

3D 打印在复杂主动脉疾病个体化腔内治疗中的应用价值

马磊, 刘纯, 郭小梅, 潘友民, 郑智

【摘要】 目的:探讨 3D 打印技术在复杂主动脉疾病个体化腔内治疗中的应用价值。**方法:**搜集 3 例复杂主动脉病变,包括病变邻近主动脉弓远端的 Stanford B 型主动脉夹层(病例 1),病变累及升主动脉但原发破口位于降主动脉的逆撕 Stanford A 型主动脉夹层(病例 2)和解剖迂曲的肾动脉下型腹主动脉瘤(病例 3)。通过 3D 打印模型制定个体化腔内治疗方案。**结果:**根据 3D 打印模型制定个体化手术方案,病例 1 行左锁骨下动脉+左颈总动脉开窗,病例 2 行单纯腔内修复,病例 3 行腔内隔绝术;3 例患者术中造影均显示无内漏,开窗血管血流通畅,无支架移位、截瘫、神经系统并发症发生。术后随访 1 年,3 例均无内漏,假腔或瘤体血栓机化,无主动脉相关事件发生。**结论:**3D 打印技术有助于复杂主动脉疾病最优化、个体化腔内治疗方案的制定,临床应用前景广泛。

【关键词】 3D 打印; 体层摄影术, X 线计算机; 腔内治疗; 主动脉; 主动脉疾病; 支架

【中图分类号】 R543.1; R459.9 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2018)09-0903-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2018.09.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The application of 3D printing in individualized strategy for endovascular aortic repair in complex aortic diseases MA Lei, LIU Chun, GUO Xiao-mei, et al. Department of Gastrointestinal surgery, the Central Hospital of Wuhan, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430000, China

【Abstract】 Objective: To explore the value of 3D printing in the treatment of complex aortic disease using individualized endovascular aortic repair (EVAR). **Methods:** Three cases with complex aortic diseases were collected; case 1 was a Stanford B aortic dissection with the primary tear adjacent to the distal aortic arch; case 2 was a retrograde type A aortic dissection (RTAD) involving the ascending aorta with the primary tear in the descending aorta, and case 3 was an Infrarenal Abdominal Aortic Aneurysm (IAAA) with sharp angled short neck. Individualized endovascular repair strategy was established with the help of 3D printing model. **Results:** The individualized endovascular repair strategy was: case 1 underwent fenestration for left subclavian artery (LSA) and left common carotid artery (LCCA); simple endovascular repair was performed on case 2; and endovascular graft exclusion (EVGE) was carried out on case 3. All 3 patients showed no inner leakage unobstructed blood flow in the fenestration vessels, no displacement of stent during operation angiography. Also there was no paraplegia and complications of nervous system. There were no internal leakage, pseudocavity or tumor thrombosis, and aorta-related events occurred in all 3 patients on one year follow-up. **Conclusion:** 3D printing is helpful for the formulation of treatment plans of optimized and individualized EVAR for complex aortic diseases with broad clinical application prospects.

【Key words】 Three dimensional printed; Tomography, X-ray computed; Endovascular repair, Aortic; Aortic disease; Stent

3D 打印技术主要是以 CT 或 MRI 扫描获得的数

据或计算机技术辅助设计的数字模型文件为基础,运用各种可粘合材料,通过逐层打印的方式来构造物体的技术。3D 打印技术目前已经广泛应用于包括骨科、颅面、颌面外科等在内的临床医学方面,但在心血管外科方面的应用较少^[1]。既往 3D 打印技术应用前,我们主要通过胸腹主动脉血管成像(computed tomo-

作者单位: 430000 武汉,华中科技大学同济医学院附属武汉中心医院胃肠痔瘘外科(马磊); 430030 武汉,华中科技大学同济医学院附属同济医院心脏大血管外科(刘纯、郭小梅、潘友民、郑智)

作者简介: 马磊(1985—),男,乌鲁木齐人,硕士,住院医师,主要从事血管腔内治疗工作。

通讯作者: 郑智, E-mail: 764696533@qq.com

基金项目: 国家自然科学基金项目(81270353)

graphy angiography, CTA) 和术中造影情况来制定腔内修复术(endovascular aortic repair, EVAR) 的手术方案, 但对于复杂主动脉病变的患者, 腔内治疗存在一定难度, 仍存在较高的并发症发生率^[2]。国内外最新研究显示, 借助 3D 打印技术能更好地理解疾病的解剖定位及模拟手术过程^[3,4]。笔者尝试将 3D 打印技术应用于复杂主动脉病变的腔内修复, 探讨 3D 打印技术在指导主动脉疾病个体化腔内治疗中的应用价值。

材料与方法

1. 病例资料

搜集 3 例复杂主动脉病变患者, 其中包括 1 例病变邻近主动脉弓远端的 Stanford B 型主动脉夹层, 1 例累及升主动脉但原发破口位于降主动脉的逆撕 Stanford A 型主动脉夹层, 1 例解剖迂曲的肾动脉下型腹主动脉瘤。

3 例患者均通过 CTA 明确诊断为主动脉夹层。病例 1, 女, 53 岁, 因胸背部疼痛 3 天入院, CTA 示升主动脉周围低密度壁间血肿, 破口位于左锁骨下动脉远端侧壁, 大小为 6.4 mm, 近端破口距左颈总动脉远侧壁约 12.9 mm, 近侧壁 20.5 mm, 胸腹主动脉全程及左侧髂动脉可见双腔结构, 并可见多发破口, 腹腔干、肠系膜上动脉、右肾动脉有真腔供血, 左肾由双腔供血; CTA 结果显示近端锚定区不足。病例 2, 男, 64 岁, 因突发胸痛 7 h 入院, CTA 示升主动脉及降主动脉可见双腔结构, 范围至肠系膜上动脉水平, 头臂干近段受累, 假腔内血栓形成, 右颈总动脉近段受累, 左颈总动脉及左锁骨下动脉未累及, 腹腔干肠系膜上动脉由双腔供血; 破口位于降主动脉, 升主动脉为逆撕累及。病例 3, 男, 46 岁, 因突发上腹痛 2 天入院, CTA 示腹主动脉末段可见瘤样膨大, 最大截面大小约为 9.2 cm×5.5 cm×5.6 cm, 腹腔干、肠系膜上动脉及双侧肾动脉起始走行分支显示未见异常。

2. 3D 打印模型

采用 Philips 256 排 CT 采集 CTA 图像, 扫描范围为主动脉弓以上水平至耻骨联合水平以下的双侧股动脉, 扫描层厚为 5 mm, 重建层厚为 0.625 mm, 根据体重计算对比剂(优维显)用量, 注射流率为 3 mL/s, 扫描数据以 DICOM 格式传送。用基于阈值的图像分割方法对血管图像进行提取, 获取的血管图像及其源数据通过 Mimics20.0 三维重建软件进行后处理。根据主动脉弓上的左锁骨下动脉(left subclavian artery, LSA)和左侧颈总动脉(left common carotid artery, LCCA)的空间位置及病理层病变位置, 去除所述主动脉夹层图像周围的干扰图像数据, 确定所述主动脉夹

层待打印图像数据; 将所述主动脉夹层的待打印图像数据的空间位置进行连接, 获取主动脉夹层的三维图像数据, 保存为三维图像文件 STL 格式, 导入至 Magics 13.0 打印机软件, 选取白色光敏树脂、彩色光敏树脂进行实物模型打印。

通过 3D 打印技术评估以下情况: ①主动脉夹层破口位置及其与主动脉弓上分支血管的关系; ②主动脉弓上分支的三维毗邻关系; ③模拟导丝从股动脉通过真腔进入到升主动脉的过程; ④模拟释放支架后, 支架形态与主动脉壁的关系; ⑤腹主动脉瘤与肾动脉的距离, 瘤颈成角及与髂动脉的关系。通过体外模拟支架释放过程制定个体化治疗方案。

结果

1. 个体化手术方案制定

根据 3D 打印模型制定个体化手术方案如下: 1 例行左锁骨下动脉+左颈总动脉开窗(图 1), 1 例累及升主动脉但原发破口位于降主动脉的逆撕 Stanford A 型主动脉夹层行单纯腔内修复(图 2), 1 例解剖迂曲的肾动脉下型腹主动脉瘤成功行腔内隔绝术(图 3)。

手术在杂交手术室进行。患者取平卧位, 全麻后常规消毒双侧腹股沟区皮肤, 铺无菌单, 经腹股沟小切口游离股动脉, 穿刺置入造影导管在数字减影血管造影条件下行主动脉造影, 判断主动脉病变位置, 与术前 3D 打印模型进行对比(图 1b), 进一步确定术前根据 3D 打印所制定的方案, 选择需开窗的血管, 测量开窗动脉直径及其与待锚定区距离, 测量待锚定区动脉直径, 选择直径大于锚定区 15%~20% 的覆膜支架。体外部分释放支架, 根据术前模拟的情况, 用电灼笔在覆膜支架上烧开需要直径宽度的开口, 再将开窗支架重新装回内鞘备用。对于破口位于降主动脉的病例 2(图 2b), 根据 3D 打印模型准确定位, 成功进行腔内治疗。对于瘤颈短且扭曲的动脉瘤病例 3(图 3b), 根据 3D 打印模型可以准确定位及制定支架置入方案, 实体测量瘤颈及瘤体的长度和角度, 确定锚定区的位置, 成功指导腔内治疗。然后置入超硬导丝, 将覆膜支架导入系统沿导丝经股动脉导入主动脉弓锚定区位置, 控制收缩压 ≤ 100 mmHg, 心率 ≤ 80 次/min, 透视下释放支架。支架置入后须再次行主动脉造影, 以评估治疗效果。

2. 围手术期情况

3 例患者术中造影均显示无内漏(图 3c), 开窗血管血流通畅。无支架移位、截瘫、神经系统并发症发生。

3. 随访结果

随访 3、6、12 个月, 2 例夹层患者症状消失, 复查

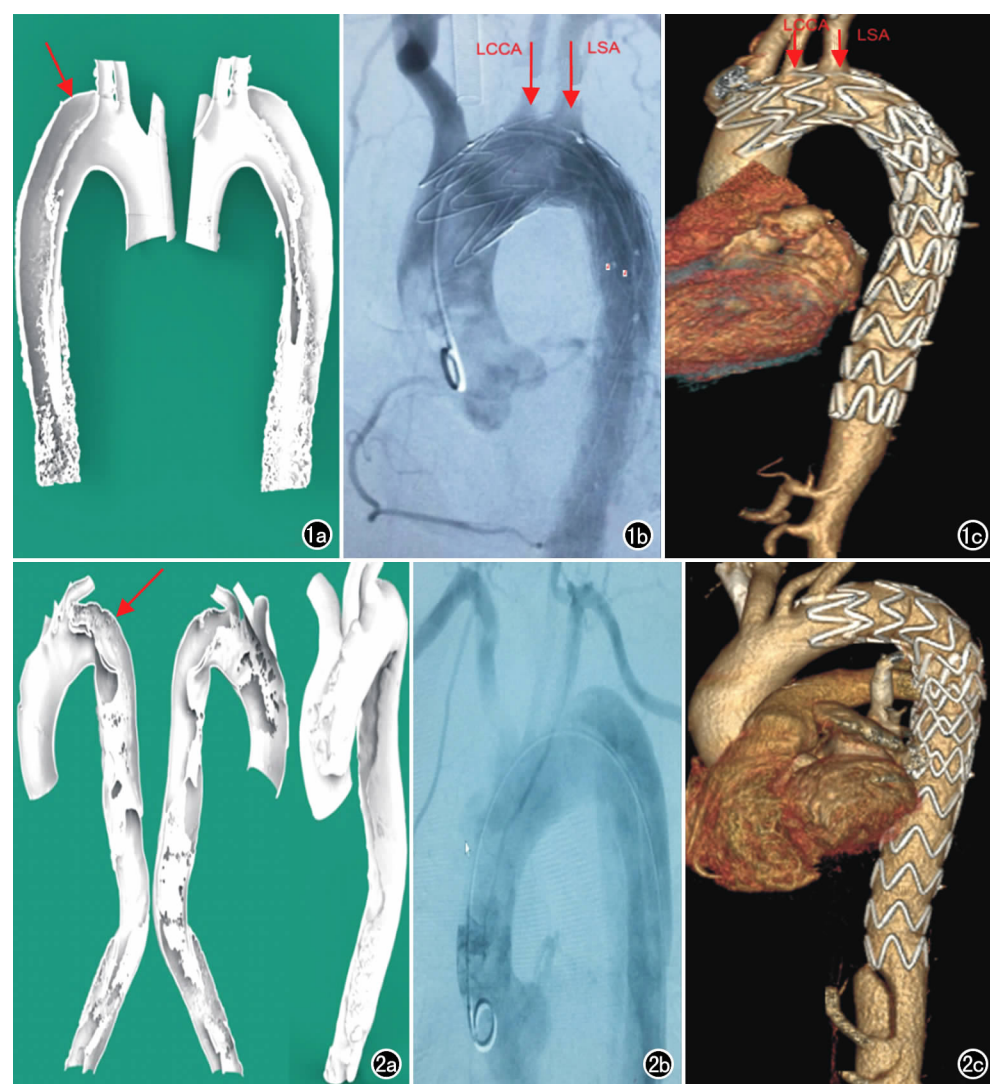


图 1 病例 1。a) 术前主动脉的 3D 打印模型图, 箭头所指为夹层撕裂的假腔; b) 术中造影图, 箭头所指为支架覆盖 LSA 及 LCCA; c) 术后复查 CTA 重建图像, 箭头所指为支架覆盖 LSA 及 LCCA。图 2 病例 2。a) 术前主动脉 3D 打印模型图, 箭头所指为夹层撕裂的血管; b) 术中造影图; c) 术后复查 CTA 图像。

CTA 显示无内漏, 升主动脉无逆撕, 开窗血管通畅, 假腔血栓化, 无支架移位及支架远端进展等情况(图 1c、2c)。病例 3 复查 CTA 显示腹主动脉瘤血栓化, 无内漏, 腹腔分支血管显影正常(图 3d)。

讨论

3D 打印技术是近年来一种新兴的制造技术, 可通过计算机辅助设计读取数据, 经过数据转换一层一层地自动建造三维物体^[1]。3D 打印在形态学方面有很好的展现能力, 目前已经在骨科、口腔科等医学领域有广泛的应用, 但在主动脉领域的应用还处于起步阶段, 主要应用于瘤颈解剖复杂的腹主动脉瘤的 EVAR 手术评估, 在主动脉夹层方面的研究很少^[5]。

既往复杂的 B 型主动脉夹层, 可以通过烟囱技术、开窗技术、分支支架技术等实现腔内治疗, 既往传

统手术方式的并发症主要为内漏、支架移位、影响脑部等器官血供、逆撕为 A 型夹层等^[3,6]。其发生原因主要包括: ①烟囱支架与大支架之间有缝隙造成内漏, 烟囱支架与大支架之间重叠距离不够等; ②预开窗位置不准确, 包括对位和对线不准, 直接封闭或大部分影响分支血管血流; ③近端锚定区过短; ④支架 Oversize 选择不够或过多。传统手术方式的操作过程中存在以下难点: ①准确定位, 包括锚定位置的远近及冠状前后位, 定位不准可能导致侧枝血管封闭或供血不足, 导致重要脏器功能受损或死亡^[7]。对于开窗技术中的预开窗或术中原位开窗的位置的选定, 以及术前的手术演示判断术中开窗位置和方式, 以保证分支血管的血供。②锚定区不足, 对于锚定区的准确测量直接决定是否

能顺利植入支架。③对于烟囱支架与大支架的重叠长度的判断和相对位置关系的选择, 以及大支架 Oversize 大小的选择均需要对患者主动脉弓部和病变解剖学特点进行准确分析^[8]。以上均可以通过 3D 打印技术进行准确分析和术前演练来进行避免或优化^[9,10]。

本研究中, 病例 1 应用 3D 打印技术建立模型, 可视化测量病变范围及与头臂干血管的关系, 体外准确定位预开窗及预释放, 体外演练达到支架对位对线精准, 准确测量锚定区及支架 Oversize 的选择, 避免了上述不良反应的发生。

对于破口位于降主动脉的 A 型主动脉夹层如病例 2, 传统治疗方法多通过升主动脉置换术等开放性手术解决, 但深低温体外循环及长时程复杂开放手术的创伤和并发症多且病死率高, 仍是目前临床亟待解决的问题^[10]。近年来我院已探索开展此类 A 型夹层的腔内治疗, 达到手术创伤小、并发症明显减少、病死

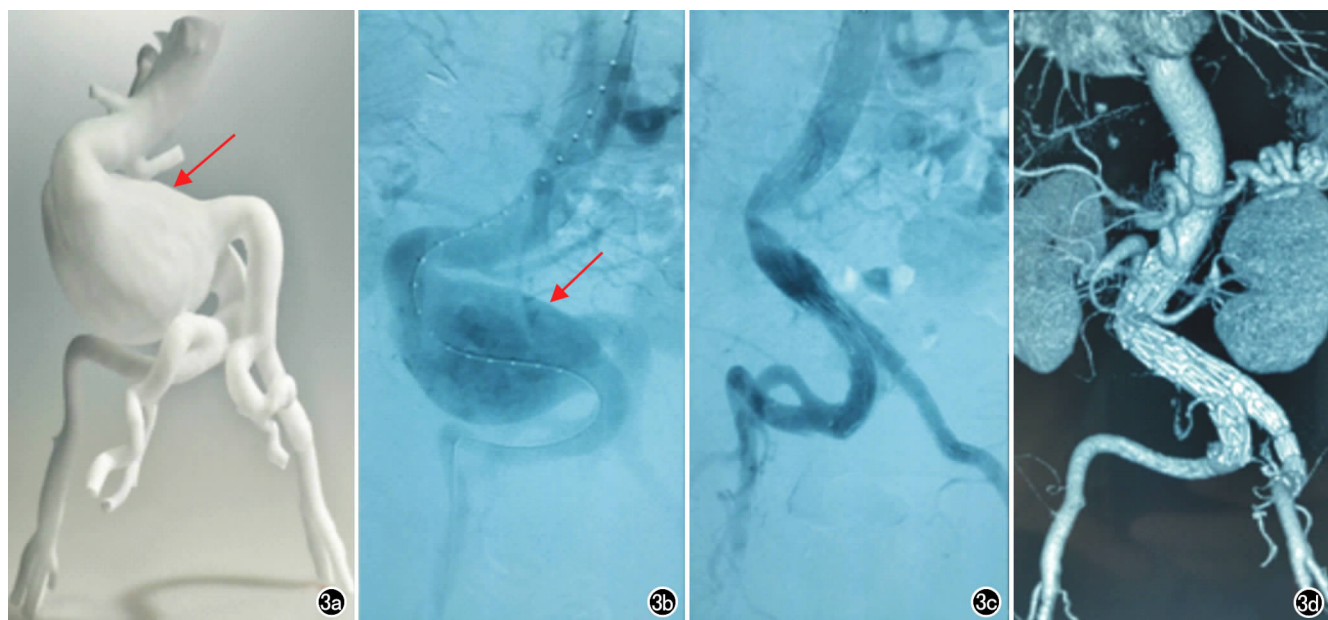


图 3 病例 3。a) 术前主动脉 3D 打印模型图,箭头所指为增大的瘤体; b) 术中造影图像,箭头所指为增大的瘤体; c) 支架植入术后造影图像,瘤体消失; d) 术后复查 CTA 重建图像,瘤体消失。

率降低的目的,为主动脉夹层的治疗找到新的契机。本研究中病例 2 因能准确测量病变范围及演练支架植入方式,其操作相对简单,对于合并症较多的高危及高龄患者提供了可能的手术方式,亦可为更多中心开展主动脉夹层的治疗提供参考。

3D 打印与常规 CT 三维重建相比,有如下优势:

①将复杂的主动脉解剖结构可视化;②更准确的解剖定位,帮助指导术前手术方案的确定;③可模拟手术过程^[3,9,11]。尤其是对于血管迂曲者如本研究的病例 3,解剖关系变化巨大的病变如右位主动脉弓及扭曲病变^[12],或者真腔过于细小,术前模拟手术操作能预判可能出现的状况,以便更安全、快捷、有效地制定手术方案,临床实用性极高。

3D 打印技术可应用于复杂主动脉疾病的治疗,通过将病变解剖准确实体化,使更多的临床医生容易理解复杂病变并制定出科学的手术方案,并通过术前演练和术前手术方案可视化、实体化讨论,提高手术的便捷性和安全性,降低手术并发症的发生率。但由于其应用较少,仍需要更多临床资料的累及以利于其推广,进一步的观察随访以证实其优势。

参考文献:

- [1] Hoang D, Perrault D, Stevanovic M, et al. Surgical applications of three-dimensional printing: a review of the current literature & how to get started[J]. Ann Transl Med, 2016, 4(23): 456.
- [2] 李金矿, 龚福林, 范伟, 等. 外伤性主动脉夹层的 CT 诊断(附 2 例报告)[J]. 放射学实践, 2014, 29(4): 447-449.

- [3] Nienaber CA, Divchev D, Palisch H, et al. Early and late management of type B aortic dissection[J]. Heart, 2014, 100(19): 1491-1497.
- [4] 袁海, 金星. 3D 打印用于主动脉夹层腔内修复术: 保留弓上分支和原位开窗[J]. 外科理论与实践, 2017, 22(4): 300-302.
- [5] Yuan D, Luo H, Yang H, et al. Precise treatment of aortic aneurysm by three-dimensional printing and simulation before endovascular intervention[J]. Sci Rep, 2017, 7(1): 795.
- [6] 陈基华, 宋岸坚, 林雪梅, 等. B 型主动脉夹层血管修复术后并发症及影像学远期随访[J]. 岭南心血管病杂志, 2017, 23(4): 421-423.
- [7] 王琦, 李明亮, 陈雪梅, 等. B 型主动脉夹层介入治疗部分封堵左锁骨下动脉的影响探讨[J]. 中国循证心血管医学杂志, 2017, 9(10): 1213-1215.
- [8] 王深明, 王冕. 血管腔内治疗复杂性主动脉夹层的时机和技术选择[J]. 西南医科大学学报, 2017, 40(4): 325-327.
- [9] Ho D, Squelch A, Sun Z. Modelling of aortic aneurysm and aortic dissection through 3D printing[J]. J Med Radiat Sci, 2017, 64(1): 10-17.
- [10] Dong ZH, Fu WG, Wang YQ, et al. Retrograde type A aortic dissection after endovascular stent graft placement for treatment of type B dissection[J]. Circulation, 2009, 119(5): 735-741.
- [11] Rosu C, Demers P. Three-dimensional printing in cardiovascular surgery: logical next step after three-dimensional imaging[J]. J Thorac Dis, 2017, 9(9): 2720-2722.
- [12] Treasure T, Goleworthy T, Pepper J. Practical clinical applications of 3D printing in cardiovascular surgery[J]. J Thorac Dis, 2017, 9(9): 2792-2797.

(收稿日期: 2018-06-05 修回日期: 2018-07-25)