

冷冻象鼻支架在急性 A 型主动脉夹层手术中的应用及进展

陈广田^{1,2} 梁秋儿³ 王超杰^{2,4} 闫新建² 彭继海⁵ 黄劲松² 范小平^{2,4}

(1. 华南理工大学医学院, 广东 广州 510006; 2. 广东省心血管病研究所心外科 广东省人民医院 广东省医学科学院, 广东 广州 510080; 3. 暨南大学中医学院, 广东 广州 510632; 4. 南方医科大学第二临床医学院, 广东 广州 510515; 5. 广东省人民医院康复医学科 广东省医学科学院, 广东 广州 510080)

【摘要】 急性 A 型主动脉夹层是心脏外科的危急重症之一, 其病死率极高, 外科手术是目前最有效的治疗方式。冷冻象鼻支架植入术是国际常用的治疗主动脉夹层的外科方式, 已广泛应用于临床。现就冷冻象鼻支架技术在急性 A 型主动脉夹层手术中的应用、术后降主动脉的重塑、术后并发症以及再次干预治疗的时机进行讨论。

【关键词】 急性 A 型主动脉夹层; 冷冻象鼻支架; 临床应用及进展

【DOI】 10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2021.11.010

Application and Progress of Frozen Elephant Trunk Stent in Acute Type A Aortic Dissection

CHEN Guangtian^{1,2}, LIANG Qiuer³, WANG Chaojie^{2,4}, YAN Xinjian², PENG Jihai⁵, HUANG Jinsong², FAN Xiaoping^{2,4}

(1. School of Medicine, South China University of Technology, Guangzhou 510006, Guangdong, China; 2. Department of Cardiovascular Surgery, Guangdong Cardiovascular Institute, Guangdong Provincial General Hospital, Guangdong Academy of Medical Sciences, Guangzhou 510080, Guangdong, China; 3. School of Traditional Chinese Medicine, Jinan University, Guangzhou 510632, Guangdong, China; 4. The Second School of Clinical Medicine, Southern Medical University, Guangzhou 510515, Guangdong, China; 5. Department of Rehabilitation, Guangdong Provincial General Hospital, Guangdong Academy of Medical Sciences, Guangzhou 510080, Guangdong, China)

【Abstract】 Acute type A aortic dissection is one of the critical illnesses in cardiac surgery, with a very high fatality rate. Surgery is currently the most effective treatment. Frozen elephant trunk stent implantation is a common type of surgical treatment for aortic dissection in the world, which has been widely used in clinical practice. The application of frozen elephant trunk stent technology in acute type A aortic dissection, the remodeling of the descending aorta after surgery, postoperative complications, and the timing of intervention therapy again are reviewed in this paper.

【Key words】 Acute type A aortic dissection; Frozen elephant trunk; Clinical application and progress

急性 A 型主动脉夹层 (acute type A aortic dissection, ATAAD) 是心外科的危急重症之一, 是根据 Stanford 分型将主动脉夹层动脉瘤分为 A 型和 B 型, 其中 A 型主动脉夹层主要涉及升主动脉, 其病变范围可局限于升主动脉, 也可从升主动脉沿着内膜破口顺行撕裂至远端累及侧支动脉, 甚至累及全程主动脉; 也可从主动脉弓降部破口逆行撕裂至升主动脉甚至是主动脉窦部, 更有甚者累及冠状动脉。全球每年主动脉夹层的发生率为 0.5 ~ 2.95/10 万。由于 ATAAD 早期死亡率较高, 生存率随时间呈指数下降, 患者可猝死或在几小时至几天内死亡, 未经任何干

预, 其在 2 周内的死亡率为 90%。因此专家已达成共识, 应尽早采取外科手术干预^[1-3]。临床研究证实, 在外科手术治疗的情况下, ATAAD 死亡率为 5% ~ 25%, 大大降低了 ATAAD 患者的死亡率^[3-5]。

Kato 等^[6]于 1996 年首次发表的冷冻象鼻支架 (frozen elephant trunk, FET) 技术已成为治疗主动脉相关疾病的重要工具, 可在复杂 ATAAD 的初次开放手术中重建升主动脉以及在弓降部顺行植入覆膜支架, 该技术显著改善 ATAAD 患者的手术疗效。FET 在主动脉夹层手术中的主要目的: 其一是闭合降主动脉近端的假腔破口, 引导血液进入真腔, 植入的支架覆盖

假腔破口后促进假腔形成血栓;其二是稳定降主动脉,减少再次开放手术的干预,以及阻止主动脉夹层逆撕的发生,由此引导主动脉正性重塑;此外,还可为降主动脉的血管内介入支架手术提供锚定区域。另外,Dohle 等^[7]研究报道了 20%~40% 复杂 ATAAD 患者的降主动脉 FET 植入后主动脉负性重塑,可能需再次干预治疗,导致死亡率增加。因此 Roselli 等^[8]提出,严格影像学随访和早期分段性介入治疗可提高主动脉夹层患者的生存率。但 FET 引导的重塑过程的相关机制仍不明确,无法预测术后降主动脉的直径大小以及假腔的形态^[9-10]。现就 FET 技术在 ATAAD 手术中的应用、FET 术后降主动脉的重塑、术后并发症以及再次干预治疗的时机进行讨论。

1 FET 在 ATAAD 手术中的应用

1.1 升主动脉及全弓置换加 FET 技术

手术方式:用四分支人工血管置换升主动脉及主动脉弓,右腋动脉插管,温度降至 25℃,停循环,心肺血管旁路及选择性逆行脑灌注,将 FET 置入降主动脉近端;FET 与四分支人工血管尾端吻合,弓上分支血管残端与人工血管各分支端-端吻合。主动脉吻合序列:近端降主动脉→左颈总动脉(left common carotid artery, LCCA)→升主动脉→左锁骨下动脉(left subclavian artery, LSA)→无名动脉(innominate artery, IA),远端吻合后的早期复温和再灌注,以最大程度地减少脑和心脏缺血^[11]。2002 年 Kato 等^[12]报道全主动脉弓置换加 FET 技术治疗 19 例 ATAAD 患者,其中有 1 例死亡(术后 9 d),住院死亡率为 5.3%,脑部并发症发生率为 5.3%,1 年及 3 年生存率分别为 89.5% 和 82.6%。Sun 等^[13]对 291 例 ATAAD 患者行升主动脉及全弓置换加 FET 技术,患者住院期间死亡率为 3.08%,脑卒中发生率为 2.41%,截瘫率为 0.69%,远期再次手术率为 1.87%,远期死亡率为 3.73%。但传统的开放手术如单纯人工血管置换术、Wheat 手术及 Bentall 手术等,一般只能对升主动脉夹层处进行处理,而无法解决主动脉弓降部的问题。与之相比,升主动脉及全弓置换加 FET 术式的优势在于在降主动脉植入的 FET 和人工血管远段可端-端吻合固定,防止支架移位以及内漏。另外,FET 不仅可保护血管内膜,避免内膜损伤,同时还可封堵降主动脉假腔,促进假腔内血栓化,从而减少动脉远端残余假腔破口,可降低再次干预率及远期死亡率。

1.2 升主动脉及半弓置换加 FET 技术

手术方式:切除升主动脉并用人工血管置换,保留主动脉弓远端部分及弓上血管三支,若夹层破口位于主动脉弓小弯,则切除升主动脉及主动脉弓小

弯,用 FET 植入降主动脉。该术式适用于破口位于升主动脉、主动脉弓小弯或降主动脉的病例,同时假腔未累及弓上三分支血管或者与主动脉弓连接处。Gorlitzer 等^[14]于 2010 年报道了 14 例 ATAAD 患者接受升主动脉及半弓置换加 FET 技术,其中夹层破口在升主动脉 13 例,降主动脉逆行撕裂形成 ATAAD 1 例,手术成功率为 100%,术后无死亡病例,脑部并发症发生率为 14%。该术式与全弓置换加 FET 技术相比,简化了手术步骤,使手术时间及停循环时间缩短,一定程度上减少了术后死亡率以及并发症发生率,如神经系统并发症等。FET 技术模拟血管内支架植入的原理,将主动脉的修复延伸至降主动脉,覆盖降主动脉夹层内膜主要破口,引导假腔内的血液血栓化^[15]。

1.3 升主动脉置换加分支型 FET 植入术

1.3.1 升主动脉及主动脉弓置换加单分支型 FET 植入

手术方式:升主动脉至 LSA 之间包括主动脉弓部分用四分支人工血管置换,其中四分支人工血管包括 IA 和 LCCA 分支,升主动脉近端与人工血管主干端-端吻合,FET 的小分支植入 LSA,将 FET 近端与人工血管远端行端-端吻合,四分支人工血管的其中两个小分支血管分别与 IA 和 LCCA 行端-端吻合。Chen 等^[16]报道了 10 例 ATAAD 患者接受了升主动脉及主动脉弓置换加单分支型 FET 手术治疗,手术成功率为 100%,无死亡病例,无明显术后并发症,无需再次手术,假腔血栓化比例为 88.89%。2019 年 Yu 等^[17]报道了 21 例 ATAAD 患者接受了上述单分支型 FET 的手术方式,所有患者的术后 CT 中未观察到支架内漏,而且主动脉弓降部的假腔形成完全血栓。他们认为该技术可获得与直筒型 FET 技术相当的早期和中期结果,包括死亡率、再发病率、晚期存活率和再手术率,但可缩短体外循环时间和停循环时间。

1.3.2 升主动脉置换加三分支型 FET 植入

手术方式:升主动脉行直筒型人工血管置换,保留主动脉弓及弓上三分支血管,FET 的三分支人工血管分别植入 LSA、LCCA 和 IA,FET 近端与直筒型人工血管型端-端吻合并固定。Chen 等^[18]报道了 30 例 ATAAD 患者接受升主动脉置换加三分支型 FET 植入的手术治疗,手术成功率为 100%,无死亡病例,1 例(3.33%)术后出现一过性神经系统功能障碍,5 d 后恢复,无需再次手术。3 个月后假腔血栓化比例为 86.67%。2012 年 Sun 等^[19]也报道了 13 例 ATAAD 患者用上述的手术方式,术后 CT 结果显示所有的支架植入物完全打开并且无移位和扭结,支架的三分支无内漏。笔者认为三分支型 FET 可简化手术,提高安

全性。

1.3.3 升主动脉及主动脉弓置换加单分支型 FET 植入和弓上分支血管植入 FET 并固定

手术方式:升主动脉至 LCCA 之间行人工血管置换,切断 IA 及 LCCA,保留 LSA;人工血管包括 IA 和 LCCA 分支,人工血管主干与升主动脉行端-端吻合;支架的小分支植入 LSA,FET 近端与人工血管远端行端-端吻合并固定,IA 和 LCCA 断端植入支架行端-侧吻合并加固。Chen 等^[20]报道 26 例 ATAAD 累及弓上分支血管患者采用这种手术方式的成功率为 100%,无死亡病例,无明显术后并发症,无再次手术情况,假腔血栓化比例为 84.62%。Zhang 等^[21]建议弓部、弓上血管及降主动脉近端未见内膜破裂的情况,可应用上述方法处理主动脉弓及弓上血管并植入单分支型 FET。

升主动脉置换加分支型 FET 植入术适用于破裂口位于主动脉升部、弓部以及降部且无法行半弓置换的患者,其中三分支型 FET 和 FET 加固技术可应用于夹层累及弓上分支血管的患者。此术式与全弓或半弓置换联合直筒型 FET 技术相比,简化了手术步骤,缩短了手术时间及停循环时间,FET 分支植入到 LSA 可避免在手术视野较差的情况下行 LSA 吻合,降低手术难度,从而提高手术成功率,并且在一定程度上减少了并发症的发生率和术后死亡率,同时 FET 可封闭弓降部远端的假腔,并且提高假腔内血栓化程度^[22]。因此,Zhang 等^[21]也提到,与直筒型 FET 技术相比,分支型 FET 植入术具有以下优点:(1)相对于直筒型 FET 复杂的手术技巧(如控制出血和血管吻合技术),分支型 FET 的手术操作大大简化;(2)减少手术时间,特别是停循环时间;(3)避免了手术中可能出现的喉返神经损伤。ATAAD 的手术方法尚待改进和简化,尤其是主动脉弓修复和重建。在选择分支型 FET 时,主动脉弓部病变的解剖特征和病理变化是临床决策的关键因素。

2 FET 术后的降主动脉重塑

完全重塑指的是主动脉夹层的内膜与主动脉壁外层完全重新贴合^[23]。采用 FET 技术处理降主动脉的夹层,就是模拟血管内介入手术植入支架的原理,将主动脉夹层的修复从升主动脉延伸至降主动脉,覆盖夹层累及到的降主动脉的假腔破口,引导假腔形成完全血栓^[24]。在降主动脉植入 FET 的近端,使用环向缝线与主动脉弓人工血管远端固定可 100% 避免近端逆行撕裂和并发症,如神经系统、循环系统和肾脏相关并发症。然而,残余的假腔破口可能会在弓降部的人工血管吻合处进展,从而成为新的主要假腔破口而

导致主动脉直径迅速扩大;此外,真假腔之间的连通和假腔的持续血流灌注也将阻碍主动脉的正性重塑^[25]。FET 技术通过在多个脊髓平面上闭合这些真假腔的连通,引导假腔内血栓机化并降低主动脉弓的弯度和近端降主动脉的壁切应力^[26]。在急性和慢性降主动脉病变中,经典的胸腔内血管主动脉修复(thoracic endovascular aortic repair,TEVAR)因为锚定区域小,术后可能发生支架移位、内漏和扭曲等原因需再次介入治疗^[27]。与 TEVAR 相反,由于将 FET 在降主动脉近端与人工血管远端缝合固定,因此避免了移位和内漏,也因此比无膨胀支架的传统软象鼻更容易覆盖假腔破口和引导假腔血栓化^[28]。

接受 FET 手术后 90% 的患者有降主动脉的假腔内血栓形成,随后在 FET 所覆盖的假腔会缩小^[29]。Dohle 等^[30]报道了在急性主动脉夹层中降主动脉 FET 植入段(A 段)血栓化达到 92%,而腹腔干段(B 段)至远端分叉段(C 段)由于残余假腔而导致血栓化较少。在 ATAAD 术后第 1 年中,FET 覆盖的主动脉总直径和假腔都缩小,而真腔直径扩大;腹腔干段的真腔直径扩大而主动脉总直径未扩大;在远端分叉段,真腔直径和主动脉总直径都扩大。然而,FET 术后第 1 年的主动脉 FET 段直径保持稳定,未进一步缩小,而 A 段以下都扩大。所以为了证实和量化 FET 术后降主动脉的变化,降主动脉重塑的分类很重要。根据上述 A 段、B 段和 C 段的正性重塑,稳定和负性重塑的各个体积变化进行分类。尽管 FET 手术结果中的假腔完全形成血栓化比例较高以及再次介入的发生率较低,但结果显示有 42% 的 ATAAD 患者为正性重塑或保持稳定。降主动脉的负性重塑与降主动脉远端血管的残余破口有关。因此,20% ATAAD 患者降主动脉远端有再次干预的风险^[31]。

3 FET 术后并发症

脊髓损伤是与 FET 手术相关的最重要的并发症之一。FET 手术患者中脊髓缺血的患病率为 2.2%~10.9%,不仅增加了患者术后呼吸机辅助的使用时间、重症监护室、住院治疗时间和术后感染率,甚至增加了患者住院死亡率^[32]。目前认为,这与术前全身炎症反应、术中停循环导致缺血灌注不良以及术后输血相关损伤有关。

目前国内外主动脉夹层外科治疗标准术式是孙氏手术,即全弓置换加 FET。根据 Takagi 等^[33]报道的孙氏手术的 meta 分析结果:体外循环时间为 207.1 min,主动脉交叉钳夹时间为 123.3 min,选择性顺行脑灌注时间为 49.3 min,低温循环停止时间为 39.0 min,早期死亡率为 9.2%,脑卒中为 4.8%,脊髓损伤为 3.5%,

中长期(≥ 1 年)总死亡率为 13.0%,再次介入治疗为 9.6%,假管腔血栓形成率为 96.8%^[33]。因为孙氏手术深低温停循环时间较长,可能与早期死亡率和术后并发症发生率较高有关,所以缩短手术时间和停循环时间,提高停循环温度,有利于减少死亡率和并发症发生率。由于主动脉夹层容易累及全身多器官脏器,术前因脏器供血障碍以及炎症反应损害各系统功能^[34]。同时夹层手术创伤大,体外循环时间以及手术时间长,严重影响患者的凝血功能、神经系统以及其他脏器的功能。此外,夹层手术中所必须的深低温停循环技术会干扰弓上分支血管的血供及神经系统功能,降低血小板活性^[35],增加了患者术后并发症的发生率。

针对以上情况,蔡诗豪等^[36]建议使用改良全弓置换技术即弓部阻断技术,可有效避免低温停循环的不利影响,将停循环时间控制在 5 min 左右,较快地恢复下半身灌注有利于术中脊髓灌注,避免截瘫等神经并发症,也可保证双肺在手术过程中有较好的血流灌注;并将停循环温度提高到 30 °C 以及双侧脑灌注保护大脑及脊髓血供,缩短低氧时间,避免低温肺损伤,良好的凝血功能保护及较简单的止血过程,减少了术后输血量,避免输血相关肺损伤,降低术后死亡率及并发症发生率。

4 FET 术后再次干预

在 Fattouch 等^[37]的报道中,ATAAD 一旦发生,可能导致假腔迅速累及到整个主动脉。初次开放手术的目的是切除破裂的内膜和替换升主动脉以及 FET 植入降主动脉,但无法切除远端破裂的内膜,如假腔仍有血流灌注,可能导致降主动脉进行性扩张甚至破裂。降主动脉手术或血管内介入手术在术后 10 年的再干预率为 81.3% \pm 3.0%。首次手术后降主动脉直径较大的患者更常出现晚期降主动脉扩张,即使所有患者都接受了具有最佳收缩压控制 [< 125 mm Hg (1 mm Hg = 0.133 3 kPa)] 的降压治疗,但在假腔未闭的患者中仍观察到远端主动脉破裂和再次干预的高发生率。

再次干预的适应证是主动脉进行性扩大发展为假性动脉瘤或破裂,植入物感染或主动脉瓣关闭不全以及主动脉弓持续存在假腔。如果升主动脉的最大直径 > 5.5 cm,而且降主动脉的最大直径 > 6 cm,应再次手术处理;其余的患者如果主动脉直径 > 6.5 cm 或每年直径扩大 > 0.75 cm 才建议再次手术。残余假腔、马方综合征以及降主动脉的直径 > 4.5 cm 是再次干预的预测指标。有 31% 的患者假腔残余,因为假腔未闭会增加主动脉直径的年增长率,显著降低长期生

存率。特别是初次 FET 手术后假腔未明显血栓化的患者更易因术后主动脉和降主动脉的扩大而再次手术。即使所有患者收缩压都严格控制在 125 mm Hg 左右,也有可能需再次干预治疗或主动脉破裂,所以术后患者都必须定期接受影像学随访^[38]。在初次 FET 术后,应评估是否还需行二期介入手术治疗。一般短期内尽量避免第二次手术,这样除了可让椎动脉通过侧支网络充分供应血液到脊髓,能最大程度地减少脊髓损伤,还可让二期的 TEVAR 手术减少脊髓损伤的发生以及主动脉重塑。另外, FET 远端可为 TEVAR 手术支架的锚定提供非常良好的锚定区域^[39-40]。

5 总结

FET 技术的出现和发展,大大推动了主动脉夹层的外科手术方式的发展,在可接受的住院死亡率和并发症发生率前提下,提高了 ATAAD 手术治疗的安全性。升主动脉置换联合全弓置换 + FET 手术方式不仅能有效地消除升主动脉的假腔破口,还能通过开放手术植入 FET,模拟血管内介入治疗的原理,植入 FET 覆盖降主动脉的假腔破口,能更有效地引导降主动脉远端的假腔血栓化,促进术后主动脉 FET 段的正性重塑,扩大主动脉真腔;尽可能地避免残余假腔引起负性重塑,而使得主动脉扩张形成动脉瘤导致再次手术,该技术还能防止主动脉逆行撕裂。此外,升主动脉人工血管远端与 FET 近端的端-端吻合与固定可避免支架移位和内漏。即使需再次干预治疗, FET 还可给血管内介入治疗提供一个良好的锚定区域,降低术后患者远期死亡率,并有效地提高患者的术后生活质量。

参 考 文 献

- [1] 何杰,范小平,黄劲松,等.老年 Stanford A 型主动脉夹层外科治疗[J].中国胸心血管外科临床杂志,2019,26(5):514-518.
- [2] Hagan PG, Nienaber CA, Isselbacher EM, et al. The International Registry of Acute Aortic Dissection (IRAD): new insights into an old disease[J]. JAMA, 2000, 283(7):897-903.
- [3] Ehrlich MP, Ergin MA, McCullough JN, et al. Results of immediate surgical treatment of all acute type A dissections[J]. Circulation, 2000, 102(19 suppl 3): III 248-III 252.
- [4] Trimarchi S, Nienaber CA, Rampoldi V, et al. Contemporary results of surgery in acute type A aortic dissection: the international registry of acute aortic dissection experience[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2005, 129(1):112-122.
- [5] Olsson C, Eriksson N, Ståhle E, et al. Surgical and long-term mortality in 2634 consecutive patients operated on the proximal thoracic aorta [J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2007, 31(6):963-969.
- [6] Kato M, Ohnishi K, Kaneko M, et al. New graft-implanting method for thoracic aortic aneurysm or dissection with a stented graft [J]. Circulation, 1996, 94(9 suppl): II 188-II 193.
- [7] Dohle DS, Tsagakis K, Janosi RA, et al. Aortic remodelling in aortic dissection

- after frozen elephant trunk[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2016, 49(1): 111-117.
- [8] Roselli EE, Loor G, He J, et al. Distal aortic interventions after repair of ascending dissection; the argument for a more aggressive approach[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2015, 149(2 suppl): S117-S124.
- [9] Iafrancesco M, Goebel N, Mascaro J, et al. Aortic diameter remodelling after the frozen elephant trunk technique in aortic dissection; results from an international multicentre registry[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2017, 52(2): 310-318.
- [10] Ren C, Xu S, Lai Y, et al. Open surgery with frozen elephant trunk for the treatment of proximal stent graft-induced new entry in type B aortic dissection; a case report[J]. *Ann Vasc Surg*, 2015, 29(6): 1316. e21-24.
- [11] Ma WG, Zhu JM, Zheng J, et al. Sun's procedure for complex aortic arch repair: total arch replacement using a tetrafurcate graft with stented elephant trunk implantation[J]. *Ann Cardiothorac Surg*, 2013, 2(5): 642-648.
- [12] Kato M, Kuratani T, Kaneko M, et al. The results of total arch graft implantation with open stent-graft placement for type A aortic dissection[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2002, 124(3): 531-540.
- [13] Sun L, Qi R, Zhu J, et al. Total arch replacement combined with stented elephant trunk implantation; a new "standard" therapy for type a dissection involving repair of the aortic arch? [J]. *Circulation*, 2011, 123(9): 971-978.
- [14] Gortlitz M, Weiss G, Meinhart J, et al. Fate of the false lumen after combined surgical and endovascular repair treating Stanford type A aortic dissections[J]. *Ann Thorac Surg*, 2010, 89(3): 794-799.
- [15] Pacini D, Tsagakis K, Jakob H, et al. The frozen elephant trunk for the treatment of chronic dissection of the thoracic aorta; a multicenter experience[J]. *Ann Thorac Surg*, 2011, 92(5): 1663-1670.
- [16] Chen LW, Dai XF, Yang GF, et al. Open-branched stent graft placement makes total arch replacement easier for acute type A aortic dissection[J]. *Ann Thorac Surg*, 2010, 89(5): 1688-1690.
- [17] Yu B, Liu Z, Xue C, et al. Total arch repair with open placement of a novel double-branched stent graft for acute type A aortic dissection; a single-centre experience with 21 consecutive patients[J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2019, 28(2): 262-269.
- [18] Chen LW, Dai XF, Lu L, et al. Extensive primary repair of the thoracic aorta in acute type A aortic dissection by means of ascending aorta replacement combined with open placement of triple-branched stent graft; early results[J]. *Circulation*, 2010, 122(14): 1373-1378.
- [19] Sun X, Lu S, Yang S, et al. Open triple-branched stent graft placement for the surgical treatment of acute aortic arch dissection[J]. *J Cardiothorac Surg*, 2012, 7: 130.
- [20] Chen LW, Wu XJ, Lu L, et al. Total arch repair for acute type A aortic dissection with 2 modified techniques: open single-branched stent graft placement and reinforcement of the dissected arch vessel stump with stent graft[J]. *Circulation*, 2011, 123(22): 2536-2541.
- [21] Zhang Q, Ma X, Zhang W, et al. Surgical repair and reconstruction of aortic arch in debakey type I aortic dissection; recent advances and single-center experience in the application of branched stent graft[J]. *J Cardiothorac Surg*, 2017, 12(1): 86.
- [22] 王深明, 王斯文. 应用血管腔内技术治疗 Stanford A 型主动脉夹层现状分析[J]. *中国血管外科杂志(电子版)*, 2013, 5(4): 251-254.
- [23] Schoder M, Czerny M, Cejna M, et al. Endovascular repair of acute type B aortic dissection; long-term follow-up of true and false lumen diameter changes[J]. *Ann Thorac Surg*, 2007, 83(3): 1059-1066.
- [24] Rylski B, Hahn N, Beyersdorf F, et al. Fate of the dissected aortic arch after ascending replacement in type A aortic dissection[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2017, 51(6): 1127-1134.
- [25] Mohamied Y, Sherwin SJ, Weinberg PD. Understanding the fluid mechanics behind transverse wall shear stress[J]. *J Biomech*, 2017, 50: 102-109.
- [26] Czerny M, Roedler S, Fakhimi S, et al. Midterm results of thoracic endovascular aortic repair in patients with aneurysms involving the descending aorta originating from chronic type B dissections[J]. *Ann Thorac Surg*, 2010, 90(1): 90-94.
- [27] Ius F, Fleissner F, Pichlmaier M, et al. Total aortic arch replacement with the frozen elephant trunk technique; 10 year follow-up single center experience[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2013, 44(5): 949-957.
- [28] Ishihara H, Uchida N, Yamasaki C, et al. Extensive primary repair of the thoracic aorta in Stanford type A acute aortic dissection by means of a synthetic vascular graft with a self-expandable stent[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2002, 123(6): 1035-1040.
- [29] di Eusanio M, Arnaro A, di Marco L, et al. Short- and midterm results after hybrid treatment of chronic aortic dissection with the frozen elephant trunk technique[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2011, 40(4): 875-880.
- [30] Dohle DS, Tsagakis K, Janosi RA, et al. Aortic remodelling in aortic dissection after frozen elephant trunk[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2016, 49(1): 111-117.
- [31] Picardo A, Regesta T, Zennis K, et al. Outcomes after surgical treatment for type A acute aortic dissection in octogenarians; a multicenter study[J]. *Ann Thorac Surg*, 2009, 88(2): 491-497.
- [32] Nienaber CA, Clough RE. Management of acute aortic dissection[J]. *Lancet*, 2015, 385(9970): 800-811.
- [33] Takagi H, Umamoto T, ALICE Group. A meta-analysis of total arch replacement with frozen elephant trunk in acute type A aortic dissection[J]. *Vasc Endovascular Surg*, 2016, 50(1): 33-46.
- [34] Girdauskas E, Kuntze T, Borger MA, et al. Acute respiratory dysfunction after surgery for acute type A aortic dissection[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2010, 37(3): 691-696.
- [35] Numata S, Tsutsumi Y, Monta O, et al. Mid-long-term results after aortic arch repair using a four-branched graft with antegrade selective cerebral perfusion[J]. *J Card Surg*, 2013, 28(5): 537-542.
- [36] 蔡诗豪, 范小平, 黄劲松, 等. 改良全弓置换技术在 Stanford A 型主动脉夹层手术中的应用[J]. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2018, 25(11): 962-966.
- [37] Fattouch K, Sampognaro R, Navarra E, et al. Long-term results after repair of type A acute aortic dissection according to false lumen patency[J]. *Ann Thorac Surg*, 2009, 88(4): 1244-1250.
- [38] Kobuch R, Hilker M, Rupprecht L, et al. Late reoperations after repaired acute type A aortic dissection[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2012, 144(2): 300-307.
- [39] Griep EB, di Luozzo G, Schray D, et al. The anatomy of the spinal cord collateral circulation[J]. *Ann Cardiothorac Surg*, 2012, 1(3): 350-357.
- [40] Berger T, Kreibich M, Morlock J, et al. True-lumen and false-lumen diameter changes in the downstream aorta after frozen elephant trunk implantation[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2018, 54(2): 375-381.

收稿日期: 2021-05-03