

· 临床论著 ·

Pilon 骨折数字规划开放复位内固定[△]

董美淇¹, 李南², 王明绪², 孟祥启², 王国栋^{2*}

(1. 南京医科大学康达学院实训中心, 江苏连云港 222000; 2. 连云港市赣榆区人民医院创伤骨科, 江苏连云港 221000)

摘要: [目的] 探讨数字化骨科技术在 Pilon 骨折内固定中的临床应用。[方法] 选取 2019 年 5 月—2022 年 5 月接诊的 Pilon 骨折患者 102 例, 随机分为两组, 规划组 51 例术前采用数字化骨科技术模拟骨折复位, 常规组 51 例接受常规后 Pilon 骨折内固定治疗, 比较两组的围手术期、随访及影像学结果。[结果] 规划组手术时间 [(93.6±18.0) min vs (107.6±20.3) min, $P<0.001$]、切口总长度 [(14.6±2.9) cm vs (17.2±3.4) cm, $P<0.001$]、术中失血量 [(72.6±19.4) ml vs (87.2±20.5) ml, $P<0.001$]、术中透视次数 [(4.8±1.4) 次 vs (6.9±1.7) 次, $P<0.001$]、切口愈合等级 [例, 甲/乙, (50/1) vs (44/7), $P=0.027$]、住院时间 [(18.3±5.9) d vs (21.7±4.3) d, $P<0.001$] 显著优于常规组。两组完全负重活动时间比较差异无统计学意义 ($P>0.05$)。术后随时间推移, 两组踝背伸-跖屈 ROM、VAS 评分及 AOFAS 评分均显著改善 ($P<0.05$), 相同时间点, 两组上述指标的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。影像方面, 两组骨折复位质量的差异无统计学意义 ($P>0.05$)。[结论] 数字化骨科技术应用于后 Pilon 骨折内固定术中, 有助于缩短手术时间和骨折愈合时间, 促进下肢踝关节功能的恢复。

关键词: 后 Pilon 骨折, 数字化骨科技术, 愈合时间, 踝关节功能

中图分类号: R683.42 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2024) 24-2240-06

Digital planning open reduction internal fixation of Pilon fractures // DONG Mei-qi¹, LI Nan², WANG Ming-xu², MENG Xiang-qi², WANG Guo-dong². 1. Training Center of Kangda College, Nanjing Medical University, Lianyungang, Jiangsu 222000, China; 2. Department of Traumatic Orthopaedics, People's Hospital of Ganyu District, Lianyungang, Jiangsu, 221000, Jiangsu, China

Abstract: [Objective] To investigate the clinical efficiency of digital planning (DP) open reduction and internal fixation (ORIF) of Pilon fractures. [Methods] A total of 102 patients who had Pilon fractures being treated surgically from May 2019 to May 2022 were randomly divided into two groups. Of them, 51 patients received ORIF based on DP to simulate fracture reduction before the real surgery, while other 51 patients underwent the conventional ORIF. The perioperative period, follow-up and imaging data of the two groups were compared. [Results] The DP group proved significantly superior to the conventional group in terms of operation time [(93.6±18.0) min vs (107.6±20.3) min, $P<0.001$], total incision length [(14.6±2.9) cm vs (17.2±3.4) cm, $P<0.001$], intraoperative blood loss [(72.6±19.4) ml vs (87.2±20.5) ml, $P<0.001$], intraoperative fluoroscopy times [(4.8±1.4) times vs (6.9±1.7) times, $P<0.001$], incision healing scale [A/B, (50/1) vs (44/7), $P=0.027$], and hospital stay [(18.3±5.9) days vs (21.7±4.3) days, $P<0.001$]. However, there was no significant difference in the time to resume full weight-bearing activities between the two groups ($P>0.05$). The ROM, VAS and AOFAS scores in both groups were significantly improved over time postoperatively ($P<0.05$), which were not statistically significant between the two groups at any time points accordingly ($P>0.05$). As for imaging, there was no statistically significant difference in the quality of fracture reduction between the two groups ($P>0.05$). [Conclusion] Preoperative digital planning for open reduction and internal fixation of Pilon fractures is helpful to shorten the operative time and fracture healing time, and promote the recovery of ankle joint function.

Key words: Pilon fracture, digital orthopedic technique, healing time, ankle function

Pilon 骨折常致干骺端及关节面粉碎性塌陷、嵌插移位等骨折损伤, 超出骨折自限性愈合负荷, 严重影响患者的下肢功能及日常活动^[1-3]。目前, 开放复

位内固定术是治疗后 Pilon 骨折的常用术式, 通过金属板、螺钉等医疗器械固定骨折部位, 可有效恢复骨折的稳定性, 促进骨折部位愈合^[4, 5]。然而, 部分研

DOI:10.20184/j.cnki.Issn1005-8478.100920

[△]基金项目: 南京医科大学康达学院 2023 年度科研发展基金项目 (编号: KD2023KYJJ129); 江苏省基础研究计划 (自然科学基金) 项目 (编号: BK20201221)

作者简介: 董美淇, 中级职称, 硕士学位, 研究方向: 骨科学, (电子信箱) 18360579588@163.com

* 通信作者: 王国栋, (电子信箱) wangjunzhi2022@163.com

究报道, Pilon 骨折后, 部分患者胫骨干骺端形成的粉碎性特征导致术中复位标志缺失, 增加复位难度, 可能引起术后踝关节功能丢失, 影响预后^[6, 7]。近些年随着医疗科技的不断进步, 数字化骨科技术在临床上辅助 Pilon 骨折内固定术的优势逐渐显现。以计算机三维打印、建模为技术基础, 实现术前三维重建模拟手术、自定义置入物设计制造、术中导航辅助操作以及术后康复监测等多个环节的数字化管理, 为临床医生提供了更多的选择和支持^[8]。然而, 尽管数字化骨科技术在后 Pilon 骨折内固定中具有巨大的潜力, 但目前相关研究资料有限, 疗效、安全性等数据仍需大量研究不断验证。因此, 本文旨在对数字化骨科技术在 Pilon 骨折内固定中的临床应用进行探讨, 以期为临床医生提供更多的参考和借鉴。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

纳入标准: (1) 经 X 线片、CT 扫描等影像学检查确诊 Pilon 骨折; (2) 符合手术复位指征; (3) 单侧闭合性骨折; (4) 诊疗依从性良好, 积极接受治疗及术后随访; (5) 年龄 18~60 岁。

排除标准: (1) 开放性骨折; (2) 病理性骨折; (3) 合并身体其他部位骨折; (4) 骨折累及毗邻神经、血管, 造成神经损伤或血管损伤; (5) 骨折部位手术史; (6) 发病前下肢畸形; (7) 入组前 3 个月内接受外科手术; (8) 凝血指标异常; (9) 存在严重感染。

1.2 一般资料

选取 2019 年 5 月—2022 年 5 月接诊的 Pilon 骨折患者 102 例, 采用随机数字表法分为两组, 规划组 51 例术前采用数字化骨科技术模拟骨折复位。常规组 51 例接受常规骨折内固定治疗。两组患者一般资料见表 1。两组患者年龄、性别、BMI、损伤至手术时间、侧别、合并腓骨骨折等一般资料的比较差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。该研究取得院内医学伦理会批准 (审批号: 赣医伦理委员会 KY-2023-019), 患者家属签署知情同意书。

1.3 手术方法

规划组: 获取 3D 建模。术前行 CT 扫描, 将 CT 扫描数据导入数字化处理软件 (Mimics-19.0) 中, 调整轴位、冠状位、矢状位方向, 生成原始像素集合, 并采用 Thresholding 模式确定分割阈值, 确定像素群的下限阈值 (226 HU), 获取灰度值在下限阈值

以上的所有像素。使用 26 节点的区域增长方法来捕捉骨质并生成原始骨质的像素集合, 以提高目标估值像素集合的保真度。使用 3D 蒙版预览模式对蒙版进行擦除和修饰, 以获取胫骨、腓骨和距骨以下的 3 个蒙版。采用计算 3D 模型的方式从这些蒙版中计算并建立可视化的 3D 模型, 以准确观察骨折的解剖形态和损伤状态。将胫腓骨表面的大骨折块与距骨附近的小骨折块逐一分离并用不同颜色标注。模拟骨折复位。对于简单的骨折块, 使用点注册模式来进行复位。通过观察断端形态, 在每个目标骨折块的断端上逐一选择 3 对拟合参考点, 并进行复位操作。对于相对复杂的骨折块, 先固定两块骨折块在三维空间中的一个参考基点, 然后调整骨折块的矩形立体框, 使两个矩形框的相交面消失并保持平行。接着平移骨折块, 使得两个参考基点重合, 并以重合基点为旋转中心微调骨折块, 直至达到满意的复位效果。

表 1. 两组患者术前一般资料比较
Table 1. Comparison of general data between the two groups before operation

指标	规划组 (n=51)	常规组 (n=51)	P 值
年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$)	42.2 \pm 7.0	42.1 \pm 7.2	0.943
性别 (例, 男/女)	30/2	28/23	0.689
BMI (kg/m^2 , $\bar{x} \pm s$)	23.7 \pm 1.5	24.1 \pm 1.8	0.226
损伤至手术时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	1.9 \pm 0.5	1.8 \pm 0.4	0.223
侧别 (例, 左/右)	14/37	11/40	0.490
合并腓骨骨折 (例, 是/否)	19/32	15/36	0.401

术前 X 线片及 CT 扫描确定骨折状态, 选择后内或外侧入路。依据术前数字规划, 施行实际手术矫正旋转移位和力线偏差, 对于塌陷移位严重的骨折块, 确定移位方向, 并按术前模拟, 恢复正常的关节面对位, 以消除压缩嵌插和关节面台阶等问题。按术前规划采用钢板和螺钉固定。缝合切口。

常规组: 术前常规影像规划, 采用内侧或外侧入路。切开复位后, 以钢板、克氏针配合螺钉固定。逐层缝合切口。

术后指导患者常规功能训练。术后 1 周内根据患者的恢复状态由康复治疗师指导患者进行针对性功能训练, 术后 4 周逐渐进行负重训练, 术后 2 个月逐渐开始完全负重训练。

1.4 评价指标

记录两组围手术期资料, 包括手术时间、切口长度、术中失血量、透视次数、切口愈合等级、住院时间。采用完全负重时间、踝背伸-跖屈活动度 (range

of motion, ROM)、美国足踝骨科协会 (American Orthopaedic Foot & Ankle Society, AOFAS) 踝及后足评分评价临床效果。行影像检查, 测量踝穴高度、踝穴宽度、踝穴冠状角、踝穴矢状角。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 24.0 统计软件对数据进行统计学分析。计量数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 资料呈正态分布时, 两组间比较采用独立样本 *t* 检验; 组内时间点配对 *T* 检验; 资料呈非正态分布时, 采用秩和检验。计数资料采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验。等级资料两组比较采用 Mann-Whitney *U* 检验, 组内比较采用多个相关资料的 Friedman 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 围手术期资料

两组患者均顺利完成手术, 术中无神经血管损伤等严重并发症。两组患者围手术期资料见表 2。规划组手术时间、切口总长度、术中失血量、术中透视次数、切口愈合、住院时间显著优于常规组 ($P < 0.05$)。

数、切口愈合、住院时间显著优于常规组 ($P < 0.05$)。

指标	规划组 (<i>n</i> =51)	常规组 (<i>n</i> =51)	<i>P</i> 值
手术时间 (min, $\bar{x} \pm s$)	93.6±18.0	107.6±20.3	<0.001
切口总长度 (cm, $\bar{x} \pm s$)	14.6±2.9	17.2±3.4	<0.001
术中失血量 (ml, $\bar{x} \pm s$)	72.6±19.4	87.2±20.5	<0.001
术中透视次数 (次, $\bar{x} \pm s$)	4.8±1.4	6.9±1.7	<0.001
切口愈合 (例, 甲/乙/丙)	50/1	44/7	0.027
住院时间 (d, $\bar{x} \pm s$)	18.3±5.9	21.7±4.3	0.044

2.2 随访结果

两组患者随访结果见表 3。两组完全负重活动时间比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。术后随时间推移, 两组踝背伸-跖屈 ROM 及 AOFAS 评分均显著增加 ($P < 0.05$), VAS 评分显著降低 ($P < 0.05$), 相同时间点, 两组间踝背伸-跖屈 ROM、AOFAS 及 VAS 评分的差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。

指标	时间点	规划组 (<i>n</i> =51)	常规组 (<i>n</i> =51)	<i>P</i> 值
完全负重活动时间 (周)		19.7±2.3	20.4±2.8	0.171
踝背伸-跖屈 ROM (°)	术后 3 个月	33.1±6.7	32.8±5.1	0.800
	术后 6 个月	47.3±8.1	45.2±7.4	0.175
	末次随访	57.1±6.9	56.8±7.2	0.830
	<i>P</i> 值	<0.001	<0.001	
VAS 评分 (分)	术后 3 个月	3.7±0.9	3.5±1.1	0.317
	术后 6 个月	2.9±0.7	3.1±0.8	0.182
	末次随访	1.7±0.5	1.9±0.6	0.070
	<i>P</i> 值	<0.001	<0.001	
AOFAS 评分 (分)	术后 3 个月	63.9±10.3	62.4±9.7	0.451
	术后 6 个月	80.5±6.9	78.2±7.5	0.110
	末次随访	89.6±7.1	87.3±7.3	0.109
	<i>P</i> 值	<0.001	<0.001	

2.3 影像评估

两组患者影像评估结果见表 4。两组骨折复位质量的差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 与术前相比, 末次随访时, 两组踝穴高度、踝穴宽度、踝穴矢状角均无显著变化 ($P > 0.05$), 两组踝穴冠状角均显著减小 ($P < 0.05$), 相同时间点, 上述影像指标的差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。

3 讨论

骨形态结构是支撑关节的基础, 距骨与胫骨远端、腓骨远端的关节平面共同维持踝关节的生理学功能。后 Pilon 骨折的特点在于其发生机制介于高能量和低能量骨折之间, 通常表现为骨折线贯穿整个后踝冠状面, 甚至放射至内踝前丘, 导致踝关节功能障

碍^[9-11]。研究认为,胫骨、腓骨、距骨之间关节的不均匀匹配往往是导致踝关节负荷失衡的关键,亦是增加术后应力性创伤性关节炎的高危因素^[12, 13]。而由于后 Pilon 骨折的解剖结构更为复杂,创伤性关节炎

的发病风险进一步升高。因此,术前准确识别关节骨折特点、类型,制定周密的手术策略,更有助于提高手术质量,缩短手术时间,降低患者术后并发症的发生风险。

表 4. 两组患者影像资料比较
Table 4. Comparison of radiographic documents between the two groups

指标	时间点	规划组 (n=51)	常规组 (n=51)	P 值
骨折复位质量 (例, 优/良/差)		37/14/0	28/20/3	0.070
踝穴高度 (mm, $\bar{x} \pm s$)	术前	23.6±5.9	22.9±6.2	0.560
	末次随访	24.7±4.8	23.8±5.1	0.361
	P 值	0.271	0.309	
踝穴宽度 (mm, $\bar{x} \pm s$)	术前	38.1±6.9	37.4±6.3	0.594
	末次随访	37.1±6.2	36.9±5.7	0.866
	P 值	0.271	0.484	
踝穴冠状角 (°, $\bar{x} \pm s$)	术前	7.9±1.7	8.3±2.1	0.293
	末次随访	4.3±0.8	4.5±0.9	0.238
	P 值	<0.001	<0.001	
踝穴矢状角 (°, $\bar{x} \pm s$)	术前	6.1±2.3	6.0±1.9	0.811
	末次随访	5.6±1.8	5.8±2.3	0.626
	P 值	0.196	0.541	

数字化骨科技术是计算机科学在骨科应用中的产物,配合医疗影像技术,在术前通过数字化技术模拟三维重建,实现自定义骨块或植入物的设计,以最大程度还原骨折前正常的生理解剖特点,成为术中导航系统的辅助^[14, 15]。目前在 Sanders III 型跟骨骨折^[16]、Sanders II 型跟骨骨折^[17]、股骨粗隆间骨折^[18]、外后髌塌陷^[19]的胫骨平台骨折中已有报道。在此基础上,本研究尝试将数字化骨科技术应用于骨折内固定的治疗中,结果显示,规划组手术时间更短,骨折复位角度更贴近正常值,术后骨折愈合时间更短。传统术前 X 线片检查、术中复位固定的治疗方案,虽然在骨折愈合方面具有促进作用,但由于胫骨-腓骨-距骨三者连接间的紧密性及骨折的复杂性,术前仅通过 X 线片评估后 Pilon 骨折特点,可能忽略踝穴、后前位、侧位的重叠影,且高能量 Pilon 骨折常伴有穹顶中央区的塌陷,增加 X 线片诊断的假阴性率^[20]。而数字化骨科技术以 CT 扫描结果为基础,通过计算机辅助设计实现二维数据的三维建模,更有助于全方位、多角度观察、分析骨折特点及细节,并立体提取、标记骨折块进行独立观察,术前规划、安放内固定类型、数量及位置,更有助于术中辨认及复位,同时缩短手术时间^[21]。本研究结果表明,规划组患者的踝关节功能、疼痛、下肢运动功能的恢复效果更佳,且术后并发症发生率更低,笔者认

为与下列因素有关:(1)数字化骨科技术可提供更加精准的术前评估和手术规划,通过三维重建和仿真术前操作,更准确地了解骨折部位的解剖结构及骨折的错位程度,制定更个性化的手术方案,避免手术中出现不必要的并发症,有助于保护周围软组织,最大限度保留骨折端的血液供应,促进骨折愈合和术后的功能康复^[22, 23];(2)数字化骨科技术在手术中能够提供更高精度的骨折块复位,同时借助计算机辅助设计和 3D 打印技术,根据患者的具体情况定制适合的内固定装置,使得内固定物更好地符合骨折端的解剖结构,减少了手术创伤,促进骨折愈合。同时也有望减少术后的并发症,提升患者的手术效果和术后康复质量^[24, 25]。

综上所述,数字化骨科技术应用于后 Pilon 骨折内固定术中,有助于缩短手术时间和骨折愈合时间,促进下肢踝关节功能的恢复。

参考文献

[1] 明晓锋,王振,王社言,等. 俯卧位后内侧入路联合外侧入路切开复位内固定治疗后 Pilon 骨折疗效分析 [J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2022, 37 (8): 869-871. DOI: 10.7531/j.issn.1672-9935.2022.08.025.

Ming XF, Wang Z, Wang SY, et al. Analysis of the therapeutic effect of posterior medial approach combined with lateral approach for open reduction and internal fixation in the treatment of Pilon

- fracture in prone position [J]. Chinese Journal of Bone and Joint Injury, 2022, 37 (8): 869-871. DOI: 10.7531/j.issn.1672-9935.2022.08.025.
- [2] 李厚举. 后 Pilon 骨折的诊断与治疗研究进展 [J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2022, 37 (4): 446-448. DOI: 10.7531/j.issn.1672-9935.2022.04.034.
- Li HJ. Research progress in the diagnosis and treatment of posterior Pilon fractures [J]. Chinese Journal of Bone and Joint Injury, 2022, 37 (4): 446-448. DOI: 10.7531/j.issn.1672-9935.2022.04.034.
- [3] 李勇奇, 罗瑞, 杨云峰. 后踝骨折及后 pilon 骨折分型的研究进展 [J]. 中华骨与关节外科杂志, 2022, 15 (3): 234-240. DOI: 10.3969/j.issn.2095-9958.2022.03.13.
- Li YQ, Luo R, Yang YF. Research progress on the classification of posterior ankle fractures and posterior pilon fractures [J]. Chinese Journal of Bone and Joint Surgery, 2022, 15 (3): 234-240. DOI: 10.3969/j.issn.2095-9958.2022.03.13.
- [4] 近思. 对 Pilon 骨折概念及后 Pilon 骨折概念之见解 [J]. 临床骨科杂志, 2022, 25 (1): 150. DOI: 10.3969/j.issn.1008-0287.2022.01.052.
- Jin S. Insights on the concepts of Pilon fracture and post Pilon fracture [J]. Journal of Clinical Orthopaedics, 2022, 25 (1): 150. DOI: 10.3969/j.issn.1008-0287.2022.01.052.
- [5] 王刚, 王凤斌, 章乐成, 等. 改良前外侧入路治疗 Pilon 骨折伴 Weber C 型腓骨骨折 [J]. 中国矫形外科杂志, 2022, 30 (2): 163-166. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.02.14.
- Wang G, Wang FB, Zhang LC, et al. Improved anterolateral approach for the treatment of Pilon fracture with weber type C fibular fracture [J]. Orthopedic Journal of China, 2022, 30 (2): 163-166. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.02.14.
- [6] 张天宇, 王磊. 后外侧与双侧骨块空心钉内固定治疗轻度移位 Klammer II 型后 Pilon 骨折的疗效比较 [J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2021, 36 (8): 873-875. DOI: 10.7531/j.issn.1672-9935.2021.08.030.
- Zhang TY, Wang L. Comparison of therapeutic effects between posterior lateral and bilateral bone block hollow nail internal fixation for mild displacement Klammer type II posterior Pilon fracture [J]. Chinese Journal of Bone and Joint Injury, 2021, 36 (8): 873-875. DOI: 10.7531/j.issn.1672-9935.2021.08.030.
- [7] 姚鹏飞, 王昊, 任戈亮, 等. 改良后内侧切口联合前外侧切口内固定治疗 Klammer II、III 型后 Pilon 骨折 [J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2021, 36 (2): 196-198. DOI: 10.7531/j.issn.1672-9935.2021.02.030.
- Yao PF, Wang H, Ren GL, et al. Improved medial incision combined with anterior lateral incision for internal fixation in the treatment of Klammer II and III posterior Pilon fractures [J]. Chinese Journal of Bone and Joint Injury, 2021, 36 (2): 196-198. DOI: 10.7531/j.issn.1672-9935.2021.02.030.
- [8] Li X, Wang XK, Yu LK, et al. 3D simulation of percutaneous sustentaculum tali screw insertion in calcaneal fractures [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2023, 24 (1): 636. DOI: 10.1186/s12891-023-06748-5.
- [9] 陈民, 李文庆, 姚海波, 等. Klammer III 型后侧 Pilon 骨折的改良入路手术 [J]. 中国矫形外科杂志, 2023, 31 (14): 1308-1311. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.14.13.
- Chen M, Li WQ, Yao HB, et al. Improved approach surgery for klammer III posterior pilon fracture [J]. Orthopedic Journal of China, 2023, 31 (14): 1308-1311. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.14.13.
- [10] 季丰, 商广前, 王天瑞, 等. 固定牵开复位器下微创经皮钢板固定 Pilon 骨折 [J]. 中国矫形外科杂志, 2022, 30 (6): 481-485. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.06.01.
- Ji F, Shang GQ, Wang TR, et al. Minimally invasive percutaneous steel plate fixation of Pilon fracture under fixed traction and reduction device [J]. Orthopedic Journal of China, 2022, 30 (6): 481-485. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.06.01.
- [11] 张昌奕, 吴健, 江建平, 等. 两种复位顺序手术治疗伴腓骨骨折的 Pilon 骨折比较 [J]. 中国矫形外科杂志, 2022, 30 (20): 1903-1906. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.20.18.
- Zhang CY, Wu J, Jiang JP, et al. Comparison of two reduction sequences for surgical treatment of Pilon fractures with fibular fractures [J]. Orthopedic Journal of China, 2022, 30 (20): 1903-1906. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.20.18.
- [12] Black AT, Stowers JM, Tran S, et al. Clinical outcomes for pilon variant posterior malleolar fractures: a multicenter retrospective analysis [J]. J Foot Ankle Surg, 2022, 61 (6): 1303-1307. DOI: 10.1053/j.jfas.2022.04.007.
- [13] Wang C, Chen C, Zhou Y, et al. Morphological study of CT image of posterior pilon variant fracture and its possible clinical significance [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2023, 143 (3): 1203-1215. DOI: 10.1007/s00402-021-04224-0.
- [14] Gan TJ, Li YX, Chen Y, et al. Open reduction and internal fixation for posterior pilon fracture: Transfibular approach versus posterior approach [J]. Injury, 2023, 54 (2): 751-760. DOI: 10.1016/j.injury.2022.11.033.
- [15] Shi G, Lin Z, Liu W, et al. 3D mapping of intra-articular calcaneal fractures [J]. Sci Rep, 2023, 13 (1): 8827. DOI: 10.1038/s41598-023-34711-w.
- [16] 孟令杰, 钱辉, 盛晓磊, 等. 3D 打印建模联合骨水泥成形微创治疗塌陷 Sanders III 型跟骨骨折 [J]. 中国组织工程研究, 2021, 25 (24): 3784-3789. DOI: 10.12307/2021.080.
- Meng LJ, Qian H, Sheng XL, et al. 3D printing modeling combined with bone cement forming for minimally invasive treatment of collapsed Sanders type III calcaneal fractures [J]. Chinese Journal of Tissue Engineering Research, 2021, 25 (24): 3784-3789. DOI: 10.12307/2021.080.
- [17] 沈润斌, 林秀琛, 刘文东, 等. 3D 打印导板辅助下克氏针经皮撬拨复位内固定治疗 Sanders II 型跟骨骨折 [J]. 中医正骨, 2023, 35 (7): 76-80. DOI: 10.3969/j.issn.1001-6015.2023.07.016.
- Shen RB, Lin XC, Liu WD, et al. Treatment of Sanders type II calcaneal fracture with percutaneous reduction and internal fixation using Kirschner wire assisted by 3D printing guide [J]. The Jour-

- nal of Traditional Chinese Orthopedics and Traumatology, 2023, 35 (7) : 76-80. DOI: 10.3969/j.issn.1001-6015.2023.07.016.
- [18] 祝晓忠, 梅炯, 倪明, 等. 计算机辅助术前设计 InterTan 髓内钉内固定治疗股骨粗隆间骨折疗效分析 [J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2021, 36 (4) : 380-382. DOI: 10.7531/j.issn.1672-9935.2021.04.015.
- Zhu XZ, Mei J, Ni M, et al. Computer assisted preoperative design of InterTan intramedullary nail fixation for the treatment of intertrochanteric fractures of the femur [J]. Chinese Journal of Bone and Joint Injury, 2021, 36 (4) : 380-382. DOI: 10.7531/j.issn.1672-9935.2021.04.015.
- [19] 焦竞, 黄玉成, 肖飞, 等. 3D 打印截骨导板结合“栅栏”螺钉技术治疗涉及外后髁塌陷的胫骨平台骨折 [J]. 中华骨科杂志, 2022, 42 (18) : 1204-1211. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20220519-00288.
- Jiao J, Huang YC, Xiao F, et al. 3D printed osteotomy guide combined with "fence" screw technology for the treatment of tibial plateau fractures involving external posterior condylar collapse [J]. Chinese Journal of Orthopaedics, 2022, 42 (18) : 1204-1211. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113-20220519-00288.
- [20] 刘苏, 朱轶, 葛建飞, 等. AGH 分型指导胫骨后 Pilon 骨折个体化治疗的临床疗效分析 [J]. 骨科, 2022, 13 (6) : 516-521. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8573.2022.06.008.
- Liu S, Zhu Y, Ge JF, et al. Clinical efficacy analysis of individualized treatment for tibial posterior Pilon fractures guided by AGH classification [J]. Orthopaedics, 2022, 13 (6) : 516-521. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8573.2022.06.008.
- [21] Hennings R, Souleiman F, Heilemann M, et al. Suture button versus syndesmotic screw in ankle fractures - evaluation with 3D imaging-based measurements [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2021, 22 (1) : 970. DOI: 10.1186/s12891-021-04834-0.
- [22] Thomas S, Kausch L, Kunze H, et al. Computer-assisted contralateral side comparison of the ankle joint using flat panel technology [J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2021, 16 (5) : 767-777. DOI: 10.1007/s11548-021-02329-w.
- [23] Spindler FT, Gaube FP, Bocker W, et al. Value of intraoperative 3D imaging on the quality of reduction of the distal tibiofibular joint when using a suture-button system [J]. Foot Ankle Int, 2023, 44 (1) : 54-61. DOI: 10.1177/10711007221138775.
- [24] Karaismailoglu B, Yerlikaya D, Ozdemir C, et al. Angle bisector method to determine the accurate angle for tibiofibular syndesmotic fixation: a validation study with 3D-printed anatomical models [J]. Foot Ankle Surg, 2023, 29 (4) : 324-328. DOI: 10.1016/j.fas.2023.04.008.
- [25] 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. DOI: 10.3760/cma.j.cn421213-20190720-01017.
- Liu CG, Song PF, Li XH. The application of 3D printing in the treatment of Pilon fractures after treatment [J]. Chinese Journal of Experimental Surgery, 2020, 37 (4) : 632-634. DOI: 10.3760/cma.j.cn421213-20190720-01017.

(收稿:2023-12-15 修回:2024-09-25)
(同行评议专家:王丙刚, 金方)
(本文编辑:郭秀婷)