

论著·临床研究

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2022.15.015

网络首发 [https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.r.20220420.1810.006.html\(2022-04-21\)](https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.r.20220420.1810.006.html(2022-04-21))

3D 打印个性化模型辅助治疗复杂踝关节骨折的效果分析*

纪振中,张奕,李焱,艾卓

(武汉市普仁医院骨科 430000)

[摘要] **目的** 探讨复杂踝关节骨折应用 3D 打印个性化模型联合微创复位固定术的治疗效果。**方法** 回顾性分析 2017 年 6 月至 2019 年 6 月该院收治的 65 例复杂踝关节骨折患者的临床资料,根据治疗方式的不同分为对照组(微创复位固定术治疗, $n=29$)和观察组(3D 打印个性化模型联合微创复位固定术治疗, $n=36$)。比较两组患者围术期相关指标、复位效果,术后 1、3、6、12 个月两组患者踝关节功能,骨折愈合时间及并发症发生情况,以及两组患者治疗费用。**结果** 观察组患者手术时间、住院时间、开始活动时间短于对照组,术中失血量少于对照组,差异均有统计学意义($P<0.01$);观察组患者解剖复位构成比及术后 1、3、6、12 个月踝关节功能评分高于对照组,差异均有统计学意义($P<0.05$);观察组患者骨折愈合时间短于对照组,随访期间并发症总发生率低于对照组,差异均有统计学意义($P<0.05$);但观察组患者治疗费用高于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 3D 打印个性化模型联合微创复位固定术可改善复杂踝关节骨折患者围术期指标及复位效果,但费用较高。

[关键词] 复杂踝关节骨折;3D 打印个性化模型;微创复位固定术;复位效果;并发症

[中图分类号] R683.42

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-8348(2022)15-2591-05

Analysis on effects of 3D printed individualized model in assisted treatment of complex ankle fractures*

JI Zhenzhong, ZHANG Yi, LI Yan, AI Zhuo

(Department of Orthopedics, Wuhan Puren Hospital, Wuhan, Hubei 430000, China)

[Abstract] **Objective** To study the therapeutic effect of 3D printed individualized model combined with minimally invasive reduction and fixation of complex ankle joint fractures. **Methods** The clinical data of 65 patients with complex ankle fractures treated in this hospital from June 2017 to June 2019 were retrospectively analyzed, and they were divided into the control group (minimally invasive reduction and fixation treatment, $n=29$) and observation group (3D printing individualized model combined with minimally invasive reduction and fixation, $n=36$) according to different treatment methods. The related indexes during the perioperative period, reduction effect, ankle joint function in postoperative 1, 3, 6, 12 months, fracture healing time, complications occurrence and treatment costs were compared between the two groups. **Results** The operation time, hospitalization time and time of starting to move in the observation group were shorter than those in the control group, the blood loss amount during the operation was less than that of the control group, and the differences were statistically significant ($P<0.01$). The composition ratio of anatomical reduction and the ankle function scores at postoperative 1, 3, 6, 12 months in the observation group were higher than those in the control group, and the differences were statistically significant ($P<0.05$). The fracture healing time in the observation group was shorter than that in the control group, the total incidence rate of complications during follow up period was lower than that in the control group, and the differences were statistically significant ($P<0.05$). But the treatment cost in the observation group was higher than that in the control group with statistical difference ($P<0.05$). **Conclusion** The 3D printing individualized model combined with minimally invasive reduction and fixation can improve the perioperative indexes and reduction effect of the patients with complex ankle fractures, but the cost is high.

[Key words] complex ankle fractures; 3D printed individualized models; minimally invasive reduction and fixation; reset effect; complication

* 基金项目:湖北省卫生和计划生育委员会联合基金项目(WJ2018H0093)。 作者简介:纪振中(1984—),主治医师,硕士,主要从事创伤骨科研究。

复杂踝关节骨折是一种临床高发关节内创伤,多因轴向暴力或直接暴力所致,以后踝、内外踝骨折为主^[1]。因踝关节损伤类型多样,治疗难度高,如未及时复位或复位效果不佳,将影响踝关节功能,导致疼痛、跛行等问题,严重降低患者生存质量^[2]。目前复位固定术是临床治疗复杂踝关节骨折的常用方式,可有效复位、固定骨折,但整体效果仍有较大提升空间^[3]。3D打印是一种以粉末状黏合材料累加原理为基础的增材制造技术,常应用于工业零部件及机械制造^[4]。近年来,3D打印技术在医疗行业的应用范围逐渐拓宽,在骨科治疗中的优势也凸显出来,可为每例患者建立个体化模型,设计最佳手术方案,提升手术准确性及安全性^[5]。本研究通过回顾性分析2017年6月至2019年6月本院收治的65例复杂踝关节骨折患者的临床资料,分析复杂踝关节骨折应用3D打印个体化模型联合微创复位固定术的效果。现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析2017年6月至2019年6月本院收治的65例复杂踝关节骨折患者的临床资料,纳入标准:(1)符合《骨与关节损伤》中踝关节骨折诊断标准^[6],经CT、X线片等影像学检查确诊;(2)踝部外伤史明确;(3)踝部表现为明显压痛、肿胀、踝关节功能障碍,踝关节间隙变化,骨皮质不连续,发生明显移位;(4)均知晓研究内容并自愿参与。排除标准:(1)踝关节骨折前伴有有关节炎、关节功能障碍者;(2)伴有神经或大血管损伤者;(3)韧带、肌腱断裂需修补者;(4)因处理感染、复杂合并伤、开放性损伤等因素导致骨折至手术时间大于14 d者;(5)长期使用糖皮质激素患者;(6)合并肾功能不全、心脏疾病、凝血功能异常等基础性疾病者;(7)精神障碍者。根据治疗方式的不同分为对照组和观察组。对照组($n=29$):其中,男17例,女12例,年龄20~67岁,平均(44.97±6.52)岁;受伤至手术时间2 h~14 d,平均(6.21±0.75)d;Gustilo分型Ⅰ型9例,Ⅱ型15例,ⅢA型5例;合并韧带损伤24例,合并距骨软骨损伤12例;交通伤8例,扭伤14例,高处跌落伤7例。观察组($n=36$):其中,男21例,女15例,年龄19~65岁,平均(45.02±6.53)岁;受伤至手术时间4 h~12 d,平均(6.02±0.81)d;Gustilo分型Ⅰ型11例,Ⅱ型17例,ⅢA型8例;合并韧带损伤27例,合并距骨软骨损伤15例;交通伤10例,扭伤16例,高处跌落伤10例。两组患者性别、年龄、受伤至手术时间、Gustilo分型、致伤原因等基线资料比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。该研究经本院伦理委员会批准通过,患者及家属对本研究内容知情同意。

1.2 方法

1.2.1 对照组治疗方法

对照组行微创复位固定术治疗。(1)外踝骨折经皮微创钢板内固定术治疗:C型臂X射线机透视下行手法复位,复位后巾钳夹持固定。外踝尖行2 cm切口,深筋膜下钝性分离,以骨膜剥离器在深筋膜与骨膜间向上推移,开通软组织通道,将干骺端锁定钢板或重建钢板直接推入切口到达骨折近端,将钢板近端以带锁导向器固定,C型臂X射线机下认定骨折端对线、钢板位置满意后,骨折两端各以2枚螺钉固定。(2)内踝骨折经皮微创空心钉内固定术治疗:C型臂X射线机透视下行手法复位,复位后巾钳夹持固定。根据骨折位置从内踝后丘或前丘以30°~45°进针,置入2枚导针,穿过并垂直于骨折面中心,顺导针置入2枚空心钉,C型臂X射线机下认定复位、固定满意。(3)后踝骨折经皮微创空心钉内固定术治疗:C型臂X射线机透视下从后向前垂直置入2枚空心钉导针,远端1枚尽可能向软骨下骨靠近。(4)下胫腓联合经皮微创空心钉内固定术治疗:针对旋前-外旋、旋后-外旋、旋前-外展型骨折,采用足外旋试验或Hock试验证实存在下胫腓联合分离的患者,在踝关节上方2.5 cm左右位置,经钢板后缘或钢板孔向前方25°钻孔,穿过3层皮质置入松质骨螺钉。如为高位腓骨骨折,向远端牵引外踝,经皮置入1枚螺钉,在上方2.0 cm左右位置置入第2枚螺钉以固定外踝。

1.2.2 观察组治疗方法

观察组行3D打印个体化模型联合微创复位固定术治疗。(1)术前建立3D打印个体化模型:行踝部64排薄层CT扫描及三维重建,以脚掌正中轴为Z轴,记录左、右、上、下共4幅图像,明确近侧跗骨间关节、踝关节、前方跗骨间关节之间的关系与距离,获取准确影像学数据,精确化处理保存为DICOM格式,输入计算机,导入Mimics软件,处理后导入3D打印机(购自深圳市金石三维打印科技有限公司),按照1:1的比例打印出骨折模型及复位后骨折模型,将影像学资料与3D模型作为依据进行手术方案的设计,评估骨折移位方向、复位后骨折位置,确定手术入路与内固定方式。在模型上行模拟手术步骤,预弯钢板,确定固定位置、螺钉位置、数量、方向。(2)手术时根据3D打印模型复位:常规消毒铺巾后采用手法复位,必要时使用复位钳辅助复位;针对骨块较大且明显移位的患者,先采用3D打印模型模拟复位,基于术前设计情况确定预弯钢板的放置位置,使用螺钉加固,C型臂下确认钢板位置与长度满意。

1.2.3 观察指标

(1)两组患者围术期相关指标比较。包括手术时间、术中失血量、住院时间、开始活动时间。(2)两组患者复位效果比较。术后3 d行踝关节正侧位、踝穴位X线片检查,根据Burwell-Charnley标准评估骨折复位情况^[7]。解剖复位:①无内踝、外踝向外侧或内侧移位;②无成角移位;③内踝、外踝纵向分离与嵌插

小于 1 mm;④后踝向近侧移位小于 2 mm;⑤无距骨移位。复位一般:①无内踝、外踝向外侧或内侧移位;②无成角移位;③外踝前后方位移位 2~5 mm;④后踝向近侧移位 2~5 mm;⑤无距骨移位。复位差:①任何内踝、外踝向外侧或内侧移位;②外踝前后方位移位大于 5 mm 或后踝移位大于 5 mm;③距骨移位。(3)术后 1、3、6、12 个月两组患者踝关节功能比较。以美国矫形外科足踝协会(AOFAS)的踝关节功能评分系统评价^[8],包括疼痛、功能、力线 3 个项目,分数分别为 0~40 分、0~50 分、0~10 分,总分 0~100 分,分数越高,患者踝关节功能越好。(4)两组患者骨折愈合时间及并发症发生情况。随访 12 个月,统计患者骨折愈合时间及随访期间并发症发生情况。

1.3 统计学处理

数据采用 SPSS24.0 统计学软件进行分析,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用 t 检验;重复测量数据进行重复测量方差分析,同组不同时间点计量资料比较采用单因素方差分析;计数资料以率表示,组间比较采用 χ^2 检验,若理论频数为 1~5,则进行校正 χ^2 检验。检验水准 $\alpha=0.05$,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 两组患者围术期相关指标比较

观察组患者手术时间、住院时间、开始活动时间短于对照组,术中失血量少于对照组($P<0.01$);观察

组患者解剖复位构成比高于对照组($P<0.05$),见表 1、2。

表 1 两组患者围术期相关指标比较($\bar{x} \pm s$)

组别	<i>n</i>	手术时间 (min)	术中失血量 (mL)	住院时间 (d)	开始活动时间 (d)
观察组	36	40.52±5.63	88.06±11.57	4.97±0.68	5.22±0.75
对照组	29	53.91±7.06	129.41±15.40	8.41±0.95	9.46±1.01
<i>t</i>		8.510	12.360	16.996	19.417
<i>P</i>		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

表 2 两组患者复位效果比较[*n*(%)]

组别	<i>n</i>	解剖复位	复位一般	复位差
观察组	36	32(88.89)	4(11.11)	0
对照组	29	19(65.52)	8(27.59)	2(6.90)
χ^2 /校正 χ^2		5.192	2.896	—
<i>P</i>		0.023	0.089	0.109

2.2 两组患者术后 1、3、6、12 个月踝关节功能比较

术后 1、3、6、12 个月观察组患者踝关节功能评分均高于对照组($P<0.05$);术后 12 个月两组患者踝关节功能评分均高于术后 1、3、6 个月($P<0.05$),术后 6 个月均高于术后 1、3 个月($P<0.05$),术后 3 个月均高于术后 1 个月($P<0.05$),见表 3。

表 3 两组患者术后 1、3、6、12 个月 2 组踝关节功能比较($\bar{x} \pm s$,分)

组别	<i>n</i>	术后 1 个月	术后 3 个月	术后 6 个月	术后 12 个月
观察组	36	77.26±8.87	83.32±9.22 ^a	89.87±9.41 ^{ab}	94.57±4.92 ^{abc}
对照组	29	72.14±9.01	78.81±8.05 ^a	83.30±7.54 ^{ab}	90.24±5.10 ^{abc}
<i>t</i>		2.297	2.073	3.051	3.470
<i>P</i>		0.025	0.042	0.003	0.001

^a: $P<0.05$,与术后 1 个月比较;^b: $P<0.05$,与术后 3 个月比较;^c: $P<0.05$,与术后 6 个月比较。

2.3 两组患者骨折愈合时间及并发症比较

观察组患者骨折愈合时间短于对照组($P<0.05$),随访期间并发症总发生率低于对照组($P<0.05$),见表 4。

表 4 两组患者骨折愈合时间及并发症比较

组别	<i>n</i>	骨折愈合时间 ($\bar{x} \pm s, d$)	并发症[<i>n</i> (%)]			合计
			创伤性 关节炎	关节 僵硬	畸形 愈合	
观察组	36	114.13±18.62	0	1(2.78)	0	1(2.78)
对照组	29	129.67±21.20	1(3.45)	2(6.90)	2(6.90)	5(17.24)
<i>t</i> /校正 χ^2		3.144				2.470
<i>P</i>		0.003				0.016

2.4 两组患者治疗费用比较

观察组、对照组治疗费用分别为(2.11±0.42)、(1.86±0.34)万元,观察组高于对照组,两组比较差异有统计学意义($t=2.592, P=0.012$)。

2.5 典型病例

患者,男,35 岁,不慎从 3 m 高处坠落摔伤导致足跟活动障碍及肿痛,诊断为复杂右踝关节骨折。完善相关检查,行踝部 64 排薄层 CT 扫描及三维重建,术前 Mimics 软件处理后导入 3D 打印机,获取骨折模型(图 1A),模拟复位后骨折模型(图 1B),术前 X 线片显示踝关节骨折(图 1C),微创复位固定术后 X 线片显示骨折内固定解剖复位(图 1D)。术后 1 个月进行踝关节主动屈伸锻炼,术后 2 个月行部分负重锻炼,随访 12 个月,患者右下肢活动良好,无明显疼痛,外形满意。



A:术前导入3D打印机获取骨折模型;B:模拟复位后骨折模型;C:术前X线片;D:术后X线片。

图1 3D打印个性化模型辅助治疗复杂踝关节骨折典型病例相关图片

3 讨 论

踝关节是将重力自垂直方向转变为弓状平面形式的重要关节,由胫腓骨远端与距骨构成,皮下组织较薄,周围肌肉及脂肪组织较少,抗缓冲能力差,因此损伤较为严重^[9]。踝关节骨折通常伴有复杂的位置变化与关节面塌陷,复位难度大,为尽可能提升复位效果通常需扩大切口,剥离过多组织,影响局部血运,延长恢复时间^[10]。目前CT平扫及X线片是踝关节骨折的常用诊断方式,但检查时单一体位难以清晰显示骨、关节面、韧带之间关系,且很难将骨碎片移位情况及骨折细节反映出来,容易导致误诊或漏诊^[11]。此外,踝关节骨折范围通常较小,且多以线状、点状为主要表现,对层厚、层数、层间距环节中技术参数应用要求较高。随着3D打印技术的持续发展,复杂踝关节骨折的诊断及治疗已突破二维平面图像的限制,使构建个性化实体模型成为可能。有国外学者使用术前规划软件,规划了复位和固定程序,并设计了植入物和钻头导向器,然后对设计的植入物和导板进行3D打印,结果显示患者特定的3D打印板和钻头导向器可能有助于保持选择髓臼骨折模式的准确复位和固定^[12]。

本研究结果显示,微创复位固定术前行3D打印个性化模型可改善围术期指标与复位效果。3D打印技术采用可黏合材料,基于数字模型逐层打印构建三维图像,把二维影像学资料转换为实体模型,在骨科领域可制作出精度0.1 mm的等比例模型,直观呈现骨折病变与周围结构的立体关系,为施术者提供精确的诊断信息,从而制订针对性的手术方案^[13-14]。3D打印个性化模型应用于复杂踝关节微创复位固定术前,通过行踝关节逐层扫描,获取不同层面图像,从多角度、多方位进行立体观察,全面展现骨折状态,可提前设计好内固定物,提升手术准确性、安全性,改善复位效果,缩短手术操作时间,减少创伤及出血量,从而加快患者恢复速度,缩短骨折愈合时间。白磊鹏等^[15]在大龄儿童Gartland II、III型肱骨髁上骨折治疗中采用3D打印技术进行术前设计与手术预演,结果显示手术时间明显缩短,且术后愈合快、肘关节功能恢复

好,提示3D打印技术在骨科手术中的应用优势,但X射线辐射有所提升。由于3D打印技术是一项新型的外科技术,患者对其不了解,容易心存疑虑与担忧,因此在围术期需加强患者健康教育,向患者与家属展示其本人的3D打印模型,详细介绍其优势,增强患者治疗信心及配合度。

复杂踝关节骨折并发症通常与术中血管及神经继发性损伤,施术者粗暴操作或对踝部解剖关系不了解有关,导致手术时间过长,患者应激反应较为严重^[16]。3D打印个性化模型可为术中操作提供参考,尽可能减少手术切口及软组织损伤,并且减少C型臂使用频率,提升手术成功率,减轻应激损伤及血管肌肉损伤,降低并发症发生率^[17]。本研究结果显示,3D打印个性化模型可有效减少患者并发症。本研究通过对两组费用进行比较发现,观察组治疗费用高于对照组,提示3D打印个性化模型在卫生经济学方面将增加患者经济负担。因此,在临床应用3D打印个性化模型技术时,需结合患者意愿及经济承受能力,选择合适的治疗方案。

综上所述,3D打印个性化模型联合微创复位固定术可改善复杂踝关节骨折患者围术期指标及复位效果,促进踝关节功能恢复,减少并发症,但费用较高。以往关于3D打印模型的研究多集中在手术效果、复位效果及术后恢复情况上,鲜有关于卫生经济学的研究,本研究对比了单纯使用微创复位固定术、3D打印个性化模型联合微创复位固定术治疗复杂踝关节骨折的费用,以便为患者提供参考,使其受益。

参考文献

- ARRONDO G M, JOANNAS G. Complex ankle fractures: practical approach for surgical treatment[J]. *Foot Ankle Clin*, 2020, 25(4): 587-595.
- 袁玉松, 芦浩, 吕昊润, 等. 临时外固定架撑开治疗急性闭合性不稳定踝关节骨折[J]. *中华骨与关节外科杂志*, 2019, 12(9): 700-703.

- [3] TANTIGATE D, HO G, KIRSCHENBAUM J, et al. Timing of open reduction and internal fixation of ankle fractures[J]. *Foot Ankle Spec*, 2019, 12(5): 401-408.
- [4] 刘云可, 李杨, 田华. 3D 打印截骨导板辅助全膝关节置换术治疗重度膝骨性关节炎的近期疗效及对围术期失血量的影响[J]. *中华实用诊断与治疗杂志*, 2020, 34(5): 452-455.
- [5] MATTER-PARRAT V, LIVERNEAUX P. 3D printing in hand surgery[J]. *Hand Surg Rehabil*, 2019, 38(6): 338-347.
- [6] 赵杰. 骨与关节损伤(精)[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 41-44.
- [7] 白求恩公益基金会创伤骨科专业委员会, 中国医疗保健国际交流促进会加速康复外科学分会创伤骨科学组, 李庭, 等. ERAS 理念下踝关节骨折诊疗方案优化的专家共识[J]. *中华骨与关节外科杂志*, 2019, 12(1): 3-12.
- [8] ERICHSEN J, FROBERG L, VIBERG B, et al. Danish language version of the American Orthopedic Foot and Ankle Society Ankle-Hind-foot scale (AOFAS-AHS) in patients with ankle-related fractures[J]. *J Foot Ankle Surg*, 2020, 59(4): 657-663.
- [9] NWANKWO E J, LABARAN L A, ATHAS V, et al. Pathogenesis of posttraumatic osteoarthritis of the ankle[J]. *Orthop Clin North Am*, 2019, 50(4): 529-537.
- [10] KANG C, HWANG D S, LEE J K, et al. Screw fixation of the posterior malleolus fragment in ankle fracture[J]. *Foot Ankle Int*, 2019, 40(11): 1288-1294.
- [11] WAKE J, MARTIN K D. Syndesmosis injury from diagnosis to repair: physical examination, diagnosis, and arthroscopic-assisted reduction[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2020, 28(13): 517-527.
- [12] TOMAZEVIC M, KRISTAN A, KAMATH A F, et al. 3D printing of implants for patient-specific acetabular fracture fixation: an experimental study[J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2021, 47(5): 1297-1305.
- [13] SKELLEY N W, SMITH M J, MA R, et al. Three-dimensional printing technology in orthopaedics[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2019, 27(24): 918-925.
- [14] XIA R Z, ZHAI Z J, CHANG Y Y, et al. Clinical applications of 3-dimensional printing technology in hip joint[J]. *Orthop Surg*, 2019, 11(4): 533-544.
- [15] 白磊鹏, 吕家兴, 李哲宏, 等. 3D 打印在大龄儿童 Gartland II、III 型肱骨髁上骨折治疗中的应用[J]. *中华实用诊断与治疗杂志*, 2020, 34(9): 929-931.
- [16] PEARCE O, AL-HOURANI K, KELLY M. Ankle fractures in the elderly: current concepts[J]. *Injury*, 2020, 51(12): 2740-2747.
- [17] WEADOCK W J, HEISEL C J, KAHANA A, et al. Use of 3D printed models to create molds for shaping implants for surgical repair of orbital fractures[J]. *Acad Radiol*, 2020, 27(4): 536-542.

(收稿日期: 2021-11-18 修回日期: 2022-04-18)

(上接第 2590 页)

- [8] SIMRE S S, JADHAV A A, PATIL C S. Actinomycotic osteomyelitis of the mandible-A rare case report[J]. *Ann Maxillofac Surg*, 2020, 10(2): 525-528.
- [9] CINTRON J R, DEL PINO A, DUARTE B, et al. Abdominal actinomycosis[J]. *Dis Colon Rectum*, 1996, 39(1): 105-108.
- [10] KONONEN E, WADE W G. Actinomyces and related organisms in human infections[J]. *Clin Microbiol Rev*, 2015, 28(2): 419-442.
- [11] 唐明, 章锦才, 肖晓蓉, 等. 常用抗菌药物对牙龈卟啉单胞菌体外抗菌活性的影响[J]. *华西口腔医学杂志*, 2001(4): 232-234.
- [12] 杨颢, 付子波, 曹羨梓, 等. 牙龈卟啉单胞菌和伴放线聚集杆菌在江苏汉族牙周炎人群中的分布研究[J]. *口腔生物医学*, 2021, 12(2): 100-104.
- [13] 袁巧云. 慢性牙周炎患者牙周袋厌氧菌病原学分布特点及抗生素使用指导[J]. *临床医学研究与实践*, 2019, 4(4): 87-88.
- [14] 中华医学会检验医学分会临床微生物学组, 中华医学会微生物学与免疫学分会临床微生物学组, 中国医疗保健国际交流促进会临床微生物与感染分会. 宏基因组高通量测序技术应用于感染性疾病病原检测中国专家共识[J]. *中华检验医学杂志*, 2021, 44(2): 107-120.

(收稿日期: 2021-11-09 修回日期: 2022-04-02)