doi:10.11659/jjssx.07E024152

·骨关节专栏·

3D打印个体化模型在复杂踝关节骨折术中的应用

甘 涛[1],李 巍[2],赵军民[2],初哲峰[2],柳洪心[2] (1.成都八一骨科医院创伤显微骨科,四川 成都 610000;2.成都八一骨科医院创伤显微外科,四川 成都 610000)

[摘 要] **目的** 探究3D打印个体化模型在复杂踝关节骨折(AF)治疗中的应用效果。**方法** 选取2021年7月至2022年10月我院收治的复杂AF患者,以随机数字表法分为对照组和观察组,每组50例。对照组患者行微创复位内固定术,观察组患者在3D打印个体化模型引导下行微创复位内固定术。比较2组患者手术情况、踝关节复位情况、应激指标[去甲肾上腺素(NE)、血管紧张素Ⅱ(AngⅡ)]、踝关节功能及术后并发症。**结果** 随访12个月后,观察组2例失访,对照组3例失访。与对照组比较,观察组患者术中出血量降低,手术时间、住院时间、负重活动时间缩短,解剖复位率升高($P<0.05$)。观察组患者术后第1、3天血清NE和AngⅡ水平低于对照组($P<0.05$),术后第1、6、12个月Kofoed评分和美国足踝外科协会(AOFAS)评分高于对照组($P<0.05$),术后并发症发生率低于对照组($P<0.05$)。**结论** 对于复杂AF的治疗,术前采用3D打印个体化模型辅助微创复位固定手术方案制定,能缩短手术时间,减轻应激损伤,降低并发症风险,同时提高解剖复位率,改善踝关节功能,从而加快患者术后恢复。

[关键词] 踝关节骨折;3D打印;应激;解剖复位;踝关节功能;并发症
[中图分类号] R274.1 [文献标志码] A [收稿日期] 2024-07-30

Application of 3D printed individualized model in complex ankle fracture surgery

GAN Tao[1], LI Wei[2], ZHAO Jun-min[2], CHU Zhe-feng[2], LIU Hong-xin[2] (1. Department of Trauma Microorthopedics, Chengdu Bayi Orthopaedic Hospital, Chengdu Sichuan 610000, China; 2. Department of Trauma Microsurgery, Chengdu Bayi Orthopaedic Hospital, Chengdu Sichuan 610000, China)

Abstract: Objective To explore the application effect of 3D printed individualized model in the treatment of complex ankle fractures (AF). **Methods** Patients with complex AF admitted to our hospital from July 2021 to October 2022 were selected and divided into the control group and the observation group using a random number table method, with 50 cases in each group. Patients in the control group were received minimally invasive reduction and internal fixation, while these in the observation group were given minimally invasive reduction and internal fixation under the guidance of 3D printed individualized model. The surgical conditions, ankle joint reduction, stress indicators [norepinephrine (NE) and angiotensin Ⅱ (AngⅡ)], ankle function and postoperative complications were compared between the two groups. **Results** There were 2 patients in the observation group and 3 patients in the control group were lost to follow-up 12 months after surgery. Compared with the control group, the observation group showed a decrease in the intraoperative blood loss, shortened surgical time, hospitalization time, and weight-bearing activity time, and an increase in the anatomical reduction rate ($P<0.05$). The observation group had lower serum levels of NE and AngⅡ 1 and 3 days after surgery ($P<0.05$) and higher Kofoed score and American Orthopedic Foot and Ankle Society (AOFAS) scores 1, 6, and 12 months after surgery ($P<0.05$), as well as lower incidence of postoperative complications ($P<0.05$) than those in the control group. **Conclusion** For the treatment of complex AF, 3D printed individualized model assisted the formulation of minimally invasive reduction and fixation surgical plans before surgery can shorten surgical time, reduce stress injury, decrease the risk of complications, and simultaneously increase the anatomical reduction rate and improve ankle joint function, thereby accelerating postoperative recovery of patients.

Keywords: ankle fracture; 3D printing; stress; anatomical reduction; ankle function; complications

复杂踝关节骨折(ankle fractures,AF)是累及胫骨远端关节面且伴有移位或合并韧带损伤的骨折类型,其发病率呈升高趋势,引起了临床关注[1]。复杂AF的临床治疗需综合考虑骨折类型、软组织条件及关节稳定性。手术是治疗复杂AF的重要方法,既往切开复位内固定术虽能恢复解剖结构,改善患者关节功能,但创伤大,并发症风险高[2]。近年来,随着加速康复外科理念的发展,微创复位内固定术广泛应用于AF的治疗中。微创复位内固定术效果与术前影像定位相关。由于复杂AF往往累及后踝、内外踝,解剖结构复杂,常规影像技术的整体影像信息模糊,对医生术中

[基金项目] 2020年四川省医学(青年创新)科研课题(Q20216)
[通信作者] 柳洪心,E-mail:x7643416@163.com

操作要求较高[3]。有研究显示,3D打印个体化模型可直观、全面地呈现骨折三维形态,且与数字化虚拟技术结合能进一步提高影像精度,有助于手术实施[4]。既往3D打印个体化模型联合微创复位内固定术治疗多关注患者踝关节功能和预后方面的效果,指标评估受患者个体差异影响较大。本研究探讨3D打印个体化模型对复杂AF患者围术期恢复、预后等的影响,以期为此类患者治疗方案的选择提供依据,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 临床资料

前瞻性选取2021年7月至2022年10月我院收治的复杂AF患者。纳入标准:符合复杂AF的诊断标准[5];明确外伤史;单侧骨折;关节明显移位;具备手术指征。排除标准:病理性骨折;下肢手术史;凝血功能异常;脏器功能不全,不耐受手术。以随机数字表法将患者分为对照组(单纯行微创复位内固定术)和观察组(3D打印个体化模型引导下行微创复位内固定术),每组50例。术后随访12个月,观察组2例失访,对照组3例失访。2组患者年龄、性别、患侧、受伤至入院时间、麻醉分级、骨折原因等一般资料比较,差异无统计学意义(P>0.05),具有可比性。本研究经成都八一骨科医院伦理委员会批准(批准号:20210025),患者或家属对本研究知情并签署同意书。

1.2 方法

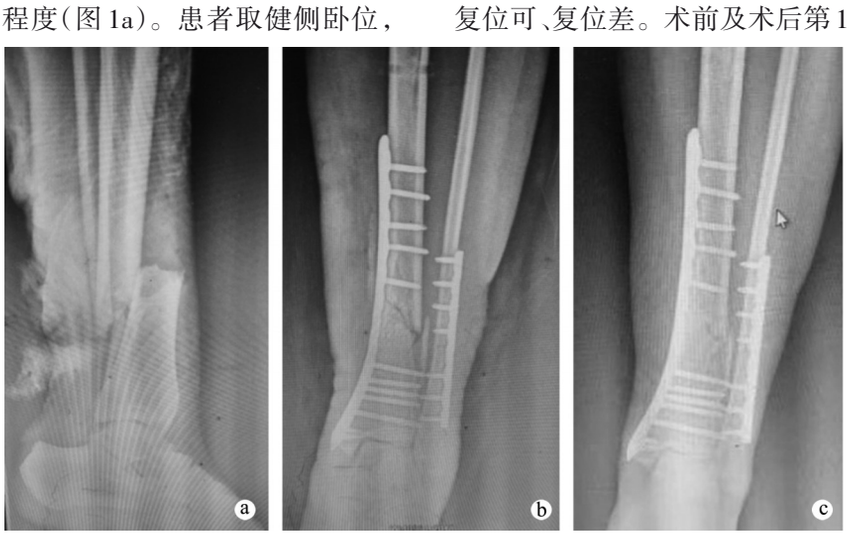
术前2组患者均行血常规、凝血功能、心电图等检查,排除禁忌证。

对照组患者行微创复位内固定术,通过CT、X射线检查明确复杂AF程度(图1a)。患者取健侧卧位,抬高患肢,给予硬膜外麻醉,止血带止血。依次对后踝、内踝、外踝、胫腓骨行复位内固定。踝关节内侧偏前作2~3 cm切口,暴露踝穴,C型臂X射线机透视,以鼓膜剥离器撬拨进行骨折块复位,以克氏针临时固定,透视确认复位满意后,置入螺钉进行内固定。同一切口暴露踝骨骨折线前缘、踝穴内上角进行复位,达到解剖复位后复位钳临时固定,然后采用克氏针张力带进行固定。复位钳复位腓骨骨折,经切口置入重建钢板。三踝固定后行牵拉腓骨试验及外旋应力透视确定胫腓稳定,置入螺钉固定(图1b、c)。

观察组患者术前采用64排薄层CT进行踝部扫描(图2a),以脚掌正中线为Z轴旋转,记录脚掌各个方向图像,明确近侧跖骨间关节、踝关节、前方跗骨间关节之间的关系与距离,获取的CT扫描数据进行精确化处理后保存为DICOM格式。将CT数据导入计算机自动化逆向处理软件中,建立患侧踝关节模型。采用图像处理器对骨块像素集合进行处理,提取骨折部位不同骨块,然后建立踝关节3D模型。制定虚拟手术方案,包括骨折复位方式、骨折块移动距离及旋转角度,在模拟中寻找合适的钢板、螺钉位置及参数,并计算固定位置、螺钉位置和数量及植骨量。将校验骨折模型数据导入3D打印机按1∶1打印AF个体化模型(图2b、c)。术者熟悉3D模型并寻找关节解剖标志,模拟手术操作并解决模拟过程中遇到的问题。微创复位内固定术操作同对照组(图2d、e)。

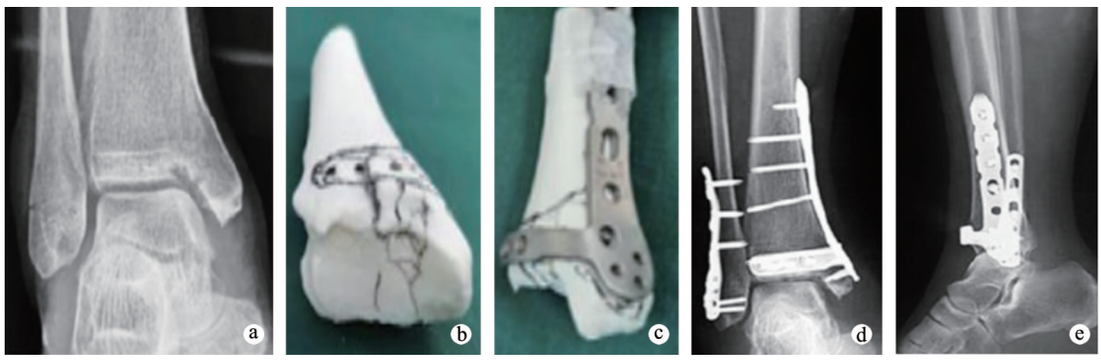
1.3 观察指标

记录2组患者术中出血量、手术时间、负重活动时间、住院时间、骨折愈合时间。采用Burwell-Charnley骨折复位标准[6]评估踝关节复位情况,包括解剖复位、复位可、复位差。术前及术后第1、3天,采集患者外周



a:术前X射线显示踝关节合并胫腓骨骨折;b:术后即刻X射线正位片;c:术后即刻X射线侧位片

图1 对照组患者X射线图



a:术前X射线显示踝关节合并胫腓骨骨折;b:术前导入3D打印获取骨折模型;c:模拟复位后骨折模型;d:术后即刻X射线正位片;e:术后即刻X射线侧位片

图2 观察组患者相关图片

静脉血5 mL,常规抗凝处理,以3 500 r/min离心10 min分离上层血清,采用ELISA法检测血清去甲肾上腺素(norepinephrine, NE)、血管紧张素Ⅱ(angiotensin Ⅱ,AngⅡ)等应激因子水平。术后第1、6、12个月,采用踝关节Kofoed评分[7]、美国足踝外科协会(American Orthopedic Foot and Ankle Society, AOFAS)[8]评分评估踝关节功能,其中Kofoed评分0~100分,AOFAS评分0~120分,评分越高表示踝关节功能越好。统计2组患者切口感染、畸形愈合、创伤性关节炎、关节僵硬等并发症发生情况。

1.4 统计学方法

数据采用SPSS 28.0软件进行统计学分析,计数资料以率(%)表示,行χ^2检验。计量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较行t检验,连续变量采用重复测量方差分析,进一步两两比较采用*LSD-t*检验。双侧检验水准α=0.05,P<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 手术情况

观察组患者手术时间、负重活动时间、住院时间均短于对照组,术中出血量低于对照组,差异均有统计学意义(P<0.05)。2组患者骨折愈合时间比较,差异无统计学意义(P>0.05),见表1。

2.2 踝关节复位情况

观察组患者解剖复位率高于对照组(P<0.05),见表2。

2.3 应激因子

2组患者应激因子水平存在交互效应(P<0.05);观察组患者术后第1、3天血清NE、AngⅡ水平低于对照组(P<0.05);2组患者术后第1、3天血清NE、AngⅡ水平高于术前(P<0.05),见表3。

表1 2组患者手术情况比较($\bar{x}\pm s$)

组别	n	术中出血量(mL)	手术时间(min)	住院时间(d)	负重活动时间(周)	骨折愈合时间(周)
观察组	48	90.24±10.36	42.17±4.81	5.21±1.19	13.69±1.42	13.69±1.85
对照组	47	116.83±13.25	51.26±6.37	7.65±1.42	15.73±1.65	14.21±1.97
t		10.909	7.860	9.085	6.463	1.327
P		0.000	0.000	0.000	0.000	0.188

表2 2组患者踝关节复位情况比较[例(%)]

组别	n	解剖复位	复位可	复位差
观察组	48	43(89.58)	5(10.42)	0(0)
对照组	47	34(72.34)	11(23.40)	2(4.26)
χ^2		4.598	2.860	0.533
P		0.032	0.091	0.466

2.4 踝关节功能

2组患者术后Kofoed、AOFAS评分存在交互效应(P<0.05);观察组患者术后第1、6、12个月Kofoed、AOFAS评分高于对照组(P<0.05);2组患者术后第1、6、12个月Kofoed、AOFAS评分呈升高趋势(P<0.05),见表4。

2.5 术后并发症

观察组患者术后并发症总发生率明显低于对照组(P<0.05),见表5。关节僵硬患者给予活血化瘀药物、关节拉伸训练等治疗后症状消失。创伤性关节炎患者给予消炎止痛药物、非甾体类抗炎药治疗后症状得到有效控制。切口感染患者结合病原学检测结果选择针对性抗菌药物治疗,感染得到有效控制,切口愈合良好,红肿、疼痛、血性或脓性渗出物等症状消失。畸形愈合患者通过功能训练或佩戴支具、按摩等方法进行矫正后肢体功能恢复良好。

表3 2组患者应激因子水平比较($\bar{x}\pm s$)

组别	n	NE(ng/mL)			AngⅡ(mmol/L)		
		术前	术后第1天	术后第3天	术前	术后第1天	术后第3天
观察组	48	45.61±5.82	74.16±7.35*#	57.34±6.21*#	118.43±16.29	146.27±17.96*#	131.04±17.13*#
对照组	47	44.83±5.59	80.92±7.61#	62.18±6.50#	116.75±15.84	158.73±18.82#	142.57±17.96#
F		$F_{组间}$=10.268,$F_{时间}$=30.257,$F_{交互}$=13.714			$F_{组间}$=7.223,$F_{时间}$=26.857,$F_{交互}$=10.684		
P		$P_{组间}$<0.001,$P_{时间}$<0.001,$P_{交互}$<0.001			$P_{组间}$<0.001,$P_{时间}$<0.001,$P_{交互}$<0.001		

*:与同时间对照组比较,P<0.05;#:与同组术前比较,P<0.05

表4 2组患者踝关节功能比较($\bar{x}\pm s$,分)

组别	n	Kofoed评分			AOFAS评分		
		术后第1个月	术后第6个月	术后第12个月	术后第1个月	术后第6个月	术后第12个月
观察组	48	77.51±6.84*	90.42±4.18*#	95.10±2.39*#△	93.65±8.19*	109.56±5.21*#	115.02±2.46*#△
对照组	47	73.06±6.39	85.26±6.07#	91.37±3.54#△	88.24±7.65	103.37±6.48#	110.41±3.89#△
F		$F_{组间}$=12.398,$F_{时间}$=64.728,$F_{交互}$=21.473			$F_{组间}$=15.650,$F_{时间}$=219.732,$F_{交互}$=52.134		
P		$P_{组间}$<0.001,$P_{时间}$<0.001,$P_{交互}$<0.001			$P_{组间}$<0.001,$P_{时间}$<0.001,$P_{交互}$<0.001		

*:与同时间对照组比较,P<0.05;#:与同组术后第1个月比较,P<0.05;△:与同组术后第6个月比较,P<0.05

表5 2组患者术后并发症比较[例(%)]

组别	n	关节僵硬	创伤性关节炎	切口感染	畸形愈合	合计
观察组	48	1(2.08)	0(0)	0(0)	0(0)	1(2.08)
对照组	47	2(4.26)	3(6.38)	0(0)	3(6.38)	8(17.02)
χ^2						4.560
P						0.033

3 讨论

复杂AF是由直接暴力或轴向暴力引起的关节内骨折,基本治疗原则为维持关节解剖复位,及早进行功能锻炼,尽可能恢复踝关节功能[9]。目前临床治疗仍以手术为主,相较于常规开放手术,近年来开展的微创复位内固定术因创伤小、术中出血量少而备受临床关注[10]。术前影像规划是影响微创复位内固定术的关键因素。有研究显示,3D打印技术的应用突破了常规二维平面图像限制,使得3D个体化实体模型成为可能,其可辅助骨折复位及固定,能减少术中出血量,缩短辐射暴露时间[11]。目前,3D打印技术已应用于肺疾病[12]、颈椎后纵韧带骨化症[13]、肩胛骨骨折[14]等的治疗中,并取得较好的效果,但其在复杂AF中的治疗效果还需进一步验证。本研究探讨3D打印个体化模型对复杂AF围术期恢复、预后等的影响,以期改善患者预后,提高治疗效果。

本研究结果显示,3D打印个体化模型能优化手术流程,缩短手术时间,减少术中出血量,从而促进患者术后恢复。分析原因为:微创复位内固定术操作依赖于术者经验,为了确保螺钉及钢板精度,术中需反复透视调整,易造成医源性损伤;而3D打印个体化模型可在术前合理规划手术方案,同时模拟手术操作,根据骨折情况设计螺钉及钢板,从而提高置入精度,避免术中反复调整,进而缩短手术时间,减少出血,为术后恢复提供良好的微循环,使患者术后恢复更快[15-16]。维持解剖复位、预防骨质丢失是确保疗效的关键。大量力学研究表明,优化螺钉分布能增强螺钉固定强度,减少复位丢失[17-19]。Neijhoft等[20]的研究显示,3D打印技术能更好地维持踝关节高度,预防踝关节畸形。本研究结果显示,观察组患者解剖复位率高于对照组,术后各时间点Kofoed评分、AOFAS评分高于对照组,这主要与3D打印个体化模型复位精度高、组织损伤较轻等有关。

在AF的外科治疗中,骨折、手术创伤、疼痛等因素均会引起机体多种生理变化,导致机体全身的特异性反应[21-22]。NE、AngⅡ是应激特异性反应因子,当机体遭受创伤等刺激时,其浓度迅速升高并释放入血。因此,监测血清应激因子浓度不仅有助于掌握患者机体损伤情况,制定个性化治疗方案,同时还能反映患者预后情况[23]。本研究结果显示,术后第1、3天观察组患者血清NE、AngⅡ水平低于对照组。笔者认为:3D打印个体化模型辅助制定个性化手术方案可减轻术中组织损伤,减少机体刺激,从而抑制NE、AngⅡ等应激因子表达。手术安全性是临床关注的重点,也是影响患者预后的关键因素。复杂AF的并发症通常是由血管及神经损伤引起,术中操作不精准和术者经验不足可能破坏踝部解剖情况,导致血管及神经损伤,从而引发并发症[24]。而3D打印个体化模型通过术前合理规划,可有效避免血管神经医源性损伤。本研究中,观察组患者术后并发症发生率低于对照组,证实3D打印个体化模型在提高疗效的同时,还能进一步提高手术安全性。尽管本研究从多方面证实了3D打印

个体化模型在复杂AF治疗中的优势,但仍存在一定不足:导板精度影响因素较多,术前建模虽能提供恒定踝关节结构模块,但在复位过程中仍可能会出现偏差,从而影响手术效果[25];本研究为单中心研究,纳入样本量较小,有待开展多中心、大样本量研究进一步验证。

综上,3D打印个体化模型用于复杂AF的治疗能缩短手术时间,减少出血量,提升骨折复位效果,改善关节功能,降低并发症风险,使患者可进行早期负重锻炼,加快术后恢复。

[参考文献]

[1] Kang HJ, Lee JW, Kwon YM, et al. Epidemiology of ankle fractures in Korea: a nationwide population-based study[J]. J Korean Med Sci, 2022,37(38):e288. doi:10.3346/jkms.2022.37.e288.

[2] Zhang GM, Chen N, Ji LF, et al. Arthroscopically assisted versus open reduction internal fixation for ankle fractures: a systematic review and meta-analysis[J]. J Orthop Surg Res, 2023, 18(1):118. doi:10.1186/s13018-023-03597-9.

[3] 许腾飞,龙 毅. 微型钢板内固定与螺钉内固定治疗后踝关节骨折患者的疗效比较[J]. 创伤外科杂志,2020,22(7):547-550. doi:10.3969j.issn.1009-4237.2020.07.017.

[4] Murray-Douglass A, Snoswell C, Winter C, et al. Three-dimensional (3D) printing for post-traumatic orbital reconstruction, a systematic review and meta-analysis[J]. Br J Oral Maxillofac Surg, 2022, 60(9): 1176-1183. doi:10.1016/j.bjoms.2022.07.001.

[5] 赵定麟,赵 杰,王义生. 骨与关节损伤[M]. 北京:科学出版社,2007:41-44.

[6] 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. doi: 10.3969/j.issn.2095-9958.2019.01.003.

[7] 兰家平,王志强,李 磊,等. 两种内固定方法治疗踝关节骨折的疗效比较[J]. 临床骨科杂志,2022,25(4):576-580. doi:10.3969/j.issn.1008-0287.2022.04.038.

[8] Cöster MC, Rosengren BE, Bremander A, et al. Comparison of the Self-reported Foot and Ankle Score (SEFAS) and the American Orthopedic Foot and Ankle Society Score (AOFAS)[J]. Foot Ankle Int, 2014, 35(10):1031-1036. doi:10.1177/1071100714543647.

[9] Gomes YE, Chau M, Banwell HA, et al. Diagnostic accuracy of the Ottawa ankle rule to exclude fractures in acute ankle injuries in adults: a systematic review and meta-analysis[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2022,23(1):885. doi:10.1186/s12891-022-05831-7.

[10] 邬玉林,刘 亮,周恩瑜,等. 微创经皮内固定接骨技术与切开复位钢板内固定术治疗Pilon骨折合并腓骨远端骨折的疗效观察[J]. 西部医学, 2022, 34(8): 1163-1167. doi: 10.3969/j.issn.1672-3511.2022.08.013.

[11] González-Alonso M, Hermida-Sánchez M, Martínez-Seijas P, et al. Application of 3D printing in the treatment of appendicular skeleton fractures: systematic review and meta-analysis[J]. J Orthop Res, 2021,39(10):2083-2092. doi:10.1002/jor.24939.

[12] 莫 靓,韦 兵,聂 军,等. 三维重建及3D打印技术在精准胸腔镜肺段切除术中的应用[J]. 影像科学与光化学,2024,42(3):239-246.

[13] 孙绍铜,刘 军,刘莛予,等. 3D打印人工椎体联合PEEK-Cage置入治疗颈椎后纵韧带骨化症短期疗效分析[J]. 局解手术学杂志,2025,34(4):325-328. doi: 10.11659/jjssx.01E024119.

[14] 王国宾,李 钊,王明明,等. 3D打印技术在手术治疗复杂肩胛骨骨折中的应用[J]. 中华创伤骨科杂志,2025,27(2):163-168. doi:10.3760/cma.j.cn115530-20240718-00301.

[15] 宋奇志,李 涛,奉成斌,等. 3D打印导板辅助与徒手置入空心螺钉治疗Sanders Ⅱ、Ⅲ型跟骨骨折的疗效比较[J]. 中华创伤杂志,2023,39(8):730-736. doi:10.3760/cma.j.cn501098-20230514-00255.

[16] Buijze GA, Verstreken A, Verstreken F. Role of three-dimensional guides in management of forearm and wrist malunions[J]. Hand Clin, 2024,40(1):89-95. doi:10.1016/j.hcl.2023.09.002.

[17] Erbulut DU, Green N, Grant C, et al. Plate fixation optimization for distal femoral fractures with segmental bone loss: defining the preferred screw distribution using finite element analysis[J]. Injury, 2024,55(2):111079. doi:10.1016/j.injury.2023.111079.

[18] Eichinger M, Brunner A, Stofferin H, et al. Screw tip augmentation leads to improved primary stability in the minimally invasive treatment of displaced intra-articular fractures of the calcaneus: a biomechanical study[J]. Int Orthop, 2019, 43(9): 2175-2181. doi:10.1007/s00264-018-4171-9.

[19] Agar A, Utkan A. The effect of anatomical reduction on functional outcomes in femoral neck fracture: a novel modified garden index[J]. Cureus, 2021, 13(11): e19863. doi:10.7759/cureus.19863.

[20] Neijhoft J, Henrich D, Mörs K, et al. Visualization of complicated fractures by 3D-printed models for teaching and surgery: hands-on transitional fractures of the ankle[J]. Eur J Trauma Emerg Surg, 2022, 48(5):3923-3931. doi:10.1007/s00068-022-01879-1.

[21] Pham TM, Kristiansen EB, Frich LH, et al. Association of acute inflammatory cytokines, fracture malreduction, and functional outcome 12 months after intra-articular ankle fracture-a prospective cohort study of 46 patients with ankle fractures[J]. J Orthop Surg Res, 2021, 16(1):338. doi:10.1186/s13018-021-02473-8.

[22] Kaiser PB, Guss D, DiGiovanni CW. Republication of "Stress fractures of the foot and ankle in athletes"[J]. Foot Ankle Orthop, 2023, 8(3):24730114231195045. doi:10.1177/24730114231195045.

[23] 尚林强. 136例老年股骨粗隆间骨折患者血清TNF-α,IL-6及IL-10的表达及临床意义[J]. 创伤外科杂志,2019,21(4):311-313. doi:10.3969/j.issn.1009-4237.2019.04.019.

[24] Smeeing DPJ, Houwert RM, Briet JP, et al. Weight-bearing or non-weight-bearing after surgical treatment of ankle fractures: a multicenter randomized controlled trial[J]. Eur J Trauma Emerg Surg, 2020,46(1):121-130. doi:10.1007/s00068-018-1016-6.

[25] Nicholson JA, Oliver WM, MacGillivray TJ, et al. 3D ultrasound reconstruction of sonographic callus: a novel imaging modality for early evaluation of fracture healing[J]. Bone Joint Res, 2021, 10(12):759-766. doi:10.1302/2046-3758.1012.BJR-2021-0250.

(编辑:龙小芬)