

## 3D 打印联合 ECMO 辅助在 TAVR 治疗低射血分数重度主动脉瓣狭窄中的临床应用

金屏, 刘洋, 郭红, 杨景娟, 宁丽娟, 张艳, 金艳, 杨剑

(空军军医大学西京医院心血管外科, 陕西省西安市 710032)

[关键词] 3D 打印; 主动脉瓣狭窄; 经导管主动脉瓣置换; 体外膜肺氧合

[摘要] **目的** 探讨 3D 打印联合体外膜肺氧合(ECMO)辅助在经导管主动脉瓣置换术(TAVR)治疗低射血分数重度主动脉瓣狭窄中的可行性和有效性。**方法** 低射血分数重度主动脉瓣狭窄患者 10 例,于 2018 年 11 月—2019 年 5 月在空军军医大学西京医院接受 ECMO 辅助下经导管主动脉瓣置换术,术前左室射血分数(LVEF)为  $(30.3\% \pm 10.5\%)$ ,心功能 IV 级(NYHA 分级)10 例。术前采集患者 CT 数据,重建患者手术入路,结合 3D 打印技术制作患者心血管模型辅助术前评估、手术方案确定及术前谈话。**结果** 10 例患者均成功接受 TAVR 手术,围手术期患者血流动力学指标稳定,手术时间  $(192.5 \pm 30.3)$  min,DSA 照射时间  $(40.5 \pm 3.2)$  min,ECMO 辅助时间  $(60.5 \pm 23.9)$  min,患者出院后术后 1 月随访心脏超声提示心功能改善,LVEF 为  $(48.5\% \pm 4.3\%)$ 。**结论** 对于低射血分数重度主动脉瓣狭窄的患者在行 TAVR 时,治疗难度大,3D 打印技术为医护人员提供直观模型,辅助医患沟通及术前评估,ECMO 辅助可保证患者围手术期的血流动力学稳定,提供有效心肺功能支持,有助于提高手术成功率。

[中图分类号] R5;R6

[文献标识码] A

### Clinical application of 3D printing combined with ECMO in the treatment of severe aortic stenosis with low ejection fraction by TAVR

JIN Ping, LIU Yang, GUO Hong, YANG Jingjuan, NING Lijuan, ZHANG Yan, JIN Yan, YANG Jian

(Department of Cardiovascular Surgery, Xijing Hospital, Air Force Medical University, Xi'an, Shaanxi 710032, China)

[KEY WORDS] 3D printing; aortic stenosis; transcatheter aortic valve replacement; extracorporeal membrane oxygenation

[ABSTRACT] **Aim** To investigate the feasibility and effectiveness of 3D printing and extracorporeal membrane oxygenation assistant in transcatheter aortic valve replacement (TAVR) of severe aortic stenosis patients. **Methods** From November 2018 to May 2019, 10 patients with severe aortic stenosis underwent transcatheter aortic valve replacement assisted by ECMO in Xijing Hospital of Air Force Military Medical University. The preoperative left ventricular ejection fraction (LVEF) was  $(30.3\% \pm 10.5\%)$ . The preoperative cardiac function grade of all patients was IV grade(NYHA). Before operation, CT data of all patients were collected and reconstructed. Their cardiovascular models were made by using 3D printing technology. All preoperative evaluation, operation scheme determination and preoperative conversation were done with 3D printing models. **Results** All the 10 patients received TAVR successfully. The hemodynamic indexes were stable in the perioperative period. The operation time was  $(192.5 \pm 30.3)$  min, and the DSA irradiation time was  $(40.5 \pm 3.2)$  min. The ECMO assistant time was  $(60.5 \pm 23.9)$  min. The echocardiography showed the heart function was improved. The LVEF was  $(48.5\% \pm 4.3\%)$ . **Conclusion** It is very difficult for patients with very high-risk aortic stenosis to be treated with TAVR. 3D printing technology can provide doctors and nurses an intuitive model, assist doctors-patient communication and preoperative evaluation. ECMO can ensure the perioperative hemodynamic stability of patients and provide effective cardiopulmonary function support, thus to improve the success rate of TAVR.

[收稿日期] 2020-04-10

[修回日期] 2020-09-05

[基金项目] 国家重点研发计划(2016YFC1101000);陕西省自然科学基金基础研究计划项目杰出青年科学基金(S2018-JC-JQ-0094);陕西省创新能力支撑计划-科技创新团队项目(S2020-ZC-TD-0029);西京医院学科助推计划(XJZT18MJ69)

[作者简介] 金屏,硕士,主治医师,研究方向为结构性心脏病的介入治疗及心脏疾病常规外科手术治疗,E-mail 为 bohua001@126.com。通信作者杨剑,博士,副教授,博士研究生导师,研究方向为心脏病的介入治疗及心脏疾病常规外科手术治疗,E-mail 为 yangjian@fmmu.edu.cn。

主动脉瓣狭窄为常见的心脏瓣膜疾病之一,多为风湿性心脏病及老年退行性病变引起<sup>[1-3]</sup>。以往治疗方法是体外循环下开胸置换机械瓣膜或者生物瓣膜,近年来经导管主动脉瓣置换术(transcatheter aortic valve replacement, TAVR)发展迅速,为老年危重主动脉瓣病病变患者提供了另一种选择术式<sup>[4-6]</sup>。准确的术前评估是 TAVR 手术成功实施的重要条件,目前最常用的术前评估方法是基于患者术前的 CT 结果对各项参数指标进行测量,而随着 3D 打印技术在心血管领域的应用不断深入和成熟,越来越多的中心开始将这项技术运用到 TAVR 手术的术前评估中,通过 3D 打印模型更直观的了解手术区域的解剖结构特点,同时还能进行体外的手术模拟,进一步提升了术前评估结果的准确性和手术的安全性。此外, TAVR 手术过程中导丝、导管、输送器的植入以及人工瓣膜的膨胀开放过程会一过性地影响患者血流动力学的稳定,大部分患者能通过心脏的代偿作用及时恢复,而部分心功能较差的患者则存在着发生严重心律失常甚至猝死的风险。此类患者往往需要体外膜肺氧合(extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)辅助以减轻心脏工作负担,维持全身血流动力学稳定,为 TAVR 手术的顺利进行提供条件。本文旨在回顾性分析本院开展

TAVR 手术以来,通过 3D 打印联合 ECMO 辅助治疗低射血分数重度主动脉瓣狭窄的 10 例病例,探究两者联合在 TAVR 手术治疗低射血分数重度主动脉瓣狭窄中的可行性及有效性。

## 1 资料和方法

### 1.1 病例资料

回顾性收集 2018 年 11 月—2019 年 5 月在空军军医大学西京医院心血管外科因低射血分数重度主动脉瓣狭窄接受 ECMO 辅助下 TAVR 手术患者的相关资料。入选患者 10 例,其中男性 7 例,女性 3 例,平均年龄( $64.2 \pm 5.6$ )岁。术前心功能均为 IV 级(NYHA 分级),术前超声测量左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)为( $30.3\% \pm 10.5\%$ ),主动脉瓣瓣叶分型中,三叶瓣 2 例,Type0 型 6 例,Type1 型 2 例。瓣口面积( $0.93 \pm 0.49$ ) $\text{cm}^2$ ,跨瓣膜压差( $56.8 \pm 4.23$ )mmHg。

### 1.2 术前评估及 3D 模型打印

术前所有患者完善经胸彩色多普勒超声、相关参数检查以明确诊断,并测量主动脉瓣口面积、跨瓣膜压差及左心室射血分数等(图 1)。

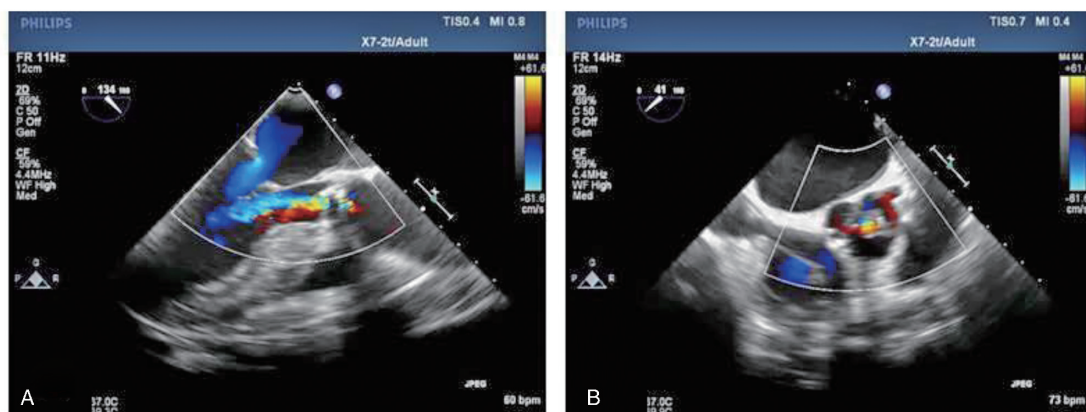


图 1. 术前超声检查 A 为左心室长轴切面, B 为胸骨短轴切面。

Figure 1. Preoperative transthoracic echocardiography

术前评估及 3D 建模主要依据 CT 的检查数据进行。采用西门子 Flash 双源 CT 机,扫描范围从主动脉弓到耻骨联合,数据转换为 DICOM 格式后保存。相关参数采用 3-Mensio 软件进行测量(图 2)。利用 Mimics21.0 软件对主动脉根部结构进行重建,结合 3D 打印技术制作患者主动脉瓣根部模型、瓣

膜植入后主动脉根部模型,打印材料选用不同颜色的硅胶材料,区分不同解剖结构、钙化点。医护人员根据患者病变部位及解剖模型,评估手术风险,并在体外进行球囊扩张、冠状动脉风险预判等手术操作的模拟(图 3 和图 4),综合制定手术方案。

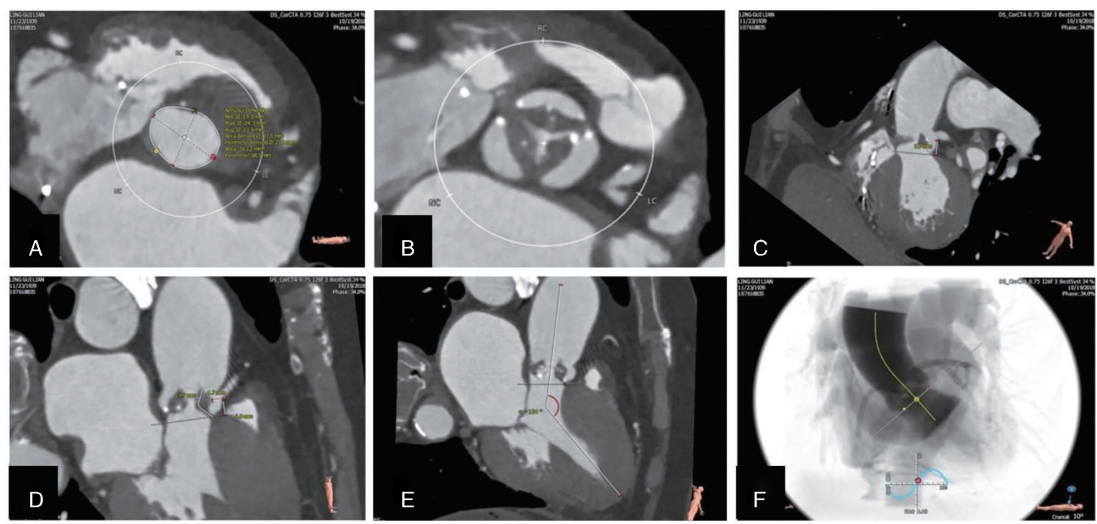


图 2. 术前 CT 检查 A 为瓣环平面长短径测量,B 为瓣及瓣叶评估,C 为左心室流出道测量,D 为瓣叶与瓣部评估,E 为主动脉与左心室长轴角度测量,F 为手术入路角度评估。

Figure 2. Preoperative CT

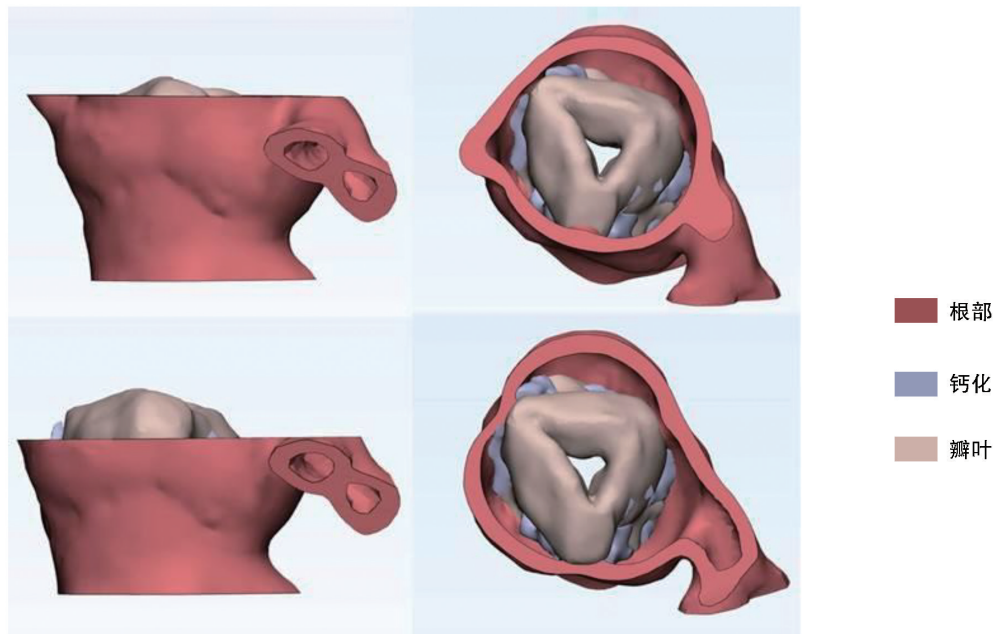


图 3. 主动脉根部 CT 影像重建模拟图

Figure 3. Reconstruction of aortic root based on CT images

### 1.3 ECMO 的建立与 TAVR 手术过程

全身麻醉后,插管建立 ECMO,左侧股动脉选择 A15F 管道,左侧股静脉选择 V18F 管道,控制参数血流量为 3.0~3.5 L/min,血压稳定于约 70.125 mmHg。

患者血流动力学参数平稳后,于右侧股动脉处穿刺置入 6F 股鞘,右侧桡动脉穿刺置入 5F 桡鞘管,逆行置入 5F 造影导管,右侧颈静脉置入 6F 起搏器导管鞘管,调试起搏导管至右心室心尖处;泥鳅导丝引导 AL2 导管至主动脉根部,置换 2.6 m 直

头泥鳅导丝引导 AL2 导管成功通过主动脉瓣狭窄瓣口;置入 20F 主动脉鞘管,交换带弯 Lunderquist 导丝留置左心室,撤出 AL2 导管,送入 Z-MED II 主动脉扩张球囊,ECMO 辅助下维持稳定血压,在起搏心率 120~180 次/min 条件下扩张主动脉瓣,经食道超声随时监测心脏功能以及瓣膜释放情况。选择合适型号瓣膜植入患者预扩后的主动脉瓣,瓣膜完全释放后,退出输送系统,造影观察瓣膜释放后的位置以及并发症情况。患者循环稳定后,逐步减



少 ECMO 流量至停止循环。患者血流动力学情况稳定后送心内科监护室,次日转回普通病房。术后 7 天出院,术后 1 月随访心脏超声。部分患者复诊行心脏增强 CT 检查,并利用 CT 数据进行 3D 打印

模型制作,对 TAVR 手术进行进一步的术后评估。

#### 1.4 统计分析

所有数据采用 SPSS 21.0 软件进行统计学分析,计量资料以( $\bar{x} \pm s$ )表示。

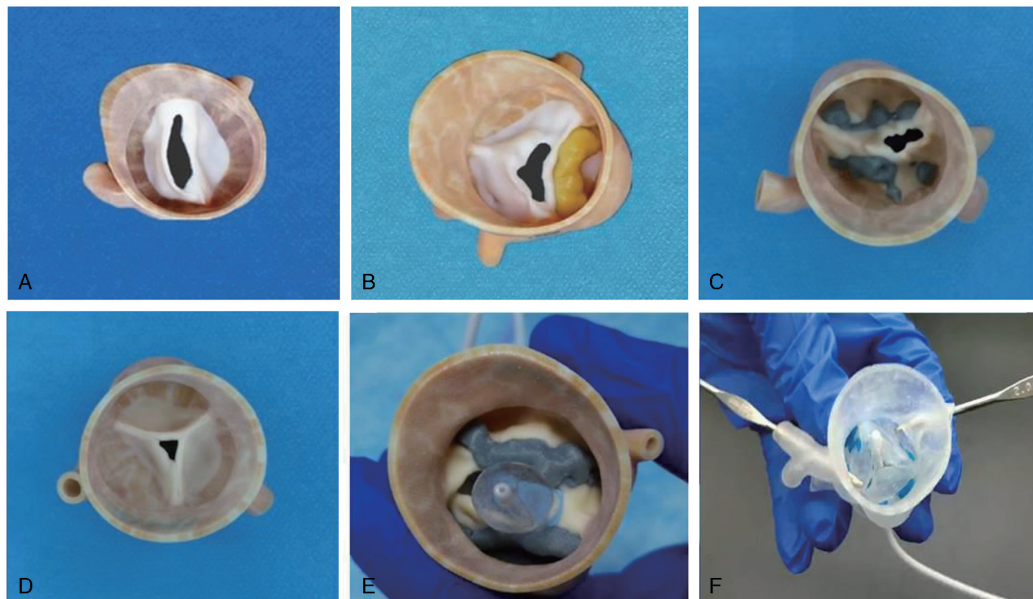


图 4. 患者主动脉根部个体化 3D 打印模型及体外手术操作模拟

Figure 4. Individualized 3D printing models of aortic roots and in vitro simulation

## 2 结果

### 2.1 手术情况

10 例患者均成功接受 ECMO 辅助下 TAVR 手术,手术成功率为 100%。围手术期患者血流动力学稳定,TAVR 手术结束前撤除 ECMO,手术时间( $192.5 \pm 30.3$ ) min,DSA 照射时间( $40.5 \pm 3.2$ ) min,ECMO 辅助时间( $60.5 \pm 23.9$ ) min(表 1)。2 名患者术后出现轻度瓣周漏,无其他严重并发症发生。

表 1. 患者手术及术后情况( $n=10$ )

Table 1. Perioperative results and follow up ( $n=10$ )

项目	$\bar{x} \pm s$
手术总时间/min	$192.5 \pm 30.3$
DSA 曝光时间/min	$40.5 \pm 3.2$
ECMO 辅助时间/min	$60.5 \pm 23.9$
术后即刻跨瓣膜压差/mmHg	$5.87 \pm 2.93$
术后即刻 LVEF/%	$40.5 \pm 10.3$
术后 1 月 LVEF/%	$48.5 \pm 4.3$
住院时间/d	$7.0 \pm 0.5$

### 2.2 随访结果

患者术后 1 月随访,无死亡病例,无严重并发症发生。超声检查显示患者心功能改善,LVEF 为( $48.5\% \pm 4.3\%$ ),明显高于术前( $P < 0.05$ ;表 1)。术后 3D 打印模型显示,人工瓣膜位置良好(图 5)。

## 3 讨论

低射血分数重度主动脉瓣狭窄患者病情危重,但对于高龄以及心功能差的患者,一般不适于传统开胸手术,TAVR 的出现为老年低射血分数重度主动脉瓣狭窄患者提供了微创解决方案,问世十余年来,在全球范围内积累了较多的成功经验,并越来越多的被各国心血管医生采用。TAVR 术中患者血流动力学的稳定关系着手术的成败,对于部分心功能较差的患者,手术操作带来的一过性血流波动往往无法耐受,手术风险显著增高,低 EF 值也曾一度被认为是 TAVR 手术的相对禁忌证。为解决这一问题,近年来,部分术者尝试借助 ECMO 辅助来维持 TAVR 手术过程中的血流动力学稳定,为手术提供了相对安全和稳定的环境,提高了手术的安全性<sup>[6-9]</sup>。

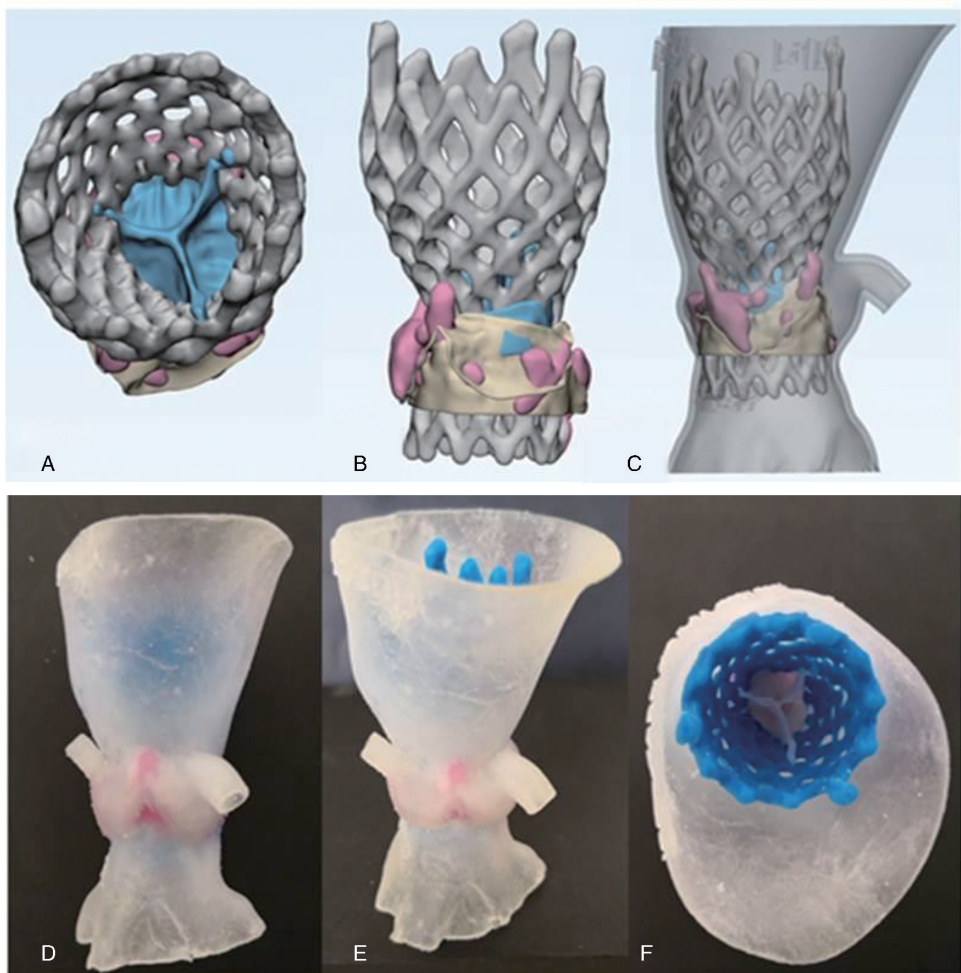


图 5. 患者术后 CT 影像重建及 3D 打印模型 A、B、C 为术后主动脉根部重建模拟图,D、E、F 为 3D 打印模型。

Figure 5. Postoperative aortic root reconstruction and 3D printing models

另外,随着 3D 打印技术的不断发展<sup>[10-13]</sup>,其在医学领域的应用也不断深入,无论是早期应用于骨科及颌面外科时在制造手术导板以及义齿、人工关节等移植物等方面起到的重要作用,还是近年来在心血管疾病的诊疗包括先天性心脏病的介入治疗、左心耳的介入封堵以及经导管瓣膜置换过程中发挥的显著指导手术作用,3D 打印与医学的结合均显示出广阔的应用价值<sup>[14-19]</sup>。3D 打印技术在 TAVR 中的应用,主要集中在以下几个方面:一是辅助展现解剖结构。由于 TAVR 手术并非在直视条件下进行,准确的术前评估并测量瓣环大小、冠状动脉开口高度、左心室流出道及升主动脉直径等重要参数非常重要,与 CT 等二维影像学检查手段相比,3D 打印的优势在于能够更为立体和直观的呈现解剖结构,临床医生不需要依靠复杂的空间想象就可以轻松的了解到患者主动脉根部的解剖学特点,从而为手术策略的制定提供助力;二是辅助建立体外手术模拟平台,不仅可以进行术前的手术演示,还能

预测术中可能出现的血流动力学异常以及术后的相关并发症等;三是为年轻医生的培训和医患沟通提供平台,通过专业人才的培养以及相关知识的宣教使 TAVR 手术能够更广泛的开展,造福更多的病患。本中心在 ECMO 的临床应用上具有丰富的经验,同时也是全国范围内较早将 3D 打印技术应用于心血管疾病尤其是 TAVR 手术的机构之一,两者的联合使用显著提升了术者在使用 TAVR 手术治疗低射血分数主动脉瓣重度狭窄患者时的信心。从本研究纳入的 10 例病例来看,手术成功率达到 100%,术后并发症的发生率以及随访结果均较为满意。提示 3D 打印联合 ECMO 辅助在心功能较低患者的 TAVR 手术治疗过程中应用的安全性和可行性较高。

[参考文献]

[1] Gaede L, Kim W, Liebetrau C, et al. Pacemaker implantation after TAVI: predictors of AV block persistence[J].

- Clin Res Cardiol, 2018, 107(1): 60-69.
- [2] Falk V, Baumgartner H, Bax JJ, et al. 2017 ESC/EACTS guidelines for the management of valvular heart disease [J]. Eur J Cardiothorac, 2017, 52(4): 616-664.
- [3] Nishimura RA, Otto CM, Bonow RO, et al. 2017 AHA/ACC focused update of the 2014 AHA/ACC guideline for the management of patients with valvular heart disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association task force on clinical practice guidelines [J]. Circulation, 2017, 135(25): e1159-e1195.
- [4] Uehara K, Minakata K, Saito N, et al. Use of extracorporeal membrane oxygenation in complicated transcatheter aortic valve replacement [J]. Gen Thorac Cardiovasc, 2017, 65(6): 329-336.
- [5] Chiu P, Fearon WF, Raleigh LA, et al. Salvage extracorporeal membrane oxygenation prior to "bridge" transcatheter aortic valve replacement [J]. J Card Surg, 2016, 31(6): 403-405.
- [6] Dolmatova E, Moazzami K, Cocke TP, et al. Extracorporeal membrane oxygenation in transcatheter aortic valve replacement [J]. Asian Cardiovasc Thorac Ann, 2017, 25(1): 31-34.
- [7] Trenkwalder T, Pellegrini C, Holzamer A, et al. Emergency extracorporeal membrane oxygenation in transcatheter aortic valve implantation: a two-center experience of incidence, outcome and temporal trends from 2010 to 2015 [J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2018, 92(1): 149-156.
- [8] Singh V, Damluji AA, Mendirichaga R, et al. Elective or emergency use of mechanical circulatory support devices during transcatheter aortic valve replacement [J]. J Interv Cardiol, 2016, 29(5): 513-522.
- [9] Kuhn E, Madershahian N, Rudolph T, et al. Catheter insertion via extracorporeal membrane oxygenation cannula during transcatheter aortic valve implantation [J]. Thorac Cardiovasc Surg Res, 2016, 05(01): 41-43.
- [10] Wang L, Huang L, Li X, et al. Three-dimensional printing PEEK implant: a novel choice for the reconstruction of chest wall defect [J]. Ann Thorac Surg, 2019, 107(3): 921-928.
- [11] Zhou X, Vannan MA, Qian Z. 3D printing for transcatheter aortic valve replacement: integrating anatomy and physiology to plan, predict and optimize procedural outcomes [J]. Int J Cardiol, 2018, 258: 334-335.
- [12] Ripley B, Kelil T, Cheezum MK, et al. 3D printing based on cardiac CT assists anatomic visualization prior to transcatheter aortic valve replacement [J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2016, 10(1): 28-36.
- [13] Foley TA, El Sabbagh A, Anavekar NS, et al. 3D-printing: applications in cardiovascular imaging [J]. Curr Radiol Rep, 2017, 5(9): 1-13.
- [14] 李兰兰, 王建浩, 逯登辉, 等. 3D 打印技术辅助经皮介入治疗主动脉瓣狭窄 20 例临床治疗分析 [J]. 中华胸心血管外科杂志, 2019(9): 561-563.
- [15] 丁鹏, 刘洋, 徐臣年, 等. 3D 打印技术结合经心尖导管主动脉瓣植入 15 例 [J]. 中国体外循环杂志, 2019, 17(5): 261-264.
- [16] 金屏, 刘洋, 唐嘉佑, 等. 经皮球囊扩张式覆膜支架置入治疗先天性主动脉缩窄的临床疗效分析 [J]. 中国体外循环杂志, 2018, 16(6): 366-368.
- [17] Fan Y, Yang F, Cheung GS, et al. Device sizing guided by echocardiography-based three-dimensional printing is associated with superior outcome after percutaneous left atrial appendage occlusion [J]. J Am Soc Echocardiogr, 2019, 32(6): 708-719.
- [18] Blanke P, Naoum C, Webb J, et al. Multimodality imaging in the context of transcatheter mitral valve replacement: establishing consensus among modalities and disciplines [J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2015, 8(10): 1191-1208.
- [19] Wunderlich NC, Beigel R, Ho SY, et al. Imaging for mitral interventions: methods and efficacy [J]. JACC: Cardiovasc Imaging, 2018, 11(6): 872-901.
- (此文编辑 许雪梅)