

3D 打印辅助治疗后 Pilon 骨折的效果观察

刘 波, 曹光华, 张文玺, 杨 栋, 姜 辉, 乔之军

(江苏省溧阳市人民医院 骨科, 江苏 溧阳, 213300)

摘要: **目的** 观察 3D 打印辅助治疗后 Pilon 骨折的临床疗效。**方法** 回顾性分析 2012 年 1 月—2020 年 12 月溧阳市人民医院骨科收治的 92 例后 Pilon 骨折患者的临床资料, 其中术前应用 3D 打印模拟手术的 47 例患者设为 3D 打印组, 未应用 3D 打印模拟手术的 45 例患者设为对照组。记录 2 组患者的手术相关并发症, 比较 2 组患者手术时间、术中 X 线透视次数、手术复位情况、骨折临床愈合时间、末次随访时美国足踝外科协会(AOFAS)足踝评分系统评分及踝关节疼痛视觉模拟评分法(VAS)评分。**结果** 所有患者均获 12~20 个月随访。所有患者术后切口均达到 I 期愈合, 无患者发生切口感染、皮肤坏死、下肢深静脉血栓、足趾马镫畸形等并发症。3D 打印组手术时间、术中透视次数分别为 (81.4 ± 9.4) min、 (13.0 ± 2.3) 次, 对照组分别为 (94.9 ± 11.6) min、 (18.4 ± 3.2) 次, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。对照组有 3 例患者后踝骨折复位不良, 3D 打印组无患者发生后踝骨折复位不良, 差异无统计学意义($P > 0.05$)。3D 打印组骨折愈合时间、术后 AOFAS 评分、VAS 评分分别为 (12.9 ± 1.0) 周、 (92.8 ± 4.2) 分、 (1.1 ± 0.8) 分, 对照组分别为 (13.2 ± 1.3) 周、 (90.8 ± 4.5) 分、 (1.3 ± 0.8) 分, 差异无统计学意义($P > 0.05$)。**结论** 应用 3D 打印技术辅助治疗可以优化后 Pilon 骨折手术方案, 缩短手术时间, 减少术中透视次数, 实现个体化精准治疗。

关键词: 3D 打印; 后 Pilon 骨折; 踝关节; 内固定; 美国足踝外科协会; 马镫畸形

中图分类号: R 683; R 319 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2353(2022)17-010-05 **DOI:** 10.7619/jcmp.20221193

Effect observation of 3D printing adjuvant therapy in treatment of patients with posterior Pilon fracture after treatment

LIU Bo, CAO Guanghua, ZHANG Wenxi, YANG Dong, JIANG Hui, QIAO Zhijun

(Department of Orthopedics, Liyang People's Hospital of Jiangsu Province, Liyang, Jiangsu, 213300)

Abstract: **Objective** To observe the clinical effect of 3D printing adjuvant therapy in treatment of patients with posterior Pilon fracture after treatment. **Methods** The clinical materials of 92 patients with posterior Pilon fracture from January 2012 to December 2020 in the Department of Orthopedics of Liyang People's Hospital were retrospectively analyzed. Among them, 47 patients with preoperative 3D printing for simulating operation were selected as 3D printing group, and 45 patients without 3D printing for simulating operation were selected as control group. The operation related complications were recorded in both groups, and the operation time, intraoperative X-ray fluoroscopy times, condition of surgical reduction, clinical healing time of fractures, the score of ankle scoring system of the American College of Foot and Ankle Surgeons (AOFAS) and the score of Visual Analogue Scale (VAS) of ankle pain at the last follow-up were compared between the two groups. **Results** All the patients were followed up for 12 to 20 months. All the patients achieved primary healing after operation, and no patient had complications such as incision infection, skin necrosis, deep venous thrombosis of lower limbs, and checkrein deformity of toes. The operation time and intraoperative fluoroscopy times in the 3D printing group were (81.4 ± 9.4) min and (13.0 ± 2.3) times respectively, which were significantly shorter and less than (94.9 ± 11.6) min and (18.4 ± 3.2) times in the control group ($P < 0.05$). In the control group, there were 3 cases with poor reduction of posterior malleolus fracture, but there were no patients with poor reduction of posterior malleolus fracture in the 3D printing group, and there was no significant difference between two groups ($P > 0.05$). The fracture

healing time, postoperative AOFAS score and VAS score in the 3D printing group were (12.9 ± 1.0) weeks, (92.8 ± 4.2) points and (1.1 ± 0.8) points respectively, while were (13.2 ± 1.3) weeks, (90.8 ± 4.5) points and (1.3 ± 0.8) points respectively in the control group, and there were no significant differences between two groups ($P > 0.05$). **Conclusion** Application of 3D printing adjuvant therapy can optimize the operation plan of posterior Pilon fracture, shorten the operation time, reduce the number of intraoperative fluoroscopy, and achieve individualized precision treatment.

Key words: 3D printing; posterior Pilon fracture; ankle joint; internal fixation; American College of Foot and Ankle Surgeons; checkrein deformity

后 Pilon 骨折是由 Hansen 首先提出的一种特殊类型的踝关节骨折,其损伤机制为踝关节跖屈时轴向暴力合并旋转暴力引起,内踝“双边征”、干骺端“斑点征”、Die-punch 骨块和距骨后向半脱位是其影像学特征^[1-4]。与三踝骨折相比,后 Pilon 骨折治疗难度更大,预后较差^[5-6]。目前,后踝骨块的复位方法、内固定材料的选择等仍存争议,如何有效开展解剖复位、选择更适合的内固定材料是手术的难点^[6-7]。随着 3D 打印技术的飞速发展,术前模拟手术能够帮助临床医生优化手术方案与内固定材料的选择,减少术中透视,缩短手术时间。本研究探讨 3D 打印辅助的后 Pilon 骨折手术的治疗效果,现报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析 2012 年 1 月—2020 年 12 月本院

收治的 92 例后 Pilon 骨折患者的临床资料,均伴有外踝或腓骨骨折。根据患者术前是否使用 3D 打印模型模拟手术分为 3D 打印组 47 例和对照组 45 例。纳入标准:① 后 Pilon 骨折患者;② 患者年龄 ≥ 18 岁;③ 无局部软组织感染的患者。排除标准:① 开放性、陈旧性骨折或病理性骨折患者;② 不能耐受手术的患者;③ 既往存在踝关节功能障碍的患者;④ 伴有严重多发伤而影响手术治疗效果或不能配合康复治疗或失随访的患者。2 组患者性别构成、年龄、受伤部位、致伤原因、Klammer 分型^[8]、术前住院时间比较,差异无统计学意义($P > 0.05$),见表 1。所有患者均签署知情同意书。本研究获得溧阳市人民医院医学伦理委员会批准。

1.2 研究方法

入院后,有距骨脱位或踝关节不稳者,给予手法复位后行跟骨结节骨牵引,或给予石膏托或踝

表 1 2 组后 Pilon 骨折患者一般资料比较($\bar{x} \pm s$)

组别	n	性别		年龄/岁	受伤部位		致伤原因			Klammer 分型			术前住院时间/d
		男	女		左侧	右侧	交通伤	坠落伤	扭伤	I 型	II 型	III 型	
对照组	45	22	23	51.3 ± 11.7	23	22	18	13	14	18	13	14	8.8 ± 1.7
3D 打印组	47	22	25	52.0 ± 12.8	23	24	17	14	16	20	12	15	8.9 ± 1.7

关节支具固定,术前给予消肿、镇痛、低分子肝素抗凝等处理,完善踝关节 CT 及三维重建检查,待踝关节皮肤出现“皱褶征”后手术。

对照组患者采用椎管内麻醉,取俯卧位或漂浮体位,气囊止血带止血,取腓骨后缘与跟腱间的后外侧入路,术中保护腓肠神经、小隐静脉,先暴露并复位外踝骨折,复位后予以锁定接骨板或 1/3 管形接骨板固定。根据 Die-punch 骨块位置从后内或后外侧切口内去除 < 2 mm 影响复位的 Die-punch 骨块, > 2 mm 的 Die-punch 骨块予以撬拨复位^[9]。根据 Klammer 分型, I 型后 Pilon

骨折需从腓骨长短肌与拇长屈肌间暴露并复位后踝骨折,先予以克氏针临时固定, C 臂机透视下证实位置良好后,选择接骨板或多枚空心螺钉固定;对于 Klammer II ~ III 型后 Pilon 骨折,常规采取后外侧切口复位固定后外侧骨块,选择接骨板或多枚空心螺钉固定,后内侧切口采用胫后肌腱前方入路^[10]复位后内侧骨块,选择空心螺钉或 1/3 管形接骨板固定后内侧骨块。内踝前丘骨折需将后内侧切口向前画弧,复位后予以空心螺钉固定。待骨折固定后行踝关节外翻外旋应力试验,检查下胫腓联合的稳定性,若下胫腓联合不稳,则

予以直径 3.5 mm 皮质骨螺钉固定。后外侧切口内常规放置负压引流管 1 根,逐层缝合切口。

3D 打印组患者根据术前 CT 扫描结果,采用 Mimics 19.0 软件重建骨折模型,使用 3D 打印机 (Ultimaker 2 + 型 3D 打印机,荷兰 Ultimaker 公司)打印出 1:1 比例的骨折模型,术前评估骨折情况,明确手术复位标记,制订手术方案。术前采用打印模型模拟手术,选择合适的内固定材料,确定内固定放置位置、螺钉植入的方向和长度,具体手术过程与对照组相同。

1.3 术后处理

所有患者切口均达到 I 期闭合,术后 24 h 引流量 <20 mL 时拔除引流管,拍摄踝关节正侧位 X 线片;指导患者进行踝关节主动、被动功能锻炼,4 周后开始逐渐负重,术后的前 3 个月每月复查,此后每 2~3 个月骨科门诊复查 1 次,评估骨折愈合情况及功能评分,骨折临床愈合后完全负重。

1.4 观察指标

观察 2 组患者手术切口感染、皮肤坏死、下肢深静脉血栓、足趾马缰绳畸形等术后并发症发生情况,通过术后踝关节正侧位 X 线片或踝关节 CT 检查评估骨折复位情况。胫骨远端关节面移位 ≥ 2 mm 为复位不良。记录 2 组患者手术时间、术中透视次数、骨折临床愈合时间及末次随访时美国

足踝骨科协会(AOFAS)足踝评分系统评分(优为 90~100 分,良为 75~<90 分,一般为 50~<75 分,差为 <50 分)及踝关节疼痛视觉模拟评分法(VAS)评分。

1.5 统计学分析

采用 IBM SPSS 23.0 软件进行统计分析,计量资料均呈正态分布,以均数 ± 标准差表示,组间比较采用独立样本 t 检验;计数资料采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

所有患者均获 12~20 个月随访。所有患者术后切口均达到 I 期愈合,无患者发生切口感染、皮肤坏死、下肢深静脉血栓、足趾马缰绳畸形等并发症。3D 打印组手术时间、术中透视次数短于、少于对照组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。对照组有 3 例患者后踝骨折复位不良,3D 打印组无患者发生后踝骨折复位不良,差异无统计学意义($P > 0.05$)。2 组患者骨折愈合时间、术后末次随访时 AOFAS 评分和 VAS 评分比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 2。1 例 42 岁右侧后 Pilon 骨折(Klammer II 型)女性患者的骨折治疗情况见图 1。

表 2 2 组患者手术相关指标及术后随访情况比较($\bar{x} \pm s$) [n (%)]

组别	<i>n</i>	随访时间/月	手术时间/min	术中透视次数/次	复位不良	骨折愈合时间/周	AOFAS 评分/分	VAS 评分/分
对照组	45	16.5 ± 2.1	94.9 ± 11.6	18.4 ± 3.2	3(6.7)	13.2 ± 1.3	90.8 ± 4.5	1.3 ± 0.8
3D 打印组	47	16.6 ± 1.6	81.4 ± 9.4*	13.0 ± 2.3*	0	12.9 ± 1.0	92.8 ± 4.2	1.1 ± 0.8

AOFAS: 美国足踝外科协会; VAS: 视觉模拟评分法。与对照组比较, * $P < 0.05$ 。

3 讨论

3.1 后 Pilon 骨折的治疗现状

后 Pilon 骨折的后踝骨块形态多样,并且常常伴有关节面压缩骨块(Die-punch 骨块)和距骨后向的半脱位,骨折移位明显,切开复位内固定是常用的治疗方法。临床中常采用后外侧入路和后内侧入路治疗后 Pilon 骨折^[6, 11-13],而术中解剖复位胫骨远端关节面是手术的难点^[14]。目前,最常用的方法是韧带间接复位技术,该方法先复位固定外踝骨折,而后利用软组织合页的完整性复位后踝骨折,具有简便、软组织损伤小等优点,但受后踝骨块间的相互干扰和 Die-punch 骨块的影响,容易出现后踝骨块旋转或“开书样”复位不

良^[15]。此外,该方法需要反复、多角度透视下调整复位,会增加透视次数,延长手术时间。由于后 Pilon 骨折手术体位常采用俯卧位或漂浮体位,术中透视较仰卧位更为困难,外踝内固定也会影响后踝的透视。本研究对照组中 2 例骨折复位不良均因术中透视不确切而未能及时发现。

LIU T 等^[16]采用切断距腓前韧带将腓骨远端向后翻转来进行直视下复位后踝骨折,该方法适用于腓骨骨折伴有下胫腓联合损伤的病例,但术后存在踝关节不稳的潜在风险。KIM Y J 等^[17]采用松解下胫腓后韧带的方法使后踝骨折精确复位。研究^[18]表明下胫腓后韧带可以提供 42% 的下胫腓联合稳定性,因此该方法可能影响下胫腓联合稳定性。MARTIN K D 等^[15, 19]使用踝关节镜



A、B：术前踝关节正侧位 X 线片显示 Klummer II 型后 Pilon 骨折；C、D：术前踝关节 CT 三维重建显示后踝骨折延续至内踝；
E、F、G：踝关节 CT 平扫与后内侧、后外侧矢状位重建；H、I：3D 打印模型及术前模拟情况，并确定骨折复位标记、
接骨板位置、螺钉位置及长度；J、K：术后踝关节正侧位 X 线片显示骨折解剖复位，内固定位置良好。

图 1 1 例 42 岁右侧后 Pilon 骨折 (Klummer II 型) 女性患者的 X 线片和 3D 打印模型

监视术中复位情况,取得了良好的效果,但该方法需要术者具有关节镜手术技术,学习曲线较长。此外,还有通过外踝骨折间隙直视下辅助复位后踝骨折的方法^[20-21],该方法适用于外踝骨折线与后踝骨折位于同一平面者,不适用于腓骨高位骨折;当外踝骨折较为粉碎时,该方法也可能会破坏外踝骨折复位的解剖标记,影响后续的外踝复位。总之,目前尚无一种十分完美的、适合所有类型的后 Pilon 骨折的复位技术。

3.2 3D 打印优化术前规划

本研究采用 3D 打印技术,术前模拟手术方法有助于后 Pilon 骨折的复位。本研究中,与对照组相比,3D 打印组未发现复位不良患者,手术时间显著缩短,术中 X 线透视次数显著减少,主要原因是优化了手术方案。3D 打印解决了 X 线片和 CT 检查无法兼顾复杂骨折整体与细节的问题,使术者对受伤机制、骨折形态有更直观的理解。术者通过全方位、多角度地观察后踝骨块的位置、大

小、移位程度以及后踝骨块间的重叠情况,明确 Die-punch 骨块的大小和位置,快速、精准地找到并处理 Die-punch 骨块,选择正确的手术入路、手术顺序,确定骨块的复位标记,根据后踝骨块的解剖标记对后踝骨折精确复位,减少术中透视次数,减少医患双方 X 射线暴露,加快手术进程,提高手术效率,降低感染风险。

3.3 3D 打印优化内固定选择

后 Pilon 骨折可以选择间接复位由前向后螺钉内固定,或者直接复位由后向前螺钉或支撑钢板内固定,但是一般认为直接复位内固定能够取得更好的复位质量和功能预后^[22-24]。本研究部分患者选择“T 型”接骨板固定后踝骨折,可以对后踝骨折起到三角支撑固定,具有良好的力学稳定性^[23-24],但是使用接骨板需要对软组织进行更大的剥离,且目前临床上仍缺少非常适合不同骨骼大小的接骨板,容易导致接骨板放置不妥或者放置位置不良。本研究通过术前 3D 打印模型精

确模拟手术,有效解决了上述问题,选择了最优的内固定材料,术前模拟发现后踝骨块较大时选择接骨板固定,骨块较小时选择多枚空心螺钉固定;若发现接骨板与骨面不服帖,则可以预弯接骨板,术中可达到精准治疗。术前预测内固定植入物放置的位置,螺钉的方向、长度,可以降低内固定植入位置不良的风险;有限剥离软组织可以减少对软组织激惹,减少足趾马缰绳畸形的发生,有利于术后功能恢复。

本研究仍存在一些局限性:① 本研究属于回顾性研究,部分病例缺少术后 CT 检查结果,部分病例的失访也可能对结果有影响;② 本研究样本量较小,后期需要多中心、大样本的随机对照研究进一步验证结果。

总之,应用 3D 打印技术辅助治疗可以优化后 Pilon 骨折手术方案,缩短手术时间,减少术中透视次数,实现个体化精准治疗。

参考文献

[1] HANSEN S. Functional reconstruction of the foot and ankle [M]. Philadelphia: Lippincott Williams&Wilkins, 2000: 37-46.

[2] 秦晓东, 张宇, 方永详, 等. 过度跖屈型踝关节骨折的初步探讨[J]. 中华创伤骨科杂志, 2017, 19(12): 1029-1035.

[3] ZHANG J Z, WANG H, PEN C, *et al.* Characteristics and proposed classification system of posterior pilon fractures[J]. *Medicine*, 2019, 98(3): e14133.

[4] WANG J W, WANG X Y, XIE L Z, *et al.* Comparison of radiographs and CT features between posterior Pilon fracture and posterior malleolus fracture: a retrospective cohort study[J]. *Br J Radiol*, 2020, 93(1110): 20191030.

[5] CHAPARRO F, AHUMADA X, URBINA C, *et al.* Posterior pilon fracture: Epidemiology and surgical technique[J]. *Injury*, 2019, 50(12): 2312-2317.

[6] VACAS-SÁNCHEZ E, OLAYA-GONZÁLEZ C, ABARQUE-RO-DIEZHANDINO A, *et al.* How to address the posterior malleolus in ankle fractures A decision-making model based on the computerised tomography findings[J]. *Int Orthop*, 2020, 44(6): 1177-1185.

[7] 刘春光, 宋朋飞, 李兴华. 3D 打印在治疗后 Pilon 骨折中的应用[J]. 中华实验外科杂志, 2020, 37(4): 632-634.

[8] KLAMMER G, KADAKIA A R, JOOS D A, *et al.* Posterior pilon fractures: a retrospective case series and proposed classification system[J]. *Foot Ankle Int*, 2013, 34(2): 189-199.

[9] 王旭, 耿翔, 张超, 等. 后 pilon 骨折 Die-punch 骨块的 CT 分型及应用[J]. 中华创伤骨科杂志, 2018, 20(6): 470-475.

[10] 刘波, 乔之军, 曹光华, 等. 后内侧胫后肌腱前方入路联合后外侧入路切开复位内固定治疗 Klammer II/III 型后 pilon 样骨折[J]. 中华创伤杂志, 2021, 37(12): 1099-

1104.

[11] 张宇, 孙海钰, 陈斌. 后外侧入路在后 Pilon 骨折中的应用[J]. 实用骨科杂志, 2019, 25(5): 438-441.

[12] CAMPBELL S T, DEBAUN M R, KLEWENO C P, *et al.* Simultaneous posterolateral and posteromedial approaches for fractures of the entire posterior tibial plafond: a safe technique for effective reduction and fixation [J]. *J Orthop Trauma*, 2022, 36(1): 49-53.

[13] ZBEDA R M, FRIEDEL S P, KATCHIS S D, *et al.* Open reduction and internal fixation of posterior malleolus fractures via a posteromedial approach [J]. *Orthopedics*, 2020, 43(3): e166-e170.

[14] SUKUR E, AKMAN Y E, GOKCEN H B, *et al.* Open reduction in pilon variant posterior malleolar fractures: Radiological and clinical evaluation [J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2017, 103(5): 703-707.

[15] MARTIN K D, TRIPP C T, HUH J. Outcomes of posterior arthroscopic reduction and internal fixation (PARIF) for the posterior malleolar fragment in trimalleolar ankle fractures[J]. *Foot Ankle Int*, 2021, 42(2): 157-165.

[16] LIU T, CHENG Y H, QU W Q. A fibular Notch approach for the treatment of ankle fractures involving the distal tibial plafond[J]. *J Orthop Surg Res*, 2021, 16(1): 120.

[17] KIM Y J, LEE J H. Posterior inferior tibiofibular ligament release to achieve anatomic reduction of posterior malleolar fractures[J]. *J Foot Ankle Surg*, 2018, 57(1): 86-90.

[18] SHIWAKU K, TERAMOTO A, IBA K, *et al.* The prevalence of posterior inferior tibiofibular ligament and inferior tibiofibular transverse ligament injuries in syndesmosis-injured ankles evaluated by oblique axial magnetic resonance imaging: a retrospective study [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2022, 23(1): 264.

[19] MARTIN K D. Posterior arthroscopic reduction and internal fixation for treatment of posterior malleolus fractures[J]. *Foot Ankle Int*, 2020, 41(1): 115-120.

[20] JIANG Z, ZHANG C, QIN J J, *et al.* Posterior pilon fracture treated by opening the Fibula fracture gap [J]. *J Orthop Surg Res*, 2022, 17(1): 214.

[21] 陈东亮, 郑良孝, 朱朝辉, 等. 骨折间隙直视下复位固定后踝移位骨折[J]. 中国矫形外科杂志, 2020, 28(2): 177-181.

[22] SUN C G, PENG X Q, FEI Z G, *et al.* The CT morphological characteristics and the clinical management strategy of posterior malleolar fractures with talar subluxation [J]. *Am J Transl Res*, 2021, 13(6): 6478-6487.

[23] 衡科, 陶涛, 魏辉, 等. 不同内固定方式联合入路治疗 Klammer III 型后 pilon 骨折效果[J]. 实用临床医药杂志, 2021, 25(12): 66-69.

[24] GAO M F, LIU N C, CHENG Y, *et al.* Treatment outcomes of the posterolateral approach of plate fixation for posterior pilon fractures [J]. *Exp Ther Med*, 2019, 17(5): 4267-4272.

(本文编辑: 梁琥)