

三维打印技术在狭颅症矫治手术中的应用

姚小芬¹, 钟玉敏¹, 胡立伟¹, 鲍南²

1. 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; 2. 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心神经外科, 上海 200127

【摘要】目的:运用三维(3D)打印技术建立具有精准解剖结构的狭颅症头颅3D模型和模拟术后头颅3D模型, 探讨3D打印的3D头颅模型对临床诊断和手术计划制定的意义。**方法:**1例8个月患有严重狭颅症的儿童, 行CT扫描后获得影像资料; 使用mimics 18.0软件导入CT DICOM数据并对感兴趣区域做图像重建后处理, 得到三维头颅重建模型; 再运用3-Matic10.0软件对狭颅症头颅模型进行手术模拟操作, 得到模拟术后的3D头颅重建模型; 将患者3D头颅重建模型和模拟术后的3D头颅重建模型保存成STL格式; 最后把数据导入OBJET 260 3D打印机后即完成建模过程。**结果:**依据3D打印模型模拟手术操作并设计手术方案, 手术顺利实施, 患儿在术后恢复了完美的头型。**结论:**3D打印技术能有效地进行辅助诊断并应用于狭颅症矫治术前手术方案的制定, 为狭颅症患者带来个性化、精准化的治疗。

【关键词】3D打印技术; 儿童; 狭颅症; 矫治手术; 图像后处理

【中图分类号】R816.1; Q819

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2017)04-0423-04

Application of three-dimensional printing technology in orthopedics of craniosynostosis

YAO Xiaofen¹, ZHONG Yumin¹, HU Liwei¹, BAO Nan²

1. Diagnostic Imaging Center, Shanghai Children's Medical Center Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200127, China; 2. Department of Neurosurgery, Shanghai Children's Medical Center Affiliated to Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200127, China

Abstract: Objective To establish the three-dimensional (3D) models of craniosynostosis skull and postoperative skull with accurately anatomical structures by using 3D printing technology, and to explore the significance of the 3D printing skull model for the clinical diagnosis and surgical planning. **Methods** The image data of an eight-month-old child with severe craniosynostosis were obtained by CT scanning. The DICOM data of CT were imported into Mimics 18.0 software, and the image reconstruction was conducted for the region of interest, and then, the 3D reconstruction model of the malformed skull was obtained. After using 3-Matic 10.0 software to simulate the operation for the malformed skull model, the 3D model of the postoperative skull was obtained. The 3D reconstruction models of the malformed skull and the postoperative skull were saved in STL format. After the file data were imported into OBJET 260 3D printer, the 3D models of the malformed skull and the postoperative skull were completed. **Results** According to operation simulation and operation planning with these two 3D printing models, the operation was completed successfully, and the child recovered with a perfect head shape after the operation. **Conclusion** The 3D printing technology is effective in auxiliary diagnosis and preoperation plan design, providing an accurate and personalized treatment for patients with craniosynostosis.

Keywords: three-dimensional printing technology; child; craniosynostosis; orthopedics; image post-processing

【收稿日期】2016-11-21

【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, 主要研究方向: 生物医学工程, E-mail: yaoxiaofen@126.com

【通信作者】钟玉敏, 博士, 主任医师, 硕士生导师, 主要研究方向: 小儿先天性心脏病、消化系统、泌尿系统等疾病的影像诊断, E-mail: zyumin2002@163.com

前言

三维(3D)打印技术又称快速成型技术或增材制造技术, 是一种基于3D数字模型, 应用粉末状、液态塑料或金属等可黏合材料, 通过逐层打印方式构造物理模型的技术^[1]。近年来, 国外已经有大量有关3D打印技术应用于手术计划、模拟手术及模型仿真

教学的报道,但是目前国内该领域的相关研究报道还很少^[2]。婴幼儿的狭颅症矫治手术是一种高难度高风险的手术,因此运用3D打印技术优化手术流程、改善手术方法具有重要的现实意义^[3]。

本文探讨运用CT断层扫描技术获得头颅图像,使用图像处理软件Mimics18.0和3-matic10.0进行三维图像建模和术前的手术模拟,重建的颅骨模型保存为STL格式,并通过数字接口输入3D打印机。通过图像处理、打印建模、水洗模型、加工处理等流程获得3D打印颅骨的物理模型,3D打印流程如图1所示。本文报道本院运用3D打印技术成功实施狭颅症矫治手术的案例,探讨3D打印的头颅模型对于狭颅症临床诊断和手术计划制定的意义。



图1 3D打印流程图

Fig.1 Flow chart of three-dimensional (3D) printing

1 材料与方法

1.1 CT扫描技术

1例患有狭颅症的儿童,男孩,8个月。镇静后行CT检查(GE Discovery CT750 HD)。管电压100 kV,管电流100 mA,螺距1.375:1.000,层厚10 mm,重建层厚0.625 mm。

1.2 颅骨三维图像重建

本文采用Mimics处理CT扫描数据,生成精准的三维模型,而3-matic被用来在解剖学模型的基础上进行设计和网格操作。Mimics是一款数字化三维交互式医学影像控制系统,可将图像高度整合、简单易用的三维图像生成、编辑、处理软件^[4]。Mimics通过输入各种二维断层图像数据(如CT、MRI扫描数据),重建精确的三维数字模型,并提供后续的快速成型模型输出、手术规划模拟、计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)、有限元分析和计算流体动力学前处理单元^[5]。3-matic是一个能够将CAD工具与网格预处理整合在一起的独有软件,适合处理三角片的STL(Stereolithography,光固化立体造型术)文件,也适合处理组织化或任意形式的3D数据^[6]。

患者行CT检查后,将颅骨CT扫描数据导入Mimics 18.0软件,新建成一个Mimics项目文件。剖面线给出了沿着该线分布的Hounsfield值或密度值的分布情况,我们在图像轴位视窗跨过颅骨画一条剖面线。然后进行阈值分割,通过改变最低阈值,分

割出感兴趣区域。由此生成了颅骨蒙罩(Mask),再计算三维模型(Calculate 3D),选择高质量的计算设置,建立精确的术前三维颅骨模型如图2所示,并保存成STL文件。

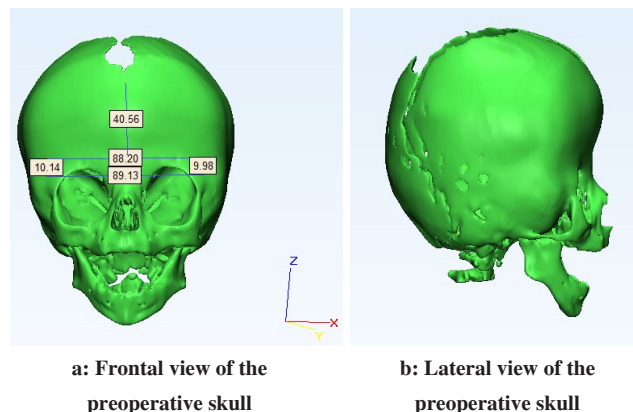


图2 头颅三维重建模型

Fig.2 3D reconstruction model of the preoperative skull

1.3 术前模拟和手术方案设计

由于每一例狭颅症矫形手术的特异性,过去外科医生进行颅骨矫形手术全靠术中解剖后按照实际情况凭经验实施,手术效果须待手术结束,头皮缝合完后才能得知^[7]。现在,可以运用3-matic进行手术方案设计,并模拟出手术实施完成后的三维模型。手术计划采用颅盖重建术式,一是把患儿畸形的颅骨全部拆卸,松解被压迫的大脑;二是对颅骨进行分割,逐个塑成需要的形状,再重新拼接^[8]。运用3-matic设计裁剪方案,在畸形头颅三维模型上画出手术切割线,其中额眶带前移是手术的重要步骤之一,为了确定额眶带前移的距离,使得手术安全、精确地进行,使用3-matic进行额眶带前移模拟,反复实验获得最佳的前移距离,并生成额眶带前移的三维模型,起到指导手术的作用。

运用3-matic确定额眶带前移距离的步骤如下:首先将Mimics中生成的三维颅骨模型导入3-matic中,运用3-matic测量工具测出需要前移的额骨和眼眶的长度和宽度,如图3a所示,然后运用3-matic画线工具,绘制出计划前移的额骨截骨线和眼眶截骨线,再运用偏移工具将额骨面片和眼眶面片进行前移,经过反复实验得出最佳的前移距离(额骨面片前移6.0 mm,眼眶面片前移5.5 mm),模拟出手术操作后的三维模型如图3所示,并生成STL格式文件。

在3-matic软件操作平台上,可以直观、立体地切割、旋转骨块,模拟手术中截骨线和骨瓣移植。利用3-matic平台的可视化,我们在术前进行模拟手术过

程的实例演示,希望减少骨块重组时间,尽最大可能减压、扩容,有利于脑的发育以及外观的改善,并且尽可能减少术后并发症的发生^[9]。

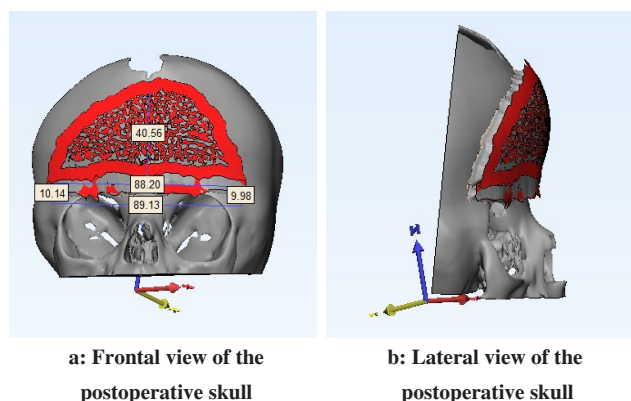


图3 模拟术后头颅三维模型

Fig.3 3D model of the postoperative skull

1.4 3D打印流程

将上述两个STL格式的三维模型数据导入Objet 260 3D打印系统中,首先检测三维模型是否满足打印要求,然后评估打印耗费材料,最后预计打印时间并开始打印。打印完成后取出三维实体模型,浸入水中30 min,然后进行水洗操作,冲洗掉支撑材料,再经加工处理即完成整个三维颅骨模型的打印过程。打印材料使用VeroWhite树脂材料(Acrylonitrile Butadiene Styren, ABS, Stratasys Ltd),最薄层厚度可达1 mm以下,精准度误差小于1%,术前患儿头颅模型打印时间为12 h,而打印模拟术后头颅模型花费8 h。打印后的术前头颅模型和模拟术后头颅模型如图4所示。

2 结果

依据3D打印模型,手术按计划进行颅盖重建,手

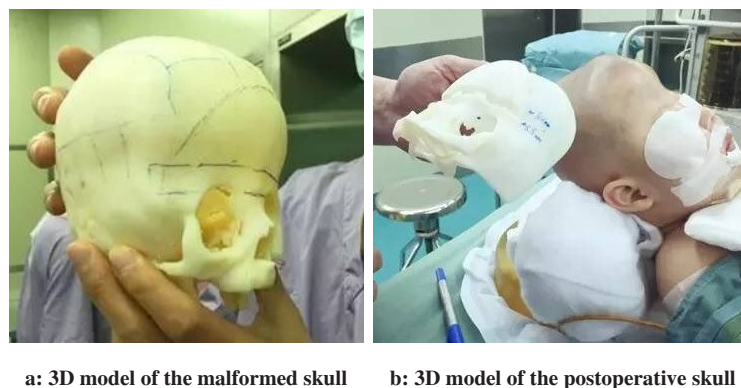


图4 头颅打印模型

Fig.4 Printing skull model

术顺利完成,患儿在术后获得了完美的头型,使大脑能够正常发育。通过CT检查验证,手术结果与模拟术后头颅模型一致,术后患儿颅骨CT图像如图5所示。



图5 矫形术后的患儿颅骨CT图像

Fig.5 CT skull images of the child after orthopedics

3 讨论

狭颅症又称颅缝早闭或颅缝骨化症,是一种颅缝早期闭合引起的先天性头颅畸形^[10]。由于颅缝过早闭合,以致颅腔狭小不能适应脑的正常发育^[11]。狭小的颅腔会压迫和限制正在迅速发育中的脑组织,引起颅内压增高和各种脑功能障碍^[12]。所以早期诊断、及时治疗对患儿及其家庭具有重大意义。对于6个月以上的婴幼儿,目前最可行的矫形治疗方法是大面积的颅盖重建^[13]。在狭颅症矫形手术中,颅骨的切割和再拼合成型需要花费大量的时间,同时颅骨如何切割有赖于手术医生的经验,尽管有了比较明确的手术常备方案,但是手术的疗效仍然充满不确定性。

本文通过3D打印技术,在术前就按1:1的比例打印了患儿的畸形头骨模型,医生在立体真实的头

骨模型上画出手术切割线,设计手术矫形方案,为手术提供了精准指南。此外,此次手术的目的不仅是扩展患儿颅腔、降低颅内压、改善脑发育空间,还在于改善头颅外观。医生通过提前测量父母面部数据,为患儿塑形后的面容体现父母特征提供依据。额眶带前移是颅盖重建的关键步骤之一,我们在术前按照手术计划打印出了额眶带前移的头骨模型,确定了额眶带的移动距离,确保手术方案的准确性和可行性。

3D打印技术能有效地进行辅助诊断,协助制定手术计划及模拟术前操作,为狭颅症患者带来个性化、精准化的矫治手术。相较于传统方式,应用3D打印技术进行术前模拟的手术方式具有如下优势:(1)3D打印能直观显示出早闭颅缝,还能清晰地展现颅内情况,更容易发现骨缝连接处异常,具有精确定位、多角度及多方向观察、精确测值等特点^[14];(2)3D打印使得颅骨的切割和颅骨再拼合能够精确和简单地进行,减少由医师的个人随意性带来的手术不确定性,缩短手术时间,保障手术疗效;(3)依靠定制的颅骨实物模型作为手术导航,也大大增强了手术的精确性和安全性,具有显著的临床效益^[15];(4)通过3D打印形成数字化导板,指导实际手术的精确性进行,从而建立起计算机辅助设计和实际手术的桥梁,填补手术设计和真实手术脱节的空白并实现术后评估的客观性和可靠性。

3D打印技术作为一项新技术在狭颅症矫治手术乃至整个临床中的应用,具有传统手术无法比拟的优势。但目前3D打印技术在狭颅症矫治手术方面还存在以下不足之处:3D打印头颅模型所需材料多、费用高、打印时间长,很难在临床推广。因此,狭颅症个性化治疗在医院的应用仍受到诸多条件的约束。

当然,3D打印技术在临床的应用也不仅仅局限于狭颅症矫治方面,其在骨科、口腔种植科、心胸外科等方面的应用也非常广泛。3D打印技术虽然存在以上问题和不足,但随着影像学处理、生物材料、生物工程等各项技术的不断发展,其在狭颅症矫治方面将会有更广泛的应用,为临床医生进行精确测量、量化诊断、手术设计、模拟操作和手术定位等个体化治疗方面提供指南。

【参考文献】

[1] LIOSON H, KURMAN M. Fabricated: the new world of 3D

printing[M]. New York: John Wiley & Sons, 2013.

- [2] ALALI A B, GRIFFIN M F, BUTLER P E. Three dimensional printing surgical applications[J]. *Eplasty*, 2015,15(37): 352-367.
- [3] ANDERSON P J, YONG R, SURMAN T L, et al. Application of three- dimensional computed tomography in craniofacial clinical practice and research[J]. *Aust Dent J*, 2014, 59(1): 174-185.
- [4] 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.
- [5] 尹庆水, 万磊. Mimics软件在数字骨科的应用[J]. *中国骨科临床与基础研究杂志*, 2010, 2(2): 137-139.
YIN Q S, WAN L. Application of Mimics software to digital orthopaedic[J]. *Chinese Journal of Clinical and Basic Orthopedic Research*, 2010, 2(2): 137-139.
- [6] 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]. *Chinese Digital Medicine*, 2016, 11(9): 91-93.
- [7] SOLEMAN J, THIERINGER F, BEINEMANN J, et al. Computer-assisted virtual planning and surgical template fabrication for frontoorbital advancement[J]. *Neurosurg Focus*, 2015, 38(5): 1-8.
- [8] 荆俊杰, 赵清爽, 奚之玉, 等. 骨瓣旋转术式治疗婴幼儿狭颅症(附7例报告)[J]. *中国临床神经外科杂志*, 2014, 19(8): 475-479.
JING J J, ZHAO Q S, XI Z Y, et al. Rotating bone flap for the treatment of craniostenosis in infants (report of 7 cases) [J]. *Chinese Journal of Clinical Neurosurgery*, 2014, 19(8): 475-479.
- [9] STEINBACHER D M. Three-dimensional analysis and surgical planning in craniomaxillofacial surgery[J]. *J Oral Maxillofac Surg*, 2015, 73(12): 40-56.
- [10] 李广威, 陈志安, 王宏伟, 等. 狭颅症的影像学表现[J]. *医学影像学杂志*, 2012, 22(6): 886-888.
LI G W, CHEN Z A, WANG H W, et al. Imaging features of craniostenosis [J]. *Journal of Medical Imaging*, 2012, 22(6): 886-888.
- [11] KATSIANOU M A, ADAMOPOULOS C, VASTARDIS H, et al. Signaling mechanisms implicated in cranial sutures pathophysiology: craniosynostosis[J]. *BBA Clin*, 2016, 29(6): 165-176.
- [12] ARNAUD E, PATERNOSTER G, JAMES S, et al. Craniofacial strategy for syndromic craniosynostosis[J]. *Ann Chir Plast Esthet*, 2016, 61(5): 408-419.
- [13] 侯智, 杨辉. 狭颅症手术治疗新进展[J]. *实用医院临床杂志*, 2013, 10(5): 22-25.
HOU Z, YANG H. Recent progress in surgical treatment of craniosynostosis [J]. *Practical Journal of Clinical Medicine*, 2013, 10(5): 22-25.
- [14] 杨柳青, 张磊, 文利. CT头面部三维重建在颅缝早闭中的诊断价值[J]. *第三军医大学学报*, 2016, 38(8): 881-884.
YANG L Q, ZHANG L, WEN L. Value of CT head facial 3D reconstruction in diagnosis of craniosynostosis [J]. *Journal of Third Military Medical University*, 2016, 38(8): 881-884.
- [15] MAKI S. Augmented tangibility surgical navigation using spatial interactive 3-D hologram zSpace with OsiriX and bio-texture 3-D organ modeling[J]. *Comput Appl Technol*, 2015: 189-194.

(编辑:陈丽霞)