

弓部受累的主动脉疾病治疗应用进展

龚勇泉 农巍 吴先球 卢天成 韦成信
(柳州市人民医院心脏血管外科, 广西 柳州 545003)

【摘要】 弓部受累的主动脉疾病治疗方案的选择较多, 包括外科手术、血管腔内修复以及杂交手术治疗。外科手术行主动脉弓置换, 手术创伤相对较大; 行血管腔内修复, 存在锚定区不足的问题, 需重建主动脉弓分支血管; 杂交手术能扩展锚定区, 增加腔内修复的适应证。现就各种方法的优缺点进行简述。

【关键词】 主动脉疾病; 外科手术; 介入治疗; 杂交手术

【DOI】 10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2023.07.019

Treatment of Aortic Diseases Involving Arch

GONG Yongquan, NONG Wei, WU Xianqiu, LU Tiancheng, WEI Chengxin
(Department of Cardiovascular Surgery, Liuzhou People's Hospital, Liuzhou 545003, Guangxi, China)

【Abstract】 Treatment strategies for aortic diseases involving the arch have multiple options, including open surgery, endovascular repair and hybrid surgery. Aortic arch replacement is more invasive. Endovascular repair is limited by insufficient anchor area, requiring aortic arch branch reconstruction. Hybrid surgery can expand the anchor area, increasing the indication for endovascular repair. This article briefly describes the advantages and disadvantages of various methods.

【Key words】 Aortic diseases; Open surgery; Interventional therapy; Hybrid surgery

主动脉疾病, 主要包括主动脉夹层、主动脉溃疡、主动脉壁间血肿和真性假性主动脉瘤等。随着人口老龄化的进展, 主动脉疾病的人数逐渐增加, 严重危害人类的健康^[1]。弓部受累的主动脉疾病, 治疗难度较大, 治疗方案选择较多, 手术操作相对复杂, 本文就弓部受累主动脉疾病的各种治疗方法及其优缺点进行简述。

1 主动脉的分区

根据主动脉夹层破口位置或主动脉病变部位情况, 按照 Mitchell 等^[2]提出的分区方法, 主动脉划分为 Z0、Z1、Z2、Z3 和 Z4 五个区 (图 1)。Z0 区包括升主动脉至无名动脉开口远端, Z1 区包括无名动脉开口远端至左颈总动脉开口远端, Z2 区包括左颈总动脉开口远端至左锁骨下动脉开口远端, Z3 区包括左锁骨下动脉开口远端 2 cm 以内的降主动脉, Z4 区包括左锁骨下动脉开口远端 2 cm 以远的降主动脉。对于 Z0 区病变, 传统外科手术或去分支 Debranch 杂交手术可作为首选; 对于 Z1 区病变, 可行杂交手术重建左颈总动脉和左锁骨下动脉, 结合血管腔内修复, 分支支架技术以及原位开窗技术也可作为替代方案; 对于 Z2 区以

及 Z3 区病变, 多需重建左锁骨下动脉血运, 可选择分支支架、烟囱支架以及开窗技术, IV 型杂交手术可作为替代方案, 但创伤相对较大; Z4 区病变, 选择常规腔内修复方法即可。

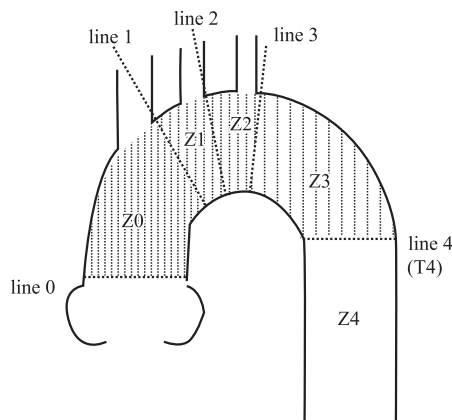
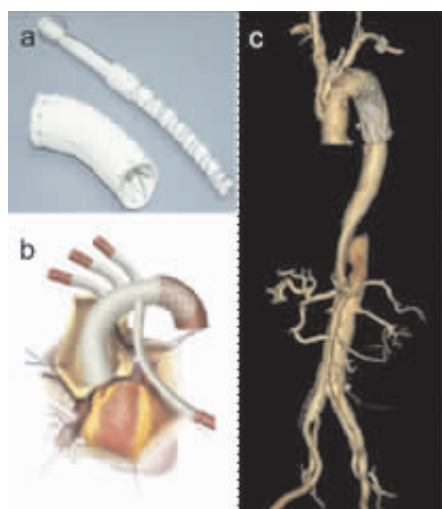


图 1 主动脉分区示意图 (Mitchell 分区示意图)

2 外科手术

主动脉弓外科手术为经典的孙氏手术: 升主动脉置换、主动脉弓分支重建和术中降主动脉支架植入。2003 年由孙立忠教授团队首创并向全国推广^[3]。孙氏手术操作较复杂, 吻合口多, 需分离暴露组织多, 手

术时间长,术中需深低温停循环,术后并发症如肝肾功能不全、神经系统并发症、凝血功能障碍、截瘫等相对较多。但中远期疗效好,远期再次手术干预率低(图2)。2009年,陈良万教授团队研制了一种三分支覆膜支架(图3)^[4],先使用人工血管置换升主动脉,远端置入三分支覆膜支架后近端再和升主动脉人工血管远端吻合,该方法虽然简化了手术,减少了主动脉弓部的血管吻合,但由于每个患者的主动脉弓结构形态不完全一致,主动脉弓分支血管的直径大小、解剖位置不一,给商业化生产三分支覆膜支架带来了困难,导致该技术不能很好地推广,且该技术内漏的风险也较大(为10%)^[5]。Roselli等^[6]在2013年首先报道了岛状吻合技术(图4),国内朱俊明教授团队对该技术进行了改良^[7],该技术保留主动脉弓的两个或三个分支“瘤壁岛”,与术中支架的人工血管行端侧吻合形成共同开口,近端与升主动脉人工血管远端吻合。保留两个分支的则需行左锁骨下动脉和左颈总动脉吻合。该手术虽然简化了弓部操作,简化了远端吻合以及止血,减少了内漏的发生率,但有严格的适应证,要求瘤壁岛无夹层以及溃疡或粥样硬化,主动脉弓分支血管无夹层或左锁骨下动脉开口近端局限夹层。和经典孙氏手术对比,该技术平均手术时间和术中停循环时间均未增加,术后早期病死率和并发症发生率相当,围手术期无神经系统并发症,早期和中期随访结果良好。



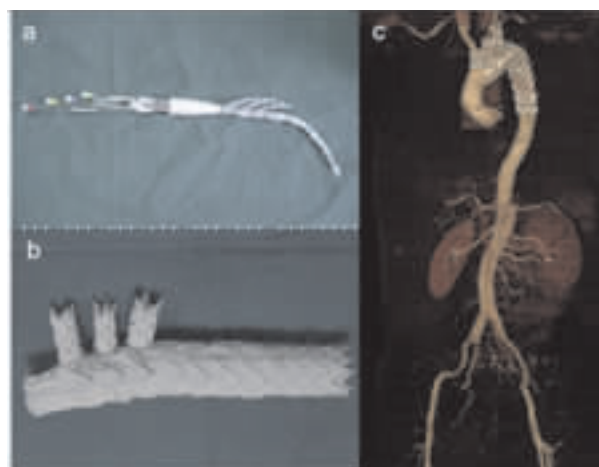
注:a 图为术中支架;b 图为手术吻合示意图,四分支人工血管置换升主动脉,重建主动脉弓三个分支,与远端置入的术中支架吻合;c 图为孙氏手术术后复查 CT 血管成像三维重建。

图2 孙氏手术

3 腔内修复技术

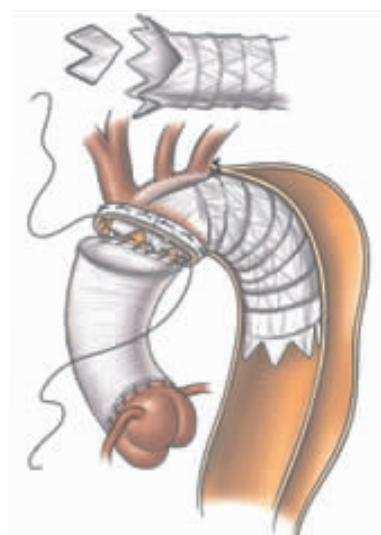
主动脉弓部解剖变异性较大,且弓部解剖弯曲对移植物顺应性提出了更高的要求,完全腔内修复技术存在巨大的挑战。腔内修复技术主要包括分支支架

技术、烟囱技术以及开窗技术。



注:a 图为三分支术中支架释放前;b 图为术中支架释放后;c 图为人工血管置换升主动脉,远端和三分支支架缝合,术后复查 CT 血管成像三维重建。

图3 三分支术中覆膜支架手术



注:术中支架大弯侧剪除部分血管壁,与主动脉弓三个分支保留的血管壁岛吻合形成共同开口,再与升主动脉人工血管远端吻合。

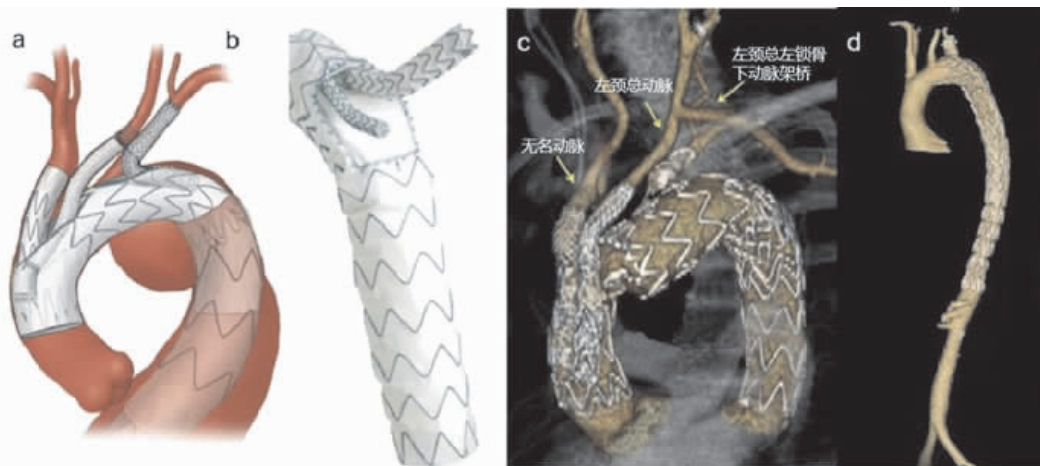
图4 岛状吻合技术

3.1 分支支架技术

分支支架是指自带弓上分支的主动脉覆膜支架,包括三分支支架^[8]、双分支支架^[9]和单分支支架。三分支支架和双分支支架采用内嵌式设计,避免支架释放后分支血管被主动脉壁挤压,影响远期通畅效果,分支和主动脉弓分支靶血管需另外使用支架桥接。三分支支架无名动脉和左颈总动脉分支通过升主动脉顺行供血,左锁骨下动脉分支通过降主动脉逆行供血(图5a)。三分支支架技术操作相对比较复杂。双分支支架需重建左锁骨下动脉,如原位开窗,或行左锁骨下动脉搭桥手术(图5b和图5c),技术上比三分支支架相对简单。三分支和双分支技术有一定的内漏

以及中枢神经系统并发症风险,由于主动脉弓的个体差异较大,分支支架往往需定制,或术前评估主动脉弓的解剖条件是否适合出厂预设的型号,因此不适应于急诊情况。三支和双分支支架能解决大部分 Z0 区以及 Z1 区主动脉病变的腔内治疗问题。由于锚定区在主动脉窦管交接处,要求锚定靶区血管条件良好、长度足够和冠状动脉高度足够,且操作技术相对复杂,这些都限制了其临床应用,国内开展相对较少^[10]。目前国内使用的较成熟的产品是 Castor 单分支支架,在处理需重建

左锁骨下动脉血运病变时有较好的价值(图 5d)。结合左锁骨下动脉开窗技术,该支架也可重建左颈总动脉血运,适用于 Z2 和 Z3 区病变。分支支架技术更利于正常解剖结构的修复,能减少内漏风险,中枢神经系统并发症少,避免了开窗技术对主体支架移植物结构的影响,分支血管远期通畅率较好,但分支支架费用相对昂贵,操作技术相对复杂,操作不当有可能导致分支血管扭曲影响远期通畅,对于已掌握常规腔内修复技术的手术者而言,仍具有一定的挑战性^[11-12]。



注:a 图为三支支架手术示意图;b 图为双分支支架外观;c 图为双分支支架置入+左颈总动脉-左锁骨下动脉搭桥术后 CT 重建;d 图为单分支支架重建左锁骨下动脉术后 CT 重建。

图 5 分支支架技术

3.2 烟囱技术

目前烟囱技术在弓部病变主要用于重建左锁骨下动脉。Z3 区病变,锚定区不够,可通过烟囱技术重建左锁骨下动脉血运,扩展锚定区。烟囱支架操作简便,无需定制,特别适用于补救性处理意外封堵的近端分支血管(图 6a)。根据支架释放方式的不同,烟囱支架可分为自膨式和球囊扩张式。自膨式有较好的顺应性和弹性,但径向支撑力不足;扩张式有较强的径向支撑力,能预防支架狭窄,但可能发生完全塌陷导致闭塞。根据支架表面情况的不同,烟囱支架可分为裸支架和覆膜支架,覆膜支架可隔绝血流,夹层破裂口距离左锁骨下动脉较近时首选,覆膜支架外鞘较大,需经过肱动脉入路,裸支架可经过桡动脉入路。烟囱支架容易发生 Ia 型内漏^[13],主要原因是主动脉覆膜支架、烟囱支架和主动脉壁三者间存在狭长的缝隙无法完全隔绝。如何预防 Ia 型内漏,需进一步的研究。

3.3 开窗技术

开窗技术分为体外预开窗和原位开窗技术。体外开窗是根据造影的结果,或 3D 打印,将覆膜支架在体外开窗后再收到输送器内(图 6b),释放支架时需

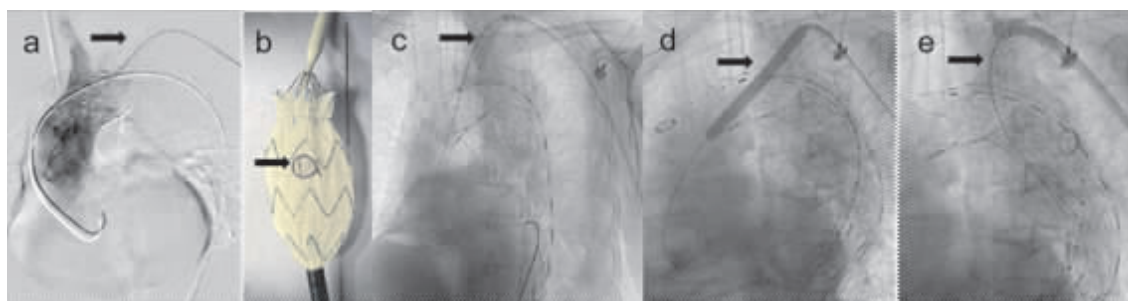
开窗位置正对靶血管,放置桥接支架完成重建(图 6c),该技术的难点是对位失败,多由于主动脉扭曲引起,需预留导丝于分支血管内,一旦对位失败可使用烟囱技术重建分支血管血运。原位开窗技术是在完成主体支架释放后,从分支血管穿刺主体支架或激光破膜后经球囊逐级扩张所穿孔洞后再放置支架(图 6d 和图 6e)。该技术更加符合正常的解剖结构,发生内漏的概率较低,但原位开窗技术仍受到诸多的限制,主要原因为:(1)缺乏安全成熟的开窗操作工具,目前国内外采用的方法均未经过临床试验;(2)由于在体内进行高能量烧灼或机械穿刺,手术难度大,有可能出现副损伤,且开窗技术破坏了支架的完整性,桥接支架血管可能出现闭塞或移位,远期效果还需进一步的评估^[14]。行原位三开窗,处理 Z0 区病变,有少数病例报道^[15]。

4 杂交手术

通过外科手术方法重建主动脉弓分支,能最大限度地扩大锚定区,有利于主动脉支架的安全释放,实现主动脉的腔内修复,同时避免了深低温及脑灌注,减少了手术并发症。根据 2020 年最新中国专家共识^[16],杂交手术主动脉弓修复手术分 4 型:I 型,开胸

非体外循环下,升主动脉-头臂血管人工血管转流,结合腔内修复技术;Ⅱ型,开胸体外循环下行升主动脉置换,头臂血管去分支,结合腔内支架植入;Ⅲ型,开胸深低温停循环,升主动脉置换及全主动脉弓置换,置入或不置入象鼻,再借助导管技术评估或修复常规

开放手术无法处理的降主动脉以及远端病变;Ⅳ型,为半主动脉弓修复手术,主动脉覆膜支架覆盖主动脉弓的一个或两个分支,Ⅳa型开胸行升主动脉-主动脉弓上分支血管重建,Ⅳb型不开胸,行颈部血管人工血管转流(图7)。



注:a 图为烟囱技术,主体支架释放后,左锁骨下动脉通过导丝放置烟囱支架,箭头所指为左锁骨下动脉烟囱支架;b 图为体外预开窗技术,箭头指向为覆膜支架开窗口,开窗后再回收至输送鞘内;c 图为行主动脉支架置入,使开窗口对应靶血管后释放支架,靶血管放置桥接支架,箭头所指为左锁骨下动脉桥接支架;d 图为原位开窗技术,主体支架释放后,穿刺破膜,经球囊逐级扩张所穿孔洞,箭头所指为扩张球囊;e 图为放置桥接支架。

图6 烟囱技术以及开窗技术

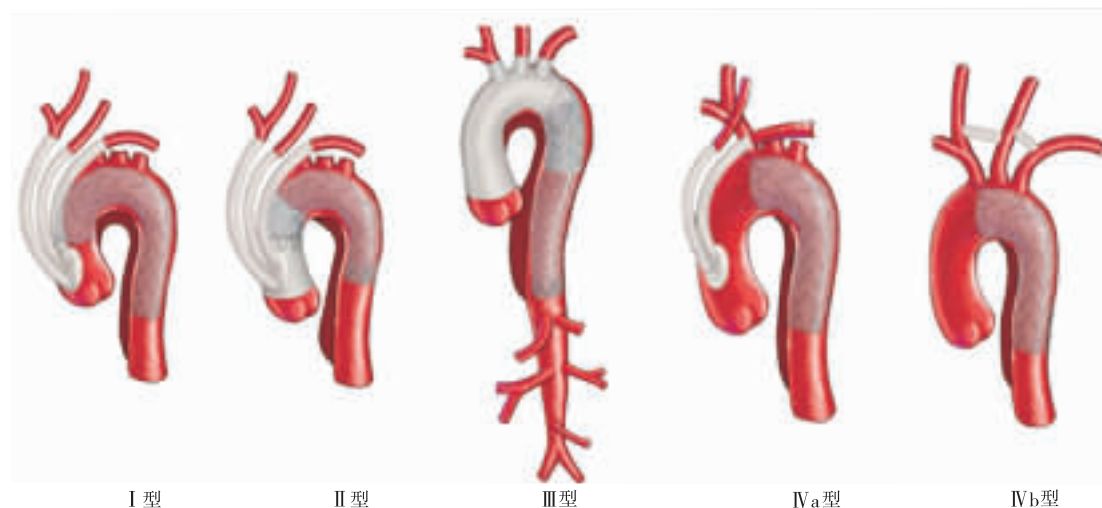


图7 主动脉杂交手术分型示意图

对于弓部病变,升主动脉、降主动脉正常,可行Ⅰ型杂交手术,不需体外循环,创伤相对孙氏手术小,但该方法可能导致升主动脉夹层逆向撕裂、Ⅰ型内漏和近端吻合口假性动脉瘤形成。升主动脉逆行夹层发生可在手术期间或术后随访,主要原因为升主动脉直径 $>40\text{ mm}$,主动脉弓解剖成角,术后心率和血压控制不佳。一旦出现夹层逆撕,处理比较棘手,需行孙氏手术补救。内漏通过造影即可发现,原因为近端锚定区不足、升主动脉或主动脉弓锚定区的横断面不规则,与腔内支架横断面不匹配。处理方法为球囊扩张支架或增加覆膜支架覆盖内漏区。术中使用人工血管包裹锚定区,可防止血管扩张,预防远期出现内漏。Ⅱ型杂交手术与Ⅰ型杂交手术对比,增加了对升主动

脉的处理,主要适用于升主动脉、主动脉弓及部分降主动脉受累及的患者。由于增加了升主动脉的处理,该术式适应于A型夹层和弓部受累的B型夹层。手术需体外循环,创伤相对较大,但由于支架锚定在人工血管上,避免了远期因血管扩张引起的内漏,同时还避免了主动脉内膜逆行撕裂导致A型夹层的可能。阜外医院团队^[17]报道了200例Ⅱ型杂交手术,随访平均29个月,1个月死亡率为8.6%,3年存活率为83.1%,有1例患者发生Ⅰ型内漏需再次手术。Ⅱ型杂交手术是否较其他杂交手术方式有更低的内漏发生率,目前还无系统的对比临床研究。Ⅱ型杂交手术发生Ⅰ型内漏,其原因为人工血管与主动脉在远端吻合口处可能存在角度弯曲,腔内修复支架跨越吻合口

时,贴壁程度受到吻合口弯曲的影响导致贴合不佳,笔者的经验是对于这种情况,可使用人工血管包裹吻合口,再使用丝线结扎,使主动脉壁和覆膜支架贴合紧密,消除内漏。Ⅲ型杂交手术适用于主动脉广泛受累的患者,尤其是降主动脉远端需处理的患者,手术需深低温停循环,创伤较大,Ⅲ型杂交手术应用较少。Ⅳ型杂交手术重建部分主动脉弓的分支,虽然创伤小,但也有一定的并发症发生。北京安贞医院团队^[18]于2009—2018年共完成87例杂交手术,病变位于Z0区2例,Z1区46例,Z2区39例,其中Z0区行Ⅰ型杂交手术,其余行Ⅳ型杂交手术,术后早期死亡5例,考虑和内漏有关。此外还发生脊髓损伤、中枢神经系统并发症、人工血管旁路狭窄与闭塞等。武汉同济医院团队^[19]于2013—2020年完成了168例杂交手术,其中Ⅰ型杂交手术23例,Ⅱ型杂交手术82例,Ⅳ型杂交手术63例。随访(45.1 ± 28.5)个月,1年和5年生存率是93.5%和89.0%,7例患者出现Ⅰ型内漏需再次手术。

杂交手术方式虽然有一定的并发症,但相对于开放全弓置换手术,创伤小,并发症的发生率明显减少。Ⅱ型杂交手术内漏发生率低于Ⅰ型杂交手术,对于升主动脉正常的患者,为了避免内漏或夹层逆撕裂,在

患者能耐受体外循环的情况下,选择行Ⅱ型杂交手术也是可行的。Ⅳa型杂交手术需开胸重建主动脉弓血管旁路,相对Ⅳb型杂交,手术创伤相对较大,是否较Ⅳb型有更好的旁路血管远期通畅率,目前还未报道,因此,在保证治疗效果的情况下,尽量选择Ⅳb型杂交手术,减少手术创伤。Ⅳb型杂交手术旁路手术供血血管的选择,应根据CT血管成像以及超声多普勒评估,如发现颈总动脉内膜粥样硬化斑块形成,应避免使用颈总动脉。对于高龄患者,一般有颈总动脉内膜病变,也应当避免。使用右锁骨下动脉作为供血血管,还可避免吻合右颈总动脉带来的脑部并发症的发生。重建左颈总动脉血流时,可选择端侧吻合或对端吻合,应在保证吻合通畅的情况下,缩短阻断时间,控制在10 min以内,避免中枢神经系统的并发症。

5 总结

弓受累的主动脉病变,治疗方案选择较多(表1),哪种方案治疗效果最佳,目前尚无定论^[20]。手术医生应根据自己的实际情况,选择最恰当的治疗方案,在保证治疗效果的情况下,尽量减少手术创伤。全腔内主动脉弓修复手术是目前的研究热点,技术上还需进一步突破。

表1 弓受累的主动脉疾病治疗方法及其优缺点

治疗方法			适用部位	优点	缺点
外科 开放 手术	孙氏手术		Z0、Z1区	远期再次手术干预率低	创伤大,操作复杂,并发症多
	三支覆膜支架		Z0、Z1区	操作较孙氏手术简单,不需吻合主动脉弓的分支	商业化生产困难,因主动脉弓以及分支血管变异大,内漏发生率高
	岛状吻合技术		Z0、Z1区	简化操作,避免分支血管吻合引起的相关并发症	要求岛壁血管无夹层、溃疡,分支血管无夹层
腔内 修复 手术	分支 支架	三分支	Z0、Z1区	腔内修复创伤小	支架需定制或术前评估,操作复杂,内漏以及中枢神经系统并发症多
		双分支	Z0、Z1区	腔内修复创伤小	支架需定制或术前评估,操作复杂,内漏以及中枢神经系统并发症多
		单分支	Z1、Z2、Z3区	操作相对简单	应用有限,只能处理Z2、Z3区病变,结合开窗或外科架桥,可处理到Z1区病变
	烟囱技术		Z3区	操作简单	主要应用于意外血管分支堵塞,内漏风险高,远期通畅效果不明确
	开窗 技术	预开窗	Z0、Z1、Z2区	腔内修复创伤小	开窗位置需充分评估,术中可能出现开窗部位与靶血管对应不佳,支架结构完整性破坏,远期效果不明确
		原位 开窗	Z0、Z1、Z2、Z3区	腔内修复创伤小	开窗有一定难度,机械穿刺或高温有副损伤可能,支架结构完整性破坏,远期效果不明确
杂交 手术	Ⅰ型		升主动脉、降主动脉正常,弓部受累	不需体外循环	有夹层逆行撕裂可能,内漏风险高,可能形成假性动脉瘤
	Ⅱ型		升主动脉受累或弓部受累的B型夹层	内漏发生率低,无夹层逆撕裂风险	需体外循环,吻合血管,创伤大
	Ⅲ型		主动脉病变广泛,孙氏手术无法处理的主动脉远端病变	创伤较大	临床应用不多
	Ⅳ型		左锁骨下动脉、左颈总动脉受累的主动脉病变	创伤小,无体外循环	有一定的内漏风险以及中枢神经系统并发症

参 考 文 献

- [1] 中国生物医学工程学会体外循环分会. 2021 年中国心外科手术和体外循环数据白皮书[J]. 中国体外循环杂志, 2022, 20(4): 196-199.
- [2] Mitchell RS, Ishimaru S, Ehrlich MP, et al. First international summit on thoracic aortic endografting; roundtable on thoracic aortic dissection as an indication for endografting[J]. *J Endovasc Ther*, 2002, 9 (suppl 2): II 98-II 105.
- [3] Ma WG, Zheng J, Dong SB, et al. Sun's procedure of total arch replacement using a tetrafurcated graft with stented elephant trunk implantation; analysis of early outcome in 398 patients with acute type A aortic dissection[J]. *Ann Cardiothorac Surg*, 2013, 2(5): 621-628.
- [4] Dai XF, Chen LW, Wu XJ, et al. Total aortic arch reconstruction with triple-branched stent graft or hemiarch replacement for acute DeBakey type I aortic dissection; five-years experience with 93 patients[J]. *J Card Surg*, 2015, 30(10): 749-755.
- [5] Chen LW, Lu L, Dai XF, et al. Total arch repair with open triple-branched stent graft placement for acute type A aortic dissection; experience with 122 patients[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2014, 148(2): 521-528.
- [6] Roselli EE, Rafael A, Soltész EG, et al. Simplified frozen elephant trunk repair for acute DeBakey type I dissection[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2013, 145(suppl 3): S197-S201.
- [7] 乔志珏, 钟永亮, 齐瑞东, 等. 保留自体头臂血管孙氏手术治疗慢性 A 型主动脉夹层[J]. 中华胸心血管外科杂志, 2018, 34(5): 292-295.
- [8] Tenorio ER, Oderich GS, Kölbel T, et al. Multicenter global early feasibility study to evaluate total endovascular arch repair using three-vessel inner branch stent-grafts for aneurysms and dissections[J]. *J Vasc Surg*, 2021, 74(4): 1055-1065. e4.
- [9] Ferrer C, Cao P, Coscarella C, et al. Italian registry of double inner branch stent graft for arch pathology (the Triumph Registry)[J]. *J Vasc Surg*, 2019, 70(3): 672-682. e1.
- [10] 郭伟, 甲森皓. 分支型腔内移植治疗主动脉弓病变中的研究进展[J]. 中华血管外科杂志, 2017, 2(1): 5-7.
- [11] Zhang H, Huang H, Zhang Y, et al. Comparison of chimney technique and single-branched stent graft for treating patients with type B aortic dissections that involved the left subclavian artery[J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2019, 42(5): 648-656.
- [12] Jing Z, Lu Q, Feng J, et al. Endovascular repair of aortic dissection involving the left subclavian artery by castor stent graft; a multicenter prospective trial[J]. *Eur J Vasc Surg*, 2020, 60(6): 854-861.
- [13] 舒畅, 李鑫. 主动脉弓疾病的治疗方法概述及其进展[J]. 中华血管外科杂志, 2018, 3(1): 8-11.
- [14] Pyun AJ, Potter HA, Magee GA, et al. Comparative early results of in situ fenestrated endovascular aortic repair and other emergent complex endovascular aortic repair techniques for ruptured suprarenal and thoracoabdominal aortic aneurysms at a regional aortic center[J]. *J Vasc Surg*, 2022, 76(4): 875-883.
- [15] Eudailey KW, Mering GV, Johanson P, et al. Total endovascular arch repair using needle fenestration and extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Ann Thorac Surg*, 2020, 109(2): e127-e129.
- [16] 国家心血管病专家委员会血管外科专业委员会. 杂交技术治疗累及弓部主动脉病变的专家共识[J]. 中国循环杂志, 2020, 35(2): 124-130.
- [17] Liu YX, Zhang BW, Liang SH, et al. Early and midterm outcomes of type II hybrid arch repair for complex aortic arch pathology[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2022, 9: 882783.
- [18] 陈宏, 陈苏伟, 钟永亮, 等. 一期杂交手术治疗主动脉弓部疾病的远期结果[J]. 中华胸心血管外科杂志, 2022, 38(2): 75-79.
- [19] Shi J, Xia LT, Liu LG, et al. Application of different types of hybrid aortic arch repair; toward to solve dissection involving the aortic arch[J]. *Ann Vasc Surg*, 2022, 83: 222-230.
- [20] Brown JA, Szeto WY, Sultan I. Hybrid and endovascular approaches to the aortic arch[J]. *Curr Opin Cardiol*, 2022, 37(6): 439-445.

收稿日期: 2022-12-18

(上接第 653 页)

- [31] Chevalier B, Abizaid A, Carrié D, et al. Clinical and angiographic outcomes with a novel radiopaque sirolimus-eluting bioresorbable vascular scaffold[J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2019, 12(6): e007283.
- [32] Koltowski L, Tomaniak M, Ochijewicz D, et al. Third-generation sirolimus-eluting bioresorbable tyrocore scaffold implantation in patients with ST-segment elevation myocardial infarction; baseline and 6-month OCT and clinical outcomes—A FANTOM STEMI pilot study[J]. *Cardiovasc Drug Ther*, 2023, Jan 14. DOI: 10.1007/s10557-023-07429-0. Online ahead of print.
- [33] Włodarczak A, Lanocha M, Jastrzebski A, et al. Early outcome of magnesium bioresorbable scaffold implantation in acute coronary syndrome—The initial report from the Magmaris-ACS registry[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2019, 93(5): E287-E292.
- [34] Verheye S, Włodarczak A, Montorsi P, et al. BIOSOLVE-IV-registry; safety and performance of the Magmaris scaffold; 12-month outcomes of the first cohort of 1,075 patients[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2021, 98(1): E1-E8.
- [35] Ortega-Paz L, Brugaletta S, Gomez-Lara J, et al. Magnesium-based resorbable scaffold vs permanent metallic sirolimus-eluting stent in patients with ST-segment elevation myocardial infarction; 3-year results of the MAGSTEMI randomised controlled trial[J]. *EuroIntervention*, 2022, 18(5): e389-e396.
- [36] Gao RL, Xu B, Sun Z, et al. First-in-human evaluation of a novel ultrathin sirolimus-eluting iron bioresorbable scaffold; 3-year outcomes of the IBS-FIM trial[J]. *EuroIntervention*, 2023, 19(3): 222-231.

收稿日期: 2023-03-20