

计算机辅助术前计划在跟骨骨折微创手术中的应用

夏胜利 姜玉健 王彬 吴佳俊 崔峯 王秀会

【摘要】 **目的** 探讨计算机辅助术前计划在跟骨关节内移位型骨折微创手术治疗中的应用价值。**方法** 回顾分析 2013 年 2 月至 2015 年 12 月期间,我院采用计算机辅助术前计划治疗的 55 例跟骨骨折病例的临床资料。所有病例均采用经跗骨窦切口入路复位及微型钢板内固定手术,记录术前手术设计及手术时间,评估术前骨折移位及术后骨折复位内固定情况,采用美国足踝外科医师协会(American Orthopaedic Foot and Ankle Society, AOFAS)踝与后足功能评分系统评价患侧足功能,采用疼痛视觉模拟量表(visual analogue scale, VAS)评估疼痛情况,收集并记录并发症发生情况。**结果** 55 例病人均采用计算机辅助术前计划,平均术前计划时间为 31 min,平均手术时间为 86.7 min,术后影像学结果显示跟骨骨折复位及内固定满意,Böhlers 角、Gissanes 角及宽度得到充分矫正,后关节面平整度恢复;术后未发生手术切口切缘坏死、裂开或继发感染,无腓肠神经及腓骨长短肌腱损伤;所有病人获得平均 21 个月的随访,末次随访时 AOFAS 评分平均为 88.7 分,其中优 30 足(54.5%),良 22 足(40.0%),可 3 足(5.5%),优良率为 94.5%,VAS 评分平均为 0.82 分。**结论** 利用计算机对跟骨关节内移位型骨折进行术前手术设计,有利于术者术前明确骨折类型及完善手术方案,以指导跟骨骨折微创手术中的骨折复位及内固定物植入操作,从而获得良好的临床疗效。

【关键词】 计算机辅助设计;术前计划;跟骨骨折;骨折内固定术

Application of computer assisted pre-operative plan in minimally invasive surgery for the treatment of calcaneal fractures. XIA Sheng-li, LOU Yu-jian, WANG Bin, WU Jia-jun, CUI Yin, WANG Xiu-hui. Department of Orthopaedics, Zhoupu Hospital of Pudong, Shanghai 201318, China

Corresponding author: XIA Sheng-li, E-mail: victorxia@126.com

【Abstract】 Objective To explore the curative effect of computer assisted pre-operative plan in minimally invasive surgery for the treatment of intra-articular calcaneal fractures. **Methods** The clinical data of 55 patients with calcaneal fractures treated by computer assisted pre-operative plan in our hospital from February 2013 to December 2015 were retrospectively analyzed. All patients were treated by reduction through tarsal sinus incision and insertion of mini-plate internal fixation. The time of pre-operative design and operation was recorded. Pre-operative fracture displacement and post-operative reduction and internal fixation were evaluated. During the follow-up, the ankle and hind foot function was evaluated by the American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) and visual analogue scale (VAS), and the complications were collected and recorded. **Results** Fifty-five patients underwent computer assisted pre-operative plan. The average pre-operative plan time was 31 min and the average operation time was 86.7 min. Postoperative radiology showed satisfactory reduction and internal fixation of calcaneal fractures, Böhlers angle, Gissanes angle and width were fully corrected, and posterior articular surface flatness was restored. All surgical incisions got primary healing without wound complications including dehiscence, necrosis and infection, while the impairments of the fibularis tendons and the sural nerve were not found. All patients were followed up for an average of 21 months. At the last follow-up, the average AOFAS score was 88.7. Among them, 30 were excellent (54.5%), 22 were good (40.0%) and 3 were fair (5.5%). The excellent and good rate was 94.5%, and the average VAS score was 0.82. **Conclusion** Computer assisted pre-operative plan for displaced intra-articular calcaneal fractures can help surgeons identify type of the fractures and guide surgical technique for reduction and internal fixation with

DOI: 10.3969/j.issn.1674-8573.2019.01.007

基金项目:上海市浦东新区卫计委科研资助项目(PW2014A-46);上海市浦东新区卫生局学科带头人培养计划资助项目(PWRD2011-07)

作者单位:上海市浦东新区周浦医院骨科,上海 201318

通信作者:夏胜利, E-mail: victorxia@126.com

plates to obtain good clinical effects.

【Key words】 Computer-aided design; Pre-operative plan; Calcaneal fractures; Fractures internal fixation

跟骨骨折的手术治疗对于临床骨科医生至今仍具有挑战性^[1,2]。由于传统术式往往伴随术后切口并发症的风险,微创术式越来越受到青睐,其中经跗骨窦有限切口手术治疗跟骨关节内骨折尤其其优越性^[3-6]。而小切口所能提供的显露范围及操作空间相对有限,因此术中存在骨折复位困难以及骨折移位难以纠正的风险^[5,7,8]。计算机辅助术前计划近年来逐渐应用于骨科领域术前计划中,不仅利于术者于术前更全面地了解骨折类型,而且能够进行虚拟骨折复位及内固定,以指导术中手术操作,从而获得更好的手术疗效^[9-11]。

本研究将计算机辅助手术设计应用到移位型跟骨关节内骨折微创手术的术前计划中,分析手术前后的影像学资料及踝关节功能,探讨计算机辅助术前计划在跟骨关节内骨折微创手术治疗中的应用价值。

资料与方法

一、纳入与排除标准

纳入标准:①2013年2月至2015年12月我院收治的移位型跟骨关节内骨折病人;②新鲜、闭合性Sanders II、III型骨折;③手术采用经跗骨窦切口复位插入微创钢板内固定;④随访时间≥12个月。排除标准:①Sanders IV型骨折;②开放性跟骨骨折;③陈旧性跟骨骨折;④全身多发性骨折。

二、一般资料

本组55例(55足),男49例(49足),女6例(6足);年龄为31~78岁,平均为48.6岁。损伤原因:高处坠落伤52例,交通伤3例。55例均为单侧闭合性损

伤,其中左侧23足,右侧32足。55例病人中伴有腰椎L₁骨折1例,桡骨远端骨折(右侧)1例,均行手术治疗。11例有5年以上嗜烟史,2例有糖尿病史。

术前对所有病人进行跟骨侧位和轴位X线摄片(4 mA, 60 kV)(图1)及跟骨CT扫描(1 mm/层, 200 mA, 120 kV, 日本TOSHIBA ACTIVION 16 X线电子计算机断层扫描)(图2)。55足均为跟骨关节内移位性骨折,跟骨高度、Böhler角及Gissanes角均明显丢失,跟骨宽度增加。根据Sanders分型,其中II型31足(II a 10足、II b 21足),III型24足(III ab 21足、III ac 1足、III bc 2足)。

三、术前准备

所有病人入院后均予患肢抬高,给予间断冰袋冷敷。对嗜烟病人进行强制性戒烟,对糖尿病病人进行血糖控制治疗。待患足肿胀消退后进行手术,术前等待时间为5~9 d,平均为6.7 d。

四、计算机辅助术前计划

采用计算机虚拟软件(Superimage,上海数倍迪信息技术有限公司,中国),首先重建出跟骨三维可



图1 术前X线片 a:跟骨侧位X线片示跟骨高度降低,Böhlers角及Gissanes角明显减少;b:跟骨轴位X线片示跟骨宽度明显增加

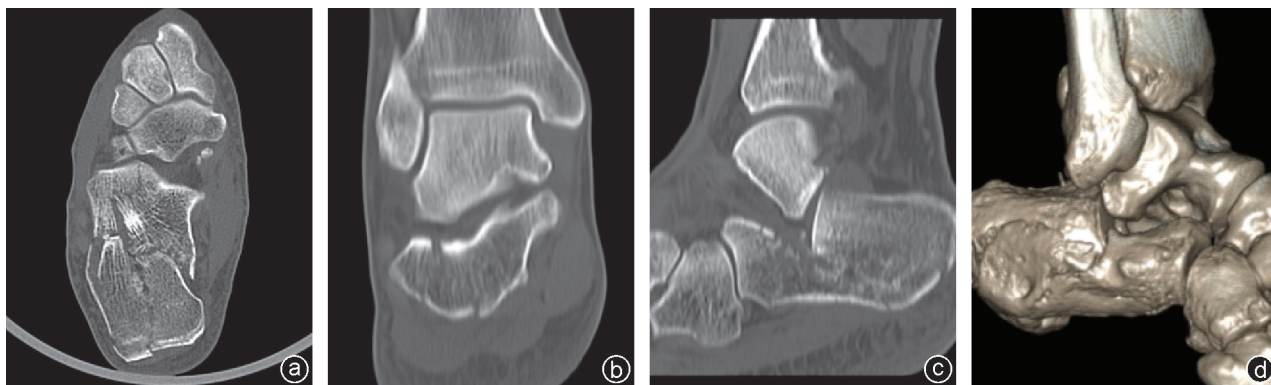


图2 病人,男,49岁,高处坠落伤,术前CT扫描 a:平扫可见右侧跟骨体粉碎,外侧壁膨隆,关节面嵌入跟骨体中,内翻畸形;b:冠状位重建可见骨折线涉及距下关节面;c:矢状位重建可见距下关节面向下翻转;d:三维重建可见跟骨外侧壁膨隆,关节面向下翻转移位

视化模型;利用智能自动分割结合手动刻蚀功能进行虚拟分割,形成独立的骨块单元;结合软件中的移动、缩放、透视等功能,对骨折块及关节面进行观察及虚拟复位操作,以恢复跟骨的解剖形态及关节面的平整性。由器械库调入虚拟微创锁定钢板置于跟骨外侧壁,调整钢板位置,植入相应长度的虚拟螺钉。记录术前虚拟手术设计时间。

五、手术方法

采用蛛网膜下腔麻醉或连续硬膜外麻醉。取健侧卧位,手术切口起自外踝尖下方,斜向前下至骰骨近侧,切口下方可见腓骨长、短肌腱,予以保护。对距下后关节面进行显露,根据术前手术设计中虚拟复位方法,利用微型骨撬由骨折缝隙处插入,将距下后关节面翘起。由助手从跟骨结节沿跟骨纵轴向前下打入 1 枚直径为 3.5 mm 的斯氏针,至后关节面骨块下方后,向上撬拨以辅助纠正 Böhlers 角;同时辅以外翻力量,纠正跟骨内翻,后将斯氏针向前打入骰骨进行临时固定。“C”型臂 X 线机透视观察距下关节面、Böhlers 角、Gissanes 角以及跟骨的长度和高度满意后,进行横向挤压,以恢复跟骨宽度。对于较大的骨缺损空隙,采用颗粒型人工骨填充植骨。结合后部纵行辅助切口,沿骨面锐性剥离,建立跟骨外侧壁隧道,将跟骨微型钢板由后向前插入,透视位置满意后,分别于跟骨后部、体部及前突打入螺钉,其中 1 枚螺钉需对载距突进行固定:由距下后关节面前下方螺孔植钉,自跟骨外侧壁斜向内上方斜行固定至载距突。再次行“C”型臂 X 线机透视确认钢板、螺钉固定满意后,切口分层缝合,并予以棉垫绷带加压包扎。

抗生素常规应用 48 h 预防术后切口感染;术后患肢抬高,于第 2 天行足趾伸屈练习。每 3 d 清创换药 1 次,术后 2 周拆线,3 个月开始负重。

六、疗效评价

术中记录手术时间;术后对病人全身情况及局部手术切口进行观察;术后拍摄 X 线片(跟骨侧位及轴向位)及 CT 扫描(包括二维重建及三维重建);应用 Image-pro plus 5.0 软件(Version 5.0.1, Media Cybernetics, 美国)测量手术前后跟骨 Böhlers 角、Gissanes 角及宽度。

出院后定期进行随访,根据临床症状、体征及所摄 X 线片对病人进行评估,包括术后切口愈合情况、是否继发感染、骨折再移位、骨折愈合不良及内固定松动、断裂等;术后 6 个月开始每半年进行功能评价,采用美国足踝外科医师协会(American Ortho-

paedic Foot and Ankle Society, AOFAS)踝与后足功能评分系统及疼痛视觉模拟量表(visual analogue scale, VAS)对术后患足功能进行评价。AOFAS 评分满分为 100 分,其中 90~100 分为优,75~89 分为良,50~74 分为可,<50 分为差。VAS 疼痛程度介于 0~10 分,分值越大表明疼痛越剧烈。

七、统计学处理

应用统计分析软件 SPSS 18.0(IBM 公司,美国)进行统计学分析,计量资料均采用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,术前与术后 Böhlers 角、Gissanes 角、跟骨宽度的比较采用配对 *t* 检验, $P < 0.05$ 认为差异有统计学意义。

结 果

55 足均于术前进行了手术设计(图 3),时间为 22~38 min,平均为 31 min。Sanders II 型与 III 型骨折的手术设计时间分别为(27.8±2.7) min、(34.2±2.5) min,差异有统计学意义($P < 0.001$)。55 例手术时间为 77~95 min,平均为 86.7 min,其中 Sanders II 型与 III 型病例手术时间分别为(84.3±4.4) min、(89.5±2.7) min,差异有统计学意义($P < 0.001$)。术后 X 线片显示,跟骨高度、Böhlers 角、Gissanes 角及跟骨宽度得到满意的矫正(图 4 a~c),与术前相比,差异有统计学意义($P < 0.001$)(表 1)。术后跟骨后关节面平整度纠正满意,未发现明显关节面断端台阶残留。

所有病人获得 12~36 个月(平均 21 个月)的随访。末次随访影像学显示,骨折完全愈合,内固定未见松动、断裂,术后跟骨各项指标矫正未见丢失。按 AOFAS 踝与后足功能评分系统评价术后功能,分值为(88.7±4.0)分(73~96 分),其中优 30 足(54.5%),良 22 足(40.0%),可 3 足(5.5%),优良率为 94.5%。VAS 评分为(0.82±0.95)分(0~3 分)。

术后未发生切缘坏死、切口裂开或切口感染(图 4 d),亦未发现腓肠神经损伤及腓骨长短肌腱损伤并发症的发生;足跟外形良好,穿鞋无不适等异常感觉,能正常行走。

表 1 手术前后放射学检测结果($\bar{x}\pm s$)

测量时间	Böhlers 角	Gissanes 角	跟骨宽度(mm)
术前	2.6°±3.9°	97.7°±7.5°	41.0±2.8
术后	26.5°±3.1°	119.4°±4.5°	32.8±1.8
<i>t</i> 值	-41.3	-20.1	22.8
<i>P</i> 值	<0.001	<0.001	<0.001

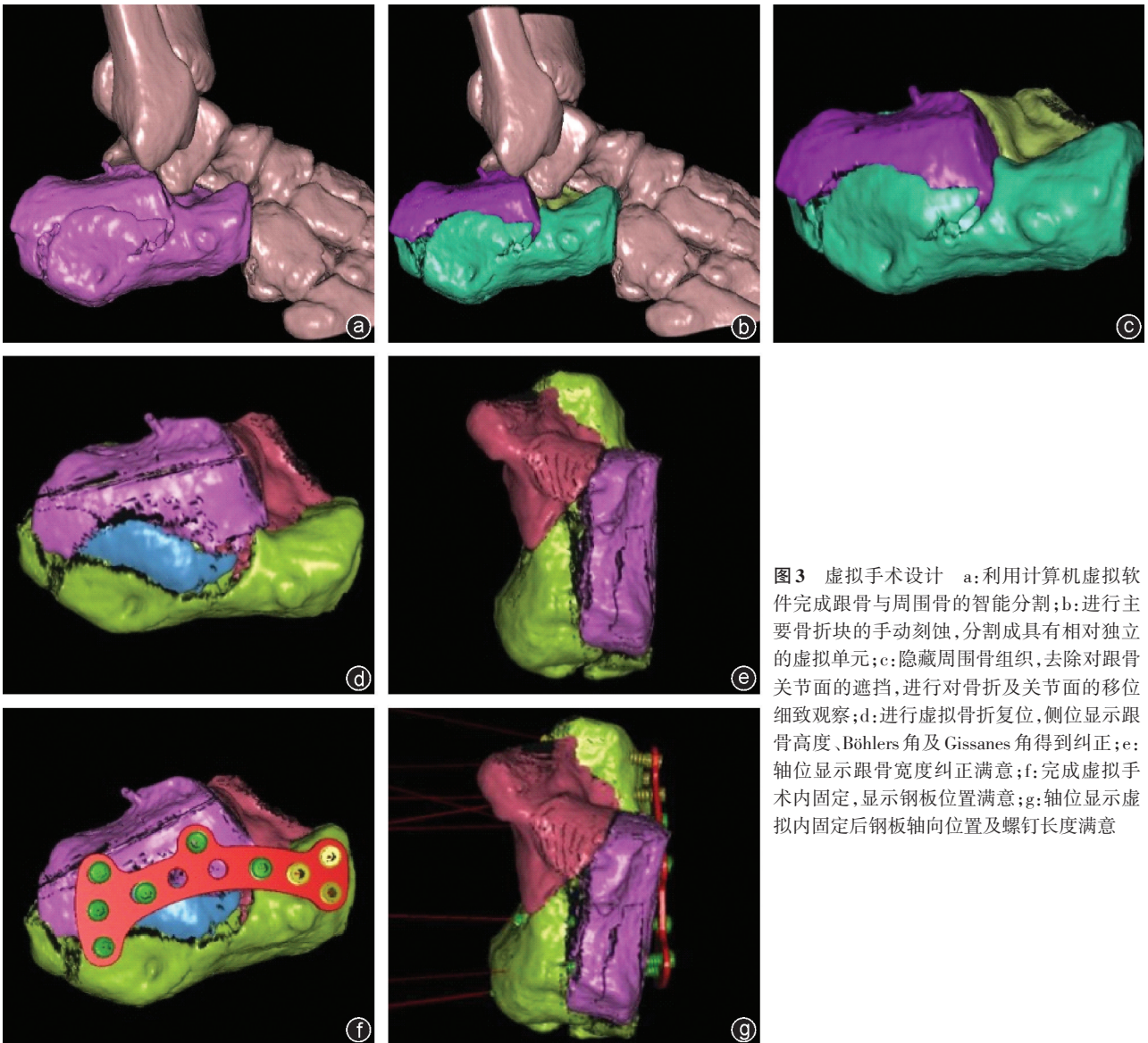


图3 虚拟手术设计 a:利用计算机虚拟软件完成跟骨与周围骨的智能分割;b:进行主要骨折块的手动刻蚀,分割成具有相对独立的虚拟单元;c:隐藏周围骨组织,去除对跟骨关节面的遮挡,进行对骨折及关节面的移位细致观察;d:进行虚拟骨折复位,侧位显示跟骨高度、Böhlers角及Gissane角得到纠正;e:轴位显示跟骨宽度纠正满意;f:完成虚拟手术内固定,显示钢板位置满意;g:轴位显示虚拟内固定后钢板轴向位置及螺钉长度满意

讨 论

跟骨骨折约占全身骨折的1%~2%,其中75%属于关节内骨折^[12]。通过手术方法恢复跟骨的解剖结构已被业内公认为是避免跟骨骨折愈合不良的最佳方法^[2,5,7,13],但由于跟骨周围软组织的特点,传统手术入路创伤所致的切口并发症等问题一直未得到有效解决^[1,7,12-14]。

Palmer首先提出并描述了采用经跗骨窦切口直接对关节面进行复位操作^[4],该切口便于显露距下后关节面,对移位骨折块进行复位^[15],而且对跟骨外侧皮肤软组织创伤小,对周围血供破坏少,节省手术时间及降低术后切口并发症发生率^[6,14,16]。

由于经跗骨窦切口较常规外侧延长的“L”型切口小,显露的视野和操作的空间有限,并且跟骨本身

结构不规则,骨折类型较为复杂,采用该入路给手术操作带来了一定的困难^[3,4,7,11,13,17-19]。Gomma等^[5]采用改良的经跗骨窦切口,仍发现有7例术后存在关节面不平整。Takasaka等^[20]对三种术式进行比较,发现小切口术式在术后AOFAS评分、Böhlers角及Gissane角方面均低于常规切口术式,虽在统计学上无显著性差异,但可以看出小切口组在骨折复位中存在不足。

跟骨骨折的手术治疗目的是为了恢复跟骨距下关节面的平整性及解剖形态,并提供可靠的固定,不论选择哪一种术式,都不能改变手术的主要目的^[4-6,15,21]。

为了进一步提高术中骨折复位质量,充分而完善的术前计划是一种重要手段^[4,9,11,18,22,23]。传统的术前计划单纯依靠二维X线片或二维CT重建,其缺

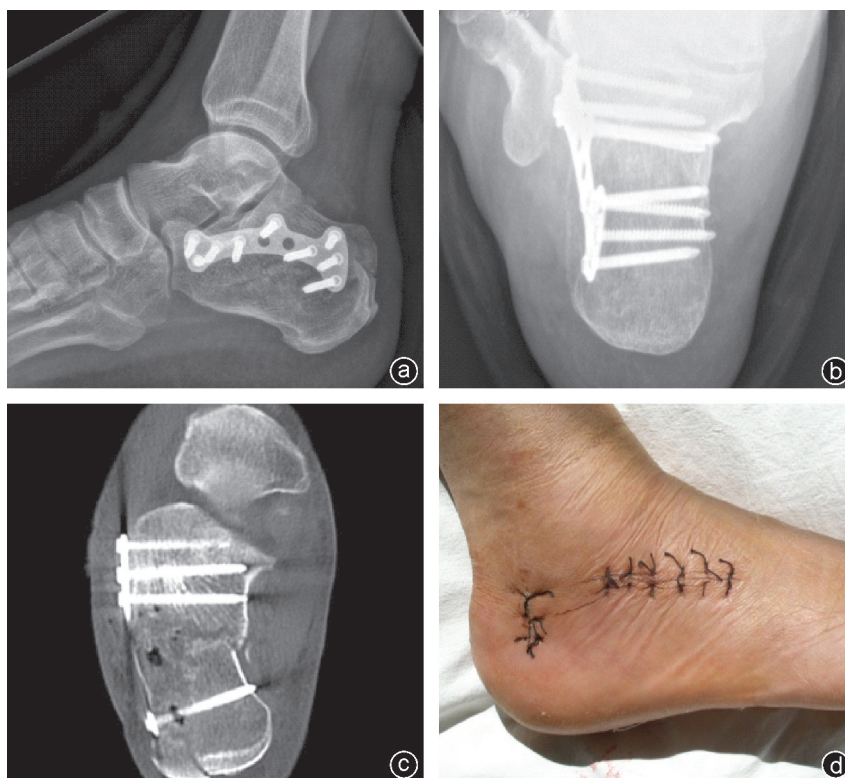


图4 术后影像学资料及大体照 a:跟骨侧位X线片示距下后关节面解剖复位,跟骨高度、Böhler角及Gissane角得到满意矫正;b:跟骨轴位X线片示跟骨宽度恢复满意,跟骨轴向轴线纠正满意,螺钉长度合适;c:术后CT平扫见跟骨骨折复位满意,跟骨纵向轴线纠正满意,螺钉位置长度均理想;d:术后14 d,手术切口愈合良好,干燥,无渗血渗液,切口周围无红肿,切缘无坏死,切口无裂开

点是骨折立体概念模糊,不能制定出明确的操作策略^[10,11,22]。将计算机辅助技术引入到复杂骨折的术前计划中,有助于提高术者对骨折的认知,以制定出更为精细、准确的手术方案^[9,11]。

本研究所应用的术前辅助手术软件,能自动分割存在间隙的不同骨质,通过隐藏功能,可直接观察距下关节面骨折移位情况,实现骨折的虚拟复位,调入相应的虚拟钢板螺钉,完成虚拟内固定。术者在整个虚拟手术设计中,对骨块间的分割处理最为关键,耗时最多。该组病人术前均进行了计算机辅助术前设计,时间为22~38 min,平均为31 min。

术前的精细化虚拟手术设计,将有利于术中判断骨折块的移位方向、需要进行复位的方法及钢板放置的位置^[9,11],有利于整个手术的顺利进行,减少手术时间。该组病例手术时间为77~95 min,平均为86.7 min。

精准的微创手术操作有利于手术的成功及有效避免手术切口并发症的发生^[9,10,22,24]。术后影像学检查结果显示所有病例跟骨得到很好的骨折复位,跟骨高度、宽度、Böhlers角及Gissanes角矫正满意,距下关节后关节面平整。术后无一足发生切缘坏死、切口裂开或感染,亦未见腓肠神经及腓骨长短肌腱

损伤的发生。末次随访按AOFAS踝与后足评分系统评价术后功能,优良率达94.5%。

即便有了计算机辅助术前计划,术者在手术中的主导地位仍不能忽视,应掌握以下几点:①术中仍应强调微创原则,显露适度,操作轻柔,避免过度牵拉;②充分利用有限小切口实现对距下关节面的显露,对骨折移位进行直视下复位,避免盲目操作;③完成矢状位骨折移位的矫正后,可利用横向挤压技术实现内翻畸形及跟骨增宽的矫正;④建立跟骨外侧隧道时,沿跟骨外侧壁锐性剥离需耐心仔细,避免损伤腓骨长短肌腱;⑤结合计算机辅助术前计划,术中可对载距突螺钉的置入位置进行判断,避免螺钉方向差异导致载距突的无效固定。

综上所述,将计算机辅助手术设计应用到跟骨骨折的术前计划中,不仅能进一步完善采用跗骨窦切口入路微创手术治疗跟骨骨折这一术式,而且通过不断积累经验,更加显现出该术式的微创性及便捷性,为跟骨骨折疗效的提高及减少手术并发症提供了更多保障。

参 考 文 献

- [1] Sharr PJ, Mangupli MM, Winson IG, et al. Current management op-

- tions for displaced intra-articular calcaneal fractures: Non-operative, ORIF, minimally invasive reduction and fixation or primary ORIF and subtalar arthrodesis. A contemporary review [J]. *Foot Ankle Surg*, 2016, 22(1): 1-8.
- [2] Gotha HE, Zide JR. Current Controversies in Management of Calcaneus Fractures [J]. *OrthopClin North Am*, 2017, 48(1): 91-103.
- [3] Abdelazeem A, Khedr A, Abousayed M, et al. Management of displaced intra-articular calcaneal fractures using the limited open sinus tarsi approach and fixation by screws only technique [J]. *Int Orthop*, 2014, 38(3): 601-606.
- [4] Smith WB. The Sinus Tarsi Approach for Calcaneal Fractures [J]. *Techniques in Foot and Ankle Surgery*, 2013, 12(3): 118-124
- [5] Gomaa MA, Naggar AE, Anbar A. A modified minimally invasive technique for treatment of intra-articular fractures of the calcaneus. Mid-term results and review of the literature [J]. *Eur Orthop-Traumatol*, 2015, 6(4): 305-313
- [6] Kikuchi C, Charlton TP, Thordarson DB. Limited sinus tarsi approach for intra-articular calcaneus fractures [J]. *Foot Ankle Int*, 2013, 34(12): 1689-1694
- [7] Kołodziejcki P, Czarnocki Ł, Wojdasiewicz P, et al. Intraarticular fractures of calcaneus-current concepts of treatment [J]. *Pol Orthop Traumatol*, 2014, 79: 102-111.
- [8] Eckardt H, Lind M. Effect of intraoperative three-dimensional imaging during the reduction and fixation of displaced calcaneal fractures on articular congruence and implant fixation [J]. *Foot Ankle Int*, 2015, 36(7): 764-773.
- [9] Fadero PE, Shah M. Three dimensional (3D) modelling and surgical planning in trauma and orthopaedics [J]. *Surgeon*, 2014, 12(6): 328-333.
- [10] Jiménez-Delgado JJ, Paulano-Godino F, PulidoRam-Ramírez R, et al. Computer assisted preoperative planning of bone fracture reduction: simulation techniques and new trends [J]. *Med Image Anal*, 2016, 30: 30-45.
- [11] Chen Y, Zhang K, Qiang M, et al. Computer-assisted preoperative planning for proximal humeral fractures by minimally invasive plate osteosynthesis [J]. *Chin Med J (Engl)*, 2014, 127(18): 3278-3285.
- [12] Bajammal S, Tornetta P 3rd, Sanders D, et al. Displaced intra-articular calcaneal fractures [J]. *J Orthop Trauma*, 2005, 19(5): 360-364.
- [13] Veltman ES, Doornberg JN, Stufkens SA, et al. Long-term outcomes of 1,730 calcaneal fractures: systematic review of the literature [J]. *J Foot Ankle Surg*, 2013, 52(4): 486-490.
- [14] Kline AJ, Anderson RB, Davis WH, et al. Minimally invasive technique versus an extensile lateral approach for intra-articular calcaneal fractures [J]. *Foot Ankle Int*, 2013, 34(6): 773-780.
- [15] Holmes GB. Treatment of displaced calcaneal fractures using a small sinus tarsi approach [J]. *Tech Foot Ankle Surg*, 2005, 4(1): 35-41.
- [16] Yeo JH, Cho HJ, Lee KB. Comparison of two surgical approaches for displaced intra-articular calcaneal fractures: sinus tarsi versus extensile lateral approach [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2015, 16: 63.
- [17] Femino JE, Vaseenon T, Levin DA, et al. Modification of the sinus tarsi approach for open reduction and plate fixation of intra-articular calcaneus fractures: the limits of proximal extension based upon the vascular anatomy of the lateral calcaneal artery [J]. *Iowa Orthop J*, 2010, 30: 161-167.
- [18] Stapleton JJ, Zgonis T. Surgical treatment of intra-articular calcaneal fractures [J]. *ClinPodiatr Med Surg*, 2014, 31(4): 539-546.
- [19] Epstein N, Chandran S, Chou L. Current concepts review: intra-articular fractures of the calcaneus [J]. *Foot Ankle Int*, 2012, 33(1): 79-86.
- [20] Takasaka M, Bittar CK, Mennucci FS, et al. Comparative study on three surgical techniques for intra-articular calcaneal fractures: open reduction with internal fixation using a plate, external fixation and minimally invasive surgery [J]. *Rev Bras Ortop*, 2016, 51(3): 254-260.
- [21] Pastides PS, Milnes L, Rosenfeld PF. Percutaneous arthroscopic calcaneal osteosynthesis: a minimally invasive technique for displaced intra-articular calcaneal fractures [J]. *J Foot Ankle Surg*, 2015, 54(5): 798-804.
- [22] Chung KJ, Hong DY, Kim YT, et al. Preshaping plates for minimally invasive fixation of calcaneal fractures using a real-size 3D-printed model as a preoperative and intraoperative tool [J]. *Foot Ankle Int*, 2014, 35(11): 1231-1236.
- [23] Sampath Kumar V, Marimuthu K, Subramani S, et al. Prospective randomized trial comparing open reduction and internal fixation with minimally invasive reduction and percutaneous fixation in managing displaced intra-articular calcaneal fractures [J]. *Int Orthop*, 2014, 38(12): 2505-2512.
- [24] Kwon JY, Zurakowski D, Ellington JK. Influence of contralateral radiographs on accuracy of anatomic reduction in surgically treated calcaneus fractures [J]. *Foot Ankle Int*, 2015, 36(1): 75-82.

(收稿日期: 2018-08-17)

(本文编辑: 龚哲妮)