

# 基于 3D 金属打印技术锁骨近端解剖钢板的数字化研究

郑轶, 郑兴国, 张嘉锴, 吴君龙, 袁欣华

(中国科学院大学宁波华美医院骨科, 浙江 宁波 315010)

**【摘要】** 目的:探讨 3D 金属打印技术结合虚拟设计锁骨近端解剖钢板的可行性。方法:回顾性选择 1 例 52 岁男性健康志愿者,运用 Mimics15.01, NX12.0 等软件设计锁骨近端解剖钢板系统,将 STL 数据输入 3D 打印机打印 1:1 锁骨模型及锁骨近端解剖钢板,并在体外试验钢板的贴合性和影像学评估螺钉位置的准确性,记录模型的打印时间、钉道设计及锁骨近端解剖钢板制作时间。结果:3D 金属打印锁骨近端解剖钢板与锁骨模型贴合良好,锁骨近端锁定螺钉的导向准确,X 线及 CT 扫描显示螺钉位置良好。模型打印时间、钉道设计及锁骨近端解剖钢板制作的时间分别为 120、15 和 300 min。结论:基于 3D 金属打印技术锁骨近端解剖钢板系统可实现锁骨近端骨折钢板的良好贴合和螺钉精确置入,为锁骨近端骨折的治疗方案提供一种新的精确手术方法。

**【关键词】** 3D 金属打印; 个体化; 锁骨近端; 钢板

中图分类号:R683.4

DOI:10.12200/j.issn.1003-0034.20220965

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Digital study on proximal clavicle anatomical plate based on 3D printing technology

ZHENG Yi, ZHENG Xing-guo, ZHANG Jia-kai, WU Jun-long, YUAN Xin-hua (Department of Orthopaedics, Hwamei Hospital, University of Chinese Academy of Sciences, Ningbo 315010, Zhejiang, China)

**ABSTRACT** **Objective** To explore feasibility of 3D metal printing technology combined with virtual design proximal clavicle anatomical plate. **Methods** A 52-year-old male healthy volunteer was retrospectively selected to design proximal clavicle anatomical plate system by using Mimics15.01, NX12.0 and other software. STL data were input into 3D printer to print 1:1 clavicle model and proximal clavicle anatomical plate. The fit of the plate was tested in vitro and the accuracy of screw position was evaluated by imaging. Printing time of model, nail path design and fabrication time of the anatomical plate at proximal clavicle were recorded. **Results** The 3D metal printing proximal clavicle anatomical plate fitted well to clavicle model, orientation of proximal clavicle locking screw was accurate, and X-ray and CT scan showed the screw position was good. Printing time of model, the time of nail path design, and the time of making anatomical plate of proximal clavicle were 120, 15 and 300 min respectively. **Conclusion** The proximal clavicular anatomical plate system based on 3D metal printing technology could achieve good lamination of proximal clavicular fracture plate and precise screw placement, providing a new and accurate surgical method for the treatment of the proximal clavicular fracture.

**KEYWORDS** Three dimensional printing; Individualization; Proximal clavicle; Steel

锁骨骨折在上肢肩胛带骨折中较为常见<sup>[1]</sup>。锁骨骨折大多发生在锁骨中 1/3, 锁骨近端骨折并不常见,通常认为此类损伤与高能量损伤相关,常合并肋骨骨折、血气胸,颅脑外伤等,占锁骨骨折的 2%~4%<sup>[2]</sup>。由于锁骨近端解剖位置特殊,后方毗邻重要的血管神经,手术风险高,目前尚无专用的锁骨近端骨折内固定系统<sup>[3]</sup>。随着金属 3D 打印技术的发展,锁骨近端解剖钢板的数字化研究,设计及个性化 3D

打印已成为可能。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据收集和模型建立

选择 1 例 52 岁男性健康成年人的锁骨 CT 扫描数据。排除锁骨病理性骨折及骨质疏松症。锁骨以 1 mm 层厚进行 64 排螺旋 CT 扫描,然后将 Dicom 格式数据导入 Mimics 15.01 软件,通过 Mask 和 Threshold 工具选取骨组织密度,经 Calculate 3D 工具重建锁骨的三维模型。

### 1.2 虚拟钢板和螺钉模拟建立

将数据导入 NX12.0 软件中,利用 NX12.0 软件将靠近锁骨近端区域的曲面抽壳 3 mm 作为钢板厚

基金项目:宁波市医学科技计划项目(编号:2021Y08)

Fund program: Ningbo Medical Technology Foundation (No.2021Y08)

通讯作者:郑轶 E-mail: 15967868807@163.com

Corresponding author: ZHENG YI E-mail: 15967868807@163.com

度从而设计锁骨近端解剖钢板(图 1a-1c)。锁骨近端钢板靠近胸骨端有 2 个斜向固定孔, 固定孔直径为 1.5 mm。锁骨近端设计 4~5 个 2.7 mm 的锁定螺纹孔, 钢板中间为一滑动孔, 钢板近端为 3 个 3.5 mm 的锁定孔, 通过布尔运算完成对钢板的切孔操作。

### 1.3 3D 打印标本

将 Mimics 15.01 软件中的数据转化为 STL 格式导入 3D 打印机中打印锁骨 1:1 的标本模型, NX12.0 软件设计的个性化锁骨近端解剖钢板导入 3D 金属打印机中进行打印(材质为钛合金)。将 3D 打印锁骨标本模型以中立位固定在操作台上进行模拟钢板放置及置钉操作, 采用 X 线、CT 扫描观察螺钉位置的准确性及是否穿破胸锁关节面和锁骨的前后缘以分析螺钉置入的安全性(图 1d-1h)。将置钉后的锁骨标本模型依次通过实体观察钢板的贴合性(图 1i-1j)。

## 2 结果

本例锁骨模型打印时间、钉道设计及锁骨近端解剖钢板制作时间分别为 120、15 和 300 min, 平均

费用为 3 100 元。3D 打印模型与基于 CT 数据的三维重建模型完全一致, Mimics 15.01 软件和 NX12.0 软件所设计的锁骨近端锁定螺钉的方向、角度基本一致, 基本实现锁骨近端解剖钢板的临床应用需求。

螺钉置入标本后经 X 线、CT 检查均位于设计钉道内, 3D 金属锁定解剖钢板与左侧锁骨所在平面良好贴合, 可操作性强。

## 3 讨论

### 3.1 锁骨近端骨折内固定方式选择

锁骨近端骨折多为直接暴力所致, 保守治疗容易出现骨折不愈合, 畸形愈合, 胸锁关节功能障碍等并发症。目前临床缺乏标准的锁骨近端骨折内固定方法, 多采用对侧锁骨远端解剖钢板倒置, 腓骨远端解剖钢板及桡骨远端钢板甚至钩钢板跨关节固定, 尚无锁骨近端解剖钢板固定<sup>[4]</sup>。替代钢板与锁骨近端的贴合性差, 跨胸锁关节固定容易出现钢板断裂致内固定激惹等并发症, 而胸锁钩钢板位置深, 有损伤胸骨后方血管风险从而限制其临床应用<sup>[5]</sup>。随着

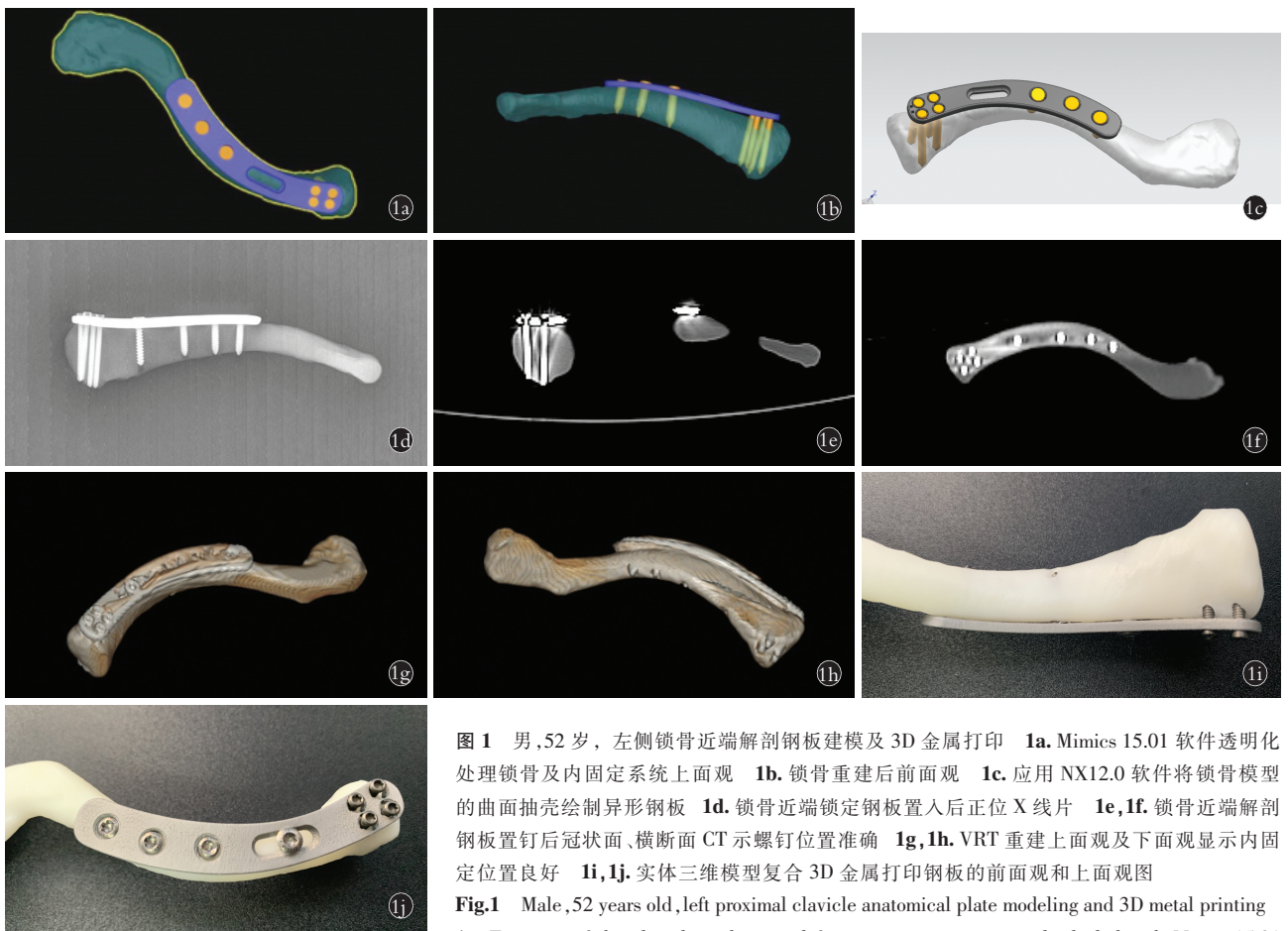


图 1 男, 52 岁, 左侧锁骨近端解剖钢板建模及 3D 金属打印 1a. Mimics 15.01 软件透明化处理锁骨及内固定系统上面观 1b. 锁骨重建后前面观 1c. 应用 NX12.0 软件将锁骨模型的曲面抽壳绘制异形钢板 1d. 锁骨近端锁定钢板置入后正位 X 线片 1e, 1f. 锁骨近端解剖钢板置钉后冠状面、横断面 CT 示螺钉位置准确 1g, 1h. VRT 重建上面观及下面观显示内固定位置良好 1i, 1j. 实体三维模型复合 3D 金属打印钢板的前面观和上面观图

Fig.1 Male, 52 years old, left proximal clavicle anatomical plate modeling and 3D metal printing

1a. Top view of the clavicle and internal fixation system transparently dealt with Mimics15.01 software 1b. Anterior view after collarbone reconstruction 1c. NX12.0 software was used to draw curved shell of clavicle model to draw the shaped steel plate 1d. AP X-ray after proximal clavicular locking plate placement 1e, 1f. Coronal and cross-sectional CT of proximal clavicle anatomical plate showed the screw position was accurate 1g, 1h. The upper and lower views after VRT reconstruction showed good internal fixation position 1i, 1j. Front and above view of solid 3D model with 3D metal printed steel plate

3D 打印技术的发展,金属 3D 打印钢板已经成为现实<sup>[6-8]</sup>。本研究基于 3D 金属打印技术进行锁骨近端解剖钢板的数字化研究并设计应用锁骨近端解剖钢板系统。

### 3.2 3D 金属打印钢板建模方式及材质选择

医学三维影像技术与计算机技术互相渗透,本研究采用 NX12.0 软件与 Mimics 15.01 软件重建锁骨近端三维图像机锁骨近端解剖钢板。Mimics 软件可利用薄层锁骨 CT 数据进行锁骨三维重建并可虚拟锁骨近端骨折线。NX12.0 软件绘制的钢板三维立体效果强,在操作界面上可任意对钢板形状机螺钉孔进行设计改良,并可进行图像旋转、放大、缩小、透视等,实现交互显示,具有良好的可操作性<sup>[9]</sup>。随着 3D 金属打印技术的发展,目前可通过 3D 金属打印机打印人体骨骼弹性模量接近的金属内植物。钛合金粉末是目前应用广泛的 3D 打印金属材料。研究表明,通过孔径变化率和不同空隙的调整,钛合金内植物具有良好的生物力学性能,从而减少骨折愈合过程中的应力遮挡,提高骨折的愈合率<sup>[10-11]</sup>。

### 3.3 3D 金属打印锁骨近端钢板的安全性

通过 Mimics 15.01 软件与 NX12.0 软件所设计的锁骨近端解剖钢板系统的螺钉长度和角度准确,体外模拟实验置入螺钉经 X 线和 CT 扫描未穿破胸锁关节间隙,而且螺钉的排布合理,对锁骨近端骨折起到良好的固定作用,钢板贴合度佳,不会引起皮肤激惹等相关并发症,具有较好的安全性。

### 3.4 3D 金属打印技术数字化锁骨锁定近端钢板的优势和不足

本研究所研制的 3D 金属打印技术锁骨近端解剖钢板具有以下优势:(1)操作简单,学习曲线短。(2)术中以锁骨的 CT 数据为参照,根据操作设计,精确复位,钢板贴合后即可置钉,操作时间短。(3)对于锁骨畸形或者陈旧型锁骨近端患者经过精确设计同样可以操作。不足之处:(1)时间滞后性:数据的采集,钢板的设计,制作,打印,运输需要 1~2 d,不适用于急诊患者。(2)3D 金属打印技术锁骨近端解剖钢板打印费用昂贵,目前尚未纳入医保范围。

本研究基于 3D 金属打印技术进行锁骨近端解剖钢板的数字化研究,建立个性化锁骨近端的数字化模型并进行金属 3D 打印,螺钉位置准确,钢板于锁骨表面贴合良好,具有良好的可行性和安全性,可

为锁骨近端骨折提供一种新的精确内固定方法。

#### 参考文献

- [1] BAKIR M S, MERSCHIN D, UNTERKOFER J, et al. Injuries of the medial clavicle: a cohort analysis in a level-I-trauma-center. concomitant injuries. management. classification[J]. Chirurgia, 2017, 112(5):594.
- [2] GRANTHAM W J, HALVERSON S J, LEE D H. Medial clavicle osseous dimensions with implication on plate fixation[J]. Tech Shoulder Elb Surg, 2019, 20(1):26-29.
- [3] KAMACI S, BESS L, GLOGOVAC G, et al. Plate osteosynthesis of midshaft clavicle fractures in adolescent contact sports athletes- adolescent clavicle fracture[J]. J Pediatr Orthop B, 2022, 31(1):1-6.
- [4] SALAZAR L M, KOSO R E, MOMTAZ D A, et al. Results of pre-contoured titanium anterior plating of midshaft clavicle fractures [J]. J Shoulder Elbow Surg, 2022, 31(1):107-112.
- [5] NEVIASER R J, NEVIASER A S. Transfer of the coracoid and conjoined tendon for failed, unstable, short clavicle following excessive outer clavicle resection[J]. J Shoulder Elbow Surg, 2022, 31(3):623-628.
- [6] 郑轶, 张嘉镨, 吴君龙, 等. 3D 打印个性化异形解剖导向钢板辅助经口前路寰枢椎置钉的数字化研究[J]. 脊柱外科杂志, 2022, 20(2):84-88.  
ZHENG Y, ZHANG J K, WU J L, et al. Digital study of 3D printing personalized special-shaped anatomy guided plate assisted atlantoaxial screw placement via anterior transoral approach[J]. J Spinal Surg, 2022, 20(2):84-88. Chinese.
- [7] ZHENG W H, TAO Z Y, LOU Y T, et al. Comparison of the conventional surgery and the surgery assisted by 3d printing technology in the treatment of calcaneal fractures[J]. J Invest Surg, 2018, 31(6):557-567.
- [8] 任捷, 吕智. 3D 打印个性化腰椎融合器设计及生物力学性能研究分析[J]. 中国骨伤, 2021, 34(8):764-769.  
REN J, LYU Z. 3D printed personalized lumbar spinal fusion device design and biomechanical performance analysis[J]. China J Orthop Traumatol, 2021, 34(8):764-769. Chinese.
- [9] 董晨阳, 黄尚宇. 基于 NX 的标准件定位功能优化开发[J]. 工业控制计算机, 2017, 30(11):61-62.  
DONG C Y, HUANG S Y. Development and optimization of positioning function for standard parts based on NX[J]. Ind Contr Comput, 2017, 30(11):61-62. Chinese.
- [10] OH K C, YUN B S, KIM J H. Accuracy of metal 3D printed frameworks for removable partial dentures evaluated by digital superimposition[J]. Dent Mater, 2022, 38(2):309-317.
- [11] ALHALLAK K R, NANKALI A. 3D printing technologies for removable dentures manufacturing: a review of potentials and challenges[J]. Eur J Prosthodont Restor Dent, 2022, 30(1):14-19.

(收稿日期:2022-12-31 本文编辑:李宜)