

3D打印重度肋骨骨折模型的临床应用

张才铭¹,高晓盈^{2,3},吴祖培¹,蒋志坚¹,陈宇宁¹,黄健东¹,周路路¹

1. 广州中医药大学顺德医院外二科, 广东 顺德 528300; 2. 汕头大学医学院, 广东 汕头 515000; 3. 汕头大学医学院附属肿瘤医院, 广东 汕头 515000

【摘要】目的:探讨3D打印重度肋骨骨折模型的临床应用。**方法:**对9例重度肋骨骨折患者,共50处肋骨骨折,进行3D重建,采用3D打印技术,打印1:1物理模型,并测量肋骨骨折处高度及弯曲度,选择合适的接骨器型号进行体外模拟复位和内固定术。最后,根据3D打印模型及数据参数指导临床内固定术。同时,利用3D打印模型进行临床教学及医患沟通。**结果:**(1)3D打印结果:3D重建及3D打印模型均获得清晰的立体解剖结构,3D打印模型更直观真实。(2)根据3D打印模型测量的数据参数选取肋骨接骨器,均完全符合目标肋骨的要求。(3)3D打印模型有助于临床教学及医患沟通。**结论:**3D打印肋骨骨折模型有助于准确诊断重度肋骨骨折,有助于合适接骨器的准备及术中操作导航,从而减少手术创伤;通过3D打印模型,有助于医患沟通和临床教学。

【关键词】3D打印;三维重建;肋骨骨折;内固定;肋骨接骨器

【中图分类号】R312;R683.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2018)08-0983-05

Clinical application of three-dimensional printed severe rib fracture model

ZHANG Caiming¹, GAO Xiaoying^{2,3}, WU Zupei¹, JIANG Zhijian¹, CHEN Yuning¹, HUANG Jiandong¹, ZHOU Lulu¹

1. the Second Department of Surgery, Shunde Hospital, Guangzhou University of Chinese Medicine, Shunde 528300, China; 2. Shantou University Medical College, Shantou 515000, China; 3. Cancer Hospital of Shantou University Medical College, Shantou 515000, China

Abstract: Objective To explore the application of three-dimensional (3D) printed severe rib fracture model in clinic. **Methods** 3D printing technology was used to perform 3D reconstruction of 50 fractured ribs in 9 patients with severe fractured ribs, and print them to 1:1 physical model. Then the height and curvature of the fractured ribs were measured for selecting the appropriate bone connectors to simulate fracture reduction *in vitro* and perform internal fixation. Finally, the 3D printed model and the obtained data were used to guide the clinical internal fixation. Meanwhile, the 3D printed model was applied for clinical teaching and doctor-patient communication. **Results** 3D printed results showed that the clear 3D anatomical structures could be obtained with the use of 3D reconstruction or 3D printed model, and the 3D printed model was more intuitive and real. The selected rib connectors based on the data measured by the 3D printed model completely met the requirements of the target rib. 3D printed model was conducive to clinical teaching and doctor-patient communication. **Conclusion** 3D printed rib fracture model is useful for the accurate diagnosis of severe rib fracture and contributes to the preparation of proper bone connectors and intraoperative navigation, reducing surgical traumas. Moreover, 3D printed model is helpful for doctor-patient communication and clinical teaching.

Keywords: three-dimensional printing; three-dimensional reconstruction; rib fracture; internal fixation; rib connectors

前言

多发肋骨骨折是最常见的胸部创伤之一,伴有反

常呼吸的多根多处肋骨骨折(连枷胸),病死率高达16%~20%^[1]。目前,手术治疗已经是连枷胸的绝对适应证,对骨折端移位明显、保守治疗可能导致胸廓畸形、需胸腔探查、65岁以上的多根肋骨骨折、不能忍受剧烈疼痛者,手术治疗是相对适应证^[2]。然而,手术治疗肋骨骨折存在定位不够准确、接骨器型号不匹配、手术创伤较大等缺点。本研究利用3D打印技术诊治9例重度肋骨骨折,临床效果满意,报道如下。

【收稿日期】2018-03-17

【基金项目】广东佛山市科技计划项目(2017AB003743)

【作者简介】张才铭,医学硕士,副主任医师, E-mail: zhcm808@126.com; 高晓盈,在读硕士, E-mail: 1576659029@qq.com。
张才铭与高晓盈为共同第一作者。

1 材料及方法

1.1 患者资料

9例多发性肋骨骨折患者,男性6例,女性3例,年龄23~80岁,平均 (57.11 ± 17.50) 岁。单个病例肋骨骨折数最少为4根,最多为11根,平均骨折数 (5.56 ± 2.42) 根。致伤原因有以下几种:车祸伤7例,高空坠落伤2例。合并症中,7例合并血气胸,9例均存在肺挫伤。该治疗方式均通过医院伦理委员会审核并签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 三维重建及3D打印 所有患者行包括肋骨在内的胸部CT扫描,层厚1~5 mm,以DICOM格式输出并导入mimics 19.0软件,点击“Threshold”按钮,选择相应的阈值(183~1 499 Hu),提取到相应肋骨轮廓“mask”,利用“图像编辑”(Edit)功能对图像边界进行添加(Draw)或者擦除(Erase)优化蒙板。选中肋骨蒙板,点击上述区域增长“Region Growing”按钮,将接骨器——独立出来。点击Mimics的分割(Segmentation)菜单中的“Calculate 3D”,生成肋骨的三维重建模型,点击“Segmentation”选项工具栏中的一项“Edit Mask in 3D”功能,使用“Remove”选项功能去除多余的结构,在三维重建模型中进一步优化。将肋骨三维模型以“Binary STL”格式导入3D打印机“MakerBot Print”中,按1:1打印出物理模型(图1)。



图1 3D打印肋骨骨折模型

Fig.1 Three-dimensional (3D) printed rib fracture model

A: Fractured rib model; B: Model simulating fracture reduction and internal fixation

1.2.2 解剖参数测量 同一病例,先根据CT片及CT自带的肋骨三维重建,无法直接获得肋骨骨折处的准确高度及弯曲度,只能根据医生的阅片经验,估测肋骨的高度 h_0 及弯曲度 d_0 。再根据3D打印模型,体外测量肋骨骨折处高度 h 及弯曲度 d ,以及接骨器的最大径 H 及弯曲度 D 。由于肋骨走向呈不规则斜向

前,取肋骨骨折处垂直于肋骨走向的肋骨面最大距离,作为肋骨骨折处高度 h ,直接在肋骨骨折模型上测量 h 值。由于肋骨接骨器设计的长度一般为5 cm,以肋骨骨折处为中点,取长5 cm肋骨,测其内侧面的弯曲度 d (即每5 cm长度上弯曲的弦高)。同时,体外测量接骨器的 H 值及 D 值(图2~3)。对比以上两种方法,肋骨接骨器选择的符合程度。选择肋骨接骨器的原则: $d \approx D$, $h < H$ 约10%~15%,根据这个原则选取最合适的肋骨接骨器。



图2 3D打印模型进行体外测量肋骨处高度 h 值及弯曲度 d 值
Fig.2 In vitro measurements of the height (Fig.a) and curvature (Fig.b) of 3D printed model



图3 肋骨接骨器最大径 H 值及弯曲度 D 值

Fig.3 The maximum diameter (Fig.a) and curvature (Fig.b) of the rib connectors

1.2.3 模拟复位及内固定术 根据3D打印肋骨骨折模型测量所得的数据选择合适的肋骨接骨器型号,在体外进行模拟复位并内固定术,并记录每处骨折所选择的接骨器型号,以及错位明显的骨折断端的锐利程度及方向。

1.2.4 手术过程 选择气管插管全麻,健侧侧卧位,上肢外展,胸腰部垫高。所有患者均行胸腔镜探查,并进行血气胸处理和内脏损伤处理;根据三维打印模

型以及测得的解剖参数,结合胸壁浅、深筋膜结构、骨性结构,特别是肌肉层等解剖结构,术中选择合适的肋骨接骨器,进行肋骨骨折切开复位内固定术。术中根据3D打印模型确定的骨折断端的锐利程度及方向,指导手术游离骨折断端后,选择更合适的复位方向,减少术中骨折端刺伤胸膜及肋间血管,减少骨折断端碎骨的丢失(术中操作导航)。手术结束前,常规胸腔镜再次探查胸腔后,常规留置胸管引流,外接水封瓶,逐层缝合关闭切口。

1.2.5 术后随访 9例患者胸片或CT平扫随访1~6个月。

1.2.6 教学及医患沟通 将50位实习的同学随机分为实验组(A)和对照组(B),A组利用3D打印模型,结合胸片和胸部CT片(包括肋骨的三维重建)进行临床教学;B组仅结合胸片和胸部CT片进行临床教学。利用3D打印模型,结合胸片或胸部CT进行术前医患沟通,向患者及家属详细讲解病情,以及手术方式、手术意义、手术风险及预后等。

1.3 观察指标

1.3.1 接骨器的符合程度 记录传统方法及3D打印模型方法所选择的接骨器最大径H和弯曲度D符合目标肋骨高度h和弯曲度d的数目。

1.3.2 围手术期指标 手术时间、出血量、切口长度、固定器数目、住院时间、止痛药使用时间、拔除胸管时间、肺部感染、肺不张、接骨器状态。

1.3.3 教学指标 肋骨解剖结构掌握情况,肋骨骨折的诊断准确度,学习兴趣。

1.4 统计学分析

采用SPSS 19.0统计软件进行统计学分析,计量资料以均数±标准差表示,两组间比较采用独立样本 t 检验,计数资料采用卡方检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 临床效果

通过3D打印技术诊断重度肋骨骨折的准确率与CT诊断结果一致,但是3D打印技术可以更直观、立体地观察肋骨骨折的解剖结构。9例患者共50处骨折,有4处位于肩胛骨覆盖范围内,其中3处因在肩胛骨覆盖的中心位置,未做内固定。两种方法比较,传统方法中医生凭经验选择的接骨器,32处高度、36处弯曲度与实际需要相符合,但3D打印技术选择的47处接骨器的高度及弯曲度全部符合肋骨骨折处的要求,具有统计学差异($P<0.05$)。

2.2 围手术期指标

50处肋骨骨折,每个病例最少固定数为4根,最多为9根。固定器数目平均(3.8 ± 2.2)根,手术时间(126.9 ± 47.9) min,出血量(40.2 ± 30.9) mL,切口长度(5.1 ± 1.9) cm,住院时间(16.2 ± 4.2) d,止痛药使用时间(2.4 ± 3.4) d,拔除胸管时间(3.1 ± 1.8) d。

2.3 教学效果评价

通过考核肋骨解剖结构和肋骨骨折诊断,以及学习兴趣表的调查,统计分析临床教学效果。其中肋骨解剖结构包括肋头、肋颈、肋结节、肋角、肋沟,必须全部答案正确,才能确认掌握(表1)。

表1 教学效果评估表($n=25$)

Tab.1 Evaluation of teaching effect ($n=25$)

Group	Understanding in anatomical structure	Accuracy of fracture diagnosis	Interest in learning
Experimental	92% (23/25)	100% (25/25)	100% (25/25)
Control	64% (16/25)	92% (23/25)	84% (21/25)
χ^2 value	2.488	1.445	2.138
P value	0.017	0.161	0.043

2.4 医患沟通评价

9例患者及家属均能很好理解,并签署手术同意书,术后无任何医疗投诉及纠纷。

2.5 随访

随访1~6个月,所有患者术后恢复良好,9例患者均无肺感染、肺不张、血气胸;47处固定部位均未发生接骨器上翘、移位、滑脱等并发症,骨折固定良好(图4)。

3 讨论

造成多发性肋骨骨折的常见原因为车祸、高处坠落、重物砸伤、挤压伤、摔伤等。创伤导致的反常呼吸大幅减少通气量,是诱发呼吸功能衰竭的重要因素,同时易引发心功能障碍,导致创伤性休克^[3-4]。目前传统的保守治疗方法已被国内外学者摒弃,一致推荐切开



图4 术后复查CT:肋骨骨折固定良好,无滑脱、上翘、移位等
Fig.4 Postoperative CT revealing that the rib fractures were well fixed, with no slippery, upwarp and displacement, etc

内固定术^[5-8]。因肋骨系非承重骨,对器械强度要求相对不高,而手术目的是恢复胸廓形态,稳定骨折端,预防并发症。可选用的内固定材料有环抱接骨器、钢丝、薄形钢板、克氏针、可吸收肋骨固定钉等^[9-12]。张才铭等^[13]报道精准内固定术可以缩短患者下床时间、住院时间,并减轻患者疼痛,降低迟发性血气胸等并发症的发生。关于肋骨骨折的手术计划及定位,许多作者提倡三维重建,包括使用3D打印技术导航定位^[14],然而,并没有相应的临床数据可以判断其对定位和手术切口的直接影响及手术操作的影响。

本课题组结合既往临床记忆合金行内固定术的经验,利用3D打印模型,取得良好的临床效果。3D打印技术形成的三维模型使骨折的解剖结构更加直观、立体,尤其是对年轻医生,具有重要的教学意义。50处肋骨骨折,3处因处于肩胛骨覆盖中心位置,未行内固定术;3D打印出肋骨骨折模型更容易精确测量骨折处的弯曲度 d 及高度 h ,通过3D打印技术选择的接骨器的高度及弯曲度均符合手术要求,而凭借医生经验选择的接骨器仅有32处高度、36处弯曲度与实际需要符合,选择的接骨器型号(高度及弯曲度)的匹配度较低,两者相比具有统计学差异($P<0.05$),医生在实际手术中,可一次性选择需要的接骨器型号,不用反复更换。本组病例47处肋骨骨折,选用肋骨接骨器的数目为 (3.8 ± 2.2) 个,均为一次性选择肋骨接骨器,减少了手术时间。与传统的内固定手术相比,并未增加围手术期的风险及并发症。由于选择的肋骨接骨器型号完全符合肋骨形态,经过1~6个月随访,所有固定部位均未发生接骨器上翘、移位、滑脱等并发症。

3D打印技术作为一种新兴技术,颠覆了传统的教学模式,尤其是在外科手术临床教学中。目前国内外主要应用于一些复杂的解剖结构,如关节^[15]、脊柱^[16]、颌面部^[17]、中耳^[18]、血管病^[19]等,且均取得了良好效果,充分调动学生的学习积极性及探索欲望^[20]。因胸外科教学时间较短而专业性又强,在专科知识学习和理解过程遇到不小困难,致使一些学生学习兴趣不高。针对以上问题,本研究利用3D打印重度肋骨骨折模型进行教学,比较传统的临床教学方法,其优势明显:①结合影像学资料,更容易提高阅读胸片或者X光的能力,判断骨折的部位及数目,提高学生对重度肋骨骨折诊断的准确度。虽然学生对肋骨骨折的判断并未表现出统计学差异,考虑大部分学生自行查阅CT报告所致,但3D打印的模型可以较简单、精确地诊断出肋骨骨折部位。②肋骨的立体结构、解剖学形态直观立体地呈现在学生面前,使之有了清晰认识,熟悉程度由64%(16/25)提升至92%(23/25),提高学生对肋骨解剖结构的掌握度。③直视下行肋骨骨折复位及固定术,3D打印教学组所有学生均表现出学习积极性高,与传统教学方式相比,提高学生对手术的理解及学习兴趣。但是,由于3D打印技术的要求比较高,模型打印时间长,一定程度上限制了临床应用。另外,本课题组对于复杂的创伤、严重的多发肋骨骨折患者,利用骨折模型向患者及家属讲解病情及手术风险,模拟手术过程及预期达到的效果,让患者及家属充分知情,提高患者及家属对肋骨骨折相关术语及围手术期风险的理解程度,进一步提高了健康教育及医患沟通水平。

【参考文献】

- [1] DIVISI D, LEONARDO G D, CRISCI R. Surgical management of traumatic isolated sternal fracture and manubriosternal dislocation[J]. J Trauma Acute Care Surg, 2013, 75(5): 824-829.
- [2] PARK J B, LEE H P, YOO D G, et al. Fixation of traumatic sternal fractures using sternalock plating system [J]. Korean J Thorac Cardiovasc Surg, 2013, 46(4): 309-311.
- [3] IWASAKI Y, KAWASAKI S, SHINOZAKI M, et al. Surgical stabilization of multiple rib fracture and flail chest[J]. Kyobu Geka, 2006, 59(11): 980-984.
- [4] OYETUNJI T A, JACKSON H T, OBIRIEZE A C, et al. Associated injuries in traumatic sternal fractures: a review of the National Trauma Data Bank[J]. Am Surg, 2013, 79(7): 702-705.
- [5] CAMPBELL N, CONAGLEN P, MARTIN K, et al. Surgical stabilization of rib fractures using Inion OTPS wraps-techniques and quality of life follow-up[J]. J Trauma, 2009, 67(3): 596-601.
- [6] DE JONG M B, KOKKE M C, HIETBRINK F, et al. Surgical management of rib fractures: strategies and literature review[J]. Scand J Surg, 2014, 103(2): 120-125.

- [7] SLOBOGEAN G P, MACPHERSON C A, SUN T, et al. Surgical fixation vs nonoperative management of flail chest: a meta-analysis [J]. *J Am Coll Surg*, 2013, 216(2): 302-311.
- [8] 乔贵宾, 陈刚. 创伤性肋骨骨折的处理: 广东胸外科行业共识(2017年版)[J]. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2018, 25(5): 362-367.
- QIAO G B, CHEN G. Treatment of traumatic rib fracture: consensus of Guangdong thoracic surgery (2017) Chinese[J]. *Journal of Clinical Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 2018, 25(5): 362-367.
- [9] BOTTLANG M, HELZEL I, LONG W, et al. Less-invasive stabilization of rib fractures by intramedullary fixation: a biomechanical evaluation[J]. *J Trauma*, 2010, 68(5): 1218-1224.
- [10] ANDRADE-SILVA F B, KOJIMA K E, JOERIS A, et al. Single, superiorly placed reconstruction plate compared with flexible intramedullary nailing for midshaft clavicular fractures: a prospective, randomized controlled trial[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2015, 97(8): 620-626.
- [11] MARASCO S, LIEW S, EDWARDS E, et al. Analysis of bone healing in flail chest injury: do we need to fix both fractures per rib?[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2014, 77(3): 452-458.
- [12] MARASCO S F, SUTALO I D, BUI A V. Mode of failure of rib fixation with absorbable plates: a clinical and numerical modeling study[J]. *J Trauma*, 2010, 68(5): 1225-1233.
- [13] 张才铭, 宋小宁, 吴祖培, 等. 精准定位下记忆合金环抱器内固定治疗肋骨骨折的疗效分析[J]. *中国医学物理学杂志*, 2017, 34(8): 837-840.
- ZHANG C M, SONG X N, WU Z P, et al. Therapeutic effect of internal fixation of memory alloy embracing fixator in precise positioning for rib fracture [J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2017, 34(8): 837-840.
- [14] PIERACCI F M, MAJERCIK S, ALI-OSMAN F, et al. Consensus statement: surgical stabilization of rib fractures rib fracture colloquium clinical practice guidelines[J]. *Injury*, 2017, 48(2): 307-321.
- [15] PREECE D, WILLIAMS S B, LAM R, et al. "Let's get physical": advantages of a physical model over 3D computer models and textbooks in learning imaging anatomy[J]. *Anat Sci Educ*, 2013, 6(4): 216-224.
- [16] LI Z, LI Z, XU R, et al. Three-dimensional printing models improve understanding of spinal fracture: a randomized controlled study in China[J]. *Sci Rep*, 2015, 5: 11570.
- [17] ROHNER D, GUIJARRO-MARTINEZ R, BUCHER P, et al. Importance of patient-specific intraoperative guides in complex maxillofacial reconstruction[J]. *J Craniomaxillofac Surg*, 2013, 41(5): 382-390.
- [18] MONFARED A, MITTERAMSKOGLER G, GRUBER S, et al. High-fidelity, inexpensive surgical middle ear simulator[J]. *Otol Neurotol*, 2012, 33(9): 1573-1577.
- [19] KHAN I S, KELLY P D, SINGER R J. Prototyping of cerebral vasculature physical models[J]. *Surg Neurol Int*, 2014, 5: 11.
- [20] 周悦, 黄华兴, 王巍, 等. 3D打印技术在外科临床教学中的应用[J]. *南京医科大学学报(社会科学版)*, 2015(6): 504-506.
- ZHOU Y, HUANG H X, WANG W, et al. Application of 3D printing technology in clinical teaching of surgery [J]. *Journal of Nanjing Medical University (Social Sciences)*, 2015(6): 504-506.

(编辑:黄开颜)