·论著·

3D打印技术在经导管主动脉瓣置换术治疗二叶式主动脉瓣狭窄中的应用

张航，王华君，石凤梧，刘苏，马千里，安景辉
（河北医科大学第二医院心脏外科，石家庄 050061）

摘要 目的 探讨3D打印技术在经导管主动脉瓣置换术（TAVR）治疗二叶式主动脉瓣狭窄中的应用价值。**方法** 回顾性分析2020年1月至2023年1月于河北医科大学第二医院心脏外科行TAVR治疗的二叶式主动脉瓣狭窄患者的临床资料。根据是否应用3D打印技术将患者分为3D打印组和非3D打印组，比较2组患者围手术期的各项临床指标。**结果** 共纳入患者70例，其中3D打印组35例，非3D打印组35例。患者术后不适症状均较术前明显改善，术后左室射血分数均有不同程度的提升。与非3D打印组相比，3D打印组手术时间、X线照射时间、跨瓣时间明显缩短，术后“瓣中瓣”置入、传导阻滞的发生概率明显降低，差异均有统计学意义（P均<0.05）；2组术后中量及以上瓣周漏、瓣膜移位、中转开胸发生率比较，差异无统计学意义（$P>0.05$）。**结论** 3D打印技术可有效指导二叶式主动脉瓣狭窄的TAVR治疗，在明显缩短手术时间的同时可有效提高TAVR手术的成功率，降低不良事件的发生风险，为二叶式主动脉瓣狭窄的经导管治疗提供了新思路。

关键词 3D打印；经导管主动脉瓣置换术；二叶式主动脉瓣
中图分类号 R542.5 **文献标志码** B **文章编号** 0258-4646（2025）10-0942-04
网络出版地址 https://link.cnki.net/urlid/21.1227.R.20251014.1641.012
DOI：10.12007/j.issn.0258-4646.2025.10.014

Application of 3D printing technology in transcatheter aortic valve replacement for bicuspid aortic stenosis

ZHANG Hang，WANG Huajun，SHI Fengwu，LIU Su，MA Qianli，AN Jinghui
（Department of Cardiac Surgery，The Second Hospital of Hebei Medical University，Shijiazhuang 050061，China）

Abstract Objective To explore the value of 3D printing technology in transcatheter aortic valve replacement（TAVR）for bicuspid aortic stenosis. **Methods** We retrospectively analyzed the clinical data of patients who underwent TAVR for bicuspid aortic stenosis at the Department of Cardiac Surgery of the Second Hospital of Hebei Medical University between January 2020 and January 2023. Seventy patients were divided into 3D printing and non-3D printing groups of 35 each，based on whether or not 3D printing technology was applied，and the perioperative clinical data of the two groups were compared. **Results** The patients' postoperative symptoms significantly improved compared with those before the operation，and the left ventricular ejection fraction increased to varying degrees. Compared with the non-3D printing group，the operation time，X-ray irradiation time. and transvalvular time in the 3D printing group were significantly shortened，and the probabilities of the occurrence of postoperative “flap-to-flap” implantation and conduction block were significantly reduced，with statistically significant differences（$P<0.05$）. There was no statistically significant difference（$P>0.05$）in the incidence of moderate and above perivalvular leakage，valve displacement，or conversion to thoracotomy between the two groups after surgery. **Conclusion** 3D printing technology can effectively guide the TAVR treatment of bicuspid aortic stenosis. While significantly shortening the operation time，it can effectively increase the success rate of TAVR and reduce the risk of adverse events，providing a new approach for the transcatheter treatment of bicuspid aortic stenosis.

Keywords 3D printing；transcatheter aortic valve replacement；bicuspid aortic stenosis

经导管主动脉瓣置换术（transcatheter aortic valve replacement，TAVR）是老年主动脉瓣狭窄（aortic stenosis，AS）患者的一线治疗方案，且有望成为外科主动脉瓣置换术（surgical aortic valve replacement，SAVR）的有效替代方案[1-2]。二叶式主动脉瓣（bicuspid aortic valve，BAV）是一种先天性瓣膜发育异常，在我国AS患者中较为常见，发病率为0.43%~0.70%[3-6]。与三叶式主动脉瓣不同，BAV解剖结构独特，形态分布上更不对称，常伴有严重钙化及升主动脉病变[7-8]，

基金项目：河北省医学科学研究课题（20240023）
作者简介：张航（1993-），男，主治医生，硕士.
通信作者：安景辉，E-mail：anjinghui2009@126.com
收稿日期：2024-12-22
网络出版时间：2025-10-15 13:49:21

因此BAV狭窄患者行TAVR的难度更大、风险也更高[9-10]。

研究[11-15]表明，3D打印技术可以用于TAVR治疗。借助3D打印模型，术者可更直观地了解患者主动脉根部解剖特点，还可实现术前模拟演练，降低整体手术的相关风险，提升安全性和有效性。目前，3D打印技术在BAV狭窄患者行TAVR治疗中的应用较为少见，本研究旨在探讨3D打印技术在BAV狭窄患者行TAVR治疗中的应用价值，以期为临床提供相关参考。

1　材料与方法

1.1　一般资料

收集2020年1月至2023年1月河北医科大学第二医院心脏外科行TAVR治疗的70例BAV狭窄患者的围手术期临床资料。根据围手术期内是否应用3D打印技术，将患者分为3D打印组（35例）和非3D打印组（35例）。纳入标准：（1）经超声心动图明确瓣膜病变为单纯BAV狭窄（不存在其他瓣膜病变）且瓣膜病变需行TAVR治疗；（2）经冠状动脉造影/冠状动脉计算机断层成像血管造影（computed tomography angiography，CTA）明确不存在需经皮冠状动脉介入治疗（percutaneous coronary intervention，PCI）或冠状动脉搭桥处理的冠状动脉病变；（3）临床资料完整；（4）患者术前均经正规保守治疗，症状均未缓解，且左室射血分数（left ventricular ejection fraction，LVEF）未见明显提升。本研究经河北医科大学第二医院医学伦理委员会审查批准（2022-R382），所有患者自愿参与并签署知情同意书。

1.2　一般术前评估

术前应用经胸/经食管超声心动图对所有患者的主动脉根部及整体心脏情况进行定性、定量分析（瓣环、瓦氏窦、窦管交界、升主动脉、瓣叶、左心室、心脏功能等）；术前对采集的CTA数据进行3mensio分析。

1.3　3D打印模型建立

结合CTA结果，对3D打印组进行主动脉根部三维重建（图1）；利用3D打印技术，制作患者主动脉根部模型（图2）；利用3D打印模型详细评估患者主动脉根部解剖特点，分析置入风险、预测置入效果，必要时可进行模拟演练（图3）。

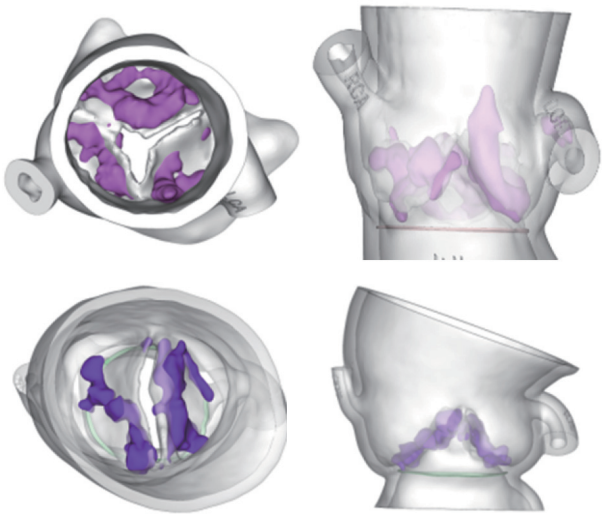


图1　主动脉根部三维重建

Fig.1　3D reconstruction of the aortic root

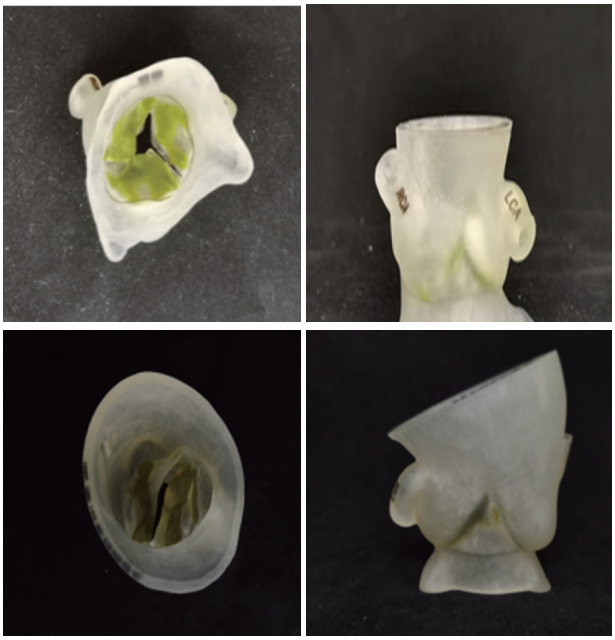


图2　主动脉根部3D打印模型

Fig.2　3D printed model of the aortic root

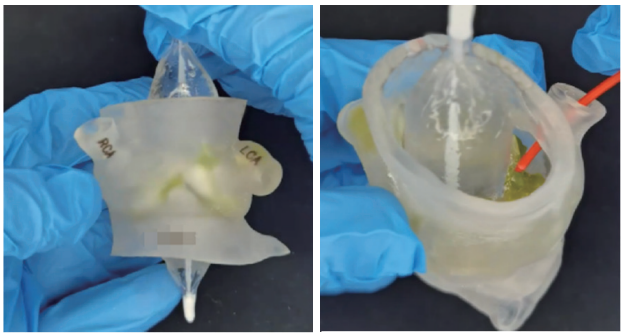


图3　3D打印模型的体外模拟演练

Fig.3　In vitro simulation exercise of the 3D printed models

1.4　手术过程

预置胸外除颤电极片，自颈部穿刺置入右心室起搏导管。经左股动脉穿刺置管行主动脉根部造影，明确主动脉根部情况。将右股部切开，游离股动脉并套带，经右股动脉穿刺置入10F鞘管，沿10F鞘管送入AL2导管至升主动脉，交换直头导丝跨主动脉瓣至左心室，将AL2导管沿导丝送至左心室，经AL2导管交换超硬导丝至左心室，撤出AL2导管。撤出10F鞘管，沿超硬导丝置入20/22F鞘管。沿超硬导丝置入球囊扩张管，超速起搏下进行球囊预扩。沿超硬导丝送入已预装介入瓣膜支架的瓣膜输送系统，根据猪尾导管造影调整位置，部分释放后超速起搏，释放完毕，行主动脉根部造影，评估瓣膜形态、位置及反流情况。术中经胸超声心动图再次评估瓣膜形态、位置及反流情况。撤出导管、导丝，缝合切口，手术完毕。

1.5　观察指标

记录患者一般资料，包括性别、年龄、术前心功能分级、术前LVEF。术中“瓣中瓣”置入情况；手术时间、X线照射时间、跨瓣时间；症状改善情况、术后LVEF；术后瓣周漏、新发传导阻滞（左束支传导阻滞、房室传导阻滞、右束支传导阻滞）、冠状动脉阻塞、瓣膜移位（上跳至升主动脉或下滑至左心室）、中转开胸等严重不良事件的发生情况。

1.6　统计学分析

采用SPSS 25.0软件进行统计分析，计数资料以率（%）表示，采用χ^2检验或Fisher确切概率法；满足正态分布的计量资料以$\bar{x} \pm s$表示，不满足正态分布的计量资料以$M(P_{25}\sim P_{75})$表示，2组间比较采用t检验或非参数检验。$P<0.05$为差异有统计学意义。

2　结果

2.1　2组一般资料比较

2组一般资料比较，差异均无统计学意义（$P>0.05$），见表1。

2.2　2组术中、术后资料比较

表1　2组一般资料比较

Tab.1　Comparision of the general information between the two groups

Clinical feature	3D printing group ($n=35$)	Non-3D printing group ($n=35$)	P
Sex [n (%)]			0.631
Male	20 (57.1)	18 (51.4)	
Female	15 (42.9)	17 (48.6)	
Age (year)	66.2 ± 5.1	67.3 ± 6.8	0.613
NYHA [n (%)]			0.743
Ⅲ	5 (14.3)	6 (17.1)	
Ⅳ	30 (85.7)	29 (82.9)	
LVEF (%)	47.3 ± 8.9	50.1 ± 10.1	0.223

与非3D打印组相比，3D打印组手术时间、X线照射时间、跨瓣时间明显缩短，差异均有统计学意义（P均<0.05）；术后“瓣中瓣”置入、传导阻滞的发生概率明显降低，差异有统计学意义（均$P<0.05$）；术后中量及以上瓣周漏、瓣膜移位、中转开胸发生率降低，但差异无统计学意义（$P>0.05$）。见表2。

3　讨论

BAV解剖结构独特，结构上的变异给该类患者行TAVR治疗带来了巨大挑战。三叶式AS的TAVR手术锚定点往往定在“虚拟瓣环”（影像学上可测得的3个窦底平面）处，若BAV狭窄的TAVR手术参照此方法进行锚定，容易导致瓣膜支架置入位置过深（BAV直径最窄、椭圆率最大的平面往往不在瓣环平面，而在之上，瓣膜支架释放过程中容易向心室方向移位），从而引起瓣周漏或传导阻滞的发生。此外，BAV狭窄的不对称、较大的钙化，瓣叶融合的钙化脊也会限制瓣膜支架的充分扩张，导致瓣环贴合不良，从而引发术后瓣周反流、瓣膜加速损毁等问题。

3D打印技术指导TAVR的总体优势在于形象化

的解剖结构及瓣膜的模拟置入（预估置入风险）。形象化解剖结构是指将主动脉根部结构可视化、具体化，使解剖结构更为直观、立体，术者通过3D打印实物即可轻松了解主动脉根部结构及解剖分布特点，有助于临床的判断与决策。通过3D打印技术打印出来的主动脉根部实物既可用于TAVR治疗前置入的模拟演练，评估瓣膜置入风险，又可用于年轻术者和学员的体外TAVR模拟练习，加深对手术的理解，有利于突破学习瓶颈、缩短学习曲线。研究[14]表明，TAVR中3D打印指导的作用显著、确切，可明确个体主动脉根部解剖结构、预估术后并发症风险、评估手术效果，助力个体化方案的订制与实施。

表2　2组术中及术后资料比较

Tab.2　Comparision of the intraoperative and postoperative data between the two groups

Clinical feature	3D printing group (n = 35)	Non-3D printing group (n = 35)	P
Valve in valve [n (%)]	0 (0)	7 (20.0)	0.005
Operation time (min)	109.2 ± 25. 6	123.5 ± 33.2	<0.001
X-ray irradiation time (min)	20.1 ± 4. 8	29.3 ± 6.6	<0.001
Cross-valve time (min)	6.8 ± 2.2	11.1 ± 6.1	<0.001
LVEF (%)	58.2 ± 3.3	58.8 ± 5.8	0.459
Moderate and above paravalvular leakage	0 (0)	2 (5.8)	0.151
Conduction block	2 (5.7)	12 (34.3)	0.003
Coronary artery obstruction	0 (0)	0 (0)	–
Valve displacement	0 (0)	1 (2.9)	0.314
Intermediate thoracotomy	0 (0)	1 (2.9)	0.314

BAV狭窄患者行TAVR的难点主要在于独特的解剖结构特点所带来的瓣膜置入困难，而3D打印形象化、具体化的优势正是破解BAV狭窄患者行TAVR治疗难题的有效方法。本研究结果显示，术前通过对患者主动脉根部3D打印模型的充分评估及模拟演练可明显缩短手术时间、X线照射时间、术中跨瓣时间，术后传导阻滞的发生风险显著降低。在术后瓣周反流、瓣膜移位、中转开胸等方面，2组差异虽无统计学意义（$P > 0.05$），但3D打印组的不良事件发生率更低。此外，术前通过对3D打印模型的具体研判，还可有效降低“瓣中瓣”的置入风险，为患者的瓣膜终身管理提供强有力的保证。

综上所述，3D打印技术可有效指导BAV狭窄患者的TAVR治疗，为BAV狭窄的经导管治疗提供了新思路，在显著降低了BAV病变行TAVR治疗风险的同时，明显缩短了手术及辐射时间，手术效率得到了进一步提高。本研究仍存在一定局限性，主要表现为样本量的不足。期望后续有更大样本量的多中心研究为3D打印技术在BAV狭窄患者行TAVR治疗中的应用提供更强有力的证据支撑。

参考文献：

[1] 李柳，郑庆厚，王乐，等. 经导管主动脉瓣置换术治疗主动脉瓣重度狭窄的疗效评价[J]. 中国医科大学学报，2024，53（11）：989-993. DOI：10.12007/j.issn.0258-4646.2024.11.006.

[2] VAHANIAN A，BEYERSDORF F，PRAZ F，et al. 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease [J]. Eur Heart J，2022，43（7）：561-632. DOI：10.1093/eurheartj/ehab395.

[3] LI YJ，WEI X，ZHAO ZG，et al. Prevalence and complications of bicuspid aortic valve in Chinese according to echocardiographic database [J]. Am J Cardiol，2017，120（2）：287-291. DOI：10.1016/j.amjcard.2017.04.025.

[4] PAN WZ，ZHOU DX，CHENG LL，et al. Aortic regurgitation is more prevalent than aortic stenosis in Chinese elderly population：implications for transcatheter aortic valve replacement [J]. Int J Cardiol，2015，201：547-548. DOI：10.1016/j.ijcard.2014.10.069.

[5] SHARIF D，AZZAM E，SHARIF-RASSLAN A. Long-term performance of bicuspid and quadricuspid aortic valves：similarities and differences [J]. Echocardiography，2019，36（9）：1701-1705. DOI：10.1111/echo.14471.

[6] 邵美华，周玉强，王萌萌，等. 经导管主动脉瓣置换术治疗二叶式主动脉瓣狭窄研究进展[J]. 心血管病学进展，2020，41（11）：1184-1188. DOI：10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2020.11.019.

[7] WANG J，DENG W，LV Q，et al. Aortic dilatation in patients with bicuspid aortic valve [J]. Front Physiol，2021，12：615175. DOI：10.3389/fphys.2021.615175.

[8] MICHELENA HI，DESJARDINS VA，AVIERINOS JF，et al. Na-

（下转第957页）

噬细胞的炎症反应，增加动脉壁斑块的稳定性。这些结果提示CTRP9可能参与机体的炎症反应，改善GDM患者的IR。

综上所述，本研究显示，CTRP9与GDM患者的IR和胰岛β细胞功能损伤、炎性细胞因子、脂肪因子密切相关，CTRP9联合HOMA-IR筛查GDM的发生具有重要临床意义。CTRP9在GDM中的具体作用机制仍有待进一步研究。

参考文献：

[1] YIN Y，PAN Y，HE J，et al. The mitochondrial-derived peptide MOTS-c relieves hyperglycemia and insulin resistance in gestational diabetes mellitus [J]. Pharmacol Res，2022，175：105987. DOI：10.1016/j.phrs.2021.105987.

[2] KARAÇIL ERMUMCU MŞ，ACAR TEK N. Effects of high-dose folic acid supplementation on maternal/child health outcomes：gestational diabetes mellitus in pregnancy and insulin resistance in offspring [J]. Can J Diabetes，2023，47 (2)：133-142. DOI：10.1016/j.jcjd.2022.10.008.

[3] KVIST AAS，SHARMA A，SOMMER C，et al. Adipose tissue insulin resistance in south Asian and Nordic women after gestational diabetes mellitus [J]. Metabolites，2024，14 (5)：288. DOI：10.3390/metabo14050288.

[4] YANG J，LIU F，LI Y，et al. Forkhead box C2 is associated with insulin resistance in gestational diabetes mellitus [J]. Gynecol Endocrinol，2022，38 (6)：499-502. DOI：10.1080/09513590.2022.2072485.

[5] RAMACHANDRAYYA SA，D'CUNHA P，REBEIRO C. Maternal circulating levels of adipocytokines and insulin resistance as predictors of gestational diabetes mellitus：preliminary findings of a longitudinal descriptive study [J]. J Diabetes Metab Disord，2020，19 (2)：1447-1452. DOI：10.1007/s40200-020-00672-4.

[6] MOYCE GRUBER BL，COLE LK，XIANG B，et al. Adiponectin deficiency induces hepatic steatosis during pregnancy and gestational diabetes in mice [J]. Diabetologia，2022，65 (4)：733-747. DOI：10.1007/s00125-021-05649-3.

[7] HUANG R，DONG Y，LEVY E，et al. Large-for-gestational-age，leptin，and adiponectin in infancy [J]. J Clin Endocrinol Metab，2022，107 (2)：e688-e697. DOI：10.1210/clinem/dgab642.

[8] PAN XF，HUANG Y，LI X，et al. Circulating fatty acids and risk of gestational diabetes mellitus：prospective analyses in China [J]. Eur J Endocrinol，2021，185 (1)：87-97. DOI：10.1530/EJE-21-0118.

[9] XU P，DONG S，WU L，et al. Maternal and placental DNA methylation changes associated with the pathogenesis of gestational diabetes mellitus [J]. Nutrients，2022，15 (1)：70. DOI：10.3390/nu15010070.

[10] LALTLANZOVI C，CHOUDHURY M，SINGH R，et al. Study of serum adiponectin and interleukin-1β levels in women with gestational diabetes [J]. Indian J Endocrinol Metab，2022，26 (6)：581-588. DOI：10.4103/ijem.ijem_60_22.

[11] MALLARDO M，FERRARO S，DANIELE A，et al. GDM-complicated pregnancies：focus on adipokines [J]. Mol Biol Rep，2021，48 (12)：8171-8180. DOI：10.1007/s11033-021-06785-0.

[12] BERNEA EG，UYY E，MIHAI DA，et al. New born macrosomia in gestational diabetes mellitus [J]. Exp Ther Med，2022，24 (6)：710. DOI：10.3892/etm.2022.11646.

[13] QI W，ZHU D，YIN P，et al. Pigment epithelium-derived factor，a novel adipokine，contributes to gestational diabetes mellitus [J]. J Clin Endocrinol Metab，2023，109 (1)：e356-e369. DOI：10.1210/clinem/dgad413.

[14] 杨帆，张春艳，蔡本硕. 妊娠高血压综合征对血清炎性细胞因子和糖脂代谢的影响 [J]. 中国医科大学学报，2024，53 (6)：565-568. DOI：10.12007/j.issn.0258-4646.2024.06.014.

（编辑　陈　姜）

（上接第945页）

tural history of asymptomatic patients with normally functioning or minimally dysfunctional bicuspid aortic valve in the community [J]. Circulation，2008，117 (21)：2776-2784. DOI：10.1161/CIRCULATIONAHA.107.740878.

[9] PHILIP F，FAZA NN，SCHOENHAGEN P，et al. Aortic annulus and root characteristics in severe aortic stenosis due to bicuspid aortic valve and tricuspid aortic valves：implications for transcatheter aortic valve therapies [J]. Catheter Cardiovasc Interv，2015，86 (2)：E88-E98. DOI：10.1002/ccd.25948.

[10] PERLMAN GY，BLANKE P，WEBB JG. Transcatheter aortic valve implantation in bicuspid aortic valve stenosis [J]. EuroIntervention，2016，12 (Y)：Y42-Y45. DOI：10.4244/EIJV12SYA10.

[11] FAN YT，WONG RHL，LEE AP. Three-dimensional printing in structural heart disease and intervention [J]. Ann Transl Med，2019，7 (20)：579. DOI：10.21037/atm.2019.09.73.

[12] HOSNY A，DILLEY JD，KELIL T，et al. Pre-procedural fit-testing of TAVR valves using parametric modeling and 3D printing [J]. J Cardiovasc Comput Tomogr，2019，13 (1)：21-30. DOI：10.1016/j.jcct.2018.09.007.

[13] ZHANG H，SHEN Y，ZHANG L，et al. Preoperative evaluation of transcatheter aortic valve replacement with assistance of 3D printing technique：reanalysis of 4 death cases [J]. J Interv Med，2019，2 (4)：166-170. DOI：10.1016/j.jimed.2019.10.006.

[14] 马燕燕，毛予，刘洋，等. 3D打印指导经导管主动脉瓣置换术的多中心回顾性研究 [J]. 中国循环杂志，2022，37 (4)：348-355. DOI：10.3969/j.issn.1000-3614.2022.04.006.

[15] 金屏，刘洋，郭红，等. 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 [J]. 中国动脉硬化杂志，2020，28 (10)：841-846. DOI：10.3969/j.issn.1007-3949.2020.10.004.

（编辑　于　溪）