

· 技术创新 ·

3D 打印辅助开放复位内固定严重鹰嘴骨折[△]

王磊, 刘欣, 耿欣, 吴志新

(唐山市第二医院创伤四科, 河北唐山 063000)

摘要: [目的] 介绍使用 3D 打印辅助开放复位内固定治疗严重鹰嘴骨折的手术技术和初步临床结果。[方法] 利用 DICOM 格式术前 CT 数据制备 1:1 骨折 3D 模型, 进行模拟复位, 确定钢板类型和放置位置, 参照解剖标志和关键骨块边缘距离获得复位钉孔的空间信息, 将这些空间信息再次导入软件, 在软件中将复位钉孔和关键骨块的空间信息相互结合后, 在软件中可以实现骨块和螺钉一起复位和还原初始位置的效果。术中依据 3D 打印模板进行骨折复位内固定。[结果] 所有患者均顺利完成手术, 无血管、神经损伤等并发症。随访时间均超过 12 个月, 患者均获得骨性愈合, 1 例异位骨化, 2 例骨性关节炎。但是, 术后 12 个月伤侧肘关节屈曲 [(126.1±10.0)° vs (133.2±12.1)°, $P=0.023$]、伸直 [(14.2±6.2)° vs (9.1±5.0)°, $P<0.001$] 和肘关节活动范围 [(111.1±11.2)° vs (124.0±14.1)°, $P=0.001$] 显著不及健侧。末次随访时 Mayo 肘关节功能评分为 (86.0±14.2) 分, 优良率达 73.1%。[结论] 3D 打印辅助开放复位内固定治疗严重鹰嘴骨折, 能简化操作, 提升复位固定的准确性和手术效率。

关键词: 尺骨鹰嘴骨折, 3D 打印, 内固定术, 钢板

中图分类号: R683.41

文献标志码: A

文章编号: 1005-8478 (2024) 20-1897-04

3D printing assisted open reduction and internal fixation of severe olecranon fractures // WANG Lei, LIU Xin, GENG Xin, WU Zhi-xin. Fourth Department of Traumatic Orthopaedics, Second Hospital of Tangshan City, Tangshan 063000, China

Abstract: [Objective] To introduce the surgical techniques and preliminary clinical results of 3D printing assisted open reduction and internal fixation of severe olecranon fractures. [Methods] Preoperative CT data in DICOM format was used to manufacture 1:1 fracture 3D model for simulated reduction, and the plate type and placement positions of the implants were determined. The spatial information of the key screw hole was obtained by referring to anatomical markers and the edge distance of fracture fragment, and the spatial information was re-imported into the software. Combining the spatial information of the key screw hole in the major bone pieces in the software, mimic fracture reduction and fixation were conducted to restore to the initial position. Intraoperatively, fracture reduction and internal fixation were performed based on the 3D printing templates. [Results] All patients had operation performed successfully without vascular and nerve injury complications. At the latest follow-up lasted for more than 12 months, all the patients got fractures healed well, one of them was of ectopic ossification, and 2 cases of osteoarthritis. However, 12 months after operation, the affected side proved inferior to the healthy side in terms of elbow flexion [(126.1±10.0)° vs (133.2±12.1)°, $P=0.023$], extension [(14.2±6.2)° vs (9.1±5.0)°, $P<0.001$], and range of motion of the elbow [(111.1±11.2)° vs (124.0±14.1)°, $P=0.001$]. The Mayo elbow performance score was of (86.0±14.2), while the excellent and good rate of clinical outcome rate was of 73.1%. [Conclusion] 3D printing assisted open reduction and internal fixation for severe olecranon fracture do simplify the operation, and improve the accuracy and efficiency of fracture reduction and fixation.

Key words: olecranon fracture, 3D printing, internal fixation, plate

鹰嘴骨折属于关节内骨折, 占全身骨折发病率的 10%^[1], 占肘部骨折的 40%^[2]。高能量损伤容易造成骨折粉碎, 影响功能。肘关节是上肢的重要部分, 肘部功能丧失 50%, 上肢将丧失功能近 80%^[3]。

鹰嘴的形态不规则, 滑车构造不仅有水平面的外翻角还有矢状面的前屈角, 这些进化获得的形态和关节功能密切相关。Wong^[4] 在标本中研究鹰嘴长度和

肘关节活动的关系, 发现鹰嘴长度缩小 2 mm 将减少约 30° 的伸直范围, 长度的增加虽然不影响关节活动范围, 但伸直后的稳定性明显下降。

鹰嘴骨折的治疗中, 简单骨折利用张力带常能获得良好效果, 但在粉碎的类型中常需要使用克氏针、钢板以及植骨等配合治疗, 修复难度大, 术后效果也常不如人意^[1, 2, 5-7], 特别是严重粉碎骨折, 如果再

DOI:10.20184/j.cnki.issn1005-8478.100659

△基金项目: 2021 年河北省医学科学研究课题计划项目(编号: 20211313)

作者简介: 王磊, 主任医师, 研究方向: 创伤骨科、数字骨科, (电子信箱)wanglei2003814@163.com

合并有骨质疏松则治疗更是难上加难。所以良好的复位、稳定的固定，是术后优良效果的基础。

数字技术目前已经非常成熟，在各个行业中被广泛应用。骨骼的固体特性非常适合 3D 数字技术的应用。本骨科中心 2018 年 9 月—2020 年 10 月，应用 3D 配套技术开放复位内固定治疗严重鹰嘴骨折患者 26 例，取得较好疗效，现将手术技术及临床效果报告如下。

1 手术技术

1.1 术前准备

检查：所有患者术前常规检查，拍摄肘关节正侧位 X 线片（图 1a, 1b）和肘关节 CT（图 1c）。

规划：（1）采集 Dicom 格式的肘关节 CT 数据，导入 Mimics 中，灰度选择骨窗，建立三维骨折模型。术者与工程师共同确定模型和骨块数量，并区别关键骨块和压缩区域；（2）模拟复位：在 Mimics 中确定骨块（图 1d），实现骨块间移动，模拟骨折复位（可借鉴健侧骨骼镜像）。

3D 导板制备：（1）复位成功后，复位软件导入 3D 打印机中打印 1:1 模型。通过模型和钢板的术前匹配挑选钢板并塑形，对于关键骨块和钢板的相对位置进行确定，进而确定钉孔的置入位置。将这些关键钉孔位置和标志骨块或骨干间的相对数据组合，设计出术者理解并能合理操作的导板形状，同样将导板确定后导入 3D 打印机中打印实体；（2）实操优化：利用打印的 3D 模型和导板以及选定的钢板之间术前演练手术过程，调整合理性，如有更改可修改数据多次调整（图 1e），术者参与演练和修改方案，同时制定后备方案。

1.2 麻醉与体位

全部患者采用臂丛麻醉，采用平卧胸前位或健侧侧卧位，如采用侧卧位则患肢在上屈肩屈肘位。

1.3 手术操作

（1）上臂使用加压止血带，手术切口选择肘后正中切口（可根据皮肤条件改变为弧形切口），切开皮肤后深达筋膜层下再向两侧分离，以全厚皮瓣分离显露鹰嘴背侧，两侧皮瓣下分离，在尺神经沟附近找到并保护尺神经；（2）找到骨折术前确定的关键骨块，显露关键骨块和骨性标志，在关键骨块足够安放导板情况下避免过度剥离骨膜，按照术前演练过程准确安放（所有）导板到关键骨块上，使用导板上预置的孔洞确定关键骨块钉孔位置，这些钉孔是在术前软件获得真实骨折和钢板数据后，模拟骨折解剖复位确

定钢板固定最佳位置的钉孔，术中每个钉孔的位置都用克氏针提前通过导板确定并转孔；（3）所有解剖钢板关键螺钉都预置成功后，对应位置安放钢板和顺序螺钉，细微调节部分骨块的对位，恢复鹰嘴长度和背侧主体结构；（4）在主体结构恢复后处理关节面塌陷区域，恢复高度，植骨时注意骨块间接触加压并辅以必要克氏针或螺钉固定，避免形成游离体，利用导板恢复骨块和钢板之间相关性，检查骨块间接触，避免过度分离，检查关节匹配度，完成复位、加强骨折固定强度后，活动肘关节，再次确定肱尺滑车匹配；（5）术中注意侧副韧带的检查和尺神经的保护及松懈，松止血带后充分止血闭合创面，完成手术

1.4 术后处理

抗生素应用 24 h，活动夹板中立位保护 2 周，复查 X 线片，吲哚美辛 75 mg 2/d 口服 3~4 周，预防异位骨化。术后 2 周内鼓励患者行上肢肌肉等长收缩，2 周去除夹板开始被动屈伸活动，要求肘关节无痛屈伸 20~30 min/d，术后 3~6 周屈伸范围逐渐加大至接近正常。定期复查 X 线片，当出现骨痂连接后可开始部分负重。术后 12 个月时测量双侧肘关节屈伸活动度及伤肢 Mayo 评分并记录^[9]。

2 临床资料

2.1 一般资料

本组 26 例，男 18 例，女 8 例，年龄 17~68 岁，高处坠落伤 9 例，摔伤 10 例，车祸 6 例，砸伤 1 例。肘后皮肤擦伤 7 例，肘后伤口 3 例（Gustilo I 型），闭合骨折 16 例。长期吸烟 9 例，长期饮酒 4 例。所有患者采用 Mayo 分类^[10]，IIb 型 16 例，IIIb 型 10 例。

2.2 初步结果

所有患者均顺利完成手术，无血管神经损伤并发症。所有患者随访时间均超过 12 个月。所有患者均获得骨性愈合，术后 4 个月复查时有 1 例患者出现肘前方异位骨化，后期随访异位骨化局限。术后 12 个月复查时有 2 例患者出现创伤后骨性关节炎。此 3 例患者对症采用药物和理疗方法治疗，内固定均在术后 12~16 个月取出，本组已有 19 例患者取出内固定。

术后 12 个月伤侧肘关节屈曲 $[(126.1 \pm 10.0)^\circ \text{ vs } (133.2 \pm 12.1)^\circ, P=0.023]$ 、伸直 $[(14.2 \pm 6.2)^\circ \text{ vs } (9.1 \pm 5.0)^\circ, P<0.001]$ 、肘关节活动范围 $[(111.1 \pm 11.2)^\circ \text{ vs } (124.0 \pm 14.1)^\circ, P<0.001]$ 显著差于健侧。末次随访时 Mayo 肘关节功能评分为 (86.2 ± 14.3) 分，优良率达 73.1%。

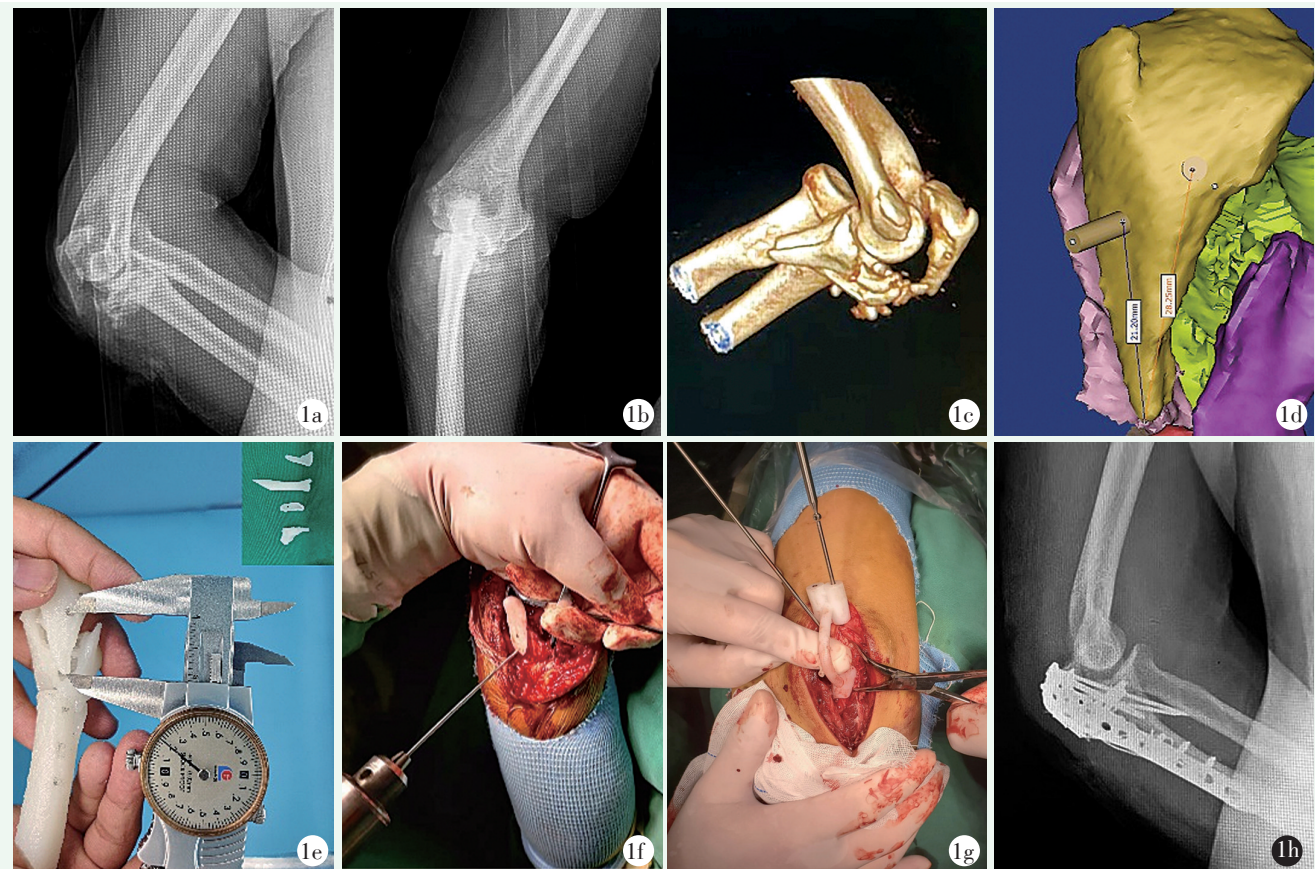


图 1. 患者女性, 57 岁。1a: 术前侧位 X 线片示鹰嘴粉碎骨折, 肘关节后脱位; 1b: 术前正位 X 线片示鹰嘴骨折、肱桡关节对位不良; 1c: 术前肘关节 CT 重建可见鹰嘴粉碎骨折, 肱尺、肱桡关节脱位; 1d: 术前 mimics 软件中骨块识别重建测量数据进行术前规划; 1e: 术前数字技术 3D 模型、导板实操数据修改; 1f: 术中导板确定关键骨块钉孔位置; 1g: 术中利用导板完成张力带固定; 1h: 术后肘关节侧位 X 线片显示肱尺关节复位、鹰嘴复位满意, 固定牢固。

Figure 1. A 57-year-old female. 1a: Preoperative lateral radiograph showed comminuted fracture of the olecranon with posterior elbow dislocation; 1b: Preoperative anteroposterior X ray revealed olecranon fracture with poor humeroradial alignment; 1c: Preoperative CT 3D reconstruction demonstrated comminuted olecranon fracture, with humerulnar and humeroradial dislocation; 1d: The measurement of fracture fragments was conducted by mimics software for preoperative planning; 1e: The real model and guide were made by 3D printing; 1f: Intraoperatively, the guide was used to determine the location of key screw holes; 1g: The guide plate facilitated the fixation of the tension band during the procedure; 1h: Postoperative lateral radiograph showed olecranon fractures reduced satisfactorily with firm fixation, and the joints relocated well.

3 讨论

鹰嘴形态不规则, 不仅功能重要, 而且是肘部稳定的基础^[14]。鹰嘴修复的效果对活动范围及稳定性都存在关联^[4], 如何获得更好的复位一直是治疗的难题。解剖钢板也是针对复位时的解剖需求而设计^[15-17]。贴服的钢板对骨骼的固定有利, 还对伤口组织的愈合有益^[15, 16]。

3D 技术在医疗领域已应用广泛, 应用于骨科也更有优势, 数字技术能模拟实操呈现效果^[18]。Lubberts^[19]认为 3D 技术可提高复位的准确性。随着技术的进步, 传统的影像资料通过软件可以将骨折块模

块化。医学思维和软件的结合可以将手术无限制的模拟和设计。3D 打印的普及又拉近了虚拟和现实。本组技术的优越性: (1) 数字技术将骨折模块化, 实现无死角立体复位, 提高了复位准确性; (2) 3D 打印和数字软件的准确性保障了规划的实施, 关键骨块, 钢板位置, 骨块和钢板的相对关系, 这些信息通过导板反馈到手术中, 合理利用钢板, 将钢板转化为复位操作的一部分, 实现了复位、固定二合一; (3) 最终内固定作为复位的参考是对复位方法的改进, 除了简化操作, 还缩短了操作时间, 更保护了血运, 特别适用于节段粉碎的情况; (4) 以 CT 资料作为基础的 3D 模型, 能真实反应患者的骨骼数据, 依据这种数据选定的钢板才能实现解剖复位。另外, 本技术还能

将很多实验室理论上有效的方案转化到操作中。

本组术后虽然无法立刻达到健侧肘关节活效果，主要是损伤严重造成的，但优良率和关节评分也肯定了手术效果。Wadia^[20]通过 X 线评判提出鹰嘴宽度提供肱骨小头的活动空间。Kamiya^[8]在研究解剖形态，使用侧位 X 线片鹰嘴滑车最长距离和肱骨小头的长度比，作为尺骨滑车长度恢复的评估指标。Okamoto^[13]采用此方法对 24 例鹰嘴骨折张力带术后进行测量，术后 B/A 比值 0.75，C/A 比值 0.44。本研究也采用同样方法，术后 B/A 比值 0.69，C/A 比值 0.42，结果与 Okamoto 没有统计学差异。本组选择粉碎骨折，而 Okamoto 选择简单骨折，本组的治疗效果更明显。

综上所述，鹰嘴严重损伤手术复位恢复解剖结构是功能恢复的基础，3D 配套技术的应用对骨折的复位和固定有较好的手术效果，能简化操作，降低难度，提高效果，值得临床推广。

参考文献

- Anderson ML, Larson AN, Merten SM, et al. Congruent elbow plate fixation of olecranon fractures [J]. *J Orthop Trauma*, 2007, 21 (6): 386-393. DOI: 10.1097/BOT.0b013e3180ce831e.
- Schneider MM, Nowak TE, Bastian L, et al. Tension band wiring in olecranon fractures: the myth of technical simplicity and osteosynthetic perfection [J]. *Int Orthop*, 2014, 38 (4): 847-55. DOI: 10.1007/s00264-013-2208-7.
- Sivakumar R, SomaSheker V, Shingi PK, et al. Treatment of stiff elbow in young patients with interpositional arthroplasty for mobility: case series [J]. *J Orthop Case Rep*, 2016, 6 (4): 49-52. DOI: 10.13107/jocr.2250-0685.566.
- Wong KP, Tan JCH. The effect of post-fixation olecranon lengthening on range of motion of the elbow: a cadaveric study [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2021, 22 (1): 1045. DOI: 10.1186/s12891-021-04936-9.
- Brüggemann A, Mukka S, Wolf O. Epidemiology, classification and treatment of olecranon fractures in adults: an observational study on 2462 fractures from the Swedish Fracture Register [J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2022, 48 (3): 2255-2263. DOI: 10.1007/s00068-021-01765-2.
- Cantore M, Candela V, Sessa P, et al. Epidemiology of isolated olecranon fractures: a detailed survey on a large sample of patients in a suburban area [J]. *JSES Int*, 2022, 6 (2): 309-314. DOI: 10.1016/j.jseint.2021.11.015.
- Siebenlist S, Buchholz A, Braun KF. Fractures of the proximal ulna: current concepts in surgical management [J]. *EFORT Open Rev*, 2019, 4: 1-9. DOI: 10.1302/2058-5241.4.180022.
- Kamiya T, Mikami T, Tasase K. Outcome of the comminuted olecranon fractures [J]. *J Jpn Soc Surg Elbow*, 2005, 12: 123-124.
- Longo UG, Franceschi F, Loppini M, et al. Rating systems for evaluation of the elbow [J]. *Br Med Bull*, 2008, 87: 131-161. DOI: 10.1093/bmb/ldn023.
- Morrey BF. Current concepts in the treatment of fractures of the radial head, the olecranon, and the coronoid [J]. *Instr Course Lect*, 1995, 44: 175-185.
- Kim JY, Lee YH, Gong HS, et al. Use of Kirschner wires with eye-lets for tension band wiring of olecranon fractures [J]. *J Hand Surg Am*, 2013, 38 (9): 1762-1767. DOI: 10.1016/j.jhsa.2013.05.012.
- Schatzker J. Fractures of the olecranon [M]// Schatzker J, Tile M, editors. *The rationale of operative fracture care*. Berlin: Springer, 2005: 123-130.
- Michio O, Jiro N, Kohji K, et al. Surgical technique in tension band wiring method for selected comminuted olecranon fractures [J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2020, 30: 237-242. DOI: 10.1007/s00590-019-02551-y.
- 张世民, 袁锋, 俞光荣. 尺骨冠突骨折与复杂性肘关节骨折脱位 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2007, 15 (18): 1403-1405, 1414. Zhang SM, Yu F, Yu GR. Ulnar coronoid fracture and complex elbow fracture dislocation [J]. *Orthopaedic Journal of China*, 2007, 15 (18): 1403-1405, 1414.
- Wagner FC, Jaeger M, Friebe C, et al. Low-profile double plating of unstable osteoporotic olecranon fractures: a biomechanical comparative study [J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2021, 30 (7): 1519-1526. DOI: 10.1016/j.jse.2020.11.008.
- Lee Y, Cho BW, Kim MB, et al. Biomechanical comparison between double-plate fixation and posterior plate fixation for comminuted olecranon fracture using two triceps screws in synthetic bone model [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2022, 101 (1): e28313. DOI: 10.1097/MD.00000000000028313.
- 张博, 刘林涛, 东靖明. 解剖型钩钢板治疗尺骨鹰嘴骨折 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2018, 26 (14): 1249-1253. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2018.14.01. Zhang B, Liu LT, Dong JM. Anatomical hook plate for ulnar olecranon fracture [J]. *Orthopaedic Journal of China*, 2018, 26 (14): 1249-1253. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2018.14.01.
- 鲍立杰, 张志平, 吴培斌. 3D 打印技术在骨科的研究及应用进展 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2015, 23 (4): 325-327. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2015.04.09. Bao LJ, Zhang ZP, Wu PB. Research and application progress of 3D printing technology in orthopedics [J]. *Orthopaedic Journal of China*, 2015, 23 (4): 325-327. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2015.04.09.
- Lubberts B, Janssen S, Mellema J, et al. Quantitative 3-dimensional computed tomography analysis of olecranon fractures [J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2016, 25 (5): 831-836. DOI: 10.1016/j.jse.2015.10.002.
- Wadia F, Kamineni S, Dhotare S, et al. Radiographic measurements of normal elbows: clinical relevance to olecranon fractures [J]. *Clin Anat*, 2007, 20 (4): 407-410. DOI: 10.1002/ca.20431.

(收稿:2023-09-16 修回:2024-05-21)

(同行评议专家: 江水华, 尹东, 张靖宇, 梁慧)

(本文编辑: 郭秀婷)