

## • 病例报告 •

3D 打印技术应用于经导管主动脉瓣置换术前  
冠状动脉阻塞风险评估 1 例\*刘健迪<sup>1</sup> 龚韧<sup>1</sup> 徐劲松<sup>1</sup> 张诗渊<sup>1</sup> 徐聪聪<sup>1</sup> 方海洋<sup>1</sup> 吴延庆<sup>1</sup>

**[摘要]** 冠状动脉阻塞是经导管主动脉瓣置换术(transcatheter aortic valve replacement, TAVR)少见却致命的并发症,然而尚无公认的标准方案应用于此并发症的风险评估。目前,针对 TAVR 冠状动脉阻塞风险评估最常用的方法是通过影像学直接评估,但是瓣膜部署后钙化团块的真实偏转情况很难被精确预测。因此,该风险评估可能受到经验主义的影响,从而导致评估结果出现偏差。本文报道 TAVR 术前应用 3D 打印技术精确评估冠状动脉阻塞风险 1 例,为临床诊治提供经验参考。

**[关键词]** 3D 打印;经导管主动脉瓣置换术;冠状动脉阻塞

**DOI:**10.13201/j.issn.1001-1439.2023.04.016

**[中图分类号]** R541.4 **[文献标志码]** D

Application of 3D printing in the risk assessment of coronary artery  
obstruction before transcatheter aortic valve replacement: a case reportLIU Jiandi GONG Ren XU Jinsong ZHANG Shiyuan XU Congcong  
FANG Haiyang WU Yanqing

(Department of Cardiology, The Second Affiliated Hospital of Nanchang University, Nanchang, 330006, China)

Corresponding author: WU Yanqing, E-mail: wuyanqing01@sina.com

**Abstract** Coronary artery obstruction is a rare but fatal complication of transcatheter aortic valve replacement (TAVR). Experts have summarized and approved the related prevention strategies, yet there are no accepted criteria to evaluate the occurrence of coronary artery obstruction accurately. The most common method for the risk assessment of coronary artery obstruction before TAVR is direct imaging assessment. However, the actual deflection of the calcium deposits towards the coronary ostia during valve deployment is difficult to predict precisely. Therefore, the risk assessment may be influenced by empiricism, which may lead to a biased result. This paper reports a case of accurate evaluation of coronary artery obstruction risk by 3D printing before TAVR, providing a reference for clinical diagnosis and treatment strategy in similar cases.

**Key words** 3D printing; transcatheter aortic valve replacement; coronary artery obstruction

## 1 病例资料

患者,男,66岁,因“胸闷1年余,活动后加重1个月”入院。既往痛风病史5年。入院前1年,患者无明显诱因下出现胸闷、心悸,症状发作及持续时间不定,未给予重视。1个月前,患者体力劳动时突感胸闷、黑朦,站立不稳,并出现呼吸困难、大汗淋漓,持续数分钟后缓解。半月前,患者活动后再次出现上述症状,并出现双下肢水肿。就诊于当地医院,诊断为“重度主动脉瓣狭窄(aortic stenosis, AS)”,建议转院治疗。患者为求进一步诊治,来我院就诊。

入院后体格检查:T 36.6℃,P 107次/min,R 20次/min,BP 110/59 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa);颈静脉充盈;双肺呼吸音粗,可闻及湿性啰音;心浊音界无异常,心率107次/min,律齐,主动脉瓣听诊区闻及收缩期4/6级喷射样杂音;双下肢轻度凹陷性水肿。实验室检查:B型脑钠肽2636.99 pg/mL,尿酸579.01 μmol/L,血常规、电解质、血脂、心肌酶谱、肝功能、甲状腺功能均未见异常。心电图示:房性心动过速,左心室高电压。经胸心脏超声检查显示:主动脉瓣钙化并重度狭窄(瓣口面积0.4 cm<sup>2</sup>)及中度关闭不全,峰值血流速度4.98 m/s,平均跨瓣压差61 mmHg;二尖瓣、三尖瓣中度反流;肺动

\*基金项目:江西省优势科技创新团队建设计划(No: 20181BCB24013);江西省重点研发计划(No:20203BBG73057、20212BBG71004)

<sup>1</sup>南昌大学第二附属医院心内科(南昌,330006)

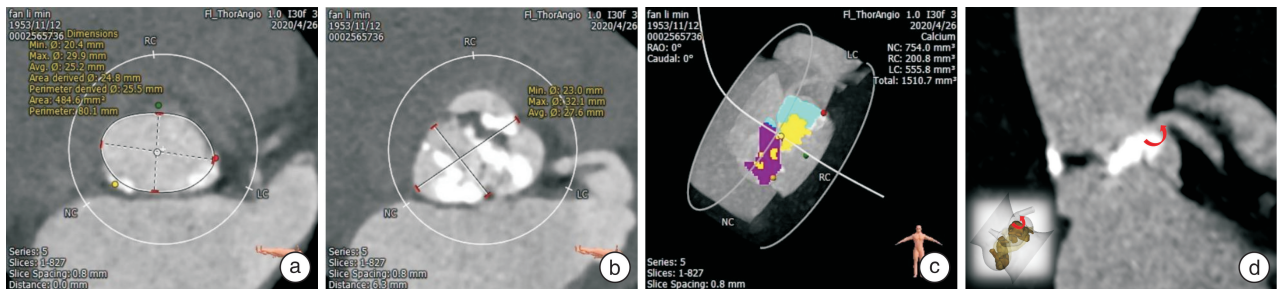
通信作者:吴延庆, E-mail: wuyanqing01@sina.com

脉高压(轻度),肺动脉瓣轻度反流;心功能减退,射血分数 31%。主动脉 CTA 结果显示,二叶式主动脉瓣, Type 1(左右冠瓣融合),瓣环平均直径 25.2 mm(图 1a),瓦氏窦平均直径 27.6 mm(图 1b),左室流出道直径 26.5 mm,窦管连接处平均直径 27.0 mm,升主动脉平均直径 43.8 mm,角度为 51°,左冠状动脉(冠脉)开口高度为 9.4 mm,右冠脉开口高度为 12 mm,主动脉重度钙化,总钙化体积 1510.7 mm<sup>3</sup>(图 1c)。初步诊断:①心脏瓣膜病(退行性病变):重度 AS 伴中度关闭不全;二尖瓣及三尖瓣关闭不全;心功能 NYHA II~III 级;②高尿酸血症。心脏瓣膜团队认为:患者胸闷、气促症状明显,重度 AS 诊断明确,美国胸外科医师协会(STS)评分为 4.7%,为中危外科手术风险,具有经导管主动脉瓣置换术(transcatheter aortic valve replacement, TAVR)指征<sup>[1]</sup>。与患者及家属充分沟通,患者及家属签署 TAVR 术前知情同意后,继续完善相关检查。

根据既往文献报道,冠脉开口高度低(<12 mm)、瓦式窦尺寸较小(<30 mm)、自身瓣叶过长、靠近冠脉开口的瓣叶存在钙化团块等解剖特点都是 TAVR 并发冠脉阻塞的风险因素<sup>[2]</sup>。参考

CTA 结果进行评估,该患者主动脉瓣重度钙化,左冠脉开口位置稍低(9.4 mm),左冠瓣叶的钙化向根部延伸,而瓦氏窦结构不大,考虑 26 mm 瓣膜植入后左冠脉开口旁钙化团块可能会被推至左冠脉开口,造成左冠脉阻塞(图 1d);但如果选择 23 mm 瓣膜植入,又担心较小尺寸的瓣膜锚定不良,术后出现中重度以上瓣周漏的风险增加。因此,心脏瓣膜团队一时间难以确定人工瓣膜尺寸。为了解决这一难题,团队决定在 TAVR 术前应用主动脉根部结构的 3D 打印模型进行模拟实验,以便更直观地评估该患者 TAVR 的冠脉阻塞风险。

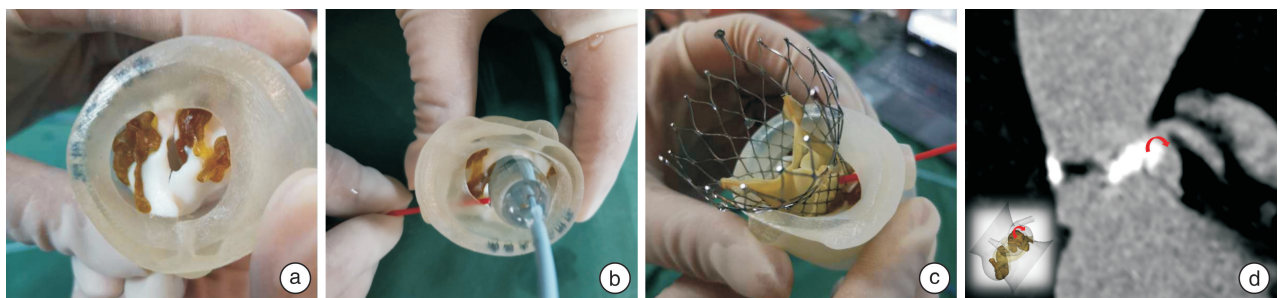
将 CTA 检查的图像导入模拟软件,通过图像分割、三维化、裁剪、修饰等计算机辅助图像处理,生成三维图形文件。然后使用 3D 打印机(西安马克医疗科技有限公司)以透明树脂材料打印主动脉根部模型,其中钙化团块采用褐色树脂材料(图 2a)。接着进行模拟植入实验,在 23 mm NuMED 球囊扩张(图 2b)以及 26 mm Venus-A 瓣膜植入模型后(图 2c),使用红色导管检测左冠脉通畅;实验显示,左冠脉开口旁钙化团块实际向左下方偏移,并没有阻塞左冠脉开口(图 2d)。由此确定,26 mm 瓣膜是该患者 TAVR 的合适选择。



a,瓣环平均直径 25.2 mm;b,瓦氏窦平均直径 27.6 mm;c,主动脉钙化总体积 1510.7 mm<sup>3</sup>;d,左冠脉开口旁存在巨大钙化团块,提示瓣膜植入后钙化团块可能被推至左冠脉开口而造成阻塞(红色箭头示意)。

图 1 术前主动脉 CTA

Figure 1 Preoperative aortic CTA



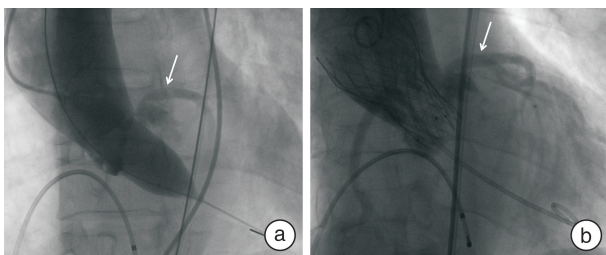
a,透明树脂材料构建主动脉根部模型,采用褐色树脂材料构建钙化团块;b,使用 23 mm NuMED 球囊扩张后未出现左冠脉阻塞;c,部署 26 mm Venus-A 瓣膜后未出现左冠脉阻塞;d,使用 3D 打印模型模拟手术过程后,发现钙化团块被推至左冠脉开口下端,未造成阻塞(红色箭头示意)。

图 2 应用 3D 打印模型评估冠脉阻塞风险

Figure 2 Application of 3D printing model in the risk assessment of coronary artery occlusion

手术过程:全身麻醉后穿刺左股静、动脉,分别置入带锁静脉鞘管与6F鞘管。临时起搏电极经左股静脉送至右心室,猪尾导管经左股动脉送至右窦底。穿刺右股动脉,置入12F鞘管,AL2.0指引导管在J型导丝引导下被送至主动脉根部,随后撤出J型导丝,将HiWire导丝穿过主动脉瓣口送至左心室,接着送入AL2.0指引导管,撤出Hiwi导丝,换为Lunderquist导丝,再撤出指引导管与12F鞘管,更换20F GORE DrySeal鞘管后送入23 mm NuMED球囊预扩张,主动脉根部造影示左冠脉未出现阻塞(图3a)。撤出球囊,送入人工瓣膜输送系统,将26 mm Venus-A人工瓣膜精确定位后释放,瓣膜部署后造影示冠脉血流通畅(图3b),少量瓣周漏,跨瓣压差10 mmHg。最后撤出瓣膜输送装置,股动脉缝合后加压包扎,送入心脏重症监护室。

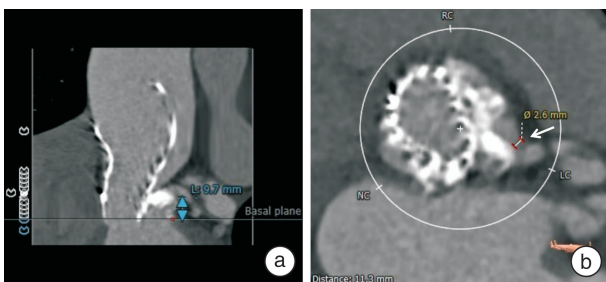
术后患者心电监护提示一过性心房颤动,多次复查心电图提示房性心动过速,考虑血栓栓塞风险,故给予抗凝治疗,恢复良好。复查CTA显示左冠脉血流通畅,左冠脉旁钙化团块未明显阻塞左冠脉开口(图4)。患者无明显不适,一般活动不受限;随访1年,患者复查心脏彩超提示主动脉瓣口峰值流速为174 cm/s,平均跨瓣压差7.8 mmHg,预后良好。



a:球囊预扩张时造影示左冠脉未出现阻塞(白色箭头处);b:瓣膜部署后造影示左冠脉血流通畅(白色箭头处)。

图3 术中主动脉造影

Figure 3 Intraoperative aortic angiography



a:术后CTA提示左冠脉血流通畅;b:瓣环上11.3 mm可见左冠脉开口直径2.6 mm(白色箭头处)。

图4 术后主动脉CTA

Figure 4 Postoperative aortic CTA

## 2 讨论

自2010年至今,中国TAVR事业发展迅速,目前完成TAVR手术超过4500例,其适用范围已经不局限于外科手术禁忌及高危AS患者群体,中、低危AS患者也已纳入该手术的适用人群<sup>[3]</sup>。接受TAVR治疗的患者术后胸闷气促等不适症状与死亡率得到明显改善<sup>[4]</sup>。与外科主动脉瓣置换术相比,TAVR创伤小、并发症发生率较低,所以越来越多的AS患者倾向于接受这种治疗方案<sup>[5]</sup>。尽管如此,TAVR依然存在严重并发症风险<sup>[6-7]</sup>。冠脉阻塞作为TAVR术后一种不常见的并发症,其发生率仅为0.34%~4.10%,但发生后的死亡率却高达50%<sup>[8]</sup>。TAVR相关冠脉阻塞的定义为人工瓣膜部署后,由于瓣膜支架的挤压,瓣叶或钙化团块向冠脉开口移位,造成冠脉阻塞<sup>[9]</sup>。部分患者特殊的主动脉根部解剖结构增加了冠脉阻塞的发生风险,包括瓦氏窦狭窄、主动脉瓣叶肥厚冗长、冠脉开口位置偏低等<sup>[10]</sup>。自Webb等<sup>[11]</sup>在2006年报道了首例TAVR术后冠脉阻塞的病例以来,关于此并发症发生的预测仍然具有挑战性。尽管许多研究已经揭示了冠脉阻塞的危险因素,并统一了相关的预防处理措施,但是尚无完备的方案来精准评估冠脉阻塞的发生<sup>[12]</sup>。目前对于冠脉阻塞风险评估的常用方法是CTA影像学分析,该检查量化了从主动脉瓣环到冠脉口的距离、瓦氏窦的大小和主动脉瓣上钙沉积的形态。然而,由于主动脉瓣结构的复杂性,瓣膜部署时钙化团块向冠脉开口的实际偏移情况难以精准预测,导致影像学评估的准确性受限<sup>[13]</sup>。既往许多病案报道显示,一些无冠脉阻塞危险因素的患者在TAVR术后发生了冠脉阻塞,而医生判断有冠脉阻塞危险因素的患者术后却未发生这种致命并发症<sup>[9,14-15]</sup>。因此,针对主动脉根部解剖结构特殊的复杂病例,额外的冠脉阻塞风险评估很有必要。

如今,3D打印技术逐渐应用于TAVR术前评估与手术方案的制定。该技术结合患者TAVR术前的影像学数据,应用3D打印软件重建患者的心血管模型<sup>[16]</sup>。此模型能够精确重现患者特定的心脏解剖以及主动脉瓣结构,直观地展现主动脉瓣的形态、冠脉开口位置、钙化分布情况等细节特征,不仅给术者提供模拟TAVR操作的机会,还帮助术者精确评估瓣膜部署后主动脉瓣叶及钙化团块向低处冠脉开口的偏移情况。本例重度AS患者为Type 1型二叶式主动脉瓣,存在重度钙化,且左冠脉开口高度约9.4 mm,提示患者术后发生左冠脉阻塞风险较大。根据瓣环径大小,应选择26 mm自膨式瓣膜,但其主动脉瓣钙化严重且左冠脉开口较低,选择该大小瓣膜可能会导致左冠阻塞;但若选择23 mm瓣膜又容易出现锚定不佳的情况,进而陷入左右两难的境地。然而,而在应用3D打印模型模拟26 mm Venus-A

瓣膜部署后,我们发现钙化团块向左冠脉开口的偏移情况与影像学预测不符,该钙化团块并没有被人工瓣膜挤压向左冠脉开口方向移位太多,而且这部分钙化形态、体积不足以完全阻塞冠脉开口(图 4)。总之,模拟结果显示部署 26 mm 自膨式瓣膜是合适的策略。因此,在 TAVR 术前应用 3D 打印技术能够提高手术方案的可行性和有效性<sup>[17]</sup>。

TAVR 计算机模拟系统正在逐渐开发完善,将为 TAVR 提供更全面的术前规划方案<sup>[18]</sup>。而 3D 打印模型依旧具有独特的优势,该技术不仅能将复杂的主动脉根部结构三维可视化并实体重现,还能帮助术者更好地观察、理解瓣膜与冠脉开口的解剖联系,从而制定最佳治疗策略,而这些优势又是计算机模拟所欠缺的。因此,对于复杂病例冠脉阻塞风险的评估,使用 3D 打印技术将有助于术者制定更准确、安全的个体化 TAVR 治疗策略。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

- [1] 周达新,潘文志,吴永健,等. 经导管主动脉瓣置换术中国专家共识(2020 更新版)[J]. 中国介入心脏病学杂志,2020,28(6):301-309.
- [2] 祝磊,欧袁伟翔,李茜,等. 经导管主动脉瓣置换术并发冠状动脉阻塞的研究进展[J]. 华西医学,2020,35(9):1039-1043.
- [3] Liu JD, Luo XD, Zhou ZP, et al. Annular and supra-annular structure assessments for transcatheter aortic valve replacement in patients with bicuspid aortic stenosis[J]. Rev Cardiovasc Med, 2021, 22(4):1157-1166.
- [4] Kapadia SR, Leon MB, Makkar RR, et al. 5-year outcomes of transcatheter aortic valve replacement compared with standard treatment for patients with inoperable aortic stenosis(PARTNER 1): a randomised controlled trial[J]. Lancet, 2015, 385(9986):2485-2491.
- [5] Mack MJ, Leon MB, Thourani VH, et al. Transcatheter Aortic-Valve Replacement with a Balloon-Expandable Valve in Low-Risk Patients[J]. N Engl J Med, 2019, 380(18):1695-1705.
- [6] Kodali S, Pibarot P, Douglas PS, et al. Paravalvular regurgitation after transcatheter aortic valve replacement with the Edwards sapien valve in the PARTNER trial: characterizing patients and impact on outcomes[J]. Eur Heart J, 2015, 36(7):449-456.
- [7] Hansson NC, Grove EL, Andersen HR, et al. Transcatheter Aortic Valve Thrombosis: Incidence, Predisposing Factors, and Clinical Implications[J]. J Am Coll Cardiol, 2016, 68(19):2059-2069.
- [8] Ribeiro HB, Rodés-Cabau J, Blanke P, et al. Incidence, predictors, and clinical outcomes of coronary obstruction following transcatheter aortic valve replacement for degenerative bioprosthetic surgical valves: insights from the VIVID registry[J]. Eur Heart J, 2018, 39(8):687-695.
- [9] Ribeiro HB, Webb JG, Makkar RR, et al. Predictive factors, management, and clinical outcomes of coronary obstruction following transcatheter aortic valve implantation: insights from a large multicenter registry[J]. J Am Coll Cardiol, 2013, 62(17):1552-1562.
- [10] Arai T, Lefèvre T, Hovasse T, et al. Incidence and predictors of coronary obstruction following transcatheter aortic valve implantation in the real world[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2017, 90(7):1192-1197.
- [11] Webb JG, Chandavimol M, Thompson CR, et al. Percutaneous aortic valve implantation retrograde from the femoral artery[J]. Circulation, 2006, 113(6):842-850.
- [12] Fetahovic T, Hayman S, Cox S, et al. The Prophylactic Chimney Snorkel Technique for the Prevention of Acute Coronary Occlusion in High Risk for Coronary Obstruction Transcatheter Aortic Valve Replacement/Implantation Cases [J]. Heart Lung Circ, 2019, 28(10):e126-e130.
- [13] Rivard AL, Bartel T, Bianco RW, et al. Evaluation of aortic root and valve calcifications by multi-detector computed tomography[J]. J Heart Valve Dis, 2009, 18(6):662-670.
- [14] Ribeiro HB, Nombela-Franco L, Urena M, et al. Coronary obstruction following transcatheter aortic valve implantation: a systematic review[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2013, 6(5):452-461.
- [15] Spina R, Khalique O, George I, et al. Acute left main stem coronary occlusion following transcatheter aortic valve replacement in a patient without recognized coronary obstruction risk factors: a case report[J]. Eur Heart J Case Rep, 2018, 2(4):yty112.
- [16] 陈强,姜益,郝军军,等. 3D 打印技术在经导管主动脉瓣置换手术中应用价值分析[J]. 临床军医杂志, 2021, 49(11):1244-1247.
- [17] Maragiannis D, Jackson MS, Igo SR, et al. Replicating Patient-Specific Severe Aortic Valve Stenosis With Functional 3D Modeling[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2015, 8(10):e003626.
- [18] Thériault-Lauzier P, Messika-Zeitoun D, Piazza N. Patient-Specific Computer Simulation in TAVR: Will the Technology Gain Widespread Adoption? [J]. JACC Cardiovasc Interv, 2020, 13(15):1813-1815.

(收稿日期:2022-05-24)