

·病例报告·

儿童主动脉缩窄 3D 打印及模拟手术应用一例及文献复习



全文二维码



开放科学码

冉启仁^{1,2} 金鑫^{1,2} 吴春^{1,2} 雷洪波^{1,2}

【中图分类号】 R654.31 R726.1

主动脉缩窄(coarctation of aorta, CoA)是一种较常见的复杂型先天性心脏病,文献报道 CoA 在国内的发病率占有先天性心脏病的 3%~5%,国外则占有先天性心脏病发病率的 5%~8%。CoA 常合并心内结构性畸形,部分主动脉缩窄病变涉及主动脉发育不良和变异^[1]。其临床表现多样,主要取决于主动脉的缩窄程度、有无侧枝血管形成、动脉导管是否未闭以及是否合并复杂心内畸形等。主动脉缩窄的诊断途径主要包括心脏 CT、磁共振成像、心脏彩超等,但上述检查的局限性在于无法立体呈现病变结构的影像,特别是对于年轻医师而言,仅通过二维图像准确重建病变部位的空间结构及毗邻关系来确定手术径路显得尤为困难。近年来,随着 3D 打印技术在各个专科领域的纵深发展,目前已有国内外文献报道 3D 打印技术用于儿童复杂先天性心脏病术前模拟手术,并达到预期的手术效果^[2-5]。现结合文献复习对重庆医科大学附属儿童医院一例重度主动脉缩窄伴主动脉三支起源异常患者应用术前 3D 打印技术模拟手术治疗的全过程进行报道。

患者男,1 个月 24 天,体重 4 kg。主诉:发现心脏杂音 1 月余,咳嗽 10 余天,气促、反应差 1 天,遂收入院新生儿科。1 个月前患者因新生儿肺炎于我院新生儿科住院治疗期间行心脏 CTA,提示升主动脉直径约 9.6 mm,主动脉弓峡部明显缩窄,两端呈线状连接,距离约 2.2 mm,其中近端直径约 4.6 mm,远端直径约 7.4 mm,降主动脉直径约 6.8 mm,穿膈处约 6.7 mm,未见确切动脉导管开放征象。肺动脉主干直径 10.1 mm,大于同层主动脉,左右肺动脉直径分别为 4.5 mm、4.0 mm,未见明显狭窄或扩张征象。气道重建示大气道无明显异常。影像学诊断:先天性心脏病,主动脉重度缩窄(三分支起源异常),房间隔缺损。超声心动图示 II 型房间隔缺 2.3 mm,心房水平左向右分流,左位主动脉弓,主动脉弓横部内径 6.2 mm,左锁骨下动脉内径 3.1 mm,峡部内径

2.2 mm,血流速 4.18 m/s,压差 69.8 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)。射血分数 45%。彩超诊断:主动脉缩窄(重度),房间隔缺损(卵圆孔型)。此次因再发“重症肺炎伴呼吸衰竭”入院,主要表现为喘息、多汗、喂养困难、反应差。入院后查体:体温 37.3℃,呼吸 40 次/分,心率 200 次/分,左上肢血压 65/30 mmHg,左下肢血压 56/34 mmHg,右上肢血压 69/32 mmHg,右下肢血压 54/31 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa),右上肢经皮血氧饱和度 98%,右下肢血氧饱和度 98%,气促明显,双肺呼吸音粗,双肺闻及散在粗湿啰音,心前区无凸起,胸骨左缘第 2~3 肋间闻及 3/6 级收缩期杂音。腹平软,肝肋下 2 cm 可触及,质软、边缘锐、表面光滑,脾肋下未触及,双侧股动脉搏动明显减弱,双下肢无水肿,生理反射存在。临床诊断:主动脉重度缩窄伴房间隔缺损(卵圆孔型),重症肺炎,呼吸衰竭,内环境紊乱。入院后立即予以气管插管、纠酸、抗感染、扩容等处理。在医学 3D 打印技术的协助下,拷贝患者的 DICOM 数据,通过软件合成还原患者的心脏及其大血管三维解剖结构。

通过图 1 我们发现,该患者的主动脉缩窄类型不能很好地应用现有的类型进行分类,国内外少见类似报道,其特别之处在于患者的左锁骨下动脉以及左颈总动脉均从无名动脉上的邻近位置发出,主动脉弓走行变得纤细,远端与降主动脉几乎无管型结构相连接,未见动脉导管,两断端可见侧枝血管形成。

讨论 此例患者的解剖结构十分罕见。我们根据 3D 打印的心脏及其大血管模型进行术前模拟,根据解剖模型,我们拟定了 4 种可能的手术方式:切除并(扩大)端端吻合;切除并(扩大)端侧吻合;左锁骨下动脉翻转补片术;人工血管补片成形术。经过手术模拟,我们发现切除并端侧吻合是最适合该患者的手术方式。术中采用左后外侧第 4 肋间入胸,切断缩窄段主动脉及导管组织,采用 7-0 PDS 缝线连续端侧吻合降主动脉与主动脉弓。术中探查结果与术前重建及模拟结果一致,减少了术中反复探查与设计吻合口的时间。手术过程顺利,主动脉阻断时间 30 min,术后呼吸机使用时间 179 h。随访心脏彩超提示吻合口压差 14 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa),流速 1.86 m/s,大动脉水平未见残余分流。对本例患者我们充分发挥 3D 打印技术的优势,术前通过对重建的模型进行反复的手术入路设计及吻合方式选择,术中

DOI:10.12260/lcxewkzz.2021.09.019

基金项目:重庆市委面上项目(编号:cstc2020jcyj-msxm0282)

作者单位:1. 重庆医科大学附属儿童医院胸心外科; 2. 儿童发育疾病研究教育部重点实验室/国家儿童健康与疾病临床研究中心(重庆); 儿童发育重大疾病国家国际科技合作基地; 儿科学重庆市重点实验室(重庆市,400014)

通信作者:吴春, Email:wuchun007@sina.com

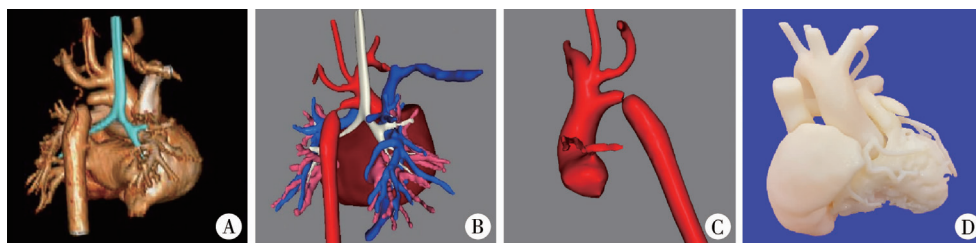


图1 儿童主动脉缩窄3D打印图片 A:患者术前CT图像重建显示主动脉缩窄处仅见线性连接; B:3D软件重建患者心脏及其大血管连接模型; C:模拟切除后患者主动脉重建情况; D:基于挤出沉积技术打印的生物3D心脏模型

Fig.1 A:CT image reconstruction before operation showed only linear connection at coarctation of aorta; B: model of heart and its great vessels reconstructed by 3D software; C:reconstruction of aorta after resection; D: Biological 3D heart model printed based on extrusion technology

进一步验证设计方案的可行性,术后总结经验,对复杂型先天性心脏病应用3D打印技术协助术前评估及手术规划是有意义的。

CoA是一种胸主动脉的先天性狭窄,以外科治疗为主,手术的目的是切断狭窄段血管并重获血管的通畅。本例患者主动脉缩窄程度重,狭窄段长,解剖结构复杂,手术难度极大,心脏CTA虽能准确显示患者的心脏血管结构性畸形,但其仅能以二维图像的形式呈现,无法切换视角,多参数、立体、可测、可触地显示患者的心外结构性病变^[6]。超声心动图虽能清晰显示心脏内部的结构性缺陷,但对心脏的大血管病变的观察与诊断存在局限,这容易使医生对术前评估及疾病的分析产生偏差^[4,6]。3D打印技术是快速成型技术的一种,是以三维几何模型为基础,运用粉末状金属或塑料等可粘合材料,通过增加材料逐层打印的方法来制造物体的技术^[7]。3D打印技术克服了其他影像观察诊断的局限性,其基于CT、MRI以及3D心脏超声数据的三维成像能360°显示心脏内外结构。一方面使得医师对患者的病变有了整体性的空间认知,有利于手术规划;另一方面也便于医师向患者家属描述病情,更直观地沟通手术风险。

目前,3D打印技术在医学领域中的应用主要体现在3个方面:一是用于医学教学、手术规划或练习,以及以标本制作为代表的模型制造;二是用于如骨骼、瓣膜等替换为代表的可移植性假体制造;三是用于组织工程领域中,主要包括生物材料、生物化学物质和细胞为基础制造的生物3D打印^[8]。1987年美国国家科学基金会正式提出和确定“组织工程”这一概念,其核心是利用细胞生物学和工程学原理,在体外培养、扩增种子细胞,再种植于生物相容性好、并可降解的生物材料上,形成细胞-生物材料复合物,植入体内与宿主组织融合生长,以达到对宿主组织结构修复和功能重建的目的。随着3D打印技术在医学领域发展不断细化,我中心正在尝试规划将3D打印实物技术用于教学及术前手术演练方案的制定。

近年来,随着3D打印技术的不断完善,其在协助诊断复杂型先天性心脏病及提供术前指导方面扮演着越来越重要的角色。杨帆等^[9]利用3D打印技术打印出心脏模型,指导心脏介入手术并取得成功。2006年国外已有学者根据患者个体化解剖数据,利用3D打印技术制作弹性心脏模型,用于

手术的规划与研究^[10]。Riesenkampff等^[11]首先采用CT及MRI对11例复杂先心病患者进行扫描,获取二维心脏扫描数据,随后采用计算机进行三维重建,再采用3D打印技术打印出患者的心脏三维模型,从而得到心脏内外结构空间关系的准确信息,并根据模型在术前制订出个体化手术方案。Vettukattil等^[3]对5例复杂先心病患者进行3D心脏解剖模型的打印,不仅使医师团队更容易通过术前模拟改善或制定手术决策,也可更简便、清楚地向患者家属描述病情。3D打印技术不仅为患者带来了更佳清晰的手术方案设计,也减少了对邻近重要组织结构损伤的风险,使患者能在最短的时间内完成手术治疗,减少了体外循环转机以及在患者的ICU停留时间,有助于外科医生真正提高手术技术。

个体化精准治疗是未来医学发展的趋势,如何为患者设计个体化最优精准治疗方案、提高患者治愈率、减少并发症、减轻患者病痛、缩短住院时间及节省治疗费用等内容值得研究,而3D打印技术开辟了个性化精准医疗的新认知。Ryan等一项为期3年的回顾性研究发现,是否打印解剖模型与手术结局并无明显关系,但对于提高手术医师对病变的术前认知及减少手术设计时间是有用的。Valverde等^[2]联合多中心对40例先天性心脏病患者的前瞻性研究表明,经过对3D打印模型的思考设计后,有19例改变了原先拟定的手术方案。由此可见,加快深入开展3D打印技术在医学领域中的应用具有重要意义。但3D打印技术在国内还属于新技术,在学科发展过程中还有很多问题亟待解决,一是三维辅助模型的设计并非正规的医疗收费项目,大部分医学建模和实物打印都由相关公司完成,各家单位没有统一的设计方案及规范化培训的技术人员;二是目前的3D打印数据均来源于CT、MRI或3D超声心动图的底层数据,但原始的影像资料并不能完全达到医学三维建模的标准,可能得出无临床价值的三维数据;三是由于医学图像分割算法存在一定的局限性,对于瓣膜、冠状动脉等解剖结构的打印存在缺陷;四是3D打印的生物材料必须拥有良好的组织相容性、可降解性以及具有组织活动等特性,而目前材料学的学科发展相对滞后;五是目前只能打印简单的器官,在器官内打印微小血管变得困难,打印的器官不具有其原生物体的组织细胞功能;六是3D打印的结局是产生了一个动态器官的静态模型,对

于理解心脏的血流动力学变得困难;七是 3D 打印的耗时太久,通常 8~24 h 的打印成型时间可能导致复杂先心病患者错过最佳手术时机^[2]。

综上所述,涵盖了计算机技术、材料科学、精密器械以及医学的 3D 打印技术搭建起了传统影像学 and 医学解剖之间的桥梁,对患有先心病特别是复杂型先心病的患者,3D 打印技术用于协助术前诊断及手术模拟方面展示了良好的应用前景,在心脏移植方面也具有一定的优势,虽然现阶段的 3D 打印还存在诸多不足,但相信随着各专科领域合作研究的深入,生物医学 3D 打印技术在小儿复杂型先天性心脏病中的应用将更加广泛与深入。

参考文献

- 1 陈斌,安永. 婴幼儿主动脉缩窄外科治疗进展[J]. 现代医药卫生,2014,30(13):1971-1973. DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2014.13.021.
Chen B, An Y. Progress in surgical treatment of aortic coarctation in infants [J]. Journal of Modern Medicine & Health, 2014,30(13):1971-1973. DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2014.13.021.
- 2 Valverde I, Gomez-Ciriza G, Hussain T, et al. Three-dimensional printed models for surgical planning of complex congenital heart defects: an international multicentre study [J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2017,52(6):1139-1148. DOI:10.1093/ejcts/ezx208.
- 3 Vettukattil JJ, Mohammad NB, Gosnell JM, et al. Three-dimensional printing for surgical planning in complex congenital heart disease [J]. J Card Surg, 2019,34(11):1363-1369. DOI:10.1111/jocs.14180.
- 4 花中东,杨新令,刘凯飏,等. 应用 3D 打印技术改进远离型右室双出口的外科治疗结果[J]. 中国胸心血管外科临床杂志,2016,23(6):532-536. DOI:10.7507/1007-4848.20160128.
Hua ZD, Yang XL, Liu KY, et al. Application of 3D Printing to Improve Surgical Outcome of Double Outlet Right Ventricle with Non-committed Ventricular Septal Defect [J]. Chin J of Clin Tho-Card Sur, 2016,23(6):532-536. DOI:10.7507/1007-4848.20160128.
- 5 刘金龙,刘锦纷. 3D 打印技术在小儿心脏外科中的应用[J]. 临床小儿外科杂志,2016,15(3):212-213,216. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2016.03.002.
Liu JL, Liu JF. Application of 3D printing technology in pediatric cardiac surgery [J]. J Clin Ped Sur, 2016,15(3):212-213,216. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2016.03.002.
- 6 高强,庄建,岑坚正,等. 3D 打印技术在复杂先天性心脏病外科诊疗中的应用[J]. 中国胸心血管外科临床杂志,2018,25(8):654-658. DOI:10.7507/1007-4848.201707031.
Gao Q, Zhuang J, Cen JZ, et al. Application of three-dimensional printing technique in surgical treatment of congenital heart disease [J]. Chin J of Clin Tho-Card Sur, 2018,25(8):654-658. DOI:10.7507/1007-4848.201707031.
- 7 Borovjagin AV, Ogle BM, Berry JL, et al. From Microscale Devices to 3D Printing: Advances in Fabrication of 3D Cardiovascular Tissues [J]. Circ Res, 2017,120(1):150-165. DOI:10.1161/CIRCRESAHA.116.308538.
- 8 白云松,张学军,曹隽,等. 3D 打印模型在儿童先天性脊柱侧凸治疗中的应用研究[J]. 临床小儿外科杂志,2020,19(2):115-119. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2020.02.005.
Bai YS, Zhang XJ, Cao J, et al. Clinical efficacy of three-dimensional model in the surgical treatment of congenital scoliosis in children [J]. J Clin Ped Sur, 2020,19(2):115-119. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2020.02.005.
- 9 杨帆,郑宏,吕建华,等. 3D 打印技术指导下采用动脉导管未闭封堵器治疗下腔型房间隔缺损一例[J]. 中华心血管病杂志,2015,43(7):631-633. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2015.07.013.
Yang F, Zheng H, Lv JH, et al. A case of inferior atrial septal defect treated with patent ductus arteriosus occluder under the guidance of 3D printing technology [J]. Chinese Journal of Cardiology, 2015,43(7):631-633. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2015.07.013.
- 10 Noecker AM, Chen JF, Zhou Q, et al. Development of patient-specific three-dimensional pediatric cardiac models [J]. ASAIO J, 2006,52(3):349-353. DOI:10.1097/01.mat.0000217962.98619.ab.
- 11 Riesenkauff E, Rietdorf U, Wolf I, et al. The practical clinical value of three-dimensional models of complex congenitally malformed hearts [J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2009,138(3):571-580. DOI:10.1016/j.jtcvs.2009.03.011.

(收稿日期:2020-07-27)

本文引用格式:冉启仁,金鑫,吴春,等. 儿童主动脉缩窄 3D 打印及模拟手术应用一例及文献复习[J]. 临床小儿外科杂志,2020,20(9):895-897. DOI:10.12260/lxewkzz.2021.09.019.

Citing this article as: Ran QR, Jin X, Wu C, et al. Application of 3D Printing and Simulated Surgery for Children's Aortic Coarctation and Literature Review [J]. J Clin Ped Sur, 2020,20(9):895-897. DOI:10.12260/lxewkzz.2021.09.019.