

论著·临床研究

3D 打印辅助预开窗及分支支架腔内修复术治疗累及内脏分支主动脉疾病的早期结果

李逢时, 刘 光, 刘晓兵[#], 陆信武[#]

上海交通大学医学院附属第九人民医院血管外科, 上海交通大学医学院血管病诊治中心, 上海 200011

[摘要] **目的**·评价应用 3D 打印辅助预开窗及分支支架腔内修复术(fenestrated/branched endovascular repair, f/bEVAR)治疗累及内脏分支主动脉疾病的早期结果。**方法**·回顾性分析 2019 年 5 月—2020 年 5 月上海交通大学医学院附属第九人民医院血管外科应用 3D 打印辅助 f/bEVAR 治疗的累及内脏分支主动脉疾病患者的临床资料, 分析手术效果及围手术期并发症发生情况, 并对早期随访结果进行评价。**结果**·共纳入 13 例患者, 平均年龄(58.3 ± 14.1)岁, 其中男性 11 例(占 84.6%)。其中腹主动脉瘤 7 例, 夹层动脉瘤 5 例, 降主动脉瘤 1 例。内脏分支动脉重建技术成功率 94.7%, 1 例患者右肾动脉被主体支架覆盖, 行平行支架技术重建。术后无肾动脉缺血及肠缺血相关并发症发生, 无围术期死亡病例。平均随访时间(7.3 ± 4.6)个月, 随访期间无患者死亡, 无靶器官受损相关症状出现, 计算机断层扫描血管成像显示各分支血管血流通畅。**结论**·3D 打印辅助 f/bEVAR 是一种安全、有效的治疗累及内脏分支主动脉疾病的方法。

[关键词] 3D 打印; 主动脉瘤; 主动脉夹层; 预开窗及分支支架腔内修复术

[DOI] 10.3969/j.issn.1674-8115.2020.10.015 **[中图分类号]** R654.3 **[文献标志码]** A

Early outcomes of 3D printing-assisted fenestrated/branched endovascular repair in treatment of aortic diseases involving visceral branches

LI Feng-shi, LIU Guang, LIU Xiao-bing[#], LU Xin-wu[#]

Department of Vascular Surgery, Shanghai Ninth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine; The Vascular Center, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200011, China

[Abstract] **Objective**·To evaluate the early outcomes of 3D printing-assisted fenestrated/branched endovascular repair (f/bEVAR) in the treatment of aortic diseases involving visceral branches. **Methods**·The clinical data of the patients with aortic diseases involving visceral branches treated by 3D printing-assisted f/bEVAR in the Department of Vascular Surgery, Shanghai Ninth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine from May 2019 to May 2020 were retrospectively analyzed, including the surgical effect and the occurrence of perioperative complications. And the results of early follow-up were also evaluated. **Results**·A total of 13 patients were enrolled, including 11 males (84.6%), with an average age of (58.3 ± 14.1) years. There were 7 cases of abdominal aortic aneurysm, 5 cases of dissecting aneurysm and 1 case of descending aorta aneurysm. The success rate of visceral branch artery reconstruction technique was 94.7%. One patient's right renal artery was covered by the main stent and was reconstructed by parallel stent technique. No postoperative complications, such as renal artery ischemia and intestinal ischemia, occurred, and the perioperative mortality rate was 0. The average follow-up time was (7.3 ± 4.6) months. No patient died during the follow-up. No symptoms related to target organ damage occurred. The computed tomography angiography during follow-up showed that the blood flow of all branches was smooth. **Conclusion**·3D printing-assisted f/bEVAR is a safe and effective method for the treatment of aortic diseases involving visceral branches.

[Key words] 3D printing; aortic aneurysm; aortic dissection; fenestrated/branched endovascular repair (f/bEVAR)

主动脉腔内修复术(endovascular repair, EVAR)是目前对于具有合适解剖条件的主动脉疾病(夹层/动脉瘤)患者的一线治疗方法^[1]。而对于累及内脏区的复杂主动脉疾病,腔内治疗则需要考虑内脏分支血管的重建。自 1996 年被首次报道^[2]以来,预开窗及分支支架腔内修

复术(fenestrated/branched endovascular repair, f/bEVAR)已在累及内脏分支的主动脉疾病中广泛应用并取得了令人满意的疗效^[3-5]。但是,无论是定制的预开窗支架还是手术医师自制的开窗支架(physician-modified stent-graft, PMSG),其开窗位置的确定需要精确的影像学检查和详

[基金项目] 国家自然科学基金(81970405, 81870346)。

[作者简介] 李逢时(1995—),男,硕士生;电子信箱: lifengshi1995@foxmail.com。

[通信作者] 刘晓兵,电子信箱: benny_liu@163.com。陆信武,电子信箱: luxinwu@shsmu.edu.cn。[#]为共同通信作者。

[Funding Information] National Natural Science Foundation of China (81970405, 81870346)。

[Corresponding Author] LIU Xiao-bing, E-mail: benny_liu@163.com. LU Xin-wu, E-mail: luxinwu@shsmu.edu.cn. [#]Co-corresponding authors.

尽的术前规划,而对于一些严重扭曲的病变,单纯的影像学方法确定的开窗位置往往不够精确,易造成开窗位置和分支支架之间的不匹配,从而影响分支血管的远期通畅率^[6]。近年来,随着3D打印技术的快速发展,医师可以通过对患者术前影像学资料的重建,在3D打印模型上规划开窗位置。这一方法能够更加直观地确定患者各个分支血管的解剖学关系并更加准确地进行支架预开窗^[7]。

本研究回顾性分析上海交通大学医学院附属第九人民医院血管外科进行的3D打印模型辅助f/bEVAR在累及内脏分支主动脉疾病治疗的应用,并对患者短期随访结果进行报道。

1 资料与方法

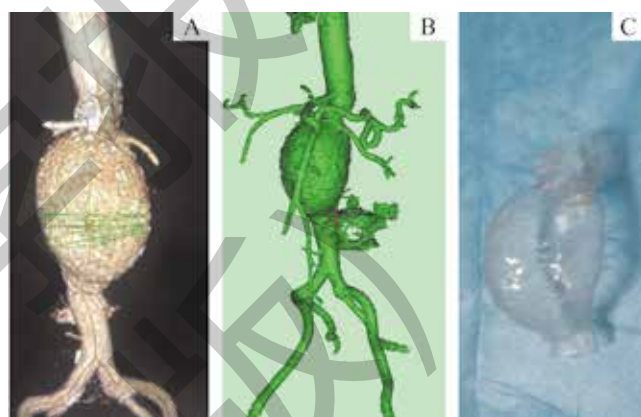
1.1 一般资料

回顾性分析上海交通大学医学院附属第九人民医院血管外科2019年5月—2020年5月收治的13例复杂性腹主动脉疾病,均采用3D打印模型辅助f/bEVAR技术治疗主动脉病变,并通过分支支架重建病变累及的分支血管。本研究获得上海交通大学医学院附属第九人民医院医疗技术伦理委员会审查并批准(批号:SH9H-2020-T180-1),患者术前均被充分告知目前的治疗方案包括开放手术、腔内治疗、保守治疗等方式。13例患者均因开放手术的巨大创伤和较长的术后恢复时间而选择腔内治疗并签署知情同意书。患者术前通过主动脉计算机断层扫描血管成像(computed tomography angiography, CTA)诊断为主动脉瘤或主动脉夹层动脉瘤。f/bEVAR的手术指征包括:①病变瘤样扩张[最大直径 >50 mm,或瘤体快速增大(直径增加 >10 mm/年)],出现内脏动脉血流灌注降低症状。②主动脉病变累及1个及以上分支血管或锚定区长度 <1.5 cm。③主动脉夹层修复术后,内脏区域真腔管腔重塑不良,远端供血不良。观察及随访指标包括:患者的一般情况、手术时间、术中出血量、透视时间、围手术期死亡率、内漏发生情况、并发症发生情况及再介入情况。

1.2 手术方法

1.2.1 术前准备和3D打印模型制造 ①所有患者术前均行主动脉CTA,层厚 <1 mm,患者影像学资料均导入EndoSize软件行主动脉及分支血管尺寸测量(图1A)。对于腹主动脉瘤,3D打印模型通过实际尺寸重建;对于夹层动脉瘤,真腔往往因被压迫呈梭形,支架植入后真腔扩张将可能改变术前各分支动脉空间位置关系。故选用支架植入后形态重建模型,即将真腔横截面重建为以其长径

为直径的圆形。②将患者原始影像学资料导入Mimics软件行3D重建(图1B),再导入Geomagic Studio预处理。③将重建后的3D模型通过逆向工程得到计算机辅助设计(computer-assisted design, CAD)模型,并导入Geomagic Design Direct软件,按照术前规划的支架植入后形态调整主动脉及各分支血管位置。④输出STL文件,应用立体光刻(SLA)3D打印机(Lite 600HD-A)以光敏树脂材料打印导板,应用熔融层积成型(FDM)3D打印机(MBot Grid II+)以聚己内酯材料打印垫块(图1C)。⑤3D打印后的主动脉模型经等离子灭菌后包装。整个3D打印过程耗时约4.5 h(血管重建1 h,3D打印2.5 h,灭菌处理1 h)。

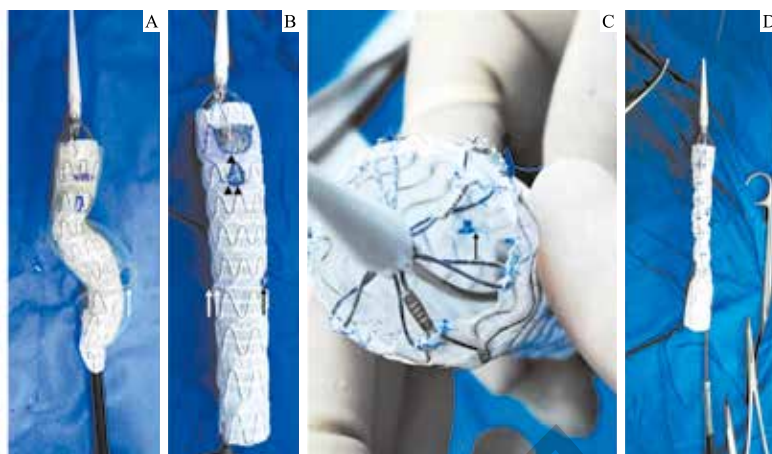


Note: A 64-year-old man diagnosed as having complexed abdominal aorta aneurysm. A. Preoperative measurement by EndoSize software. B. 3D reconstruction by importing Mimics 18.0 software. C. Transparent 3D printing model.

图1 术前3D打印模型的准备

Fig 1 Preparation of 3D printing model before surgery

1.2.2 支架准备 ①根据术前测量,选择相应尺寸的主动脉覆膜支架在3D打印模型中释放(图2A)。②使用无菌记号笔根据模型标记每个分支血管的预开窗位置,使用电烙笔在主动脉支架膜上的相应位置开窗。对于开口于病变段主动脉的分支血管,其开窗大小应略小于分支血管尺寸,且通常需要缝制内分支或外分支以增大主体支架与分支支架间的接触面积,防止内漏形成;对于瘤腔较大的主动脉瘤,因其操作空间较大且分支血管开口距离开窗位置较远,所以选择缝制外分支;对于夹层动脉瘤和瘤腔较小的主动脉瘤,其外部操作空间狭小,因此选择缝制内分支支架;对于开口于正常主动脉区分支血管,可选择开槽以增加对位成功率(图2B、C)。③将弹簧圈连续缝合在开窗位置一周和主动脉支架顶端进行标记。④沿长轴穿行V-18导丝并使用5-0 prolene缝线对主动脉支架相邻节段进行缝合,使束径缩小至少30%,以便于术中调整其位置(图2D)。⑤将制备好的预开窗/分支支架收入输送系统。



Note: A. The appropriate size of the aortic stent graft was chosen and released in the 3D printing model. The patient's left renal artery opened in the aneurysm (↑). B. The celiac axis was located in the no-lesion segment. The position of celiac axis was slotted (▲) and the positions of superior mesenteric artery (▲▲), left renal artery (↑), and right renal artery (↑↑) were fenestrated. C. The internal branch stent of left renal artery (↑). D. The guide wire for the internal branch of the left renal artery was preset, and the sutured bundle diameter of the adjacent segment of the main stent was 40%.

图2 支架植入前的改造

Fig 2 Physician-modification of stent graft before implantation

1.2.3 分支血管选择 在支架准备的同时, 另一组手术医师预置导管于内脏分支血管, 通过术前规划的手术入路 (股动脉 / 上肢动脉), 置入 18-20F 血管长鞘 (美国 Gore 公司), 经其分别超选双侧肾动脉、肠系膜上动脉、腹腔干, 并留置导管于分支动脉内。

1.2.4 置入主动脉支架与分支支架 ①经股动脉入路将主动脉支架沿超硬导丝送入预定部位, 先释放至支架近心端首个预开窗节段, 调整支架开窗位置对应至相应的分支血管 (图 3A)。②导丝经对侧股动脉或上肢动脉进入主动脉支架, 通过预开窗位置对已释放出的各分支血管进行超选, 跟进长鞘, 退出预置导管 (图 3B), 继续释放主体支架至下一个预

开窗节段。③经长鞘将各分支支架置入靶血管, 抽出 V-18 束径导丝完全打开主动脉支架。④依次释放各分支支架, 造影确定主动脉支架无内漏, 各分支血管通畅 (图 3C)。

1.3 随访方法

术后 1、3、6、12 个月及之后每年行门诊随访并进行主动脉 CTA 检查, 评价主动脉支架有无内漏发生, 以及瘤腔 / 假腔大小和血栓化情况、各分支血管通畅情况。

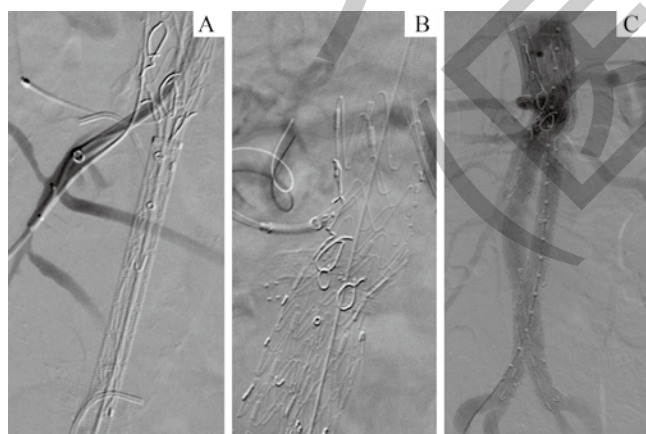
1.4 统计学分析

使用 SPSS 20.0 软件对数据进行统计分析, 定量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 定性资料用频数和百分比表示。

2 结果

2.1 一般资料及手术情况

13 例患者一般临床资料及病变情况见表 1, 平均年龄 (58.3 ± 14.1) 岁 (范围 28 ~ 77 岁), 男性占 84.6%; 其中 7 例患者诊断为腹主动脉瘤, 5 例患者诊断为夹层动脉瘤, 1 例患者诊断为降主动脉瘤; 其中 7 例患者表现为疼痛症状。所有患者均采用全身麻醉, 内脏动脉四开窗 5 例、三开窗 5 例、二开窗 0 例、单开窗 3 例。主动脉支架体外预开窗时间 (50.3 ± 9.5) min, 手术时间 (360.1 ± 75.5) min, 透视时间 (65.2 ± 20.7) min, 造影剂使用量 (160.3 ± 21.9) mL, 失血量 (191.2 ± 101.2) mL, 术后重症监护室停留时间 (1.61 ± 1.00) d, 总住院时间 (10.2 ± 1.6) d。13 例患者均采用 Ankura 覆膜支架 (中国先健公司) 作为主体支架; 重建



Note: A. Pre-select bilateral renal artery, superior mesenteric artery and celiac axis to intervene in catheter placement, and adjust the position of stent fenestration to corresponding branch vessels. B. Release the branch stent through the fenestration of the main stent. C. Angiography was performed to confirm that the main stent had no endoleak and that the blood vessel in each branch was open.

图3 术中超选、分支支架释放以及最终的造影图像

Fig 3 Intraoperative pre-selection, branch stent release and final angiographic imaging

的 38 支分支动脉中, 28 支使用 Viabahn 覆膜支架 (美国 Gore 公司), 3 支使用 Fluency 支架 (美国 Bard 公司), 3 支使用 Omnilink 裸支架 (美国 Abbott 公司), 4 支采用开槽方法重建未置入分支支架。

表 1 13 例患者的一般临床资料
Tab 1 General information of 13 patients

Characteristic	n (%)
Gender (male)	11 (84.6)
Pain	7 (53.8)
Smoking history	9 (69.2)
Comorbidity	
Hypertension	12 (92.3)
Diabetes	4 (30.7)
Hyperlipidemia	3 (23.1)
Renal insufficiency	2 (15.4)
Coronary heart disease	5 (38.5)
Marfan syndrome	1 (7.7)
Aortic surgery history	3 (23.1)
Dissecting aneurysm	5 (38.5)
Subacute	2 (15.4)
Chronic	3 (23.1)
Abdominal aortic aneurysm	7 (53.8)
Descending aortic aneurysm	1 (7.7)

2.2 围术期并发症发生情况

共重建 38 支内脏动脉, 技术成功率 94.7%。其中 1 名患者右肾动脉被主体支架覆盖, 使用平行支架技术重建右肾动脉; 1 例患者一期左肾动脉重建失败, 因其左肾动脉由假腔持续供血, 故选择二期行左肾动脉原位开窗重建术。7 例有疼痛症状患者术后疼痛症状均消失, 术后胸痛症状消失平均时间 (9.8 ± 6.5) d (范围 1 ~ 28 d)。所有患者术后无肾动脉缺血及肠缺血相关并发症发生。术后首次随访 CTA 见 1 例患者开窗位置内漏, 行弹簧圈栓塞术; 2 例患者 II 型内漏。1 例有胃溃疡病史患者术后 3 d 发生消化道出血, 考虑可能由手术应激引起, 其余患者无消化系统、泌尿系统、神经系统并发症。围术期死亡率为 0。

2.3 术后随访

平均随访时间 (7.3 ± 4.6) 个月 (范围 1 ~ 13 个月), 随访期间无患者死亡, 随访 CTA 显示各分支血管血流通畅 (图 4)。无靶器官受损相关症状出现。2 例 II 型内漏 1 例自行消失, 1 例持续存在, 但瘤腔大小无明显增大。1 例患者二期行左肾动脉原位开窗重建术, 余患者无再干预。随访过程中腹主动脉瘤及夹层动脉瘤未出现体积扩张。

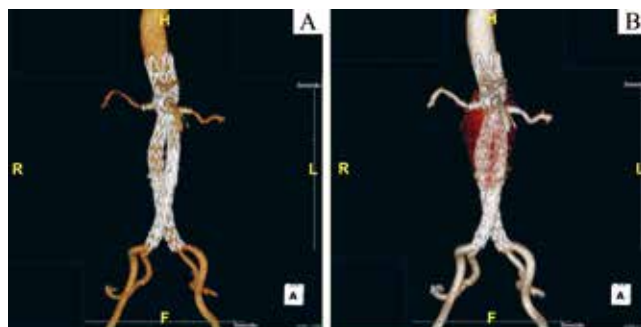


图 4 1 例复杂腹主动脉瘤患者行 3D 打印辅助 f/bEVAR 后随访 1 年时的 CTA 影像
Note: A. CTA showed patency of all branch stent. B. CTA showed that no endoleak occurred.

图 4 1 例复杂腹主动脉瘤患者行 3D 打印辅助 f/bEVAR 后随访 1 年时的 CTA 影像

Fig 4 CTA images of a case with complex abdominal aorta aneurysm 1 year after treatment of 3D printing-assisted f/bEVAR

3 讨论

腔内修复术相对于开放手术在微创性、并发症发生率等方面具有其优越性, 但是对于累及内脏分支主动脉疾病的治疗, 内脏动脉重建仍是目前的主要挑战^[3]。目前的治疗方法主要有开放手术、杂交去分支手术和腔内修复术。内脏分支血管的腔内重建主要有平行支架技术、分支支架技术和预开窗技术。平行支架技术不需要支架的定制和改装, 其手术时间相对较短, 技术相对简单。但是平行支架术后往往会在主体支架和分支支架间留有间隙, 这将增大术后 I 型内漏的发生率^[8], 而且需要较长的分支支架, 这将增大术后支架闭塞的概率。循证医学证据^[9]表明, 相对于平行支架技术, 虽然 f/bEVAR 术前准备时间较长, 但术后内漏发生率及靶血管通畅率均有显著的优势。我们在主体支架置入前先行超选各个分支血管并留置导管, 这为我们手术提供了必要的补救措施; 若分支血管无法通过预开窗位置重建, 还能通过预置导管行平行支架技术保证分支血流。在本文报道的病例中, 1 例患者术中右肾动脉被主体支架覆盖, 通过平行支架技术重建了右肾动脉, 在随访过程中未出现肾脏缺血相关并发症。对于商品化的定制分支支架, Dossabhoy 等^[6]研究表明定制支架和手术医师自制分支支架对复杂腹主动脉瘤的治疗结果没有显著差异, 但手术医师自制 f/bEVAR 技术术前准备时间较短, 无需等待支架定制, 更适合急诊手术。

f/bEVAR 技术目前应用较为广泛, 但在大样本量、长期随访的研究中仍有较高的并发症发生率和死亡率^[10-11]。这一技术的关键点就在于分支血管的准确定位。Crawford 等^[12]研究表明开窗位置与分支血管间的不匹配与患者远期死亡率密切相关。常规的 f/bEVAR 术前准备程序的难点在于病变严重扭曲的患者, 即使做了精确的术前影像学检

查,也难以准确定位分支血管的位置,还有就是这一技术需要医师丰富的经验,但即使在有经验的外科医师中,不同医师的决策可能导致开窗大小、位置和分支血管直径的变化,尤其是在解剖学条件复杂的患者中^[13]。

提高 f/bEVAR 手术成功率很重要的一点就是评估开窗位置,这就需要准确地判断支架在主动脉中的位置,特别是在严重扭曲的主动脉中。3D 打印技术被认为是制造技术领域的重大突破,其在临床和基础科学研究中的应用引起了医学界的广泛关注^[14]。在腹主动脉疾病中,3D 打印技术因为其直观以及符合患者解剖的优点,既往用来宏观地认识疾病以及进行 f/bEVAR 手术训练^[15]。本研究通过对患者术前解剖模型进行 3D 打印,应用透明的 3D 打印模型,能够在解剖学条件复杂的病变中确定开窗位置。尤其是在夹层动脉瘤的患者中,在支架植入后其内膜片会发生显著的移动,这将改变开窗位置与分支血管间的对应关系;若单纯采用影像学的方法,很难确定支架展开后的位置关系^[16]。Taher 等^[17]研究表明,使用 3D 打印模型规划开窗位置后,有近 20% 病例开窗位置相对于传统的规划方法发生改变,而这种改变可能对于改善开窗位置与分支动脉的不匹配有潜在的作用。既往基于 CTA 的 f/bEVAR 研究的 meta 分析^[18]显示,其分支血管重建技术成功率为 95%,与本研究相仿(94.7%)。既往基于 CTA 的 f/bEVAR 的分支血管通畅率为 97%^[18],而 3D 打印辅助

f/bEVAR 已报道的病例^[16]与本研究病例的分支血管支架通畅率为 100%,这可能与 3D 打印辅助技术对于开窗位置的确定更加准确有关,但还需要大样本量、长期随访的研究证实。此外,通过对主体支架束径分节段释放,可以提高分支血管对位准确性和成功率,因为该操作能够增大主体支架调整的角度和灵敏性,并且使分支血管在超选时导丝的支撑更强,提高分支血管超选的准确性和成功率。

但是,这一技术目前仍存在一些潜在的问题。一方面,主动脉会因柔顺度较差的支架输送系统而变形,从而影响开窗位置的准确性。Maurel 等^[19]评估了支架输送系统后分支动脉解剖结构移位的程度,发现平均血管口移位达 6 ~ 7 mm,这可能会造成对位以及导丝超选的困难。另一方面,腔内手术支架移植物的耐久程度也是目前的局限之一。近年的大样本量的随机对照试验显示腔内修复术的二次干预率显著高于开放手术^[20-21]。虽然本中心目前还未出现这类问题,但对这些问题预防仍是未来需要思考的方向。

3D 打印辅助 f/bEVAR 技术的手术创口小、手术准备时间短、分支定位准确、患者预后良好等特点在复杂性腹主动脉疾病中得到了展现;但是其有效性和安全性需要长期、大样本量的随访来证实。目前这一技术仍存在着一些亟需解决的问题,需要医学、材料学、计算机科学等多学科共同发展来不断完善。

参 · 考 · 文 · 献

- [1] Schermerhorn ML, O'Malley AJ, Jhaveri A, et al. Endovascular vs. open repair of abdominal aortic aneurysms in the medicare population[J]. *N Engl J Med*, 2008, 358(5): 464-474.
- [2] Park JH, Chung JW, Choo IW, et al. Fenestrated stent-grafts for preserving visceral arterial branches in the treatment of abdominal aortic aneurysms: preliminary experience[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 1996, 7(6): 819-823.
- [3] O'Donnell TFX, Boitano LT, Deery SE, et al. Open versus fenestrated endovascular repair of complex abdominal aortic aneurysms[J]. *Ann Surg*, 2020, 271(5): 969-977.
- [4] Jones AD, Waduud MA, Walker P, et al. Meta-analysis of fenestrated endovascular aneurysm repair versus open surgical repair of juxtarenal abdominal aortic aneurysms over the last 10 years[J]. *BJS Open*, 2019, 3(5): 572-584.
- [5] Cross J, Gurusamy K, Gadhvi V, et al. Fenestrated endovascular aneurysm repair[J]. *Br J Surg*, 2012, 99(2): 152-159.
- [6] Dossabhoy SS, Simons JP, Flahive JM, et al. Fenestrated endovascular aortic aneurysm repair using physician-modified endovascular grafts versus company-manufactured devices[J]. *J Vasc Surg*, 2018, 67(6): 1673-1683.
- [7] Mitsuoka H, Terai Y, Miyano Y, et al. Preoperative planning for physician-modified endografts using a three-dimensional printer[J]. *Ann Vasc Dis*, 2019, 12(3): 334-339.
- [8] Mestres G, Yugueros X, Apodaka A, et al. The best *in vitro* conditions for two and three parallel stenting during endovascular aneurysm repair[J]. *J Vasc Surg*, 2017, 66(4): 1227-1235.
- [9] Li Y, Hu ZZ, Bai CJ, et al. Fenestrated and chimney technique for juxtarenal aortic aneurysm: a systematic review and pooled data analysis[J]. *Sci Rep*, 2016, 6: 20497.
- [10] Gallitto E, Gargiulo M, Freyrie A, et al. Endovascular repair of thoracoabdominal aortic aneurysm in high-surgical risk patients: fenestrated and branched endografts[J]. *Ann Vasc Surg*, 2017, 40: 170-177.
- [11] Ultee KHJ, Zettervall SL, Soden PA, et al. Perioperative outcome of endovascular repair for complex abdominal aortic aneurysms[J]. *J Vasc Surg*, 2017, 65(6): 1567-1575.
- [12] Crawford SA, Osman E, Doyle MG, et al. Impact of fenestrated stent graft misalignment on patient outcomes[J]. *J Vasc Surg*, 2019, 70(4): 1056-1064.
- [13] Starnes BW. Three-dimensional printed templates to guide fenestrated endovascular aneurysm repair are not as straightforward as they appear[J]. *J Vasc Surg Cases Innov Tech*, 2020, 6(1): 104-105.
- [14] AlAli AB, Griffin MF, Butler PE. Three-dimensional printing surgical applications[J]. *Eplasty*, 2015, 15: e37.
- [15] Bortman J, Mahmood F, Schermerhorn M, et al. Use of 3-dimensional printing to create patient-specific abdominal aortic aneurysm models for preoperative planning[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2019, 33(5): 1442-1446.
- [16] Tong YH, Yu T, Zhou MJ, et al. Use of 3D printing to guide creation of fenestrations in physician-modified stent-grafts for treatment of thoracoabdominal aortic disease[J]. *J Endovasc Ther*, 2020, 27(3): 385-393.
- [17] Taher F, Falkensammer J, Assadian A. Case rehearsal in 3D aortic models using prototypes of the Fenestrated Anaconda™ Custom AAA Stent Graft System[J]. *Endovascular Today*, 2016, 4:9-11.
- [18] Caradu C, Berard X, Sassoust G, et al. Chimney versus fenestrated endovascular aortic repair for juxta-renal aneurysms[J]. *J Cardiovasc Surg (Torino)*, 2018, 59(4): 600-610.
- [19] Maurel B, Hertault A, Gonzalez TM, et al. Evaluation of visceral artery displacement by endograft delivery system insertion[J]. *J Endovasc Ther*, 2014, 21(2): 339-347.
- [20] Patel R, Sweeting MJ, Powell JT, et al. Endovascular versus open repair of abdominal aortic aneurysm in 15-years' follow-up of the UK endovascular aneurysm repair trial 1 (EVAR trial 1): a randomised controlled trial[J]. *Lancet*, 2016, 388(10058): 2366-2374.
- [21] Lederle FA, Kyriakides TC, Stroupe KT, et al. Open versus endovascular repair of abdominal aortic aneurysm[J]. *N Engl J Med*, 2019, 380(22): 2126-2135.

[收稿日期] 2020-07-05

[本文编辑] 瞿麟平

