doi:10.11659/jjssx.05E024023

·临床研究·

3D建模辅助微创手术治疗B型、C型Pilon骨折的疗效分析

宋 健,冯 立,李怀任 (济宁市第一人民医院急诊创伤外科,山东 济宁 272000)

[摘 要] **目的** 探究3D建模辅助微创手术治疗B型、C型Pilon骨折的疗效。**方法** 回顾性分析2018年3月至2023年5月我院收治的82例Pilon骨折患者的临床资料,按照手术方式的不同分为对照组和观察组,每组41例。对照组患者常规参照X射线、CT影像规划手术方案。观察组患者采取3D建模辅助规划手术方案,比较2组患者的手术时间、术中出血量、骨折复位优良率、骨折愈合时间、踝关节功能评分及并发症发生率。**结果** 2组患者均进行为期6~12个月的随访。观察组患者的手术时间、术中出血量、骨折愈合时间均短/少于对照组($P<0.05$),骨折复位优良率高于对照组($P<0.05$)。术后6~12个月,观察组患者的美国骨科足踝外科协会(AOFAS)评分和踝关节功能优良率高于对照组($P<0.05$)。观察组患者并发症发生率明显低于对照组($P<0.05$)。**结论** 在3D建模辅助下,微创手术治疗B型、C型Pilon骨折可以减少术中出血量,缩短手术时间及骨折愈合时间,提高骨折复位优良率,促进踝关节功能恢复,降低并发症发生率。

[关键词] Pilon骨折;3D建模;微创手术;踝关节功能;并发症
[中图分类号] R683.4 [文献标志码] A [收稿日期] 2024-05-08

Efficacy analysis of the 3D modeling-assisted minimally invasive surgery in the treatment of type B and type C Pilon fractures

SONG Jian, FENG Li, LI Huai-ren (Department of Emergency Trauma Surgery, Jining First People's Hospital, Jining Shandong 272000, China)

Abstract: Objective To explore the efficacy of 3D modeling-assisted minimally invasive surgery in the treatment of type B and type C Pilon fractures. **Methods** A retrospective analysis was performed on the clinical data of 82 patients with Pilon fractures admitted to our hospital from March 2018 to May 2023. According to different surgical methods, they were divided into the control group and the observation group, with 41 cases in each group. For the patients in the control group, the surgical plan was routinely planned by referring to X-ray and CT images. While patients in the observation group adopted 3D modeling to assist in planning the surgical plan. The operation time, intraoperative blood loss, excellent and good rate of fracture reduction, fracture healing time, ankle joint function score and incidence of complications of the two groups were compared. **Results** Both groups of patients were followed up for 6 to 12 months. The operation time, intraoperative blood loss, and fracture healing time of patients in the observation group were all shorter/less than those in the control group ($P<0.05$); the excellent and good rate of fracture reduction in the observation group was higher than that in the control group ($P<0.05$). The American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) score and the excellent and good rate of ankle joint function 6 to 12 months after surgery in the observation group were higher than those in the control group ($P<0.05$). The incidence of complications in the observation group was significantly lower than that in the control group ($P<0.05$). **Conclusion** With the assistance of 3D modeling, minimally invasive surgery for type B and type C Pilon fractures can reduce the intraoperative blood loss, shorten the operation time and fracture healing time, improve the excellent and good rate of fracture reduction, promote the recovery of ankle joint function, and reduce the incidence of complications.

Keywords: Pilon fracture; 3D modeling; minimally invasive surgery; ankle joint function; complications

Pilon骨折是由高能量损伤引起的胫骨远端和关节面骨折,干骺端及关节面通常呈粉碎性骨折,常伴有关节面压缩性改变和移位、内外踝及后踝骨折以及严重的软组织损伤,占胫骨骨折的3%~10%[1-2]。根据AO分型,B型和C型Pilon骨折较为复杂,具有致残率高、并发症多、治疗难度大等特点[3]。Pilon骨折的预后取决于能否实现解剖复位和有效内固定,而严谨的术前设计是实现解剖复位和有效内固定的关键[4-5]。既往仅依靠X射线、CT等影像学检查指导手术,在切开软组织探查后才能明确骨折复位及内固定的方式,容易导致手术时间延长,复位及内固定不满意。目前3D打印技术已经广泛用于骨折手术的辅助治疗,通过3D虚拟模型构建及3D仿真制作的1:1物理模型,可以在术前规划手术方案并进行虚拟手术,3D打印技术结合微创手术在骨折治疗中表现出较高可行性和实用

[基金项目] 山东省医药卫生科技发展计划项目(202204070583)
[通信作者] 冯 立,E-mail:fengli19811010@163.com

性[6]。然而,其在复杂Pilon骨折微创手术中的实际应用效果仍需通过高质量对照研究进一步验证。因此,本研究采用3D建模辅助微创手术治疗B型、C型Pilon骨折,并与常规参照X射线、CT影像辅助的手术进行对比分析,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 临床资料

回顾性分析我院2018年3月至2023年5月收治的82例Pilon骨折患者的临床资料,按照手术方式的不同分为对照组和观察组,每组41例。其中对照组患者男27例,女14例;平均年龄(49.85±14.38)岁;AO分型:B型21例,C型20例;致伤原因:坠落伤17例,撞击伤17例,运动伤7例;骨折类型:开放性骨折14例,闭合性骨折27例。观察组患者男29例,女12例;平均年龄(49.46±15.58)岁;AO分型:B型21例,C型20例;致伤原因:坠落伤15例,撞击伤18例,运动伤8例;骨折类型:开放性骨折12例,闭合性骨折29例。2组患者一般资料比较,差异无统计学意义(P>0.05)。纳入标准:①经影像学检查确诊,符合Pilon骨折诊断标准;②关节面移位超过2 mm,或存在干骺端粉碎性骨折需解剖复位;③符合手术适应证;④年龄≥18岁。排除标准:①A型Pilon骨折;②合并影响骨折正常愈合的重大疾病;③合并严重心脑血管疾病、糖尿病控制不佳或处于免疫抑制状态,无法耐受手术;④肿瘤导致的病理性骨折。本研究获得我院伦理委员会批准(批准号:2024-11T-快066),并在国家医学研究登记备案信息系统备案(备案号:MR-37-25-002585)。所有患者均签署手术知情同意书。

1.2 方法

术前准备:术前处理会对麻醉和手术产生不良影响的原发疾病。完善术前检查,包括踝关节正侧位X射线片、CT平扫+三维重建(64/128层CT),借助受伤踝关节2D和3D重建图像,采用骨折AO分型法对骨折进行分型。

对照组手术方法:参考X射线、CT等影像学资料实施手术。针对B1型、B2型、C型Pilon骨折采取胫骨远端前内侧或前外侧切口,对于后Pilon骨折(即B3型)选择胫骨远端后外侧或后内侧切口,切口长约10 cm,注意避免误伤肌腱、血管、神经。显露骨折端和相应关节面,在直视下采用牵引、撬拨等方法进行复位,恢复胫骨的长度和力线,使复位后的关节面移位小于2 mm,关节间隙恢复正常,同时采用2 mm克氏针临时固定。经C型臂X射线机透视确定骨折复位满意后,钝性潜行微创剥离骨膜等软组织,建立钢板通道并置入钢板。因钢板置入后,部分钉孔被皮肤软组织覆盖,无法置钉,需要另取1个相同规格的钢板与被置入的固定钢板进行比对,以判断出需要置钉的位置和数量。在相应位置作约0.6 cm的点状切口,钝性建立软组织通道并置入钢板,安装套筒,胫骨打孔后置入螺钉。如果胫骨远端骨缺损严重,则需要使用异体骨或人工骨植骨支撑关节面并固定。

观察组手术方法:将患者CT图像以DICOM格式导入Materialise Mimics V21.0软件系统,构建踝关节3D虚拟模型。通过3D打印机打印出骨折踝关节1∶1比例的仿真物理模型,同时打印出健侧踝关节镜像物理模型,健侧镜像物理模型相当于患侧解剖复位后的模型。在3D虚拟模型上组配STL格式进行虚拟手术规划,区域分割距骨,显示胫骨远端关节面,观察关节面骨折的移位程度,对骨折块进行细化分解,并采用不同的颜色标注,随后复位骨折块,复位后以虚拟克氏针临时固定,并适配虚拟接骨板,确定螺钉的植入方向和数量。对于骨缺损的患者,在3D虚拟模型中明确标注出骨缺损的范围(包括缺损的深度、宽度和长度),进而大致估算所需植骨量。参照3D打印的镜像物理模型,选择接骨板的类型、长度,必要时重建接骨板,消毒后备用。观察组其他操作同对照组。

术后管理:①2组患者术后均进行消肿、止痛等治疗,并给予患肢抬高等处理。②术后24 h指导患者进行踝关节自主屈伸活动;术后2周进行试探性负重及功能训练,根据个人情况,适当增减负重量和活动次数。③建议患者分别于术后1、3、6、12个月复查,并拍摄X射线片,必要时进行踝关节CT检查。期间对于骨折已经愈合且踝关节功能恢复正常的患者停止随访。

1.3 观察指标

记录2组患者的手术时间、术中出血量、骨折愈合时间等围术期指标。术后1周内拍摄X射线片观察胫骨穹隆关节面复位质量,以评价骨折复位情况,其中解剖对位为优,移位小于2 mm为良,移位2 mm及以上为差[7]。术后6~12个月,应用美国骨科足踝外科协会(American Orthopaedic Foot and Ankle Society,AOFAS)踝-后足评分系统[8]对踝关节功能进行评分,以评估手术疗效。AOFAS评分0~100分,90~100分为优,75~89分为良,50~74分为可,50分以下为差。踝关节功能

优良率=(优例数+良例数)/总例数。记录2组患者术后12个月内出现的并发症,包括踝关节肿胀时间超过1个月、切口感染、关节僵硬、骨折愈合不良等。

1.4 统计学方法

数据采用SPSS 27.0统计学软件包进行分析。计数资料以率(%)表示,组间比较行χ^2检验;计量资料若符合正态分布,则以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较行独立样本t检验。P<0.05表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 围术期指标比较

与对照组比较,观察组患者的手术时间、骨折愈合时间均明显缩短,术中出血量明显减少,差异均有统计学意义(P<0.05),见表1。

2.2 骨折复位情况比较

观察组患者骨折复位优良率高于对照组,差异有统计学意义(P<0.05),见表2。

2.3 手术疗效比较

术后6~12个月,观察组患者的AOFAS评分及踝关节功能优良率高于对照组,差异有统计学意义(P<0.05),见表3。

2.4 并发症比较

术后12个月,观察组患者的并发症发生率低于对照组,差异有统计学意义(P<0.05),见表4。

表1 2组患者围术期指标比较($\bar{x}\pm s$)

组别	n	手术时间(min)	术中出血量(mL)	骨折愈合时间(周)
对照组	41	79.15±28.83	63.05±43.11	21.29±2.55
观察组	41	58.05±29.20	43.66±44.43	20.22±2.31
t		−3.292	−2.006	−1.997
P		<0.001	<0.001	<0.001

表2 2组患者骨折复位情况比较[例(%)]

组别	n	解剖复位	复位良	复位差	复位优良
对照组	41	22(53.66)	11(26.83)	8(19.51)	33(80.49)
观察组	41	29(70.73)	11(26.83)	1(2.44)	40(97.56)
χ^2					0.249
P					0.024

表3 2组患者手术疗效比较

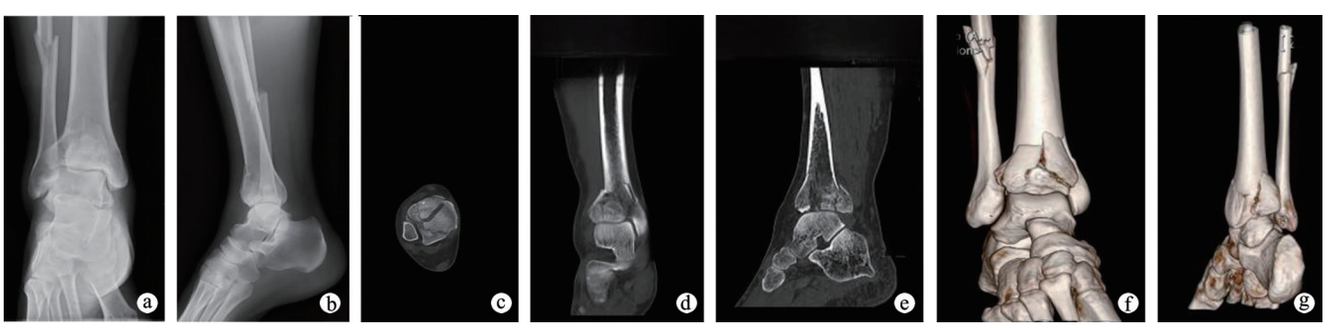
组别	n	AOFAS评分(分)	踝关节功能[例(%)]				
			优	良	可	差	优+良
对照组	41	87.49±8.47	19(46.34)	14(34.15)	8(19.51)	0(0)	33(80.49)
观察组	41	91.27±7.11	28(68.29)	10(24.39)	3(7.32)	0(0)	38(92.68)
t/χ^2		2.189					0.238
P		0.032					0.031

表4 2组患者并发症比较[例(%)]

组别	n	关节肿胀时间超过1个月	切口感染	关节僵硬	骨折愈合不良	合计
对照组	41	2(4.88)	1(2.44)	2(4.88)	3(7.32)	8(19.51)
观察组	41	1(2.44)	0(0)	0(0)	1(2.44)	2(4.88)
χ^2						4.100
P						0.043

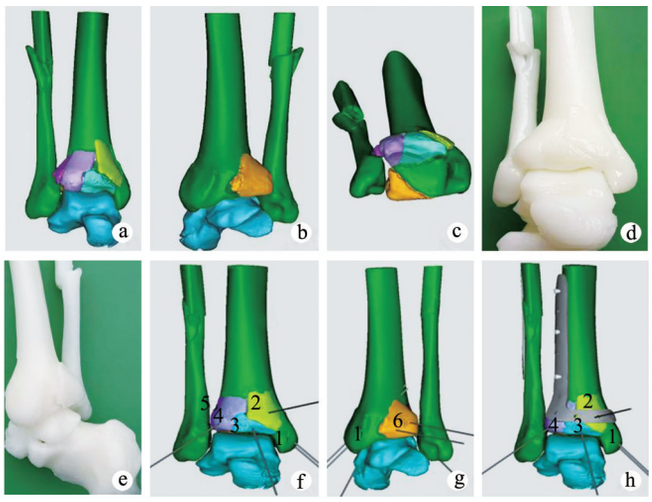
2.5 典型病例

患者,男,51岁,右侧胫骨远端Pilon骨折,干骺端和关节面完全粉碎和压缩,AO分型为C3型。采用3D建模规划手术方案并行虚拟手术,术前适配内固定材料的规格。术中微创操作,于踝关节前外侧作约10 cm的切口,显露骨折端及踝关节间隙;于后外侧作约5 cm的切口,显露骨折块并复位临时固定;X射线透视满意后,于前外侧切口向近端钝性潜行剥离骨膜,建立通道并置入钢板,近端参照同类型钢板定位螺钉位置,分别取约0.6 cm的点状切口,钝性建立螺钉通道,根据需要分别打入螺钉固定。精准复位后,骨折愈合良好,踝关节间隙恢复正常,见图1~4。



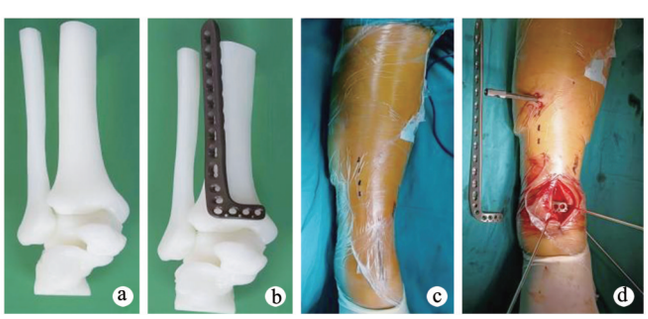
a、b:踝关节正侧位X射线片;c~e:CT轴位、冠状位、矢状位;f、g:三维重建

图1 术前影像资料



a、b:踝关节3D虚拟模型,采用不同颜色标注不同骨折块;c:分割去除距骨,显示右侧胫骨远端关节面的骨折移位情况;d、e:采用光敏树脂材料3D打印的1∶1物理模型,显示右侧胫骨远端C3型Pilon骨折;f、g:在3D虚拟模型上组配STL格式,模拟手术复位固定(骨块1较大且移位不明显,可作为解剖标志,首先打入2枚虚拟克氏针临时固定,后踝皮质打入2枚虚拟克氏针向下模拟撬拨复位,待骨折复位后,再将2枚克氏针打入骨块1固定;再次撬拨复位骨块3、4、5,并克氏针虚拟固定);h:选择骨折固定的最佳位置安放虚拟钢板并置入螺钉

图2 3D建模及模拟手术资料



a、b:采用左侧踝关节3D镜像虚拟模型所打印的1∶1物理模型;c、d:微创手术操作

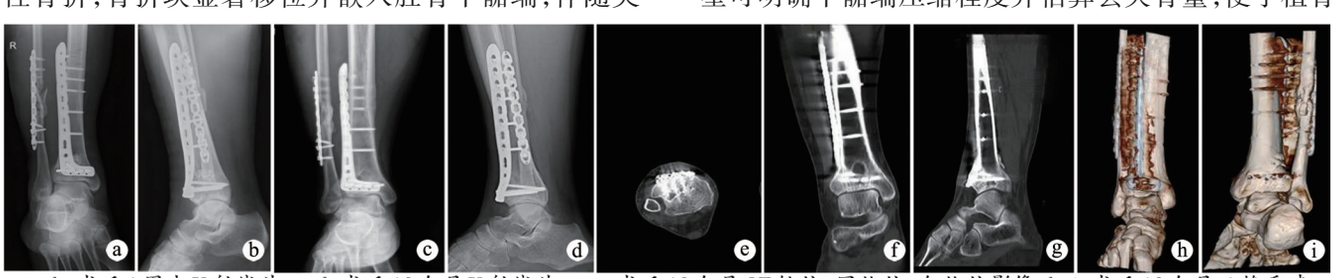
图3 术中采用左侧踝关节镜像3D物理模型重建钢板及微手术操作资料

3 讨论

B型和C型Pilon骨折源于胫骨远端干骺端与关节面遭遇的高能量垂直暴力损伤[9],其典型特征为粉碎性骨折,骨折块显著移位并嵌入胫骨干骺端,伴随关节软骨的严重受损[10]。此外,此类骨折常伴有严重的软组织损伤,使得骨折的显露、复位及内固定过程极为复杂,治疗难度显著增加。

传统手术通常依赖于X射线片和CT影像规划手术方案,在实际操作过程中会面临以下问题:①术中骨折端压缩、关节面塌陷、骨块嵌顿卡压等情况与术前影像存在差异,导致内固定材料准备不当,难以按照预定规划完成复位固定。李超等[11]的研究结果表明,动态牵张复位技术可有效解除“骨块绞索”的问题,但常需临时改变手术操作方法,或需反复多次重建及重新选择内固定材料。②手术入路选择不当会限制术野显露并影响操作精度,连学辉等[12]在胸腰椎骨折治疗中发现,入路不当常需延长切口及扩大软组织剥离范围,进而增加患者损伤。③复位效果不满意时需反复操作,史舅生等[13]研究显示,高能量Pilon骨折分期手术中,多次复位易增加副损伤风险。④手术时间延长会导致止血带使用时间增加,引发肢体长时间缺血及相关并发症。因此,传统手术存在骨折复位不良发生率高、副损伤大、手术时间长、出血多等风险。

相比之下,采用3D建模辅助微创手术具有显著优势:①3D虚拟模型可用不同颜色标注不同结构,通过分割距骨、外踝的遮挡,全面展示胫骨远端关节面的骨折移位情况。胡浩等[14]在胫骨平台Schatzker Ⅵ型骨折治疗中证实,采用3D建模便于精确分型并系统规划手术方案。②通过虚拟手术预演,可提高术者实际操作时的熟练程度和骨折复位精准度,达到解剖复位的目的,从而加快手术进程并缩短手术时间。纪霖锋等[15]在跟骨骨折治疗中发现,3D打印导板辅助微创复位能显著提升手术效率。③3D打印的1∶1模型可直观展示骨折端具体形态,帮助术者了解骨块真实移位方向和距离,有利于制定骨块复位固定的先后顺序。Chang等[16]在胸腰椎骨折治疗中强调,打印模型可与钢板进行模拟互动,有利于优化内固定选择,且预先消毒后备用能缩短术中操作时间。④术前通过3D模型可明确干骺端压缩程度并估算丢失骨量,便于植骨



a、b:术后1周内X射线片;c、d:术后10个月X射线片;e~g:术后10个月CT轴位、冠状位、矢状位影像;h、i:术后10个月三维重建

图4 术后X射线片及CT影像学资料

材料的精准选择和准备。

张洪剑等[17]通过骨代谢标志物检测发现,3D组患者术后1周的Ⅰ型前胶原氨基端前肽水平较传统组高,提示精准复位可以使骨折端稳定对接,为骨愈合创造良好的力学环境,刺激成骨细胞活性增强,加速Ⅰ型胶原的合成。此时,作为骨形成标志物的Ⅰ型前胶原氨基端前肽因成骨活跃而升高,且升高幅度与骨修复的进程呈正相关,表明骨愈合处于有效推进状态。以上研究结果均说明,采用3D建模辅助手术对骨折端的解剖复位和有效固定发挥了关键作用。本研究结果显示,观察组患者手术时间缩短、术中出血量减少,这得益于术者手术熟练程度的提高,软组织剥离轻微;观察组患者骨折复位优良率高于对照组,这是由于3D模型为骨块的精准复位提供了重要的辅助[18];加之骨折端的解剖复位可以改善力学传导促进骨形成,所以观察组患者骨折愈合时间短于对照组。骨折端的良好复位和精准稳定的内固定便于患者尽早进行踝关节功能的康复训练,故观察组患者踝关节功能优良率高于对照组。本研究中,观察组患者的并发症发生率明显低于对照组,与翁德雨等[19]的结果基本一致。这得益于3D建模辅助微创手术准确的手术规划、熟练精准的手术操作、有限的软组织剥离及较短的切口暴露时间等。

综上所述,在3D建模辅助下,微创手术治疗B型、C型Pilon骨折可以缩短手术时间,减少术中出血量,提高骨折复位的优良率,促进骨折愈合,同时还可以减少副损伤及并发症发生,有利于踝关节功能恢复,疗效优于传统手术。但本研究随访时间较短,随访时间节点不尽相同,可能对研究结果产生一定影响,故还有待开展远期观察的研究进一步验证。

[参考文献]

[1] 顾光学,霍永锋,殷照阳,等. 3D打印技术单钢板结合拉力螺钉治疗创伤性Pilon骨折临床效果观察[J]. 临床军医杂志,2020,48(12):1489-1491. doi:10.16680/j.1671-3826.2020.12.38.

[2] Beerekamp M, Halm JA, Schepers T. Response to "letter regarding: intraoperative effect of 2D *vs.* 3D fluoroscopy on quality of reduction and patient-related outcome in calcaneal fracture surgery" [J]. Foot Ankle Int,2021,42(2):246-247. doi:10.1177/1071100720985824.

[3] 钱锦锋,黄 伟,曾忠友. Pilon骨折术后并发症的发生率与相关因素分析[J]. 中华全科医学,2023,21(3):417-419. doi:10.16766/j.cnki.issn.1674-4152.002897.

[4] Zhao C, Wang Y, Wu X, et al. Design and evaluation of an intelligent reduction robot system for the minimally invasive reduction in pelvic fractures[J]. J Orthop Surg Res, 2022, 17(1): 1-12. doi: 10.1186/S13018-022-03089-2.

[5] 卢 斌,王爱国,马富强,等. 应用3D打印技术辅助双平面截骨治疗Schatzker Ⅳ型胫骨平台骨折畸形愈合[J]. 中华创伤骨科杂志,2020,22(5):427-431. doi:10.3760/cma.j.cn115530-20191020-00358.

[6] 韦昌辉,张 伟,卢俊浩,等. 3D打印辅助经皮穿刺椎体成形术治疗重度骨质疏松性椎体压缩骨折的疗效[J]. 局解手术学杂志,2023,32(10):910-914. doi:10.11659/jjssx.10E022049.

[7] 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.

[8] Xu HL, Li X, Zhang DY, et al. A retrospective study of posterior malleolus fractures [J]. Int Orthop, 2012, 36(9): 1929-1936. doi: 10.1007/s00264-012-1591-9.

[9] Sang C, Zeng L, Zhong H, et al. Pilon fracture with central articular surface collapse treated by posterior tibial fenestration indirect reduction and compression technique: two cases report[J]. Medicine, 2024, 103(33): e39151. doi: 10.1097/MD.0000000000039151.

[10] 盛奇智,李广磊,刘 平,等. 3D打印体外建模辅助微创手术治疗Tile B型骨盆骨折的疗效观察[J]. 中国骨与关节损伤杂志,2021,36(12):1275-1277. doi:10.7531/j.issn.1672-9935.2021.12.013.

[11] 李 超,郑铁钢,刘晓伟,等. 动态牵张复位解除"骨块绞索"治疗Pilon骨折[J]. 创伤外科杂志,2020,22(11):844-847. doi:10.3969/j.issn.1009-4237.2020.11.011.

[12] 连学辉,肖红利,卢 涛,等. 3D打印体外导板辅助经皮椎弓根螺钉固定术治疗胸腰椎骨折的临床疗效观察[J]. 中国脊柱脊髓杂志,2022,32(8):704-712. doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2022.08.05.

[13] 史舅生,孔 磊,尹若丰,等. 临时骨牵引外固定架固定与切开复位内固定分期手术治疗高能量Pilon骨折疗效观察[J]. 中国骨与关节损伤杂志,2022,37(10):1098-1100. doi:10.7531/j.issn.1672-9935.2022.10.027.

[14] 胡 浩,曹开学,黄 攀,等. 3D打印技术辅助内外侧锁定钢板内固定治疗胫骨平台Schatzker Ⅵ型骨折的疗效分析[J]. 生物骨科材料与临床研究,2022,19(3):38-41. doi:10.3969/j.issn.1672-5972.2022.03.007.

[15] 纪霖锋,张英琪,张明珠. 3D打印导板辅助微创复位内固定治疗Sanders Ⅱ型跟骨骨折的疗效分析[J]. 中华创伤骨科杂志,2022,24(4):310-315. doi:10.3760/cma.j.cn115530-20220211-00087.

[16] Chang J, Cao J, Huang Z, et al. Comparison of the modified Wiltse's approach with spinal minimally invasive system and traditional approach for the therapy of thoracolumbar fracture[J]. J Biomed Res, 2020,34(5):63-70. doi:10.7555/JBR.34.20200008.

[17] 张洪剑,章耀华,刘晓磊. 3D打印辅助手术对胫骨Pilon骨折患者术后功能恢复及骨代谢指标水平的影响[J]. 河北医科大学学报,2023,44(3):279-283. doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2023.03.007.

[18] 赵文沛,李兰涛,刁浩峰,等. CT三维重建技术辅助股骨颈系统内固定术治疗老年移位型股骨颈骨折的临床效果与安全性研究[J]. 影像科学与光化学,2025,43(5):29-36.

[19] 翁德雨,徐晓明,王梅生,等. 3D打印技术辅助手术治疗Pilon骨折[J]. 临床骨科杂志,2022,25(4):581-585. doi:10.3969/j.issn.1008-0287.2022.04.039.

(编辑:魏 源)