

3D打印技术在先天性心脏病伴气管软化诊断与治疗中的应用

姚小芬, 潘慧红, 钟玉敏, 邱海啸

上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心影像诊断中心, 上海 200127

【摘要】目的:运用3D打印技术建立儿童先天性心脏病伴气管软化模型,探讨3D打印建模对于临床诊断和治疗方案制定的意义。**方法:**1例先天性心脏病伴气管软化的患儿,行容积螺旋穿梭技术(VHS)CT扫描后获得影像资料;将CT图像导入Mimics 17.0软件并对气管区域进行图像重建后处理,得到气管三维重建模型;再运用3-Matic10.0软件对三维模型进行网格优化操作并保存成STL格式;最后将数据导入Objet 260 3D打印机打印出三维模型。**结果:**利用3D打印构建了患儿吸气相和呼气相气管模型,与气管镜检查的结果一致。**结论:**通过3D打印技术打印了患儿的全尺寸气管模型,给先天性心脏病伴气管软化的临床诊断和治疗予以有效的协助和指导。

【关键词】3D打印技术;先天性心脏病;气管软化;图像后处理

【中图分类号】R816.92;Q819

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2018)05-0580-05

Application of three-dimensional printing technique in diagnosis and treatment of congenital heart disease with tracheomalacia in pediatric patients

YAO Xiaofen, PAN Huihong, ZHONG Yumin, QIU Haisheng

Diagnostic Imaging Center, Shanghai Children's Medical Center Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200127, China

Abstract: Objective To establish a three-dimensional (3D) airway model for pediatric patients congenital heart disease (CHD) accompanied by tracheomalacia through 3D printing technique and explore the significance of the 3D airway model for clinical diagnosis and the development of therapeutic schedule. **Methods** One pediatric patient was diagnosed with CHD accompanied by tracheomalacia, and the image data were obtained with dynamic multi-detector computer tomography (MDCT) with volume helical shuttle (VHS) technique. The DICOM data of CT image were imported into Mimics 17.0 software, and the image post-processing was conducted in the region of interest, finally obtaining the 3D reconstruction models of these airways. Subsequently, 3-Matic 10.0 software was used to do the mesh optimization of the 3D models and generate stereolithography (STL) files. After these files were imported into Objet 260 3D printer, the 3D airway models were finally printed with 3D printer. **Results** The 3D printed trachea models of inspiratory phase and expiratory phase were in accord with the results of bronchoscopy examination. **Conclusion** Pediatric full-sized trachea model is successfully established with the use of 3D printing technique, which provides an effective assistance and guidance to diagnose and provide treatment for pediatric patients who were suffered with CHD accompanied by tracheomalacia.

Keywords: three-dimensional printing technique; congenital heart disease; tracheomalacia; image postprocessing

前言

先天性心脏病伴气管支气管软化在临床上很少

见,是由于异常心血管压迫气道导致的外压型气管支气管软化^[1-2]。先天性心脏病伴气管支气管软化可能导致持续或反复的咳嗽、喘息、呼吸困难等呼吸道症状,其临床表现缺乏特异性,往往容易造成漏诊,从而影响患儿的及时治疗,是复杂先天性心脏病临床医学治疗中的一大难题^[3-4]。目前,纤维支气管镜和CT是检查气管支气管软化的两大手段。纤维支气管镜是诊断气管软化的金标准,但其为侵入性检查且多并发症,对所有具有非特异性慢性呼吸系统疾病的患者(特别是婴幼儿)应用支气管镜检查显然

【收稿日期】2018-02-15

【基金项目】上海交通大学科技创新专项(YG2015QN25);上海市级医院新兴前沿技术项目(SHDC12015128)

【作者简介】姚小芬,硕士,工程师,研究方向:生物医学工程,E-mail: yaoxiaofen@126.com

【通信作者】潘慧红,主管技师,研究方向:医学影像技术,E-mail:pan-huihong@scmc.com.cn

是不可行的^[5]。由于气管软化时,病理性改变导致呼吸周期中呼气相气管腔变小塌陷,引起通气障碍^[6]。所以本文在CT检查的基础上,运用3D打印技术打印吸气相和呼气相气管模型,探索其在先天性心脏病伴气管软化的临床应用价值。

1 材料与方法

1.1 CT扫描技术

1例先天性心脏病伴气管软化的患儿,男孩,28个月,镇静后行CT检查。检查设备采用GE Discovery CT750 HD 64层螺旋CT扫描仪。扫描范围自胸廓入口至横膈上,扫描参数为容积螺旋穿梭技术(VHS)扫描模式,穿梭次数为10,管电压为80 kVp,自动管电流调节技术,球管旋转时间为0.5 s,螺距为1.375:1,噪声指数为13,层厚为5.0 mm,重建层厚为0.625 mm,重建算法为60%自适应统计迭代重建技术(Adaptive Statistical Iterative Reconstruction, ASIR)。

1.2 气管三维图像重建

当前CT工作站存在软件接口、格式转换等问题,不能进行三维格式文件的输出,在直接用于3D打印上受到一定的限制,无法进行计算机辅助设计、手术模拟等二次开发^[7]。本文采用Mimics对CT扫描数据进行图像分割和三维建模^[8]。再运用3-Matic对三维模型进行网格优化和设计,并生成3D打印机支持的标准三角语言(Standard Triangulation Language, STL)文件^[9]。

获得CT扫描图像后,将其导入Mimics 17.0软件中,新建一个Mimics项目文件。首先,使用工程管理器的对比度标签将不同视图中的胸部CT图像对比度调到一个合适的值,手动调整二维图像的窗宽、窗位,以达到观察图像所需要的最佳视度。然后利用软件的分割气道工具来进行图像分割,在矢状面图像上找出气管腔截面(应包括气管的最高处),可根据重建需求选择“Leakage detection”的强弱程度,本文选择中等程度的重建质量,再点击开始按钮;在气管腔内按照“气管-支气管”方向选取两点(尽量选择管腔的最高点为起始点),软件会自动进行气管图像提取并建立源掩膜(Mask)。再逐层观察自动生成的气管掩膜是否有错误和遗漏,选择手动编辑修改掩膜,去除错误的支气管分支,添加遗漏的支气管分支,由此分割出了准确的气管区域,再点击Calculate 3D按钮生成三维模型。最后再对生成的三维模型进行填充(Wrap)操作,可以去除构建模型时形成的洞或刺等细小瑕疵,提高模型的面网格质量。

将上述三维模型导入3-Matic软件中,对模型进行网格优化。首先使用Smooth工具来减少模型细节,再使用Reduce工具来减少三角片网格数量,然后运用Auto remesh工具去除低质量的三角片,最后进行Quality preserving reduce triangles操作在保证三角片质量的前提下进一步减少三角片的数量。经过以上4个步骤完全去除低于质量标准的三角面片,完成气管三维模型的面网格优化。将优化后的气管三维模型保存成STL文件,如图1所示。

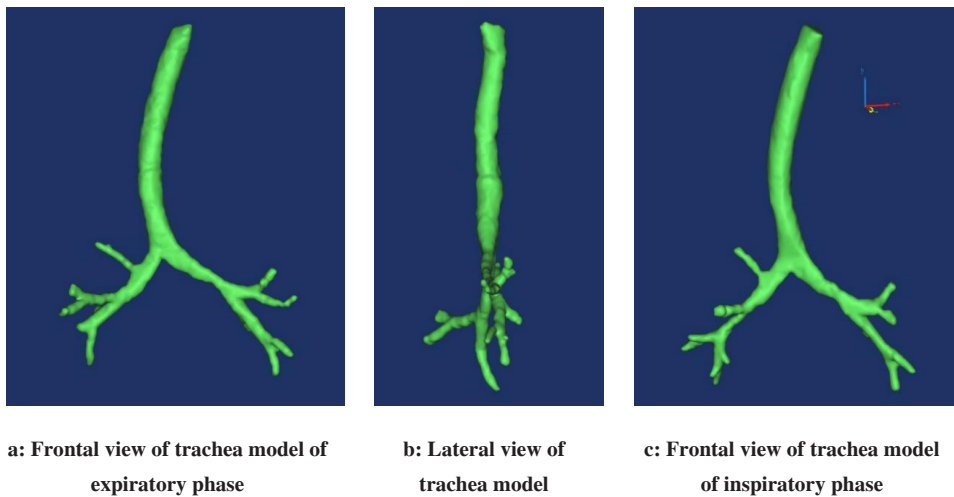


图1 呼气相和吸气相气管三维重建模型

Fig.1 Three-dimensional (3D) reconstruction models of trachea in expiratory and inspiratory phases

1.3 3D打印流程

本文探讨运用CT断层扫描技术获得胸部图像,

使用图像处理软件Mimics17.0和3-Matic10.0进行三维图像建模和网格优化,将DICOM格式的图像重建

为 STL 格式的三维模型并导入 3D 打印机。通过图像处理、格式转换、模型打印等流程获得 3D 打印气管的物理模型,3D 打印流程见图 2。通过打印吸气相和

呼气相三维立体气管模型,可以在气管动态变化的复杂情况下,为临床进行诊断和治疗提供帮助。

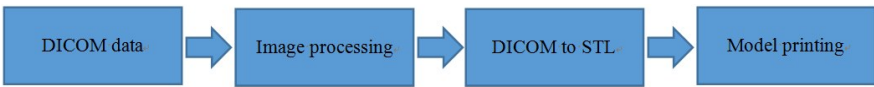
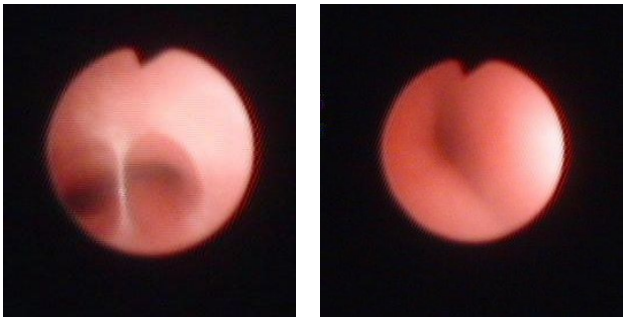


图 2 3D 打印流程图
Fig.2 Flow chart of 3D printing
DICOM: Digital imaging and communications in medicine; STL: Standard triangulation language

具体的 3D 打印步骤如下:将两个 STL 格式的吸气相和呼气相气管三维模型数据导入 Stratasys Objet260 Connex 3D 打印系统中,首先进行模型在打印平台的最优位置摆放以便高效打印,然后检验三维模型是否是封闭的几何体,如果含有未封闭的边界和轮廓需要重新修改文件直至检验成功,再评估打印耗费材料和打印时间,如果打印材料不足需要及时补充所需材料,确认所需材料充足后即可开始打印。打印完成后,按照需求对实体模型进行后处理。将模型浸入水中 30 min,然后进行水洗操作,冲洗掉支撑材料,对模型进行打磨等后处理,则完成整个三维气管模型的打印工作。打印材料为刚性不透明树脂材料(VeroWhite, Stratasys Ltd),支撑材料为无毒凝胶类光敏聚合物(FullCure 705, Stratasys Ltd),打印层厚可低至 16 μm ,精准度误差小于 1%,两个气管模型打印时间为 3.5 h。打印后的气管模型如图 3 所示。

过 3D 打印出的患儿吸气相和呼气相气管模型,可直观地辨别出气管隆突前后径稍狭窄,左支气管中远段稍狭窄伴轻度软化,与气管镜检查的结果一致,如图 4 所示。



a: Image of carina of trachea b: Image of left principal bronchus
图 4 纤维支气管镜气管图像
Fig.4 Bronchofiberscope images

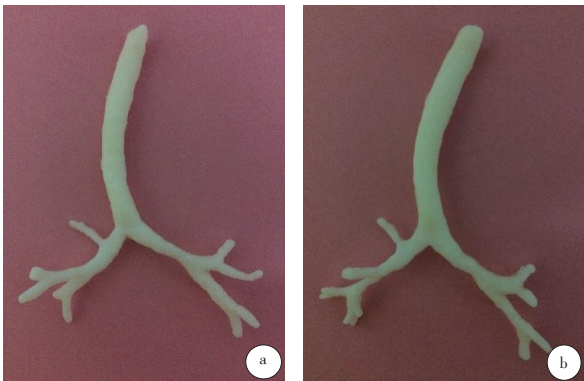


图 3 3D 打印气管的吸气相模型(a)和呼气相模型(b)
Fig.3 3D printed trachea models of inspiration phase (a) and expiration phase (b)

2 结果

在 3D 打印气管模型的指导下对患儿进行手术纠治后,患儿气促及呼吸困难情况得到明显改善。通

3 讨论

先天性心脏病伴气管软化是由于先天性心脏病引起的血管异常增大和心脏压迫导致的气管硬度降低引起的疾病,多表现为持续或反复的喘息、喉鸣、呼吸困难等呼吸道症状^[10-11]。先天性心脏病伴气管软化患儿在心血管畸形得到纠治后,大多数会在 6 个月内逐渐改善,对于严重患儿的治疗还包括机械通气、造口或支气管内支架植入^[1]。由于气管软化临床上缺乏特征性表现,所以诊断多需根据临床病史、影像检查来确定,目前主要的检查方法包括支气管镜和 CT 等。

支气管镜直视来观察气道结构以及动态变化情况,一直以来被认为是诊断气管软化的“金标准”,但是支气管镜检查是一种侵袭性检查方式,容易引起并发症,所以其临床应用受到一定的限制,而且气管软化早期在临床上与其他感染性疾病或者其他先天性的呼吸道畸形的临床症状分辨不典型,易与喘息

性疾病相混淆^[12]。CT三维重建通过二维显示器观察三维气管图像模型,方便术前观察气管三维模型,但是在空间距离感上存在一定缺失。目前通过3-Matic等计算机软件可以实现在计算机上进行手术过程的模拟操作,但这也仅仅是一种计算机上的视觉操作。尽管CT和气管镜检查为气管软化的诊断提供了双保险,但是缺乏立体感和直观性,二者对治疗难度的预判、治疗方案的设计及预后等缺乏全面、精确的数据指导^[13]。

3D打印技术是一种以数字化模型为基础,在计算机的控制下,应用粉末状、液态塑料或金属等可粘材料,通过逐层精确累积进行实体模型快速构造的技术^[14]。近年来3D打印模型已经应用于临床,如心血管、头颈外科、骨科、假体植入等领域,3D打印模型真实地反应了病灶与周围脏器的空间关系,其主要用于术前诊断、手术规划、医生教育和培训以及医疗器械原型制作等方面。本研究重建了1例患儿的吸气相和呼气相模型,并利用3D打印技术打印出两个气管模型,可观察出呼气相模型管壁向内塌陷,直径缩短,类似管腔狭窄,而吸气相模型无塌陷,也无狭窄的特征,为后续辅助诊断和治疗计划的制定提供前瞻性的信息。

3D打印的气管模型可以多方位、多角度地观察气管软化的位置、形态、长度及程度等信息,给临床医生的诊断和治疗带来了方便。虽然目前在实际工作中3D打印气道模型对气管软化的治疗不是常规的,但无疑是非常有益的补充。当然,3D打印气道模型的意义并不仅仅局限于了解病变的范围和位置,将来可以进一步利用4D打印技术打印出正常气道替换病变气道,或者打印出夹板和支架应用于气管软化塌陷的患者^[15-18]。

本研究尚存在一些不足之处:首先,由于本研究的样本量和术后对照均存在不足,得到的客观数据有限,对3D打印临床应用价值缺乏客观的统计学分析;其次,在管腔极度狭窄的情况下,对气管CT图像的分割、测量及重建等操作很难进行,容易造成气管重建模型的失真,目前还没有完善标准化的流程来指导图像处理、模型重建及3D打印等操作;再者,由于3D打印花费昂贵、处理时间长等限制,目前在临床上的应用不够广泛,相信未来随着科技的发展和研究的深入,以上问题将会逐步得到解决^[19-20]。

既往治疗计划都是在肉眼直视、术中气管镜和术前CT提供信息的粗略指导下完成的,仍然会出现定位软化段气管不够准确,重建气管难度大的问题。本研究通过3D打印技术,在术前就按1:1的比

例打印了患儿的气管模型,给诊断和治疗以指导,不失为一次有益的尝试。3D打印的气管模型能为我们提供全方面的数据信息,对先天性心脏病伴气管软化的临床诊断和治疗具有积极意义。

【参考文献】

- [1] 殷勇, SCHONFELD T, 陈同辛. 儿童气管、支气管软化的病因和气管管理初步研究[J]. 中华儿科杂志, 2009, 47(2): 87-90.
YIN Y, SCHONFELD T, CHEN T X. Primary study of etiology and management of trachea and bronchi in children[J]. Chinese Journal of Pediatrics, 2009, 47(2): 87-90.
- [2] 朱丽敏, 徐卓明, 柳立平, 等. 气管支气管软化对儿童充血型先天性心脏病纠治术后早期恢复的影响[J]. 上海交通大学学报(医学版), 2011, 31(9): 1277-1282.
ZHU L M, XU Z M, LIU L P, et al. Effect of tracheobronchomalacia on early recovery after surgical repair for congestive congenital heart disease [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University (Medical Science), 2011, 31(9): 1277-1282.
- [3] MASTERS I B, ZIMMERMAN P V, PANDEYA N, et al. Quantified tracheobronchomalacia disorders and their clinical profiles in children [J]. Chest, 2008, 133(2): 461-467.
- [4] TAN J Z, CROSSETT M, DITCHFIELD M. Dynamic volumetric computed tomographic assessment of the young paediatric airway: initial experience of rapid, non-invasive, four-dimensional technique [J]. J Med Imaging Radiat Oncol, 2013, 57(2): 141-148.
- [5] 王诗渝, 钟玉敏, 张磊, 等. 容积螺旋穿梭技术诊断儿童先天性心脏病伴气管软化[J]. 第二军医大学学报, 2017, 38(2): 166-171.
WANG S Y, ZHONG Y M, ZHANG L, et al. Dynamic multi-detector computer tomography with volume helical shuttle technique for diagnosis of congenital heart disease with tracheomalacia in children [J]. Academic Journal of Second Military Medical University, 2017, 38(2): 166-171.
- [6] HYSINGER E B, PANITCH H B. Paediatric tracheomalacia [J]. Paediatr Respir Rev, 2016, 17: 9-15.
- [7] 张书新. 胸部三维数字化建模的基础与临床初步应用研究[D]. 北京: 中国人民解放军医学院, 2016.
ZHANG S X. The basic and clinical application of thoracic three-dimensional digital modeling [D]. Beijing: Chinese People's Liberation Army Medical College, 2016.
- [8] 王娇, 刘洋, 张晓玲, 等. Mimics软件在医学图像三维重建中的应用[J]. 医疗卫生装备, 2015, 36(2): 115-118.
WANG J, LIU Y, ZHANG X L, et al. Application of Mimics software to 3D reconstruction of medical image [J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2015, 36(2): 115-118.
- [9] 赵志云, 王文革, 曹伟杰, 等. 医学三维模型的网格优化和效果研究[J]. 中国数字医学, 2016, 11(9): 91-93.
ZHAO Z Y, WANG W G, CAO W J, et al. Research of remeshing and effect on medical three-dimensional model [J]. China Digital Medicine, 2016, 11(9): 91-93.
- [10] CARDEN K A, BOISELLE P M, WALTZ D A, et al. Tracheomalacia and tracheobronchomalacia in children and adults: an in-depth review [J]. Chest, 2005, 127(3): 984-1005.
- [11] FRAQA J C, JENNINGS R W, KIM P C. Pediatric tracheomalacia [J]. Semin Pediatr Surg, 2016, 25(3): 156-164.
- [12] 张磊, 殷勇, 张皓, 等. 儿童气管支气管软化症的支气管镜与多层螺旋CT诊断对照研究[J]. 中国妇幼健康研究, 2017, 28(1): 487.
ZHANG L, YIN Y, ZHANG H, et al. Comparative study of

- bronchoscopy and multi-slice spiral CT in diagnosis and treatment of tracheobronchial stenosis in children[J]. Chinese Journal of Woman and Child Health Research, 2017, 28(1): 487.
- [13] 王浩, 张恒一, 王顺民, 等. 3D打印技术在先天性气管狭窄诊断与手术治疗中的应用[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2017, 24(3): 169-174.
- WANG H, ZHANG H Y, WANG S M, et al. Application of 3D printing in the diagnosis and surgical treatment of congenital tracheal stenosis [J]. Chinese Journal of Clinical Thoracic and Cardiovascular Surgery, 2017, 24(3): 169-174.
- [14] LIOSON H, KURMAN M. Fabricated: the new world of 3D printing [M]. New York: John Wiley & Sons, 2013.
- [15] 伍冬冬, 顾其华, 潘频华, 等. 3D打印技术引导气道狭窄支架置入术一例[J]. 中国呼吸与危重监护杂志, 2014, 13(6): 610-612.
- WU D D, GU Q H, PAN P H, et al. 3D printing technique for guiding airway stenosis: a case report of stent placement[J]. Chinese Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 2014, 13(6): 610-612.
- [16] MORRISON R J, HOLLISTER S J, NIEDNER M F, et al. Mitigation of tracheobronchomalacia with 3D-printed personalized medical devices in pediatric patients[J]. Sci Transl Med, 2015, 7: 285.
- [17] SHIEH H F, JENNINGS R W. Three-dimensional printing of external airway splints for tracheomalacia[J]. J Thorac Dis, 2017, 9(3): 414-416.
- [18] TAM M D, LAYCOCK S D, TAYNE D, et al. 3-D printouts of the tracheobronchial tree generated from CT images as an aid to management in a case of tracheobronchial chondromalacia caused by relapsing polychondritis[J]. J Radiol Case Rep, 2013, 7(8): 34-43.
- [19] 刘凯, 张学燕. 3D打印机与CT三维重建的结合应用[J]. 实用医技杂志, 2013, 20(6): 666.
- LIU K, ZHANG X Y. The combination of 3D printer and CT 3D reconstruction[J]. Journal of Practical Medical Techniques, 2013, 20(6): 666.
- [20] ALALI A B, GRIFFIN M F, BUTLER P E. Three dimensional printing surgical applications[J]. Eplasty, 2015, 15(37): 352-367.

(编辑:薛泽玲)