

# 快速成型技术在 Stanford A 型主动脉夹层治疗中的应用

杨 迅,严中亚,申运华

**摘要** 探讨快速成型技术在 Stanford A 型主动脉夹层治疗中应用的可行性。对 5 例 Stanford A 型主动脉夹层患者行主动脉 CTA 扫描,通过 MIMICS 16.0 软件进行三维重建,快速成型制作出与实体 1:1 大小的主动脉夹层模型,根据模型充分了解患者主动脉病变情况,为主动脉夹层患者制定“个体化”的治疗方案,并在模型上模拟手术,在实际操作中取得了较好的手术效果,患者术后无任何并发症,均痊愈出院。快速成型模型使 Stanford A 型患者的术前准备更充分,能够提高主动脉夹层手术效率与精准度,并在腔内治疗中指导支架近端的精准锚定。

**关键词** 主动脉;动脉瘤;夹层;主动脉疾病;3D 打印;快速成型技术

**中图分类号** R 654.2

**文献标志码** A **文章编号** 1000-1492(2016)05-0748-04

近年来,主动脉夹层(aortic dissection, AD)的发病率呈爆发式增长,AD 起病急骤,进展迅速,临床表现复杂,是国际上公认的“灾难性疾病”<sup>[1]</sup>。由于主动脉解剖形态多变,分支血管众多,疾病本身亦存在复杂性因素,因此治疗上存在诸多困难<sup>[2]</sup>。对最为危重的 Stanford A 型主动脉夹层来说,其病变范围广,目前唯一有效的方法仍是手术治疗,其手术方案的选择十分依赖于主动脉夹层的解剖学形态。通过快速成型技术能够精准复制主动脉夹层,可直视下全方位、各角度了解病变的解剖学特点。该研究在 5 例 Stanford A 型主动脉夹层患者中应用快速成型技术于术前制备主动脉弓模型,辅助其治疗,临床效果良好。

## 1 材料与方法

### 1.1 病例资料 5 例 Stanford A 型主动脉夹层患

2016-01-18 接收

基金项目:安徽省科技攻关项目(编号:1301042198)

作者单位:安徽医科大学附属省立医院心脏外科,合肥 230001

作者简介:杨 迅,男,硕士研究生;

严中亚,男,教授,主任医师,硕士生导师,责任作者,E-

mail: yan20047@163.com

者,男 3 例,女 2 例;年龄 32~51(45±7.7)岁,4 例因“突发胸背部疼痛”入院,均合并高血压,1 例因“心慌胸闷十年”入院。全组行 64 排 CT 血管造影(CTA)。诊断为主动脉夹层 A 型。4 例合并高血压,心脏彩超示该组患者均合并中、重度主动脉瓣关闭不全。

**1.2 主动脉夹层患者三维模型的建立及打印** 将 CTA 数据保存为 DICOM 格式,导入医学三维图像处理软件 MIMICS 16.0,设置灰度阈值,区分出各组织,通过软件自带编辑工具分割出主动脉,进行主动脉三维重建,提取范围从升主动脉到双侧股动脉,模型表面光滑修饰。通过上述方法分别三维重建出真腔、假腔。然后利用 Boolean 运算,以主动脉模型减去真腔及假腔模型,就得到了中空的主动脉夹层模型,进行模型表面修饰后,主动脉壁加厚至 1.5 mm,就得到了中空的主动脉夹层模型,以 STL 格式导出模型。将三维重建出的主动脉夹层模型导入到快速成型机(SL600,吴江中瑞机电科技有限公司)中,采用熔融沉积技术,在一定的参数下,对 ABS 粉末(一种热塑性工程塑料)进行烧结成型,制作出与实体 1:1 大小的主动脉夹层三维模型。

**1.3 模型评估** 3D 模型辅助评估要点:① 观察主动脉形态及夹层累及范围,模型上直接测量所需数据,结合 CTA 及超声心动图,制定合适手术方案;② 在模型直接测得主动脉直径、长度,选择合适人工血管,分别测量头臂干,左颈总动脉,左锁骨下动脉直径,头臂干与左颈总动脉间距,左颈总动脉与左锁骨下动脉间距,准备相匹配的弓内覆膜支架;③ 主体支架入路选择,股动脉粗细程度,夹层累及程度,支架能否顺利进入;④ 确定支架近端释放位置支架能否顺利展开,是否影响主动脉分支血管,如肾动脉、腹腔干等血管血供。评估方式:全方位观察及测量主动脉及夹层的解剖形态,就模型与北京裕恒佳工程师共同分析,个体化定做合适支架,明确使用支架类型、长短。达到个体化治疗主动脉夹层的目的。

**1.4 手术方法** 术前根据模型个体化评估患者主

动脉解剖特点,术中逐步完成术前制定手术步骤,5例患者手术均分两期完成,一期手术(图1B、1C)行开胸治疗。首先根据主动脉窦部扩张及主动脉瓣情况决定行 Bentall 术、David 术或 Wheat 术等。将术前根据模型准备的单分支覆膜支架植入主动脉弓内。分别向左颈总动脉、无名动脉内置入覆膜小支架并固定,在腔内支撑血管的相应位置开两圆孔,与覆膜小支架开口行端侧吻合。单分支覆膜支架近端与已吻合于主动脉根部的直人工血管行端端吻合。二期(图2B、2C)行腹主动脉腔内隔绝术,术前准备合适支架,在 DSA 下经股动脉植入支架隔绝主动脉内膜破口。

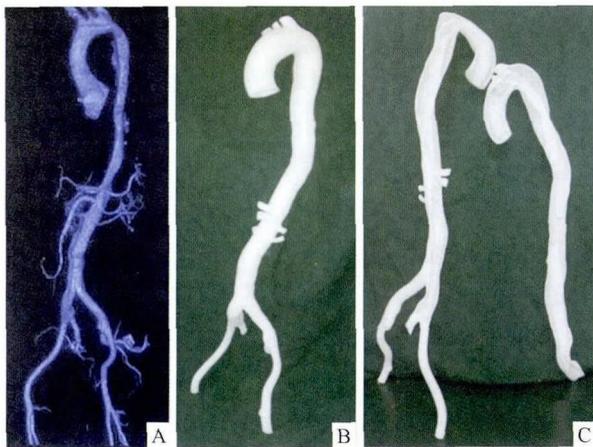


图1 术前快速成型模型

A:患者术前VR成像,无法显示血管内部破口;B:根据术前CTA图像快速成型制作的与实体1:1大小模型,可以显示主动脉解剖形态,测量分支血管在主动脉开口处直径、相互之间的距离;C:模型内部结构,可以看到主动脉内部解剖形态

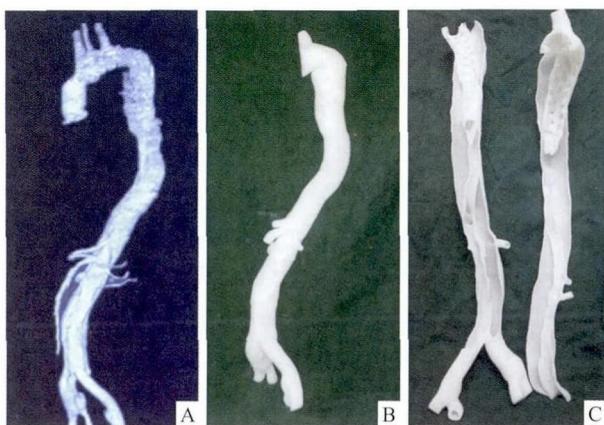


图2 第二次术前快速成型模型

A:第二次术前VR成型;B:根据第二次术前CTA图像快速成型制作与实体1:1大小的模型;C:模型内部结构,可以清楚看到主动脉腔内解剖形态,破口位置

## 2 结果

**2.1 快速成型模型** 模型能够精准显示主动脉的扭曲方向、扭曲程度以及主动脉直径,主动脉弓上三支血管,肾动脉、腹腔干、肠系膜动脉等分支血管在主动脉开口处直径、空间位置以及相互之间的距离。为了能清楚的观察到主动脉内部,将主动脉沿纵轴切成了两半,可以清楚的看到主动脉内部夹层真假腔间的关系、真假腔大小、夹层破口位置、破口大小、破口与主动脉分支血管之间的位置关系(图3)。

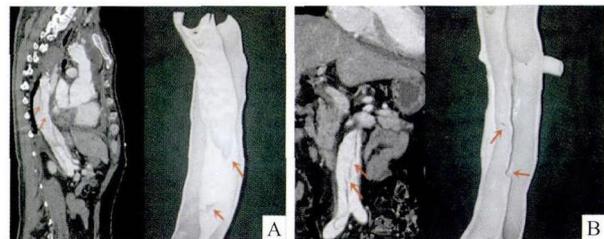


图3 模型细节

A:纵轴左边;B:纵轴右边;箭头所指处为主动脉夹层破口

**2.2 手术结果** 一期开胸手术中动脉插管4例为头臂干,1例为右腋动脉,插管顺利,心肺转流满意。主动脉切口选择沿升主动脉中线纵行切开至无名动脉开口1.4~2 cm处,主动脉内部暴露充分。对4例患者行 Bentall 术,1例行 David 术。术前准备术中支架弓内释放顺利,与血管壁贴合满意,未对弓上三分支血流造成影响。手术均顺利完成,平均体外循环时间( $170.6 \pm 19.2$ ) min,心肌阻断时间( $95.0 \pm 9.4$ ) min,停循环时间( $33.4 \pm 8.7$ ) min。术后24 h引流量( $564.0 \pm 175.2$ ) ml。二期腔内治疗中选择透膜支架,3例入路选择右侧股动脉,1例选择左侧股动脉,1例双侧股动脉均较细,经右侧髂外动脉插管,切口位置稍靠上有效缩短切口。术前准备腔内治疗主体支架均顺利输送。支架贴合满意,近端均无内漏。透膜支架覆盖腹腔干,肠系膜动脉,肾动脉等分支血管,但对各分支血管血供无明显影响。隔绝术后造影显示:近端支架锚定充分,各破口隔绝成功,假腔内血流流速较术前明显减慢,真腔较术前明显增大,仅少许血流通过支架透膜进入假腔,真腔明显扩大,患者术后无任何并发症,均痊愈出院。术后2个月复查CTA显示,升主动脉人工血管血流通畅,假腔内血栓形成,各器官血供正常,未出现功能

衰竭(图4)。

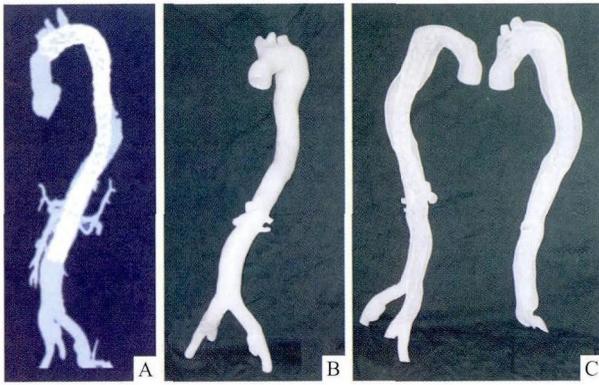


图4 两次术后快速成型模型

A:术后2个月复查CTA三维重建;B:根据复查CTA图片快速成型制作与实体1:1大小的模型;C:重建模型内部解剖

### 3 讨论

主动脉的发育和解剖部位有独特性。行经胸腹并深埋于各组织脏器之间,分支血管众多且多为重要组织、脏器供血,为手术高风险区域。当发生主动脉夹层时,主动脉走形又常发生变化,为其治疗增加了难度。对于复杂解剖或者存在变异的主动脉夹层,CT扫描三维重建成像很难有效呈现其复杂的解剖情况<sup>[3]</sup>。同时,CT重建模型由影像科医师完成,缺乏与外科医师交流,并且发送到外科医师手中的重建影像仍属二维信息,无法满足外科医师对主动脉全方位观察分析的需求,外科医师可能会得出片面的结论,直接影响主动脉夹层的诊断及治疗方案的选择,进而影响患者预后。

快速成型技术也称3D打印技术,是近年来兴起的一种新型数字化成型技术,已广泛应用于骨科<sup>[4]</sup>、口腔颌面外科<sup>[5]</sup>以及血管外科<sup>[6]</sup>。可用于制备生物医用材料、建立器官模型以及构造组织工程支架<sup>[7-9]</sup>,甚至可用于制备人体组织及活体器官<sup>[10-11]</sup>。前期研究<sup>[12]</sup>证实可通过快速成型技术制备与人体主动脉解剖结构基本一致的主动脉模型,极大提高对主动脉夹层空间解剖结构的理解,术中可将快速成型模型与实际主动脉的解剖结构进行对比,两者基本一致。由手术医师在模型直接测量手术需要的每一个相关数据,从而制定更加个体化、精准化的手术方案。同时也可以将打印出的模型展示给患者及家属,直观的告知家属患者病情的特殊性,及手术如何进行,增加患者及家属对病情和手术的

理解程度,增强患者对手术的信心。

对standford A型主动脉夹层的治疗有多种术式<sup>[13-14]</sup>,无论采用哪种术式治疗主动脉夹层,都十分依赖于主动脉夹层的解剖学形态。本研究用MIMICS 16.0软件对主动脉夹层患者的CTA图像进行三维重建,快速成型制备与实体主动脉夹层1:1大小的主动脉夹层模型。与传统胸腹主动脉置换术相比,可提前在三维模型模拟手术,明确手术步骤,减少吻合口及不必要的手术操作,从而缩短手术时间,减少术中用血以及降低并发症和病死率。而在腔内治疗中对支架长短、内径及近端锚定区的选择均有特殊要求。有了三维立体模型,术者可以在模型上寻找最佳的锚定区域,选择合适的支架型号,甚至可以个体化制作适用于患者的支架,减少支架数量,减轻患者负担,在正式实施手术时会更加得心应手,减少造影剂使用剂量及造影时间,降低支架放置失败的几率。在本组患者的治疗中,通过术前对快速成型模型的分析,确定了手术步骤,使得术前准备更充分,提高了主动脉夹层手术效率与精准度,并能在腔内治疗中指导了支架近端的精准锚定,取得了良好的疗效,证明了快速成型技术辅助Standford A型主动脉夹层诊治是可行的。这与Biglino et al<sup>[15]</sup>的研究持共同观点。但本组患者所选病例少,随访时间短,仍属初步尝试,存在一定局限性。

通过MIMICS 16.0软件进行三维重建,是基于CT扫描图像完成,受限于CT图像精度,且主动脉直径随血流动力学变化在不断变化,CT图像只能记录某一时刻直径,基于CT图像建模打印出来的模型只能反映这一时刻主动脉直径。受限于快速成型机性能以及打印材料特性,打印后模型容易塌陷变形,所以打印时将模型血管厚度增加到1.5mm,成型良好。获得的模型也有较高的平滑性和精度,和术中的解剖部位获得精准对比,但造成了模型与实体血管壁厚度的差异。

综上所述,对主动脉夹层尤其是合并畸形的主动脉夹层的治疗应该强调个体化原则。快速成型技术将过去“凭空想象”的主动脉夹层结构转变为“唾手可得”的直观实物,在主动脉夹层诊断、评估、手术方案的设计等方面始终贯穿个体化的原则和思想,为主动脉夹层的治疗提供了新思路。

### 参考文献

[1] Conzelmann L O, Weigang E, Mehlhorn U, et al. Mortality in pa-

- tients with acute aortic dissection type A: analysis of pre- and intra-operative risk factors from the German Registry for Acute Aortic Dissection Type A (GERAADA) [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2015,48(4):1-9.
- [2] Malkawi A H, Hinchliffe R J, Yates M, et al. Morphology of aortic arch pathology: implications for endovascular repair[J]. *J Endovasc Ther*, 2010,17(4):474-9.
- [3] 王利伟,殷信道,王绍娟,等. 多层螺旋 CT 三维重建技术诊断急性主动脉夹层的价值[J]. *实用放射学杂志*, 2012, 28(6): 856-9.
- [4] Fedorovich N E, Alblas J, Hennink W E, et al. Organ printing: the future of bone regeneration? [J]. *Trends Biotechnol*, 2011, 29(12):601-6.
- [5] Mazzoni S, Marchetti C, Sgarzani R, et al. Prosthetically guided maxillofacial surgery: evaluation of the accuracy of a surgical guide and custom-made bone plate in oncology patients after mandibular reconstruction[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2013,131(6):1376-85.
- [6] You J H, Kang S G, Kim B M. A novel measurement technique for the design of fenestrated stent grafts: comparison with three-dimensional aorta models[J]. *Exp Clin Cardiol*, 2013, 18(1):48-52.
- [7] Zopf D A, Hollister S J, Nelson M E, et al. Bioresorbable airway splint created with a three-dimensional printer[J]. *N Engl J Med*, 2013,368(21):2043-5.
- [8] Visconti R P, Kasyanov V, Gentile C, et al. Towards organ printing: engineering an intra-organ branched vascular tree[J]. *Expert Opin Biol Ther*, 2010,10(3):409-20.
- [9] Gaetani R, Doevendans P A, Metz C H G, et al. Cardiac tissue engineering using tissue printing technology and human cardiac progenitor cells[J]. *Biomaterials*, 2012,33(6):1782-90.
- [10] Derby B. Printing and prototyping of tissues and scaffolds[J]. *Science*, 2012,338(6109):921-6.
- [11] Murphy S V, Atala A. 3D bioprinting of tissues and organs[J]. *Nat Biotechnol*, 2014,32(8):773-85.
- [12] 陈鹏飞,严中亚,申运华,等. 快速成型技术制备仿生主动脉弓模型的研究[J]. *中华实验外科杂志*, 2015, 32(2): 269-70.
- [13] Yan Z Y, Shen Y H, Yan G, et al. A combined branched stent grafting technique to reconstruct total aortic arch in the treatment of Stanford A aortic dissection[J]. *Ann Thorac Surg*, 2013, 96(5): 1888-90.
- [14] 王晓天,胡何节,邓福生,等. 腔内隔绝术在胸主动脉夹层及主动脉瘤中的应用[J]. *安徽医科大学学报*, 2013,48(9):1127-9.
- [15] Biglino G, Verschuere P, Zegels R, et al. Rapid prototyping compliant arterial phantoms for *in vitro* studies and device testing [J]. *J Cardiovasc Magn Reson*, 2013,15(2):1-7.

## Application of rapid proto-typing technology in the treatment of Stanford type a aortic dissection

Yang Xun, Yan Zhongya, Shen Yunhua

(Dept of Cardiac Surgery, Anhui Provincial Hospital Affiliated to Anhui Medical University, Hefei 230001)

**Abstract** To explore the feasibility of rapid proto-typing (RP) technology in the treatment of Stanford type A aortic dissection. 5 patients with Stanford type A aortic dissection received computed tomography angiography (CTA) of their aortas. The CTA images were then processed by 3D reconstruction with MIMICS16.0 in order to create aortic dissection models through RP technology based on real patient aorta size with a ratio of 1:1. According to these models, the surgeons were able to fully understand the aortic diseases of patients, thus establish individualized treatment strategies for each patient. Besides, the surgeons simulated operations on the models, which helped them achieve better results in real surgery. These patients experienced no post-operative complications and were discharged from hospital with recovery. In conclusion, RP technology can provide adequate preoperative preparations for patients with Stanford type A aortic dissection, improve operation efficiency and accuracy in aortic dissection and guide precise proximal anchoring of stents during intracavitary therapy.

**Key words** aorta; aneurysm; dissection; aortic diseases; 3D printing; rapid prototyping technology