

## · 经验交流 ·

## 3D打印技术辅助复杂主动脉夹层腔内治疗28例

郭坚 岳浩 付晓峰 王利娜 宋婷婷 周涛

**【摘要】 目的:**观察 3D 打印技术辅助复杂主动脉夹层腔内治疗的效果。**方法:**选取青岛大学附属日照心脏病医院 2019 年 1 月至 2022 年 12 月收治的 28 例 Stanford B 型主动脉夹层患者,均实施 3D 打印技术辅助复杂主动脉夹层腔内治疗。获取患者主动脉夹层计算机断层扫描数据,构建 3D 打印模型,根据该模型制定手术方案并进行术前评估。**结果:**28 例患者中,22 例为主动脉夹层首次腔内治疗,6 例为主动脉夹层术后残余夹层再次腔内治疗。术后 7 d 的治疗有效率为 100%。术后 3 个月随访,26 例患者均无明显症状,无内漏、支架位置变化、分支动脉供血不足表现。1 例患者存在内漏,1 例患者支架略有移位。**结论:**3D 打印模型可精准辅助选择主动脉支架、评估不同位置支架、观察主动脉弓形变情况,为复杂主动脉夹层手术方案提供参考。

**【关键词】** 3D 打印技术;辅助治疗;复杂主动脉夹层;腔内治疗

doi: 10.3969/j.issn.1673-6583.2024.02.015

胸主动脉腔内覆膜支架修复术(TEVAR)的治疗方案一般基于术前主动脉计算机断层扫描(CT)三维图像制定。对于复杂主动脉夹层,术前开展支架评估及主动脉弓力学评估具有重要意义<sup>[1]</sup>。3D 打印技术可实现病变的精准复制,在全方位直视下,掌握病变的解剖学情况,帮助术者明确手术过程、细化手术预案<sup>[2-3]</sup>。本研究主要观察 3D 打印技术辅助复杂主动脉夹层腔内治疗的效果。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象

选取青岛大学附属日照心脏病医院 2019 年 1 月至 2022 年 12 月接诊的 28 例 Stanford B 型主动脉夹层患者,其中男性 18 例、女性 10 例,年龄 20~80 岁,平均(56.55±10.48)岁,病程 1~8 年,平均(5.68±1.11)年。患者均知晓此项研究并自愿参加,本研究通过医院医学伦理委员会审查批准。

### 1.2 方法

**1.2.1 3D 打印模型构建** 使用西门子双源 CT 机从主动脉弓扫描至耻骨联合,扫描层厚度为 0.5 mm,

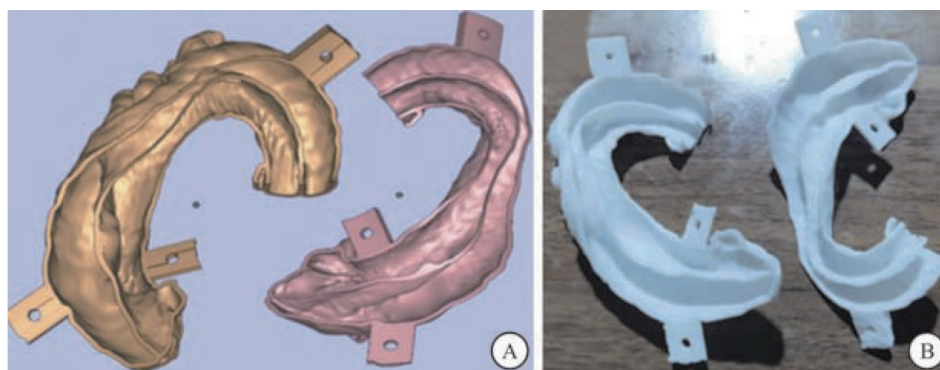
重建层厚度为 0.5 mm。患者肘静脉注射 85 mL 对比剂优维显,注射流速为 5 mL/s。以医学数字成像和通信(DICOM)格式导出扫描数据,三维重建主动脉夹层并提取主动脉数据,修饰主动脉夹层模型的表面光滑度,以标准模板库(STL)格式导出模型。导入 STL 模型至 Magic 软件,修饰模型表面,模型外表面加厚度为 2 mm 的壳,提取主动脉夹层中空血管模型,血管厚度为 2 mm。主动脉夹层结构复杂,选择 2 种打印材料,以确保模型的顺利完成。本研究所选材料为硅胶为主的软质材料和硬质材料,见图 1。

**1.2.2 术前评估** 结合经 CT 血管造影(CTA)结果和 3D 打印模型,使用游标卡尺测量主动脉直径、软尺测量病变段长度,观察入路血管、瘤体、瘤颈等成角及扭曲情况,并分析讨论支架大小选择、拟“开窗”或放置“烟囱”支架部位等手术方案。向患者及其家属展示 3D 打印模型,借助模型讲解病情及手术方案,并签署手术知情同意书。

**1.2.3 术中操作** 根据 1:1 的 3D 打印模型,术中调整数字减影血管造影(DSA)的球管位置、方向和角度,使造影能更好地显露病变部位的形态及重要分支血管。参照 3D 打印模型进行术中原位“开窗”、“烟囱”支架植入,或 1:1 体外覆膜支架预“开窗”。

基金项目:山东省医药卫生科技发展计划(202104021116)

作者单位:276801 青岛大学附属日照心脏病医院心血管外科(郭坚,岳浩,宋婷婷,周涛),科教科(付晓峰),重症医学科(王利娜)  
通信作者:周涛, E-mail: mdh18363317025@163.com



注：A为三维重建模型；B为打印模型

图1 主动脉夹层三维重建模型和打印模型

1.2.4 术后复查 术后 2~7 d 复查主动脉 CTA, 确定是否发生 I 型或 III 型内漏, 以及主要分支血管供血情况。

### 1.3 观察指标

观察患者主动脉夹层术后残余夹层腔内治疗情况和术后 7 d 治疗有效率。术后 3 个月随访, 观察患者的长期疗效, 包括支架位置、内漏情况及分支动脉供血情况等。

## 2 结果

### 2.1 临床特征

28 例患者中, 22 例为主动脉夹层首次腔内治疗; 6 例为主动脉夹层术后残余夹层再次腔内治疗, 其中 5 例为 A 型主动脉夹层外科全主动脉置换术后残余夹层, 1 例为 B 型主动脉夹层腔内术后残余夹层。术后 7 d 治疗有效率为 100%。术后 3 个月随访, 26 例患者均无明显症状, 无内漏、支架位置变化、分支动脉供血不足表现。1 例患者存在内漏, 1 例患者支架略有移位。

### 2.2 3D 打印模型分析

与 CT 三维成像结果相比: (1) 5 个主动脉破裂, 3 个显著的破裂点位于左锁骨下动脉 30 mm 处, 腹腔干平面和肾脏血管平面内, 其余 2 处在降主动脉其他部位; 使用超滑导丝模拟行进, 头端朝向主动脉右侧壁, 均顺利地行走于真腔内并进入主动脉弓。(2) 由软质材料 3D 建模可知: 第 1 个破裂点与左锁骨下动脉 30 mm 处存在足够的锚定区, 但因其是 II 型主动脉弓形, 于左锁骨下动脉处释放主体支架时将导致支架贴附欠佳。(3) 扩大固定的固定范围, 于左锁骨下动脉开口处释放支架并确保其贴附满意, 同时减少近端裸露支架上翘对主动脉大弯侧和左锁骨下动脉的突入。但这会对左锁骨下

动脉的血液供应造成损害, 手术时拟定于左锁骨下动脉放置 1 根导管, 视其松开后的影像来确定“烟囱”式的植入方式。(4) CT 显示降主动脉端部断面尺寸为 23 mm×12 mm, 而软质材料 3D 建模的断面尺寸为 20 mm, 因此, 限制血管的尺寸应小于 CT 测量尺寸, 见图 2。



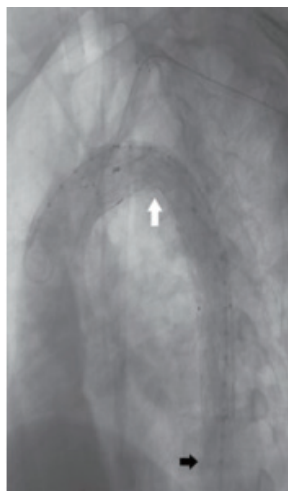
注：白箭头所指为主动脉夹层角度最大位置

图2 CT显示的降主动脉端部断面

### 2.3 3D 打印模型应用情况

(1) 采用右股动脉切开术, 使用超滑引导线 (头端朝向主动脉右侧) 在第 1 个破裂位置, 成功通过主动脉。(2) 将 Medtronic Endurant ENEW2020C80EE 的右股血管植入降主动脉末端。(3) 选择 Medtronic Valian TVAMF2828C150TE 覆膜支架置于左锁骨下动脉入口处, 远端置于限制性覆膜支架内。术后 DSA 结果提示: 主动脉夹层血管重建良好, 无内渗, 1 号破裂已成功封闭, 左锁骨下动脉显像较上次浅, 提示左锁骨下动脉缺血。(4) 选择 Fluency 8 mm×60 mm 的包膜支架, 植入至左臂, 将其近端置于主动脉弓腔内, 远端置于右侧锁骨下动脉中。

结果提示左锁骨下动脉导管成功植入左锁骨下动脉中,左锁骨下动脉显像较好,腹腔干动脉、双侧肾动脉、双侧髂动脉、肠系膜上动脉均有显像。(5) 动脉弓桥支架的重建形状与术前软质材料 3D 打印模型一致,见图 3。



注:白箭头所指为血管成形手术中的主动脉;黑箭头所指为远端受限的支架

图3 1例Stanford B型主动脉夹层患者支架完成后的DSA

### 3 讨论

近年来,3D 打印技术辅助主动脉疾病的腔内治疗引发国内外关注,其中以腹主动脉瘤腔内治疗相关研究多见,而有关主动脉夹层腔内治疗则鲜有报道<sup>[4]</sup>。累及弓上分支和破口位于内脏区的胸主动脉夹层、胸腹主动脉瘤和复杂腹主动脉瘤均是血管外科的治疗难点<sup>[5]</sup>。这类复杂主动脉疾病的腔内治疗往往需选用分支或“开窗”支架来保证重要脏器的血液供应,需要术前的精准测量和术中的准确操作。随着 3D 打印技术的应用,该类疾病的术式也由“复合手术”逐渐转变为“全腔内手术”<sup>[6-7]</sup>。

本文探讨了 3D 打印技术在主动脉夹层中的应用,将 CT 三维图像与解剖学信息相结合,并联合应用硬质和软质材料,从而更好地评价支架植入后主动脉弓的受力情况。对于解剖条件复杂或术中 DSA 难以分辨解剖条件的病变,更适用于 3D 打印模型。该技术还可用于对复杂的主动脉夹层(“开窗”、分支和“烟囱”)进行准确介入。软质与硬质材料模型联合应用的优点如下:(1) 尽管切口与左锁骨下动脉 30 mm 处的固定距离足够,但软质材料模型显示,支架置于左锁骨下动脉末端时,会使

支架近端上翘,从而使支架与主动脉大弯处形成角度。裸露支架存在直接突入左锁骨下动脉和左颈内动脉的风险,且固定欠佳。因此,在左锁骨下动脉开口处释放支架,可增大锚定区,满足固定要求,并消除成角风险。(2) 在 CT 资料基础上,远端限制性支架的长度测量值选择真腔横截面长轴或者长短径平均值。采用软质材料模型还原真腔圆形状态,发现其真空径比 CT 的实际尺寸小,CT 示此例长径为 23 mm,短径为 12 mm,而真腔的实际尺寸为 20 mm,因此,采用限制性支架更为合理。(3) 能清楚地观察到手术过程中的真假腔和破裂部位,并且利用超滑导丝进行仿真操作,对引导线的定向具有一定的指导作用。(4) 应用外科手术对主动脉弓进行重构,与术前采用软质材料制作的 3D 打印模型吻合,表明术前采用软质材料 3D 打印模型评估支架与主动脉弓力学的准确性。本研究短期随访的 CTA 结果表明主动脉夹层患者术后真腔有所扩大,假腔有所缩小;而主动脉瘤患者术后瘤体最大直径有所减小,提示主动脉重构良好。本研究的不足之处为未统计长期随访数据,3D 打印技术辅助复杂主动脉夹层腔内治疗对患者长期预后的影响有待后续进一步研究验证。

### 参 考 文 献

- [1] 杨勇, 刘洋, 金振晓, 等. 3D 打印技术在 Stanford B 型主动脉夹层腔内隔绝治疗术前评估中的作用[J]. 心脏杂志, 2021, 33(6):628-632.
- [2] 叶琨, 万圣云, 丁洋. 3D 打印技术在复杂主动脉疾病腔内治疗中的应用[J]. 新医学, 2021, 52(7):524-529.
- [3] 杨晗, 胡明, 黄群, 等. 3D 打印辅助覆膜支架修复术在复杂主动脉疾病腔内治疗中的应用[J]. 中国血管外科杂志(电子版), 2018, 10(1):4-9.
- [4] 袁丁, 赵纪春, 康裕建, 等. 3D 打印技术辅助复杂主动脉夹层腔内治疗[J]. 中国普外基础与临床杂志, 2015, 22(7):852-854.
- [5] Li J, Li Q, Li X, et al. Endovascular treatment of acute type B aortic dissection in a patient with takayasu arteritis[J]. Ann Thorac Surg, 2021, 112(1):e77.
- [6] Costache VS, Meekel JP, Costache A, et al. One-year single-center results of the multilayer flow modulator stents for the treatment of type B aortic dissection[J]. J Endovasc Ther, 2021, 28(1):20-31.
- [7] Zhang M, Tong YH, Liu C, et al. Treatment of Stanford type A aortic dissection with triple pre-fenestration, reduced diameter, and three-dimensional-printing techniques: a case report[J]. World J Clin Cases, 2021, 9(1):183-189.

(收稿:2023-06-10 修回:2023-12-07)

(本文编辑:丁媛媛)