TAAA的内脏动脉分支。(证据等级: C; 推荐强度: II a)

推荐意见8: 大部分的分支支架表现出可接受的短期安全性和有效性,但仍需在样本量更大的人群中进行长期的研究。(证据等级: B; 推荐强度: II)

3.5 定制和成品支架相对于PMEG的优缺点

PMEG存在如下缺点: (1) 支架的改制缺乏质量控制,支架的选择、改制及释放等完全取决于操作医师的经验。改制支架可能会导致支架的整体结构被破坏,增加相关并发症的发生风险。(2) 手术过程中,医师进行支架改制的时间通常需要1~2个小时,增加了手术本身的耗时。(3) 若未经批准进行临床试验,PMEG的应用还存在潜在的法律纠纷。相对于PMEG,定制支架的整体结构不会被破坏,主体支架可以根据血管解剖特点设计为正向或倒向锥形,而开窗或分支的位置、方向和数量也是针对每个患者的解剖形态而个性化设计的。目前,定制支架里面可以放置预置导丝和预置导管来协助重建分支,简化了手术操作的步骤,降低了手术操作的难度。有些定制支架输送系统从22 F降低到了18 F或者20 F,减少了入路相关并发症的发生^[19]。

由于定制支架和成品支架相对于PMEG有许多优势,定制支架和成品支架在欧美国家应用的比例逐年提高。2007—2016年美国梅奥医院单中心应用CMD和PMEG治疗316例复杂主动脉瘤患者,PMEG的应用比例从2007年的100%下降至2011—2013年的66%,再下降至2014—2016年的4%,在该中心,PMEG仅应用于包裹性动脉瘤破裂、症状性动脉瘤及不适用于开窗或成品分支支架治疗的患者^[32]。目前,PMEG在中国实际临床应用中占据了主流。因此,虽然定制支架相对于PMEG有许多优点,但现阶段尚不能完全取代PMEG。

推荐意见9: 在中国,PMEG目前在实际临床应用中占据了主流。虽然定制支架相对于PMEG有许多优点,但现

阶段还不能完全取代PMEG的应用。(证据等级: C; 推荐强度: II a)

4 TAAA的杂交手术修复

4.1 手术适应证

1999年,Quñones-Baldrich等^[33]首次描述了肾下主动脉置换术与支架植入术相结合治疗胸腹主动脉病变的效果,这种血管内治疗和手术杂交的治疗方法降低了发病率和病死率,中期疗效良好^[33-34]。与OSR相比,杂交手术具有更小的手术切口和更短的手术时间,无需开胸术、单肺通气、主动脉血流阻断及体外循环,从理论上讲,它不仅可以降低肺部并发症和脊髓缺血的发生率^[35],还部分解决了血管内治疗的速度、可行性和成本问题。杂交手术结合了OSR和血管内修复的优点,为一般情况较差、合并症较多、不能耐受传统OSR、病变范围太广、解剖学复杂而无法进行血管内修复治疗的患者提供了一种新的治疗选择。有研究发现,美国麻醉医师协会(American Society of Anesthesiologists, ASA)评分 ≥ 3 分、合并夹层动脉瘤及术前肾功能不全的TAAA患者可能更加适合采用去分支杂交手术^[36]。

推荐意见10: 杂交手术主要适用于一般情况较差、合并症较多、不能耐受传统OSR、病变范围太广且解剖学复杂而无法进行血管内修复治疗的TAAA患者。(证据等级: A; 推荐强度: I)

4.2 手术方式

杂交手术作为TAAA开放修复术高风险患者的替代方法,具有以下优点: (1) 避免了开胸手术; (2) 避免了主动脉交叉钳夹,缩短了内脏缺血时间; (3) 降低了血流动力学稳定条件下神经系统并发症的发生风险,如截瘫、下肢轻瘫。杂交手术的原理将TAAA治疗分为两部分^[37],第一部分是重建内脏血管,为支架植入提供合适的锚定区域,第二部分是通过股动脉采用介入的方式进行TAAA腔内隔绝术。通常以肾下腹主动脉或一侧髂总动脉作为供血动脉进行逆行内脏动脉分支重建,需要注意的是,内脏动脉吻合后需在起始处结扎,以防术后II型内漏的发生,杂交手术无需重建肋间动脉。

5 TAAA术后并发症的预防及治疗

5.1 脊髓缺血

脊髓缺血(spinal cord ischemia, SCI)和截瘫是TAAA血管内修复术的严重并发症之一,虽然截瘫的发生率低于开放修复术后的截瘫率,但SCI仍然是一个重大问题。SCI

的危险因素包括动脉瘤范围、是否进行过OSR修复、是否有远端主动脉手术史和是否存在围手术期低血压。此外,肋间动脉和侧支血管的缺失、手术时间也被认为是SCI的潜在影响因素。目前,预防TAAA修复术后SCI的措施包括脑脊液引流、避免围手术期低血压、分期修复以及建立短期且可控的内漏,以保证动脉瘤和脊髓灌注。此外,围手术期降低体温和鞘内药物剂量可能会成为辅助保护措施。尽管术中神经监测不一定是预防措施,但可以通过早期识别脊髓灌注不良情况,从而迅速采取措施改善脊髓灌注,降低术后SCI的发生率。

5.1.1 脑脊液引流

脑脊液引流在OSR及腔内修复术中均得到广泛应用,作为有创性治疗手段,其会引发一定的并发症,考虑到大部分TAAA患者长期口服抗凝药物和抗血小板药物,脑脊液引流的概率更高。建议对有主动脉手术史、颅内动脉严重病变等高危患者预防性进行脑脊液引流;对低危(如无主动脉手术史或单纯Crawford IV型)患者则不进行预防性脑脊液引流^[38]。进行脑脊液引流前,必须纠正患者合并的凝血障碍,并维持脑脊液压力 $<10\text{ mmHg}$ ($1\text{ mmHg}=0.133\text{ kPa}$),引流量控制在 $12\sim15\text{ ml/h}$,尽可能降低相关风险。

推荐意见11: 建议对有主动脉手术史、颅内动脉严重病变等高危患者预防性进行脑脊液引流;对低危(如无主动脉手术史或单纯Crawford IV型)患者不预防性进行脑脊液引流。(证据等级: C; 推荐强度: II a)

5.1.2 全身低温及主动脉远端灌注

在常温下,人的中枢神经系统对缺血的耐受能力有限,心脏停搏或停止循环后5分钟内即出现神经元功能障碍。脊髓中的灰质代谢率高,对缺血较敏感^[39]。全身低温不仅可减少新陈代谢和耗氧量,还可减轻再灌注过程中的炎症和兴奋毒性反应,从而在停止循环期间有效保护中枢神经系统。在TAAA的OSR中,主动脉交叉夹闭时间的长短是导致SCI发生的主要原因之一。左心搭桥(left heart bypass, LHB)和CPB可有效保证顺序主动脉交叉夹闭期间脊髓、内脏器官和肾脏的血供,是减少脊髓缺血的重要保障。

推荐意见12: 全身低温可在心脏停搏期间有效保护中枢神经系统。(证据等级: A; 推荐强度: I)

推荐意见13: 常使用LHB和CPB来保证顺序主动脉交叉夹闭期间脊髓、内脏器官和肾脏的血供。(证据等级: B; 推荐强度: II)

5.1.3 血压管理及药物治疗

脊髓灌注压取决于平均动脉压和脊髓髓内压,大部分指南推荐维持平均动脉压 $>90\text{ mmHg}$,脑脊液压力 $<10\text{ mmHg}$,使脊髓灌注压维持在 80 mmHg 以上^[40-41]。围手术期高血压

的处理应优先于脑脊液引流,对术前合并高血压的患者,术前 $48\sim72\text{ h}$ 可停用降压药物,维持围手术期平均动脉压为 $80\sim90\text{ mmHg}$ 。对于术后已经发生脊髓损伤的患者,为了逆转脊髓损伤,可考虑进一步升高血压,维持平均动脉压 $>90\text{ mmHg}$,必要时可加用血管升压素^[38],但应注意避免过度补液,以免升高的中心静脉压影响脊髓血液灌注。此外,甘露醇、甲泼尼龙和纳洛酮等可减少脊髓代谢需求,限制神经细胞凋亡,增强脊髓对缺血、缺氧的耐受性,有效改善脊髓损伤。

推荐意见14: 建议将围手术期平均动脉压维持在 $80\sim90\text{ mmHg}$,对于已发生脊髓损伤的患者可进一步升高血压(平均动脉压 $>90\text{ mmHg}$)。(证据等级: C; 推荐强度: II)

5.1.4 监测运动和体感诱发电位

在临床实践中,利用运动诱发电位(motor evoked potential, MEP)和体感诱发电位(somatosensory evoked potential, SSEP)对脊髓的完整性进行有创性监测是目前的金标准^[42-43]。SSEP包括刺激周围神经(如胫后神经)和记录电反应。MEP是指经大脑皮层、脊髓和周围神经的运动通路,在多个水平激发皮质脊髓投射,通过锥体束产生和传输电位并记录于脊髓或肌肉^[44-45]。MEP和SSEP均有助于指导手术的进行,尤其是肋间动脉重建时机的选择。MEP、SSEP信号的保留或恢复可作为判断脊髓功能的预后指标。

5.2 肾脏缺血

肾脏对缺血的耐受时间较短。在进行TAAA手术的过程中,重建肾动脉时通常需要阻断肾脏血流,而阻断时间的长短与术中、术后肾功能损伤情况密切相关。TAAA术后肾功能衰竭的发生原因主要与缺血再灌注损伤、非脉冲式血流灌注、血制品的使用、肾动脉栓塞及肾动脉夹层等密切相关^[46],而腔内修复术导致的肾功能衰竭还可能是因为复杂型TAAA需要对病变的主动脉进行更多导线和导管的操作,造成了斑块的破坏或血栓的形成,从而栓塞分支动脉,同时造影剂的肾毒性也是造成肾功能损伤的重要原因。OSR过程中预防肾功能损伤的方法包括肾动脉重建和肾动脉灌注方式的优化等,而腔内修复手术过程中的预防策略包括缓慢或快速液体给药、缺血预适应、区域麻醉和非诺多泮肾动脉灌注等^[47-51]。

5.2.1 肾动脉重建

在肾动脉重建过程中,快速吻合、减少肾脏缺血时间至关重要,各种重建方法的改进都力求尽量减少肾脏缺血时间。在传统手术重建方法中,Etheredge法、DeBakey法需要分别解剖各内脏动脉,再将其与人工血管分别吻合,该操作的剥离范围大,吻合时间长,肾脏缺血时间相对较

长,而自Crawford法问世,TAAA的肾动脉重建方法改为多条内脏动脉一次性重建,将腹腔干、肠系膜上动脉、右肾动脉共同从动脉瘤上修剪出来,作为一个整体与人工血管吻合,左肾动脉常因与上述三支动脉的距离稍远而单独重建。在整个肾动脉重建的过程中,虽然肾动脉仍处于缺血状态,但总体手术时间缩短,辅助应用现有的逆行灌注、低温灌注及选择性动脉灌注技术可使相对肾缺血时间减少并尽可能保留了原有的生理血流通路。

推荐意见15:推荐应用Crawford法重建肾动脉。(证据等级:C;推荐强度:Ⅱ)

5.2.2 术中肾动脉灌注方式

5.2.2.1 逆行灌注 采用Etheredge法设计的内脏动脉灌注方式就是在不进行体外循环的情况下应用左心或主动脉转流管,当近端阻断与人工血管吻合时,肾动脉血流主要依靠转流管从远端逆行供血。该灌注方式通常可保证较长时间的肾脏供血,但提供的血流量小,肾脏血流灌注压低,另外,其使用热灌注的方法,使术后缺血再灌注损伤较明显。

5.2.2.2 低温灌注 低温灌注可以使肾功能受损减少,肾脏代谢明显下降,肾脏氧耗在30℃时减至正常的40%,20℃时减至正常的15%,10℃时则可减至正常的5%^[46]。低温灌注对术中缺血的肾脏保护效果明显,有研究发现,在肾脏缺血的时间内,使用冷灌注液并不能改变急性肾功能衰竭的发生率,但对于住院患者病死率的下降具有重要意义^[52]。因此,低温灌注即使对于肾功能的保护有限,但有利于疾病的预后,分析原因可能与术中对其他内脏动脉同时进行了冷灌注有关。

5.2.2.3 选择性血管插管灌注 选择性血管插管灌注是TAAA中减少脏器缺血、保证持续灌注的一种方法,其使用带球囊的双腔导管,应用部分体外循环,通过左心或TAAA近端正常主动脉插管或股动-静脉插管引血,再通过滚压泵或离心泵将血液通过双腔导管泵入腹腔干动脉、肠系膜动脉、肾动脉,用于在主动脉阻断时维持内脏动脉的持续灌注。

5.2.3 EVAR术后肾脏损伤的预防策略

腔内修复TAAA导致肾脏损害的机制复杂,适用于OSR的预防策略不能外推到EVAR中。一项小样本的研究表明,适当地对肾脏进行缺血预处理可以有效降低肾脏损伤相关的血清和尿液标志物水平,但该研究未达到肾功能衰竭的临床终点,并且EVAR术后肾脏并发症的发生与麻醉方式也有关,与全身麻醉或脊髓/硬膜外麻醉相比,局部麻醉下EVAR术后肾脏并发症的发生率更低。目前,水化联合碳酸氢盐是一种较为成熟的介入相关性肾脏损伤的预防方法。

推荐意见16:目前,水化联合碳酸氢盐是一种较为成熟的介入相关性肾脏损伤的预防方法。(证据等级:B;推荐强度:Ⅱ)

5.3 内漏与腔内再干预

TAAA腔内治疗的另一大并发症是内漏,指支架型血管置入后在移植物腔外、被旷置的瘤体及邻近血管腔内出现活动性血流的现象,是影响支架长期结果的主要因素。在各种类型内漏中,Ⅱ型内漏最常见,但平行支架之间存在缝隙,导致Ⅰ型内漏的发生率相对提高,但其发生率也取决于医师操作水平、器材选择和直径大小,而与开窗支架相比,分支支架更容易发生原发性内漏^[53]。临床上,对于Ⅰ、Ⅲ型内漏的处理目前有较明确的共识,而对Ⅱ型内漏的处理尚无统一标准,主要包括立即干预和仅在瘤体明显增长或长期存在时才选择干预。Karelis等^[54]的研究对8个中心的FEVAR术后再干预结果进行分析,证实了FEVAR术后使用开窗分支支架腔内修复术(fenestrated-branched endovascular aneurysm repair, F-BEVAR)进行挽救的可行性。

推荐意见17:FEVAR相关内漏发生后腔内再修复难度较高,可采用F-BEVAR进行补救治疗。(证据等级:B;推荐强度:Ⅱa)

6 小结

目前,关于累及内脏动脉分支的复杂TAAA的治疗手段仍在不断摸索与进步中,本共识总结国内外各中心对不同类型TAAA内脏动脉重建的经验。现用于腔内修复的各类型支架层出不穷,且大部分均在短期考察中表现良好,但与OSR相比如何,仍需要长时间、多中心、大样本量的深入研究,以减少TAAA术后病死率及并发症的发生率。按照本共识开展的复杂TAAA的内脏动脉重建工作,需充分结合对中心自身的临床经验与患者血管情况、有无合并症及个体差异等综合因素进行考量。

主要执笔专家(按姓氏汉语拼音排名)

梁刚柱(澳门仁伯爵综合医院)、张韬(北京大学人民医院)、张杨(首都医科大学附属北京朝阳医院)

参与本共识讨论、审校的专家(按姓氏汉语拼音排名)

卞策(火箭军特色医学中心)、陈学明(首都医科大学附属北京友谊医院)、崔立强(中国医学科学院北京协和医院)、顾洪斌(中国人民解放军战略支援部队特色医学中心)、郭连瑞(首都医科大学宣武医院)、郭明金(青岛大学附属医院)、郝迎学(陆军军医大学西南医院)、化召

辉(郑州大学第一附属医院)、黄新天(上海交通大学医学院附属第九人民医院)、贾玉龙(首都医科大学附属北京天坛医院)、李选(北京大学第三医院)、李拥军(北京医院)、梁刚柱(澳门仁伯爵综合医院)、刘建龙(北京积水潭医院)、刘晓兵(上海交通大学医学院附属第九人民医院)、刘志丽(中国医学科学院北京协和医院)、禄韶英(西安交通大学第一附属医院)、陆信武(上海交通大学医学院附属第九人民医院)、曲乐丰(海军军医大学第二附属医院)、舒畅(中国医学科学院阜外医院)、王冕(中山大学附属第一医院)、魏小龙(海军军医大学第一附属医院)、吴继东(北京航天总医院)、吴巍巍(清华大学附属北京清

华长庚医院)、薛冠华(上海交通大学医学院附属仁济医院)、叶开创(上海交通大学医学院附属第九人民医院)、叶志东(中日友好医院)、殷敏毅(上海交通大学医学院附属第九人民医院)、张韬(北京大学人民医院)、张望德(首都医科大学附属北京朝阳医院)、张杨(首都医科大学附属北京朝阳医院)、赵渝(重庆医科大学附属第一医院)、赵振(上海交通大学医学院附属第九人民医院)、赵志青(海军军医大学第一附属医院)、郑月宏(中国医学科学院北京协和医院)、周为民(南昌大学第二附属医院)、朱国献(深圳市第二人民医院)

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Crawford ES, Crawford JL, Safi HJ, et al. Thoracoabdominal aortic aneurysms: preoperative and intraoperative factors determining immediate and long-term results of operations in 605 patients[J]. J Vasc Surg, 1986, 3(3): 389-404.
- [2] Azoury F, Sayad P, Rizk A. Thoracoscopic management of a pericardial migration of a breast biopsy localization wire[J]. Ann Thorac Surg, 2009, 87(6): 1937-1939.
- [3] Etheredge SN, Yee J, Smith JV, et al. Successful resection of a large aneurysm of the upper abdominal aorta and replacement with homograft[J]. Surgery, 1955, 38(6): 1071-1081.
- [4] Murana G, Castrovinci S, Kloppenburg G, et al. Open thoracoabdominal aortic aneurysm repair in the modern era: results from a 20-year single-centre experience[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2016, 49(5): 1374-1381.
- [5] Kahlberg A, Ferrante AMR, Miloro R, et al. Late patency of reconstructed visceral arteries after open repair of thoracoabdominal aortic aneurysm[J]. J Vasc Surg, 2018, 67(4): 1017-1024.
- [6] Chuter TA, Rapp JH, Hiramoto JS, et al. Endovascular treatment of thoracoabdominal aortic aneurysms[J]. J Vasc Surg, 2008, 47(1): 6-16.
- [7] Anderson JL, Berce M, Hartley DE. Endoluminal aortic grafting with renal and superior mesenteric artery incorporation by graft fenestration[J]. J Endovasc Ther, 2001, 8(1): 3-15.
- [8] Wanhainen A, Verzini F, Van Herzele I, et al. Editor's Choice-European Society for Vascular Surgery (F-BEVAR) 2019 clinical practice guidelines on the management of abdominal aorto-iliac artery aneurysms[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2019, 57(1): 8-93.
- [9] Wang SK, Gutwein AR, Gupta AK, et al. Institutional experience with the Zenith Fenestrated aortic stent graft[J]. J Vasc Surg, 2018, 68(2): 331-336.
- [10] Oderich GS, Farber MA, Schneider D, et al. Final 5-year results of the United States Zenith Fenestrated prospective multicenter study for juxtarenal abdominal aortic aneurysms[J]. J Vasc Surg, 2021, 73(4): 1128-1138.e2.
- [11] Nordon IM, Hinchliffe RJ, Holt PJ, et al. Modern treatment of juxtarenal abdominal aortic aneurysms with fenestrated endografting and open repair-a systematic review[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2009, 38(1): 35-41.
- [12] Gouveia E Melo R, Fernández Prendes C, Caldeira D, et al. Systematic review and meta-analysis of physician modified endografts for treatment of thoraco-abdominal and complex abdominal aortic aneurysms[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2022, 64(2-3): 188-199.
- [13] Smith JA, Sarode AL, Stern JR, et al. Physician-modified endografts are associated with a survival benefit over parallel grafting in thoracoabdominal aneurysms[J]. J Vasc Surg, 2022, 76(2): 318-325.e4.
- [14] Li Z, Yin H, Wang M, et al. Octopus endograft technique to treat a ruptured thoracoabdominal aortic aneurysm[J]. J Endovasc Ther, 2018, 25(2): 237-241.
- [15] Taneva GT, Criado FJ, Torsello G, et al. Results of chimney endovascular aneurysm repair as used in the

- PERICLES Registry to treat patients with suprarenal aortic pathologies[J]. *J Vasc Surg*, 2020, 71(5): 1521-1527.e1.
- [16] Cherfan P, Abdul-Malak OM, Liang NL, et al. Endovascular repair of abdominal and thoracoabdominal aneurysms using chimneys and periscopes is associated with poor outcomes[J]. *J Vasc Surg*, 2022, 76(2): 311-317.
- [17] Chuter TA, Gordon RL, Reilly LM, et al. An endovascular system for thoracoabdominal aortic aneurysm repair[J]. *J Endovasc Ther*, 2001, 8(1): 25-33.
- [18] Greenberg RK, Sternbergh WC, Makaroun M, et al. Intermediate results of a United States multicenter trial of fenestrated endograft repair for juxtarenal abdominal aortic aneurysms[J]. *J Vasc Surg*, 2009, 50(4): 730-737.e1.
- [19] Oderich GS, Ribeiro M, Hofer J, et al. Prospective, nonrandomized study to evaluate endovascular repair of pararenal and thoracoabdominal aortic aneurysms using fenestrated-branched endografts based on supraceliac sealing zones[J]. *J Vasc Surg*, 2017, 65(5): 1249-1259.e10.
- [20] Ferrer C, Cao P, De Rango P, et al. A propensity-matched comparison for endovascular and open repair of thoracoabdominal aortic aneurysms[J]. *J Vasc Surg*, 2016, 63(5): 1201-1207.
- [21] Greenberg R, Eagleton M, Mastracci T. Branched endografts for thoracoabdominal aneurysms[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2010, 140(6 Suppl): S171-S178.
- [22] Bisdas T, Donas KP, Bosiers M, et al. Anatomical suitability of the T-branch stent-graft in patients with thoracoabdominal aortic aneurysms treated using custom-made multibranched endografts[J]. *J Endovasc Ther*, 2013, 20(5): 672-677.
- [23] Gasper WJ, Reilly LM, Rapp JH, et al. Assessing the anatomic applicability of the multibranched endovascular repair of thoracoabdominal aortic aneurysm technique[J]. *J Vasc Surg*, 2013, 57(6): 1553-1558; discussion 1558.
- [24] Sweet MP, Hiramoto JS, Park KH, et al. A standardized multi-branched thoracoabdominal stent-graft for endovascular aneurysm repair[J]. *J Endovasc Ther*, 2009, 16(3): 359-364.
- [25] Fernandez CC, Sobel JD, Gasper WJ, et al. Standard off-the-shelf versus custom-made multibranched thoracoabdominal aortic stent grafts[J]. *J Vasc Surg*, 2016, 63(5): 1208-1215.
- [26] Roddy SP. Custom-made versus off-the-shelf multibranched endografts for endovascular repair of thoracoabdominal aortic aneurysms[J]. *J Vasc Surg*, 2014, 60(5): 1392.
- [27] Mougin J, Oderich GS, Multon S, et al. Commentary: urgent repair of postdissection thoracoabdominal aortic aneurysms using branched endografts[J]. *J Endovasc Ther*, 2020, 27(6): 929-935.
- [28] Bosiers M, Kölbel T, Resch T, et al. Early and midterm results from a postmarket observational study of Zenith t-Branch thoracoabdominal endovascular graft[J]. *J Vasc Surg*, 2021, 74(4): 1081-1089.e3.
- [29] Konstantinou N, Antonopoulos CN, Jerkku T, et al. Systematic review and meta-analysis of published studies on endovascular repair of thoracoabdominal aortic aneurysms with the t-Branch off-the-shelf multibranched endograft[J]. *J Vasc Surg*, 2020, 72(2): 716-725.e1.
- [30] Farber MA, Oderich GS, Timaran C, et al. Results from a prospective multicenter feasibility study of Zenith p-Branch stent graft[J]. *J Vasc Surg*, 2019, 70(5): 1409-1418.e3.
- [31] Oderich GS, Farber MA, Silveira PG, et al. Technical aspects and 30-day outcomes of the prospective early feasibility study of the GORE EXCLUDER Thoracoabdominal Branched Endoprosthesis (TAMBE) to treat pararenal and extent IV thoracoabdominal aortic aneurysms[J]. *J Vasc Surg*, 2019, 70(2): 358-368.e6.
- [32] Oderich GS, Ribeiro MS, Sandri GA, et al. Evolution from physician-modified to company-manufactured fenestrated-branched endografts to treat pararenal and thoracoabdominal aortic aneurysms[J]. *J Vasc Surg*, 2019, 70(1): 31-42.e7.
- [33] Quiñones-Baldrich WJ, Panetta TF, Vescera CL, et al. Repair of type IV thoracoabdominal aneurysm with a combined endovascular and surgical approach[J]. *J Vasc Surg*, 1999, 30(3): 555-560.
- [34] Di Marco L, Murana G, Leone A, et al. Hybrid repair of thoracoabdominal aneurysm: an alternative strategy for preventing major complications in high risk patients[J]. *Int J Cardiol*, 2018, 271: 31-35.
- [35] Yamaguchi D, Jordan WD Jr. Hybrid thoracoabdominal aortic aneurysm repair: current perspectives[J]. *Semin Vasc Surg*, 2012, 25(4): 203-207.
- [36] 李伟浩, 李伟, 张学民, 等. 去分支杂交手术和传统手术治疗胸腹主动脉瘤的结果比较[J]. *北京大学学报(医学版)*, 2022(1): 177-181.
- [37] 张小明, 张永保, 李清乐, 等. 胸腹主动脉瘤的治疗[J]. *中国血管外科杂志(电子版)*, 2014(3): 137-142. <https://d.wanfangdata.com.cn/periodical/zgsgwkzz201403007>.
- [38] 张韬, 张小明, 姬家祥. 胸腹主动脉瘤腔内修复术后脊髓

- 缺血是现代防治策略[J]. 中华外科杂志, 2020(11): 817-821.
- [39] 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.
- [40] Safi HJ, Campbell MP, Ferreira ML, et al. Spinal cord protection in descending thoracic and thoracoabdominal aortic aneurysm repair[J]. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 1998, 10(1): 41-44.
- [41] Coselli JS, LeMaire SA, Preventza O, et al. Outcomes of 3309 thoracoabdominal aortic aneurysm repairs[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2016, 151(5): 1323-1337.
- [42] Afifi RO, Sandhu HK, Zaidi ST, et al. Intercostal artery management in thoracoabdominal aortic surgery: To reattach or not to reattach?[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2018, 155(4): 1372-1378.e1.
- [43] Gonzalez AA, Jeyanandarajan D, Hansen C, et al. Intraoperative neurophysiological monitoring during spine surgery: a review[J]. *Neurosurg Focus*, 2009, 27(4): E6.
- [44] Sloan TB, Jameson LC. Electrophysiologic monitoring during surgery to repair the thoraco-abdominal aorta[J]. *J Clin Neurophysiol*, 2007, 24(4): 316-327.
- [45] Ghatol D, Widrich J. Intraoperative neurophysiological monitoring[M]. Treasure Island (FL): StatPearls, 2022: 3-11.
- [46] Peterson BG, Eskandari MK, Gleason TG, et al. Utility of left subclavian artery revascularization in association with endoluminal repair of acute and chronic thoracic aortic pathology[J]. *J Vasc Surg*, 2006, 43(3): 433-439.
- [47] Brulotte V, Leblond FA, Elkouri S, et al. Bicarbonates for the prevention of postoperative renal failure in endovascular aortic aneurysm repair: a randomized pilot trial[J]. *Anesthesiol Res Pract*, 2013, 2013: 467326.
- [48] Saratzis A, Chiocchia V, Jiffry A, et al. HYDratation and bicarbonate to prevent acute renal injury after endovascular aneurysm repair with suprarenal fixation: pilot/feasibility randomised controlled study (HYDRA pilot trial)[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2018, 55(5): 648-656.
- [49] Walsh SR, Boyle JR, Tang TY, et al. Remote ischemic preconditioning for renal and cardiac protection during endovascular aneurysm repair: a randomized controlled trial[J]. *J Endovasc Ther*, 2009, 16(6): 680-689.
- [50] Parra JR, Crabtree T, McLafferty RB, et al. Anesthesia technique and outcomes of endovascular aneurysm repair[J]. *Ann Vasc Surg*, 2005, 19(1): 123-129.
- [51] Allie DE, Lirtzman MD, Wyatt CH, et al. Targeted renal therapy and contrast-induced nephropathy during endovascular abdominal aortic aneurysm repair: results of a feasibility pilot trial[J]. *J Endovasc Ther*, 2007, 14(4): 520-527.
- [52] Saouti N, Hindori V, Morshuis WJ, et al. Left subclavian artery revascularization as part of thoracic stent grafting[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2015, 47(1): 120-125; discussion 125.
- [53] Kärkkäinen JM, Tenorio ER, Jain A, et al. Outcomes of target vessel endoleaks after fenestrated-branched endovascular aortic repair [J]. *J Vasc Surg*, 2020, 72(2): 445-455.
- [54] Karelis A, Haulon S, Sonesson B, et al. Editor' s choice-multicentre outcomes of redo fenestrated/branched endovascular aneurysm repair to rescue failed fenestrated endografts[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2021, 62(5): 738-745.