

外科辅助短距离逆行针刺技术在主动脉弓原位开窗中的早期应用效果

张志炜,孟庆友,丁庆伟,张晓宇

(上海市第一人民医院血管外科,上海 200080)

摘要:目的 分析观察在主动脉弓部疾病患者中,外科辅助下短距离逆行针刺(short-distance retrograde needle puncture, SDRNP)原位开窗技术在胸主动脉腔内修复术(thoracic endovascular aortic repair, TEVAR)中应用的早期结果。方法 回顾性分析2021年3月至2023年3月57例累及主动脉弓部病变患者,接受TEVAR术,同时在外科辅助下行SDRNP原位开窗术和弓上分支重建。其中,主动脉夹层32例、主动脉瘤15例、穿透性溃疡10例。纳入标准为主动脉夹层/瘤、穿透性溃疡等弓部疾病,TEVAR术近端锚定区不足,覆膜支架覆盖弓上分支,至少需单开窗;排除标准为弓部病变累及升主动脉,距离冠状动脉开口小于20 mm,或近端锚定区直径大于45 mm,或左椎动脉优势型,且起源自主动脉弓。结果 外科辅助SDRNP技术成功率为98.2%(56/57)。57例患者中单纯左锁骨下动脉(left subclavian artery, LSA)开窗27例,LSA+左颈总动脉(left common carotid artery, LCCA)开窗18例,LCCA+头臂动脉干(brachiocephalic trunk, BCT)开窗1例,LSA+LCCA+BCT开窗11例。SDRNP共98次,其中,LSA 56次、LCCA 30次、BCT 12次。1例A型夹层患者计划行三开窗,LCCA+BCT两开窗后,因LSA扭曲严重,SDRNP失败,在LSA开口处栓塞,行左颈动脉-左腋动脉搭桥术。总体平均手术时间(159.1±69.6)min,LSA开窗病例手术时间(112.4±42.7)min,LSA+LCCA开窗病例手术时间(165.9±45.7)min,LSA+LCCA+BCT开窗病例手术时间(226.5±79.9)min。术后发生截瘫1例、脑梗2例、急性心肌梗死1例、肢体麻木1例。其中,1例因大面积脑梗最终死亡。51例获得术后随访,中位随访时间19个月(13~34个月)。术后复查CTA显示,患者发生内漏5例,其中I型内漏1例、II型内漏1例、III型内漏3例。再干预III型内漏2例,行弹簧圈栓塞治疗好转。无院外脑血管事件、死亡等发生。结论 外科辅助SDRNP主动脉弓原位开窗在技术上是可行的,具有操作迅速高效、开窗成功率高等优势,在选定的患者队列中产生可接受的短期结果。但为更广泛推广该技术的应用,其长期效果仍需进一步观察。

关键词:主动脉弓部疾病;胸主动脉腔内修复术;针刺原位开窗;短距离;外科辅助

中图分类号:R654.3

文献标志码:A

Early results of surgically assisted short-distance retrograde needle puncture technique for *in situ* fenestration of the aortic arch

ZHANG Zhiwei, MENG Qingyou, DING Qingwei, ZHANG Xiaoyu

(Department of Vascular Surgery, Shanghai General Hospital, Shanghai 200080, China)

Abstract: Objective To analyze the early results of the application of surgically assisted short-distance retrograde needle puncture (SDRNP) technique for *in situ* fenestration in thoracic endovascular aortic repair (TEVAR) in patients with aortic arch disease. **Methods** A retrospective analysis was performed on 57 patients with aortic arch diseases between March 2021 and March 2023 who underwent TEVAR, and surgically assisted SDRNP *in situ* fenestration and reconstruction of the superior arch branches. There were 32 cases of aortic dissection, 15 cases of aortic aneurysm and 10 cases of penetrating ulcer. Inclusion criteria were aortic dissection/aneurysm, penetrating ulcer and other arch diseases, insufficient proximal landing zone for TEVAR, and stent graft covering the superior arch branches, and at least one fenestration. Exclusion criteria were the arch disease involving the ascending aorta, less than 20 mm from the opening of

the coronary artery, or the diameter of the proximal landing zone greater than 45 mm, or the dominant left vertebral artery originating from the aortic arch. **Results** The success rate of the surgically assisted SDRNP technique was 98.2% (56/57). In 57 patients, simple left subclavian artery (LSA) fenestration was in 27 patients, LSA+left common carotid artery (LCCA) fenestration was in 18 patients, LCCA + brachiocephalic trunk (BCT) fenestration was in 1 patient, and LSA+LCCA+BCT fenestration was in 11 patients. SDRNP was performed 98 times, LSA 56 times, LCCA 30 times, and BCT 12 times. One patient with type A dissection was scheduled for triple fenestration. However, due to severe LSA distortion, SDRNP in the LSA failed after LCCA+BCT fenestration, and left carotid to left artery-left axillary artery bypass was performed. The mean operative time was (159.1±69.6) min. The mean operative time was (112.4±42.7) min for LSA fenestrations, (165.9±45.7) min for LSA+LCCA fenestrations, and (226.5±79.9) min for LSA+LCCA+BCT fenestrations. Postoperative complications included 1 paraplegia, 2 cerebral infarctions, 1 acute myocardial infarction and 1 limb numbness. Among them, one patient eventually died because of a massive cerebral infarction. Totally 51 patients were followed up with a median follow-up time of 19 months (ranging from 13 to 34 months). Post-operative CTA showed that 5 patients experienced endoleak, including 1 type I, 1 type II, and 3 type III. Two cases with type III endoleak were improved by coil embolization after re-intervention. There were no out-of-hospital cerebrovascular events or deaths. **Conclusion** Surgically assisted SDRNP *in situ* fenestration of the aortic arch is technically feasible, with the advantages of rapid and efficient manipulation and high success rate of fenestration, yielding acceptable short-term results in selected patient cohorts. However, the long-term effect still needs to be further monitored before the application of this technology can be popularized.

Key words: Aortic arch disease; Thoracic endovascular aortic repair; *In situ* needle fenestration; Short-distance; Surgical assistance

主动脉弓部疾病传统治疗方式包括全弓置换术(total arch replacement, TAR)和胸主动脉腔内修复术(thoracic endovascular aortic repair, TEVAR)。尽管 TAR 手术技术有所改进,但 TAR 带来的创伤和风险仍然相对较高^[1-3]。TEVAR 因其创伤小、恢复快、疗效显著等优势,已成为治疗主动脉弓疾病的首选方法。然而,针对 TEVAR 术中重建主动脉弓上分支血管,仍然存在一些问题未得到完美解决。目前采取的策略包括 TEVAR+去分支技术、TEVAR+烟囱/开窗支架技术^[4]。TEVAR+去分支技术较 TAR 创伤明显降低,但仍有脑梗、死亡率发生^[5]。

近年来,原位开窗(*in situ* fenestration, ISF)技术因其最大程度保留分支血管,且与烟囱技术相比内漏和压迫分支支架的风险更低而广受认可^[6-7]。弓部开窗的方法包括激光、射频、针刺、导丝硬端等^[8-12]。笔者团队开发了一种外科辅助短距离逆行针刺(short-distance retrograde needle puncture, SDRNP)主动脉弓原位开窗技术,使用穿刺针(hakko sonoguide PTC needle, 日本)和 10F 显影短鞘(Cordis, 美国)迅速进行短距离原位开窗;三开窗时,使用股动脉-颈总动脉转流技术来维持颈动脉血流和脑灌注。本研究回顾性分析采用外科辅助 SDRNP 原位开窗+TEVAR 术的主动脉弓部疾病患者临床资料,旨在探讨外科辅助 SDRNP 原位开窗术在 TEVAR 术中的应用价值。

1 资料与方法

1.1 基本资料

回顾性分析 2021 年 3 月至 2023 年 3 月本中心 57 例累及主动脉弓部病变患者资料,其中男 47 例、女 10 例;32~91 岁,平均(59.6±14.1)岁。胸背痛 31 例、腹痛 6 例、胸腹痛 4 例,无症状 16 例。合并症包括:吸烟 9 例、高血压 40 例、糖尿病 6 例、高脂血症 4 例、冠心病 5 例、脑血管疾病 5 例、肾功能不全 4 例、慢性阻塞性肺疾病 2 例、房颤 2 例、外周动脉疾病 1 例、马凡综合征 1 例。手术前均接受 CT 血管造影(CT angiography, CTA)检查,并被确诊为主动脉弓疾病。其中,A 型主动脉夹层 6 例,B 型主动脉夹层 26 例,穿透性溃疡 10 例,弓部动脉瘤 12 例,降主动脉瘤 3 例。所有患者均在术前签署知情同意书。本研究经过医院伦理委员会批准(批号:2021-N-17)。

1.2 方法

1.2.1 纳入标准与排除标准

纳入标准:①TEVAR 和 ISF 是治疗复杂或无症状主动脉弓疾病的首选方法;②逆行 A 型主动脉夹层、B 型主动脉夹层、弓部动脉瘤和穿透性溃疡等主动脉弓部疾病。排除标准:①弓部病变累及升主动脉,距离冠状动脉开口小于 20 mm;②弓部病变累及升主动脉,近端锚定区直径大于 45 mm;③左椎动脉

优势型,且起源自主动脉弓;④肾功能不全和心肺疾病患者,不能进行全身麻醉。

1.2.2 手术过程

1.2.2.1 暴露血管和动脉穿刺

患者仰卧位全麻后,首先外科辅助分离血管:
①左锁骨下动脉(left subclavian artery, LSA)开窗,左锁骨上横切口,逐层分离,解剖出颈内静脉,延其外侧缘结扎淋巴组织切开,暴露前斜角肌,注意保护喉返神经,切断前斜角肌,暴露左锁骨下动脉第二段。逆行穿刺 LSA,置 10Fr 显影短鞘至主动脉弓部;
② LSA+左颈总动脉(left common carotid artery, LCCA)开窗,左锁骨上横切口,分离暴露 LSA 后,在颈内静脉内侧,分离暴露 LCCA,注意保护迷走神经。分别逆行穿刺 LCCA、LSA,置 10Fr 显影短鞘至主动脉弓部;
③ LSA+LCCA+头臂动脉干(brachiocephalic trunk, BCT)开窗,左锁骨上横切口分别暴露 LSA 及 LCCA 后,右颈部纵切口,分离暴露右颈总动脉(right common carotid artery, RCCA)。分别逆行穿刺 RCCA、LCCA、LSA,置 10Fr 显影短鞘至主动脉弓部。顺行穿刺 RCCA 置 10Fr 短鞘,作股动脉-右颈总动脉转流备用。入路通常选择右侧股总动脉,如果右侧髂股动脉入路较细或涉及夹层,则选择左侧股总动脉途径。穿刺股总动脉后,常规

预留两把 ProGlide 血管缝合器(美国雅培公司),置 11Fr 短鞘。

1.2.2.2 胸主动脉覆膜支架植入

根据术前 CTA 检查和病理特征确定开窗数量和使用支架规格。确保 TEVAR 的近端锚定区 ≥ 1.5 cm,以便 SDRNP 时留取足够的近端开窗区。开窗的主动脉覆膜支架选用 c-TAG(美国 Gore 公司)。
① LSA 开窗,大支架近端紧靠 LCCA 开口后缘,控制血压至 90/60 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)后释放,覆盖 LSA 开口,阻断其血流灌注。根据弓部解剖结构和病变长度,按需植入 1~2 个主动脉大支架;
② LSA+LCCA 开窗,通常需要植入 2 个大支架,先植入远端支架,植入近端支架时近端紧靠 BCT 开口后缘释放,远端置于先前植入的大支架内,覆盖 LCCA 和 LSA 开口;
③ BCT+LSA+LCCA 开窗,需要植入 2 个主动脉大支架,第一个近端紧靠 LSA 开口释放,植入于降主动脉中。第二个大支架近端锚定于升主动脉,距冠状动脉开口上方约 3~4 cm 处,远端与第一个大支架在胸降主动脉重叠。植入第二个大支架后,覆盖 BCT、LCCA 和 LSA 开口,阻断了各分支血流灌注,立即使用预先准备好的临时转流系统行右股动脉-右颈总动脉转流,维持右颈总动脉血流保持脑灌注(图 1)。

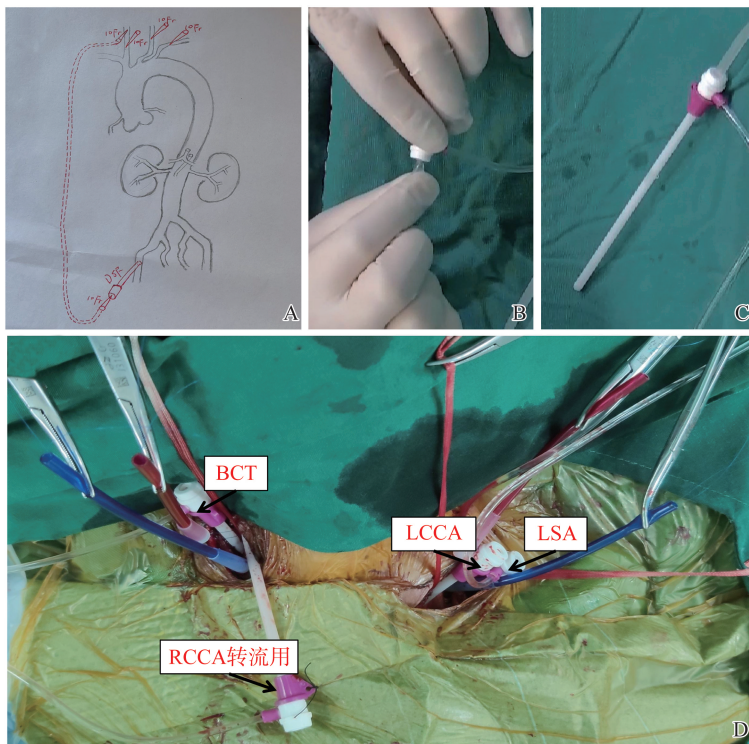


图 1 主动脉弓部疾病外科辅助下 SDRNP 三开窗入路建立
A: SDRNP 置管位置及转流建立模拟图; B~C: 制作股动脉-颈动脉临时转流通路; D: 颈部外科辅助切口, 穿刺弓部各分支置管建立 SDRNP 入路。

Figure 1 The approach was established with surgically assisted SDRNP triple fenestration of the aortic arch disease
A: Simulation diagram of the position of SDRNP catheter and bypass tube; B-C: Temporary femoral-carotid artery bypass; D: Neck surgical incision, and the approach for each arch branch of SDRNP.

1.2.2.3 SDRNP 开窗

① LSA 开窗时,预置的 10Fr 显影短鞘,透视下可见其头端置于弓部。预弯脑吸引管经显影短鞘插入,调整脑吸引管及显影短鞘头端位置和角度,使之抵触于覆膜支架大弯侧,正位、侧位观察头端轻触大支架形状变化,确保脑吸引管与支架直接接触及尽量较小成角。然后,经脑吸引管插入穿刺针行 SDRNP,刺破大支架覆膜有轻微突破感,同时透视下可见穿刺针进入主动脉覆膜支架内,经穿刺针管内引入 Supercore 导丝至升主动脉,退出穿刺针及脑吸引管,一般选择目标血管 <2 mm 的高压球囊(Mustang,美国波士顿科学公司)扩张开窗孔洞,然后植入目标血管 >1~2 mm 的覆膜支架(Lifestream,美国巴德公司;VBX,美国 Gore 公司;改制短的髂腿支架,美国美敦力公司),相同直径的球囊进行后扩张。LSA 短鞘内推造影

剂见 LSA 支架内通常无狭窄,造影剂进入主动脉弓部。② LSA+LCCA 开窗,植入近端大支架后,首先使用脑吸引管插入 LCCA 预置的 10Fr 显影短鞘内,调整脑吸引管及显影短鞘头端,步骤类似于 LSA,穿刺针针刺 LCCA 开窗,球囊扩张后植入支架(Lifestream,美国巴德公司)。再进行 LSA 开窗支架植入。③ BCT+LSA+LCCA 开窗,弓部 c-TAG 植入后立即行右股动脉-右颈总动脉转流,最短时间进行 LCCA 开窗,球囊扩张开窗孔洞,恢复 LCCA 血流,暂不植入支架。继续迅速进行 BCT 开窗及球扩覆膜支架植入(Lifestream,美国巴德公司),过程类似于 LSA。然后,LCCA 植入球扩覆膜支架。最后行 LSA 开窗及支架植入。手术结束后,再次进行数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)以确认 BCT、LCCA 和 LSA 的通畅程度、有无内漏。见图 2。

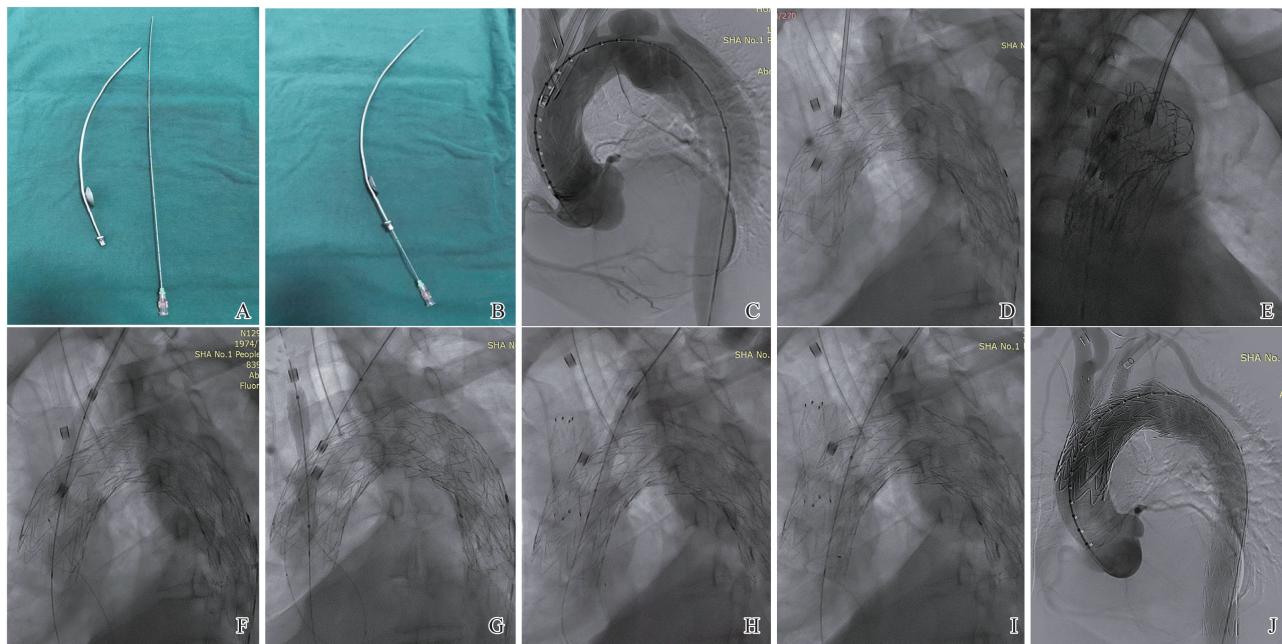


图 2 主动脉弓部夹层术中 SDRNP 原位开窗 DSA 图像

A~B:准备 SDRNP 用脑吸引管及穿刺针;C:DSA 造影见主动脉弓部夹层;D~F:LCCA 开窗左前斜位及右前斜位调整 SDRNP 针刺点;G:BCT 开窗支架植入;H~I:SDRNP 针刺 LSA 开窗球囊扩张及支架植入;J:TEVAR 联合 SDRNP 原位开窗重建弓部三分支后造影。

Figure 2 DSA images of SDRNP *in situ* fenestration during the operation of aortic arch dissection

A-B: Preparation of the brain suction tube and needle for SDRNP; C: DSA of the aortic arch dissection; D-F: Adjusting the SDRNP needle point by left anterior oblique and right anterior oblique during LCCA fenestration; G: BCT fenestration and stenting; H-I: Needling LSA by SDRNP, balloon dilation and stenting; J: Angiography after reconstruction of the three arch branches by TEVAR combined with SDRNP *in situ* fenestration.

1.2.3 观察指标

技术成功率(定义为行 TEVAR 的患者,术中成功进行 ISF 及支架植入,造影弓部分支支架形态良好,血流通常,无内漏发生)、SDRNP 开窗针刺数、手术时间、术后并发症、30 d 死亡率、随访

CTA 内漏等指标。

1.3 统计学处理

采用 SPSS 22.0 统计学软件。连续资料和分类资料分别以 $\bar{x} \pm s$ 和 $n(\%)$ 表示。

2 结果

2.1 手术结果

57例患者均成功实施了标准TEVAR手术,同时进行外科辅助下SDRNP主动脉弓部原位开窗术,具体开窗数根据大支架植入位置而定。单纯LSA开窗27例;LSA+LCAA两开窗18例;计划对12例患者进行LSA+LCAA+BCT三开窗,11例患者取得了技术成功。SDRNP开窗针刺共98次,其中LSA针刺56次,LCCA针刺30次,BCT针刺12次。1例A型夹层患者计划行三开窗,LCCA+BCT两开窗后,因LSA扭曲严重,SDRNP失败,在LSA开口处栓塞,行左颈动脉-左腋动脉搭桥术。另有1例三开窗患者,解剖变异为右迷走锁骨下动脉,行走于气管食管后方,开口于主动脉弓侧壁,加行右颈总动脉-右腋动脉搭桥术。总体而言,外科辅助下SDRNP技术成功率为98.2%(56/57)。

所有患者手术时间60~390 min,平均(159.1±69.6)min。LSA开窗时间(112.4±42.7)min,LSA+LCCA开窗时间(165.9±45.7)min,LSA+LCCA+BCT开窗时间(226.5±79.9)min。所有患者主动脉

弓部开窗支架均为c-TAG支架(美国Gore公司)。另外,根据降主动脉远端病变情况,如需要植入选用Ankura支架[先健科技(深圳)有限公司]。

术后出现不良并发症5例。轻微脑梗1例,表现为一过性意识障碍和左上肢麻木,出院前好转。大面积脑梗1例,该患者为主动脉弓动脉瘤伴附壁血栓,发生双侧肢体瘫痪,瞳孔散大,最终死亡。截瘫1例,予以脑脊液引流/激素冲击等治疗后,下肢肌力逐渐恢复。急性心肌梗死1例,表现为突发胸痛,心电图显示ST段抬高,肌钙蛋白I水平升高,急诊PCI治疗后顺利出院。左上肢麻木1例,经对症处理有所好转。

2.2 术后随访情况

57例出院患者中,51例获得术后随访,中位随访时间19个月(13~34个月)。比较术前术后大血管CTA(图3),术后复查CTA显示所有患者弓部分支动脉均通畅,无血栓形成及支架内再狭窄。随访期间,5例患者发生内漏,其中I型内漏1例,II型内漏1例,III型内漏3例。有2例III型内漏发生于LSA开窗处,再次入院行弹簧圈栓塞治疗好转。其他内漏轻微,未进一步干预继续随访观察。另外,无院外脑血管事件、死亡等严重并发症发生。

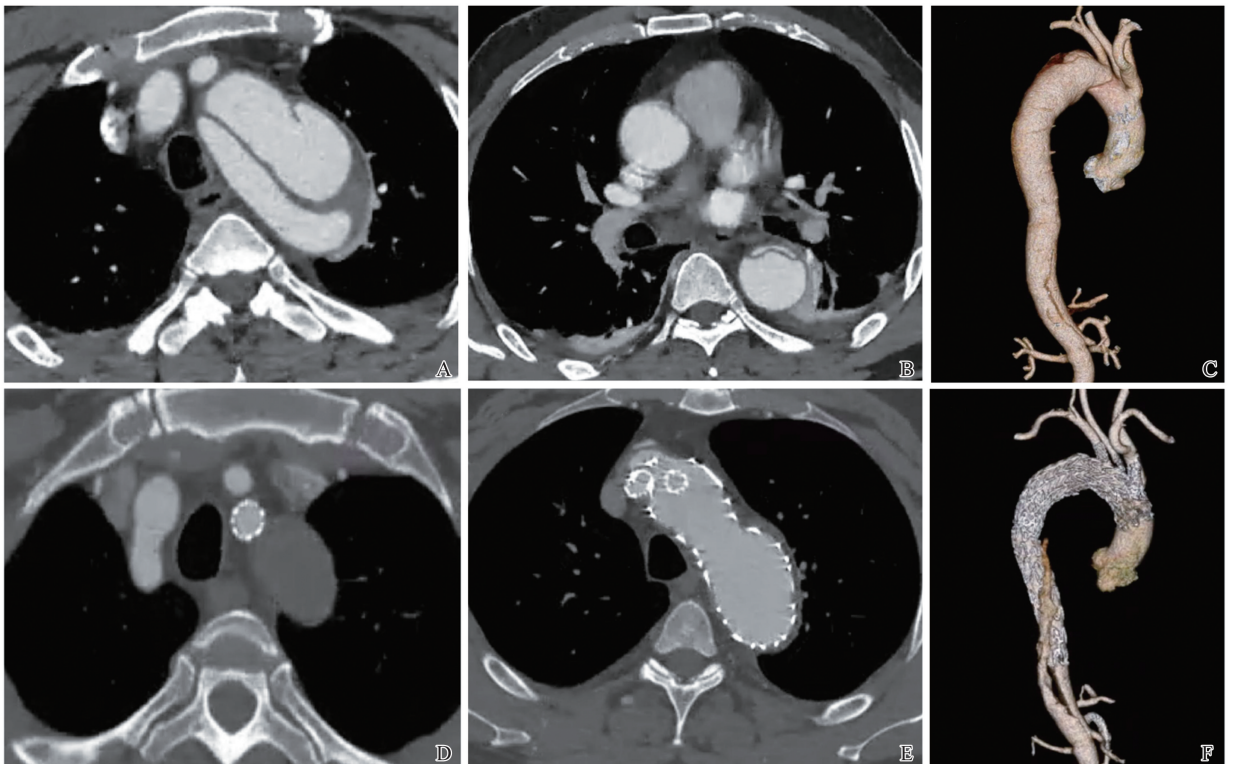


图3 主动脉弓部夹层术前(A~C)及随访12个月(D~F)CTA图像

Figure 3 CTA images of aortic arch dissection pre-operation (A-C) and post-operation (D-F) follow-up for 12 months

3 讨论

目前,用于主动脉弓部分支重建的腔内技术包括体外开窗、ISF 和烟囱技术。主动脉弓部疾病行 TEVAR 期间,因近端锚定区不足需覆盖弓部分支,ISF 是充分利用现有的设备,保留弓上分支的血液供应,并保持微创的优势。ISF 技术最早应用于 LSA 重建,既往大量实验和诸多临床研究都验证了这项技术的安全性和有效性^[13]。

本研究共 57 例患者接受 TEVAR,同时进行主动脉弓部 SDRNP 原位开窗。其中,LSA 开窗最常见,SDRNP 56 次;LCCA 接受 SDRNP 30 次;BCT 接受 SDRNP 12 次;计划开窗成功率高(99 根血管拟 SDRNP,共 98 支血管成功实施 SDRNP),短期效果令人满意。SDRNP 失败的一支血管为 LSA,是 1 例 A 型夹层患者,LSA 严重扭曲,术中脑吸引管及显影短鞘未能抵触到覆膜支架,顺利 LCCA+BCT 两开窗后,在 LSA 开口处栓塞,行左颈动脉-左腋动脉搭桥术。

已报道 LSA 针刺 ISF,大部分都是经肱动脉入路,由特殊器具定位于弓部 LSA 开口处,由可调弯鞘配合活检针穿刺开窗^[14-15];或使用头端带球囊/支架的特殊穿刺针,在 LSA 开口处扩张球囊/支架,使穿刺进针位置在 LSA 中央并尽量垂直于弓部覆膜支架^[16]。这些开窗方法都是经肱动脉入路,穿刺针长距离到达 LSA 开窗位置,LSA 扭曲很难调整角度,穿刺针头难以到达理想穿刺位置。本研究提出另一种可行的开窗技术,在外科辅助下分离暴露出 LSA 第二段,直接穿刺 LSA,置入 10Fr 显影短鞘,其头端 Marker 点直接进入主动脉弓部。脑吸引管为软管腔金属,可提前塑形。大支架植入后,插入预塑形的脑吸引管至短鞘 Marker 点。调整脑吸引管短鞘位置,尽量垂直于主动脉弓覆膜支架,轻触支架预估穿刺位置,同时左前斜位、右前斜位判断脑吸引管抵触位置及与支架成角情况。确认无误后插入穿刺针,曝光下可见其进入弓部支架内,同时进针有轻微突破触感。与经肱动脉长距离针刺技术相比,SDRNP 技术有以下优势:①可以根据 LSA 解剖,对硬脑吸引管任意塑形,以适应 LSA 走行,特别对扭曲的血管具明显优势;②短距离增强了可操作性;③该技术应用 0.035' 系统,不需更换导丝,步骤简化。另外与文献报道比较,SDRNP 技术 LSA 开窗效率高于远距离针刺 ISF,手术时间:(112.4±42.7) min vs. (186±65) min^[17]。但有 1 例术后出现左上肢麻

木,考虑手术分离 LSA 刚开始实践时缺乏经验、不够熟练,损伤臂丛神经所致,经对症处理 3 个月后复查麻木消失。SDRNP 技术需颈部切口分离暴露 LSA,有一定创伤性,并有神经损伤、淋巴瘘等并发症风险,但经熟练练习可基本避免。

与 LSA 开窗相比,BCT 和 LCCA 的 ISF 穿刺点与主动脉之间的距离更短,角度更接近垂直。因此,此处的操作相对简单。对于扭曲的 BCT,有报道称应用“鱿鱼抓捕”技术进行牵张可处理^[18]。本研究使用脑吸引管配合穿刺针对 BCT 和 LCCA 进行开窗手术,并全部成功完成。但 BCT 和 LCCA 开窗的另一个重点在于脑保护,特别是在弓部三开窗时。在拟弓部三开窗的病例中,采取的策略:顺行穿刺 RCCA 置 10Fr 短鞘,在经股动脉入路 TEVAR 后,股动脉 DSF 中插入 11Fr 短鞘,经短鞘自制股动脉-右颈总动脉转流,迅速 ISF 开通 LCAA。与传统建立体外循环^[19]相比,降低了手术创伤,避免了体外循环相关并发症的发生,同时也大大缩短手术时间。本研究使用的简易转流法,脑保护效果尚满意。其他报道的脑保护方法较多,包括 RCCA 预置长鞘至升主动脉,TEVAR 后建立升主动脉-LCCA 转流^[7];通过特殊的近端带孔长鞘,置入颈总动脉内,TEVAR 后形成降主动脉-颈动脉转流^[20]等,但都有一定比例脑梗死病例发生。由于样本量小且无统一手术方案等因素局限,目前尚未形成公认大规模临床推广建议。本研究中简易转流脑保护法具有一定临床实用优势,但仍需进一步改善,主要集中于如何提高转流压和转流流量,以保证足够稳定的脑灌注。本研究 11 例三开窗患者中,轻微脑梗死 1 例,对症治疗后好转出院;但有 1 例患者发生大面积脑梗死最终死亡,这例患者为主动脉弓动脉瘤伴附壁血栓,脑梗死的发生可能与弓部过多导丝导管操作相关。对于弓部斑块严重、附壁血栓形成这类患者,弓部操作应当谨慎轻柔。有 1 例患者术后发生截瘫,考虑与术中主动脉支架覆盖过长、术后血压过低等有关^[21-22],一旦发生应积极行脑脊液引流等综合处理,能获得良好预后。

不同品牌的主动脉支架材料差异较大,球囊扩张后引起的覆膜磨损与支架材料密切相关。ISF 操作不当可能会撕裂覆膜,导致严重的内漏,并削弱支架的顺应性和稳定性。Ohki 等^[23]通过体外实验,使用硅材料建立主动脉弓部动脉瘤模型,分别插入几款大支架覆膜材料,用经皮经肝胆囊穿刺引流针穿透大支架覆膜材料,然后依次使用 5、10、20 mm 球囊扩张针刺的覆膜支架孔,实验重复 5 次;选择的

大支架包括:TAG、Valiant、TX2 和 Relay,结果显示球囊扩张引起的覆膜材料磨损在 TAG 支架中最轻;而且,TAG 支架头端裸支架较短,对于三开窗病例可安全锚定于升主动脉 Z0 区,不影响主动脉瓣及冠状动脉开口;另外,对于弓部三维立体解剖结构特点,TAG 柔顺性表现优异,更易于顺利通过弓部弯曲结构进入升主动脉;在 ISF 过程中,ePTFE 材料制成的 TAG 支架在球囊穿过针刺孔时更容易被穿透。根据既往研究报道及临床使用经验,本研究中近端主动脉弓部开窗支架均选择 TAG 支架。一体式支架已有报道^[24],即根据每例患者的解剖结构定制的一种具有 BCT、LCCA 和 LSCA 三个内分支的覆膜支架。与一体式支架相比,ISF 技术受器械限制较少,但仍是超说明书使用的,在紧急情况下具有一定优势。

另外,临床常用的主动脉弓上血运重建方法中,去分支技术也是一种较为有效的技术。但与开窗技术相比,去分支手术创面较大,需阻断颈动脉,有增加脑梗死发生率、臂丛神经损伤、人工血管感染等风险,同时也改变了主动脉原有的解剖结构^[25]。另外,杂交去分支技术亦广泛应用于治疗主动脉弓部病变中,但据报道脑卒中的发病率较高^[26]。针对复杂弓部疾病重建弓上分支血管,杂交技术(TEVAR+开窗+旁路搭桥)是一种行之有效的解决方案^[27]。弓部分支血管腔内修复面临的挑战与潜在的神经并发症、分支血管角度、高血流量、主动脉弓部搏动性运动,以及近端的主动脉瓣等密切相关^[28]。总之,术前对主动脉及其分支血管解剖结构作充分评估,在外科辅助下 SDRNP 主动脉弓 ISF 在技术上是可行的,其短期疗效良好,随访期间所有患者弓部分支动脉均通畅,无血栓形成及支架内再狭窄;5 例患者发生内漏,有 2 例Ⅲ型内漏发生于 LSA 开窗处,再次入院行弹簧圈栓塞治疗好转,其余内漏轻微均未进一步干预继续随访观察。另外,无院外脑血管事件、死亡等严重并发症发生。

综上,外科辅助 SDRNP 主动脉弓 ISF 在技术上是可行的,具有操作迅速高效、开窗成功率高等优势,在选定的患者队列中产生可接受的短期结果。但为更广泛推广该技术的应用,其中长期效果仍需进一步观察。

参考文献:

[1] Iafrancesco M, Ranasinghe AM, Dronavalli V, et al. Open aortic arch replacement in high-risk patients: the

gold standard [J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2016, 49 (2): 646-651.

- [2] Minatoya K, Inoue Y, Sasaki H, et al. Total arch replacement using a 4-branched graft with antegrade cerebral perfusion [J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2019, 157 (4): 1370-1378.
- [3] Settepani F, Cappai A, Basciu A, et al. Outcome of open total arch replacement in the modern era [J]. J Vasc Surg, 2016, 63(2): 537-545.
- [4] Maeda K, Ohki T, Kanaoka Y. Endovascular treatment of various aortic pathologies; review of the latest data and technologies [J]. Int J Angiol, 2018, 27(2): 81-91.
- [5] Bavaria J, Vallabhajosyula P, Moeller P, et al. Hybrid approaches in the treatment of aortic arch aneurysms; postoperative and midterm outcomes [J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2013, 145(Suppl 3): S85-S90.
- [6] Wang CT, von Segesser LK, Berdajs D, et al. Endovascular treatment of the dissected proximal aortic arch: a systematic review [J]. Interact Cardiovasc Thorac Surg, 2021, 33(5): 746-754.
- [7] Gao WT, Yang GM, Zhu YL, et al. Short-term outcomes of *in situ* fenestration in total endovascular aortic arch treatment [J]. Ann Vasc Surg, 2022, 81: 105-112. doi: 10.1016/j.avsg.2021.09.026.
- [8] Li HL, Chan YC, Jia HY, et al. Methods and clinical outcomes of *in situ* fenestration for aortic arch revascularization during thoracic endovascular aortic repair [J]. Vascular, 2020, 28(4): 333-341.
- [9] 彭智猷, 金剑, 叶开创, 等. 鞘转流系统辅助下胸主动脉腔内修复术联合原位激光开窗治疗主动脉弓部病变的临床结果 [J]. 中华血管外科杂志, 2022, 7(1): 43-47. PENG Zhiyou, JIN Jian, YE Kaichuang, et al. Clinical results of sheath-based bypass system-assisted thoracic endovascular aortic repair with *in situ* laser fenestration for aortic arch disease [J]. Chinese Journal of Vascular Surgery, 2022, 7(1): 43-47.
- [10] Li C, Xu P, Hua ZH, et al. Early and midterm outcomes of *in situ* laser fenestration during thoracic endovascular aortic repair for acute and subacute aortic arch diseases and analysis of its complications [J]. J Vasc Surg, 2020, 72(5): 1524-1533.
- [11] Li DL, Zeng QL, Xiang YL, et al. Experimental analysis of the quality of needle-assisted fenestration in aortic stent-grafts and the differences between gradual and rapid balloon dilation [J]. J Endovasc Ther, 2021, 28(1): 44-52.
- [12] Tse LW, Lindsay TF, Roche-Nagle G, et al. Radiofrequency *in situ* fenestration for aortic arch vessels during thoracic endovascular repair [J]. J Endovasc Ther, 2015, 22(1): 116-121.

- [13] Qiu CY, Li ZJ, Dai XC, et al. Technical details of thoracic endovascular aortic repair with fenestrations for thoracic aortic pathologies involving the aortic arch: a Chinese expert consensus[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2022, 9: 1056229. doi:10.3389/fcvm.2022.1056229.
- [14] Li X, Shu C, Wang LC, et al. First-in-human implantation of gutter-free design stent-graft in *in situ* fenestration TEVAR for aortic arch pathology[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2022, 9: 911689. doi: 10.3389/fcvm.2022.911689.
- [15] He TX, Bai J, Wu JJ, et al. Long-term outcomes of thoracic endovascular repair with quick fenestrator assisted *in situ* fenestration for type B aortic dissection[J]. *Vascular*, 2023; 17085381221140168. doi: 10.1177/17085381221140168.
- [16] Bai J, Liu YD, Jin J, et al. Single-stage endovascular management of complicated thoracic aorta coarctation concurrent with aortic arch aneurysm using a novel fenestration device[J]. *J Thorac Dis*, 2018, 10(4): 2474-2480.
- [17] Xiang YL, Qiu CY, He YY, et al. A single center experience of *in situ* needle fenestration of supra-aortic branches during thoracic endovascular aortic repair[J]. *Ann Vasc Surg*, 2019, 61: 107-115. doi: 10.1016/j.avsg.2019.03.016.
- [18] Hongo N, Miyamoto S, Shuto R, et al. "Squid-capture" modified *in situ* stent-graft fenestration technique for aortic arch aneurysm repair[J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2014, 37(4): 1093-1098.
- [19] Katada Y, Kondo S, Tsuboi E, et al. Endovascular total arch repair using *in situ* fenestration for arch aneurysm and chronic type A dissection[J]. *Ann Thorac Surg*, 2016, 101(2): 625-630.
- [20] Malina M, Sonesson B. *In situ* fenestration: a novel option for endovascular aortic arch repair[J]. *J Cardiovasc Surg*, 2015, 56(3): 355-362.
- [21] Upchurch GR Jr, Escobar GA, Azizzadeh A, et al. Society for Vascular Surgery clinical practice guidelines of thoracic endovascular aortic repair for descending thoracic aortic aneurysms[J]. *J Vasc Surg*, 2021, 73(1): 55-83.
- [22] Zhang ZH, Zhou Y, Lin SM, et al. Systematic review and meta-analysis of association of prophylactic cerebrospinal fluid drainage in preventing spinal cord ischemia after thoracic endovascular aortic repair [J]. *J Vasc Surg*, 2022, 75(4): 1478-1489.
- [23] Ohki T, Maeda K, Baba T, et al. Early clinical outcomes of retrograde *in situ* branched stent grafting for complex aortic arch aneurysms[J]. *J Vasc Surg*, 2022, 75(3): 803-811.
- [24] Spear R, Clough RE, Fabre D, et al. Total endovascular treatment of aortic arch disease using an arch endograft with 3 inner branches[J]. *J Endovasc Ther*, 2017, 24(4): 534-538.
- [25] Bianco V, Sultan I, Kilic A, et al. Concomitant left subclavian artery revascularization with carotid-subclavian transposition during zone 2 thoracic endovascular aortic repair[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2020, 159(4): 1222-1227.
- [26] 国家心血管病专家委员会血管外科专业委员会, 等. 杂交技术治疗累及弓部主动脉病变的中国专家共识[J]. *中国循环杂志*, 2020, 35(2): 124-129. National Society of Vascular Surgery, China. Chinese expert consensus on hybrid technique on treating thoracic aortic pathologies involving the aortic arch[J]. *Chinese Circulation Journal*, 2020, 35(2): 124-129.
- [27] Fan BW, Fang K, Tian C, et al. *In situ* fenestration and carotid-subclavian bypass for left subclavian artery revascularization during thoracic endovascular aortic repair[J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2024, 47(6): 717-727.
- [28] Haulon S, Greenberg RK, Spear R, et al. Global experience with an inner branched arch endograft[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2014, 148(4): 1709-1716.

(编辑:房红娟)