

• 临床研究 •

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2025.05.026

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20250312.1147.004\(2025-03-13\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20250312.1147.004(2025-03-13))

一期经皮复位联合机器人辅助置钉治疗 SandersⅢ、Ⅳ型跟骨骨折疗效分析

胡长松,裴绍龙,吴慕君,肖爱国,张 广[△]

(杭州邦尔骨科医院创伤骨科,杭州 311100)

[摘要] **目的** 探讨一期经皮复位联合机器人辅助置钉治疗 SandersⅢ、Ⅳ型跟骨骨折的近期疗效及安全性。**方法** 选取 2022 年 8 月至 2024 年 10 月该院治疗组收治的 52 例(52 足)SandersⅢ、Ⅳ型跟骨骨折患者为研究对象,33 例采用机器人辅助置钉(观察组),其中 SandersⅢ型 23 例(AC 型 4 例、AB 型 16 例、BC 型 3 例),SandersⅣ型 10 例;19 例采用 C 臂 X 射线机透视下徒手置钉(对照组),其中 SandersⅢ型 14 例(AC 型 5 例、AB 型 9 例),SandersⅣ型 5 例。比较两组术后 3、12 个月 Böhler 角、Gissane 角、跟骨长度、跟骨高度、跟骨宽度差异;评估并比较两组患者伤后至手术时间、术中出血量、术中透视次数、切口总长度、手术时间、置入螺钉数、穿刺次数、住院时间、骨折愈合时间、跗骨窦切开辅助复位占比差异;比较两组患者术后美国足踝外科协会(AOFAS)踝与后足功能评分、功能优良率和疼痛视觉模拟量表(VAS)评分,同时比较两组患者术后并发症发生率以评价安全性。**结果** 两组患者术后均获 12 个月以上随访。两组患者术后 3、12 个月 Böhler 角、Gissane 角、跟骨长度、跟骨高度、跟骨宽度均较术前改善,但组间比较差异无统计学意义($P>0.05$)。观察组术中出血量、术中透视次数、手术时间、穿刺次数均低于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$);两组患者伤后至手术时间、切口总长度、置入螺钉数、住院时间、骨折愈合时间、跗骨窦切开辅助复位占比、功能优良率比较差异无统计学意义($P>0.05$)。观察组术后 3 个月 AOFAS 踝与后足功能评分高于对照组,术后早期 VAS 疼痛评分明显低于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$)。观察组外踝下方疼痛、创伤性关节炎、足底疼痛并发症发生率明显低于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 相较于徒手置钉,一期经皮复位机器人辅助置钉治疗 SandersⅢ、Ⅳ型跟骨骨折早期临床疗效确切、安全、精准、微创、高效,且患者术中出血少、并发症发生率低。

[关键词] 经皮复位;微创;置钉;骨科机器人;跟骨骨折**[中图分类号]** R687.3**[文献标识码]** A**[文章编号]** 1671-8348(2025)05-1187-07

Analysis of the therapeutic efficacy of primary percutaneous reduction combined with robot-assisted screw placemen for the treatment of Sanders type Ⅲ and Ⅳ calcaneal fractures

HU Changsong, PEI Shaolong, WU Mujun, XIAO Aiguo, ZHANG Guang[△]

(Department of Orthopedics, Hangzhou Banger Orthopaedic Hospital,

Hangzhou, Zhejiang 311100, China)

[Abstract] **Objective** To discuss the short-term efficacy and safety of primary percutaneous reduction combined with robotic-assisted screw placement for the treatment of Sanders type Ⅲ and Ⅳ calcaneal fractures. **Methods** A total of 52 patients (52 feet) with Sanders type Ⅲ and Ⅳ calcaneal fractures admitted to this hospital from August 2022 to October 2024 were selected as the study subjects. 33 patients were treated with robot assisted screw placement (the observation group), including 23 cases of Sanders type Ⅲ patients (4 cases of AC type, 16 cases of AB type, 3 cases of BC type) and 10 cases of Sanders type Ⅳ patients; 19 patients underwent manual screw placement under C-arm X-ray fluoroscopy (the control group), including 14 cases of Sanders type Ⅲ (5 cases of AC type, 9 cases of AB type) and 5 cases of Sanders Ⅳ type. The Böhler angle, Gissane angle, calcaneal height, calcaneal width, and calcaneal length were compared between the two groups at 3 and 12 months after surgery. The differences in the time from injury to surgery, intraoperative blood loss, number of intraoperative fluoroscopies, total incision length, operation time, number of screws inserted, num-

[△] 通信作者, E-mail: zhangguang_v@126.com。

ber of punctures, hospital stay, fracture healing time, and proportion of tarsal sinus incision-assisted reduction between the two groups were evaluated and compared. The American Orthopedic Foot and Ankle Society (AOFAS) ankle and hindfoot function score, excellent rate of function and visual analog scale (VAS) pain score after surgery were also compared, and the incidence of postoperative complications between the two groups were compared to evaluate safety. **Results** Both groups of patients were followed up for more than 12 months after surgery. At 3 and 12 months postoperatively, Böhler's angle, Gissane's angle, calcaneal length, calcaneal height, and calcaneal width in both groups showed significant improvements compared to preoperative measurements, but there was no statistically significant difference between the two groups ($P > 0.05$). The intraoperative bleeding loss, number of intraoperative fluoroscopies, operation time, and number of punctures in the observation group were all lower than those in the control group, and the differences were statistically significant ($P < 0.05$); There was no statistically significant difference in the time from injury to surgery, total incision length, number of screws inserted, hospital stay, fracture healing time, proportion of tarsal sinus incision-assisted reduction, and excellent rate of function between the two groups of patients ($P > 0.05$). The AOFAS ankle and hindfoot function score of the observation group was higher than that of the control group at 3 months after surgery, and the VAS pain scores in the early postoperative period was lower than that of the control group, the differences were statistically significant ($P < 0.05$). The incidence of complications such as lower ankle pain, traumatic arthritis, and plantar pain in the observation group was significantly lower than that in the control group, and the difference was statistically significant ($P < 0.05$). **Conclusion** Compared with manual screw placement, primary percutaneous reduction combined with robotic-assisted screw placement for the treatment of Sanders type III and IV calcaneal fractures is more effective, safe, precise, minimally invasive and efficient, with less intraoperative bleeding and lower incidence of complications.

[**Key words**] percutaneous reduction; minimally invasive; screw placement; orthopedic robot; calcaneal fracture

跟骨骨折多见青壮年男性,以高能量轴向暴力损伤为主。跟骨骨折约占全身骨折的 2%,其中 60%~75% 的患者涉及关节面,25% 伴有严重软组织损伤^[1]。Sanders III、IV 型跟骨骨折以手术治疗为主,若治疗不当,致残率高。目前主要争议点是手术方式^[2]、手术时机及内固定方式。传统外侧入路仍是 Sanders III、IV 型跟骨骨折经典手术入路,但皮肤切口并发症发生风险较高^[3]。微创经皮复位螺钉内固定术可使手术时机提前,减少软组织损伤及术中出血量,早期重建跟骨解剖形态,稳定骨折断端及距下后关节面,解除骨折端对跟周软组织压迫,有助于缓解软组织肿胀、保护血运、降低术后并发症发生率^[4]。但该术式对手术医师技术水平要求较高,术中需要多次透视,尤其是反复置钉退钉容易引起跟骨螺钉通道周围骨量丢失,造成生物力学的不稳定。探索有限显露、高效且精准的复位及稳定的生物力学固定,实现早期功能锻炼的微创复位及固定方式,对于提高 Sanders III、IV 型跟骨骨折预后具有积极意义。本研究选取收治的 52 例采用一期经皮复位联合机器人辅助置钉治疗 Sanders III、IV 型跟骨骨折患者,整合患者资料,总结该术式近期疗效及操作要点,以期为临床选择合适的手术方式提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取本院创伤骨科 2022 年 8 月至 2024 年 10 月行经皮复位后植入空心全螺纹无头加压螺钉进行内固定的患者为研究对象,根据有无机器人辅助置钉分为两组。采用机器人辅助置钉的 33 例为观察组,其中男 31 例、女 2 例,平均年龄(50.15 ± 10.60)岁; Sanders III 型 23 例(AC 型 4 例、AB 型 16 例、BC 型 3 例)、Sanders IV 型 10 例;损伤机制包括高处坠落 31 例、车祸伤 2 例。采用 C 臂 X 射线机透视下徒手置钉的 19 例为对照组,其中男 18 例、女 1 例,平均年龄(51.21 ± 13.14)岁; Sanders III 型 14 例(AC 型 5 例、AB 型 9 例)、Sanders IV 型 5 例;损伤机制包括高处坠落 18 例、车祸伤 1 例。纳入标准:(1)年龄 ≥ 18 岁;(2) Sanders III、IV 型跟骨骨折;(3)闭合性骨折;(4)单侧跟骨骨折,且患足不伴有其他部位骨折;(5)受伤至手术时间 ≤ 14 d;(6)术后 3、12 个月完成美国足踝外科协会(American Orthopedic Foot and Ankle Society, AOFAS)踝与后足功能评分;(7)随访时间 ≥ 12 个月。排除标准:(1)合并凝血功能障碍、严重心脑血管疾病、血液疾病等手术禁忌证者;(2)开放性骨折者;(3)伴有颅脑或胸部或腹部损伤者;(4)孕妇、合并精神疾病或其他不能耐受手术者;(5)病理性骨折者;(6)合并手术区域皮肤感染者;(7)伴有严重的血管神经损伤者。两组患者手术均为同一位手术经验丰富的副主任医师主刀完成。两组患者术前一般资料比较差异

无统计学意义($P>0.05$)。本研究已通过本院医学伦理委员会审批(审批号: HZBELL-2022071010), 患者均知情确认同意。

1.2 方法

完成患侧跟骨侧位、轴位 X 射线和三维 CT 扫描及其他相关术前必要检查。患者均采用经皮复位技术复位。置钉方案分为徒手置钉和机器人辅助置钉。

1.2.1 术前计划

根据术前 CT 评估跟骨 Sanders 分型, 测量跟骨 Gissane 角、Böhler 角、跟骨长度、跟骨高度、跟骨宽度。术前在影像归档和通信系统上对骨折进行评估并模拟手术, 初步设计骨折复位方法、复位方向, 是否需要跗骨窦切口辅助复位, 规划设计最佳置钉方向、置钉数量和螺钉长度等。

1.2.2 手术操作

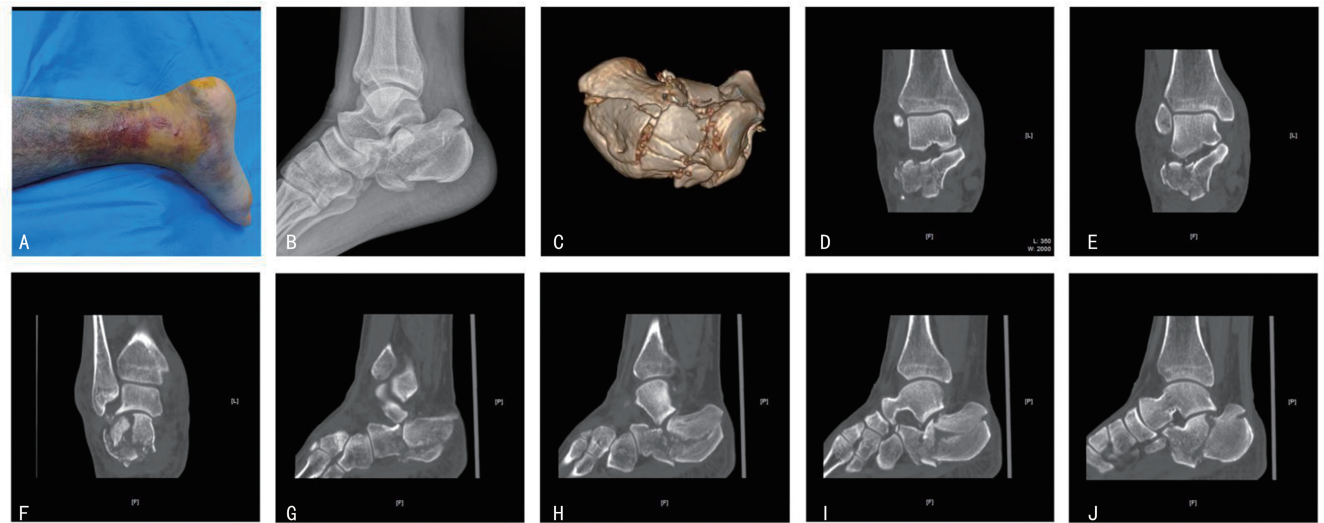
采用腰麻或插管全身麻醉, 体位选择健侧卧位或俯卧位。经皮复位: 采用撑开、撬拨、钳夹三步法复位跟骨骨折。第 1 步: 撑开, 透视下定位足踝多功能撑开器入针点(距骨颈+跟骨结节或胫骨远端+跟骨结节), 于跟骨结节置入 $\Phi 3.5\text{ mm}$ 斯氏针以作牵引, 撑开器沿跟骨长轴牵引撑开, 解除距骨对距下后关节面的压迫, 恢复跟骨高度、长度及足弓, 随后撑开器内侧撑开, 外侧适度收紧, 以矫正内翻。对部分 Sanders IV 型复位效果不满意的采用 3 点撑开法对胫骨、跟骨及跟骰关节进行牵引。第 2 步: 撬拨, C 臂 X 射线机透视定位入针点及入针角度, 自跟骨内外侧突底侧置入 $\Phi 4.0\text{ mm}$ 斯氏针开口并建立复位通道, 使用斯氏针尾部或小钉棒撬顶复位塌陷距下关节面, 恢复 Böhler 角、Gissane 角, C 臂 X 射线机透视跟骨侧位、轴位及

Broden 位验证复位情况。复位不满意者可联合跗骨窦切口辅助复位。复位满意后, 自跟骨外侧壁下缘向载距突方向置入克氏针临时固定, 防止关节面复位后沉降。第 3 步: 钳夹, 采用 40 cm 骨盆复位钳配以夹片进行钳夹, 以纠正外侧壁膨出, 恢复跟骨宽度, 钳夹操作过程中保护跟部内外侧软组织。最后 C 臂 X 射线机透视验证跟骨高度、跟骨宽度、Böhler 角、Gissane 角及距下后关节面复位情况, 见图 1、2。

1.2.3 观察组

安装并连接机器人, 摆放机械臂并套以无菌保护膜, 安置示踪器, 完成光学跟踪系统对机械臂和示踪器的识别。使用西门子 Cios Spin 移动式 C 臂 X 射线机正位、侧位定位后, 3D 环扫采集复位后图像, 将复位后 3D 扫描图像传至 TiRobot 主控平台, 规划螺钉置钉方向、螺钉长度、螺钉数量, 并避开腓骨长、短肌腱、腓肠神经、跟腱等重要组织, 见图 3。

跟骨置钉点及方向: (1) 跟骨内侧螺钉, 跟骨结节内侧指向跟骨关节; (2) 跟骨外侧螺钉, 跟骨结节外侧指向跟骨关节; (3) 距下后侧关节面支撑螺钉, 由跟骨结节后下方指向跟骨后距下关节面; (4) 载距突螺钉, 所有跟骨外侧壁指向载距突。运行机械臂至规划置钉点, 全部规划通道置入导针, C 臂 X 射线机透视验证。本研究所有患者均采用空心全螺纹无头加压螺钉固定, 首先沿导针置入载距突螺钉, 而后分别置入跟骨内侧、外侧螺钉及距下后侧关节面支撑螺钉, 完成置钉后 3D 环扫验证每一枚螺钉方向及长度, 调整螺钉包埋入骨皮质下, 生理盐水冲洗, 缝合置钉口/跗骨窦辅助切口, 无菌敷料加压包扎, 见图 3。



患者, 男, 42 岁, 3 米高处坠落伤, Sanders III 型粉碎性跟骨骨折; A: 术前患肢外观, 皮下青紫瘀斑, 张力性水泡形成; B: 术前 X 线片; C: 跟骨三维重建; D~F: 冠状位重建图像; G~J: 矢状位重建图像。

图 1 术前影像资料

1.2.4 对照组

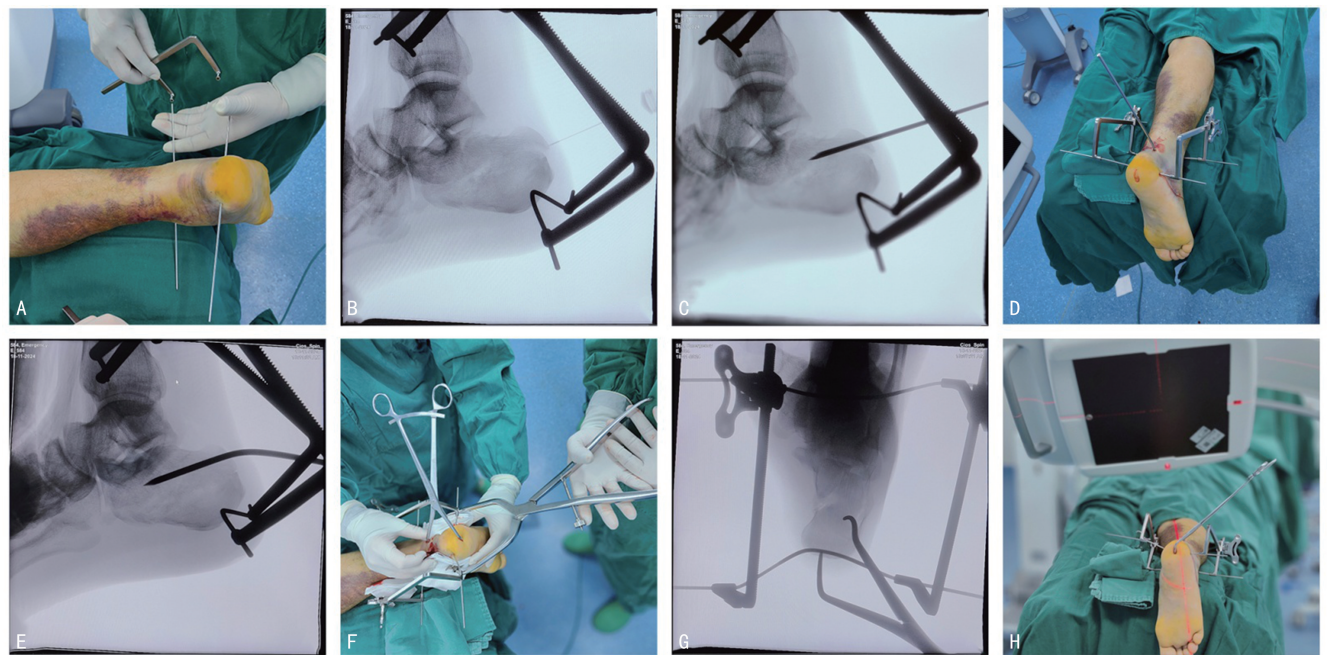
置入导针, 随后 C 臂 X 射线机侧位、轴位及 Bro-

den 位验证置针准确性,必要时进行调整。沿导针置入空心全螺纹无头加压螺钉,尽量将螺钉包埋于骨皮质下,生理盐水冲洗,全层缝合,无菌敷料加压包扎。

1.2.5 术后处理与随访

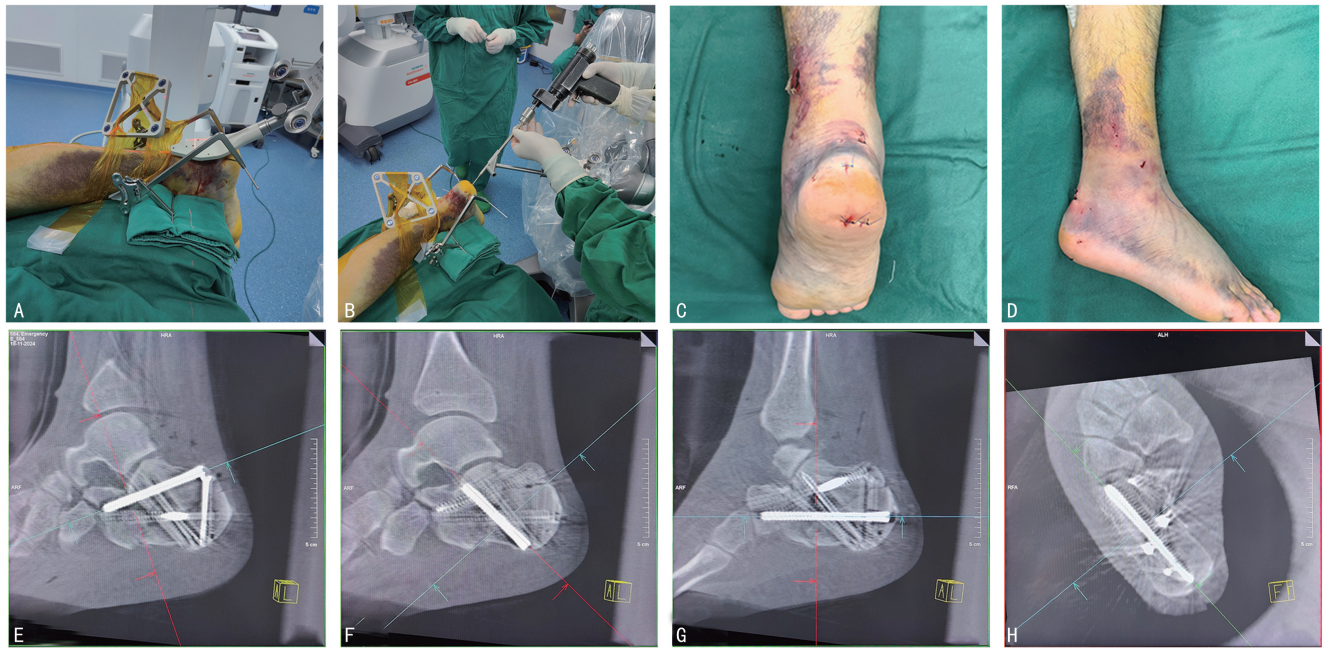
术后卧床休息,抬高患肢、冰敷、脱水、消肿、镇痛,注射那屈肝素钙注射液抗凝。术后 48 h 抗生素预防感染,术后复查跟骨侧位及轴位 X 线片;术后 24 h 使用自粘绷带包扎后开始足趾及有限角度踝关节主

动屈伸活动,术后第 3~5 天开始踝泵训练,手术切口干燥即可出院。术后 1 周肿胀消退后开始拄拐下床不负重活动。术后 4 周后开始加强踝关节功能锻炼。术后 12 周内每 4 周门诊复查 X 线片评估骨折愈合情况,并指导康复功能锻炼,直至影像学检查骨痂形成,逐步开始负重锻炼,术后 3、12 个月复查跟骨 CT 平扫+三维重建评估负重后跟骨 Böhler 角、Gissane 角、跟骨长度、跟骨高度、跟骨宽度数据变化。



A:置入斯氏针,撑开器撑开,纠正跟骨内翻,恢复跟骨高度;B:撬拨复位入针点透视确认;C~D:撬拨复位跟骨结节骨折块;E:确认关节面复位效果;F:40 cm 骨盆复位钳配以夹片夹持复位跟骨外侧壁;G:跟骨内翻及外侧壁膨出已纠正;H:C 臂 X 射线机透视侧位、轴位及 Borden 位。

图 2 撑开、撬拨、钳夹三步法



A:安装示踪器,完成 3D 扫描,将 3D 图像上传至主控平台;B:机器人引导下置入导针;C、D:完成缝合后切口外观;E~H:3D 扫描验证螺钉位
置及长度,螺钉尾部包埋于皮质下。

图 3 机器人辅助置钉

1.3 收集指标

(1)影像学评价:由未参与手术的医师测量跟骨 Böhler 角、Gissane 角、跟骨长度、跟骨高度、跟骨宽度等影像学指标评估关节面复位情况,每项参数测量 3 次,取平均值用于最终分析,Kendall’s W 系数均>0.9。(2)临床疗效评价:记录并比较患者伤后至手术时间、术中出血量、术中透视次数、切口总长度、手术时间、置入螺钉数、穿刺次数、住院时间、骨折愈合时间、跗骨窦切开辅助复位占比。(3)功能及疼痛评估:术后 3、12 个月采用 AOFAS 踝与后足功能评分进行功能评估,并评价其优良率,其中 90~100 分为优,75~<90 分为良,50~<75 分为可,<50 分为差。优良率=(优患者数+良患者数)/总患者数×100%。记录患者术前及术后 1 d、3 d、1 个月疼痛视觉模拟量表(visual analogue scale,VAS)评分。(4)并发症:比较患者术后切口皮缘坏死、切口感染、切口延迟愈合、外踝下方疼痛、腓肠神经损伤、创伤性关节炎、足底疼痛发生率,评价手术安全性。

1.4 统计学处理

采用 SPSS21.0 软件对数据进行统计学处理。正态分布的计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,手术前后比较采用配对样本 t 检验,组间比较采用独立样本 t 检验;非正态分布的计量资料以 $M(Q_1,Q_3)$ 表示,组间比较使用秩和检验。计数资料采用例数或百分比表示,比较使用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 两组影像学参数比较

本研究纳入患者均复位满意,并且内固定坚强可靠,均获 12 个月以上随访。两组术前 Böhler 角、Gissane 角、跟骨高度、跟骨宽度及跟骨长度比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。在术后 3、12 个月,两组以上指标均较术前改善($P<0.05$),但组间比较差异无统计学意义($P>0.05$),见表 1。

2.2 两组围手术期结果比较

观察组围手术期的术中出血量、术中透视次数、手术时间及穿刺次数均低于对照组($P<0.05$),两组的伤后至手术时间、切口总长度、置入螺钉数、住院时间、骨折愈合时间比较,差异无统计学意义($P>0.05$),见表 2。观察组跗骨窦切开辅助复位 2 例(6.06%),对照组跗骨窦切开辅助复位 1 例(5.26%),两组比较差异无统计学意义($P>0.05$)。

2.3 两组 AOFAS 踝后足功能及 VAS 评分比较

术后随访,观察组术后 3 个月 AOFAS 踝与后足功能评分高于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$);术后 12 个月两组 AOFAS 踝与后足功能评分比较,差异无统计学意义($P>0.05$);观察组术后 1、3 d 及 1

个月 VAS 评分明显低于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$),见表 3。

2.4 两组治疗后功能优良率比较

两组患者术后 12 个月 AOFAS 踝与后足功能评分优良率比较,差异无统计学意义($P=0.611$),见表 4。

表 1 两组患足手术前后影像学参数比较($\bar{x}\pm s$)

项目	观察组 (<i>n</i> =33)	对照组 (<i>n</i> =19)	<i>t</i>	<i>P</i>
Böhler 角(°)				
术前	12.48±2.29	11.79±2.80	0.971	0.336
术后 3 个月	29.91±2.92 ^a	29.74±2.60 ^a	0.213	0.836
术后 12 个月	29.09±2.94 ^a	29.00±2.92 ^a	0.108	0.914
Gissane 角(°)				
术前	101.82±8.33	101.47±6.25	0.169	0.867
术后 3 个月	131.73±4.25 ^a	130.63±4.35 ^a	0.888	1.096
术后 12 个月	131.00±4.32 ^a	130.00±4.32 ^a	0.767	0.947
跟骨高度(mm)				
术前	33.33±2.93	34.11±2.58	0.954	0.345
术后 3 个月	42.21±3.26 ^a	41.37±3.22 ^a	0.903	0.371
术后 12 个月	41.45±3.10 ^a	40.42±2.91 ^a	1.182	0.253
跟骨宽度(mm)				
术前	42.15±2.62	42.21±2.55	0.079	0.937
术后 3 个月	36.73±2.13 ^a	36.47±2.67 ^a	0.377	0.708
术后 12 个月	37.33±2.09	37.84±2.81	0.744	0.460
跟骨长度(mm)				
术前	67.42±3.32	67.11±3.48	0.328	0.744
术后 3 个月	80.06±3.03 ^a	80.37±2.87 ^a	0.359	0.721
术后 12 个月	79.52±3.11 ^a	79.32±2.91 ^a	0.228	0.821

^a: $P<0.05$,与同组术前比较。

表 2 两组围手术期结果比较($\bar{x}\pm s$)

项目	观察组 (<i>n</i> =33)	对照组 (<i>n</i> =19)	<i>t</i>	<i>P</i>
伤后至手术时间(d)	2.97±1.24	2.74±1.20	0.662	0.511
术中出血量(mL)	11.55±2.84	15.79±5.58	3.091	0.005
术中透视次数(次)	17.36±2.30	24.58±3.32	8.380	<0.001
切口总长度(mm)	19.82±12.65	20.00±12.47	0.042	0.967
手术时间(min)	70.76±14.13	93.58±12.89	5.784	<0.001
置入螺钉数(枚)	4.12±0.33	4.11±0.32	0.170	0.866
穿刺次数(次)	1.00±0.00	3.96±1.14	6.900	<0.001
住院时间(d)	5.12±1.60	5.00±1.33	0.279	0.781
骨折愈合时间(周)	11.33±0.96	11.26±1.05	0.246	0.807

表 3 两组 AOFAS 踝与后足功能及 VAS 评分比较(分)

组别	n	AOFAS 踝与后足功能评分($\bar{x}\pm s$)		VAS 评分[M(Q ₁ ,Q ₃)]			
		术后 3 个月	术后 12 个月	术前	术后 1 d	术后 3 d	术后 1 个月
观察组	33	87.06±5.63	90.33±4.82	7(6,9)	4(3,4)	1(1,2)	0(0,1)
对照组	19	76.37±8.34	88.21±11.18	8(6,9)	5(4,6)	2(2,3)	1(1,2)
t/Z		5.512	0.953	0.183	3.681	4.211	3.564
P		<0.001	0.345	0.854	<0.001	<0.001	<0.001

表 4 两组功能优良率比较

组别	n	优 (n)	良 (n)	可 (n)	差 (n)	优良[n(%)]
观察组	33	25	7	1	0	32(96.97)
对照组	19	13	4	1	1	17(89.47)

2.5 两组术后并发症发生情况比较

表 5 两组术后并发症发生情况比较(n)

组别	n	切口皮缘坏死	切口感染	切口延迟愈合	外踝下方疼痛	腓肠神经损伤	创伤性关节炎	足底疼痛	合计
观察组	33	0	0	0	0	0	1	1	2
对照组	19	0	0	0	2	0	2	2	6

3 讨 论

跟骨骨折为临床常见骨折,其中 75%涉及关节面损伤^[5]。研究表明,恢复 Böhler 角、Gissane 角、跟骨长度、跟骨高度、跟骨宽度等解剖形态是降低距下关节炎、畸形愈合及创伤性关节炎等术后并发症发生率的关键^[6-8]。近年来,经皮复位通道螺钉技术的突破为微创治疗 SandersⅢ、Ⅳ型跟骨骨折解决了术前消肿时间长、跟骨内翻角纠正困难、反复透视、切口创伤大、皮肤软组织并发症多等问题^[4-6,9],但该术式存在徒手置钉准确率低的问题。骨科机器人辅助手术具有微创、精准、损伤小、并发症少等特点,在治疗跟骨骨折时可大幅提高置钉准确率^[10]。多项研究报道骨科机器人辅助置钉治疗 SandersⅡ、Ⅲ型跟骨骨折获得了满意疗效^[11-16],多数学者认为 SandersⅣ型跟骨骨折为四部分骨折,经皮复位困难,建议切开复位。故本研究收集经皮复位 SandersⅢ、Ⅳ型跟骨骨折患者,探究一期经皮复位联合机器人辅助置钉的优势,结果显示该术式可明显减少术中出血量、术中透视次数、手术时间及穿刺次数,提高 AOFAS 踝与后足功能评分优良率,降低术后早期疼痛 VAS 评分,疗效满意。

本研究所采用的术式主要有以下优势:(1)手术时机早。该术式不受软组织条件影响,在断端未形成纤维瘢痕前(<1 周)进行复位,以获得最佳复位效果^[17]。(2)微创。通过撑开器解锁关节面关键骨块,

观察组及对照组均无切口皮缘坏死、切口感染及切口延迟愈合及腓肠神经损伤患者。观察组外踝下方疼痛、创伤性关节炎、足底疼痛并发症总发生率明显低于对照组(6.07% vs. 31.58%),差异有统计学意义($\chi^2=4.231,P=0.040$)。其中外踝下方疼痛及足底疼痛经封闭治疗后均好转,见表 5。

SandersⅢ型跟骨骨折两点撑开仅有置钉点及撑开器入钉、出钉点损伤。部分 SandersⅣ型跟骨骨折偶有经皮三点撑开复位法也无法获得的良好关节面复位效果,此时需行跗骨窦辅助切口,直视下恢复跟骨距下关节面、外侧壁解剖形态,纠正跟骨内翻,减少后期出现创伤性关节炎、外踝下方疼痛发生率^[7]。(3)精准。骨科机器人通过 3D 扫描影像规划置钉路径,结合机械臂的毫米级操作精度^[18],实现精准置钉,缩短单枚螺钉置入时间,减少术中透视次数,提升效率。而徒手置钉易因多次调整造成骨量丢失,削弱局部稳定性。(4)手术时间短。机器人辅助置钉的手术时间较徒手置钉明显缩短,手术时间越短,并发症越少,术后恢复越好。这与 WANG 等^[19]报道一致。(5)术中出血少。机器人辅助置钉平均出血量较徒手置钉术减少。(6)住院时间短。PENG 等^[20]报道经皮复位内固定创伤小、恢复快,较开放手术的平均住院时间明显缩短。而机器人辅助置钉进一步提高置钉准确率,减少损伤,加速术后康复,缩短住院时间。(7)并发症发生率低。所有病例均无切口感染、切口皮缘坏死及腓肠神经损伤等切口并发症。骨科机器人辅助置钉治疗 SandersⅣ型跟骨骨折较徒手置钉能明显降低术后发生外踝下方疼痛、创伤性关节炎和足底疼痛发生率^[21]。另有学者统计年龄、吸烟、糖尿病、手术时间、手术操作本身、使用止血带时间及术后未进行引流亦是伤口并发症的危险因素^[22],临床还需多关注。(8)

功能锻炼时间早、恢复快。机器人置钉精准、内固定稳定可靠,可早期功能锻炼。李景光等^[23]研究指出,早期功能锻炼及负重活动可使距下关节光滑匹配定型,减少关节面残余移位,减轻创伤性关节炎症状。(9)易掌握。虽然经皮复位联合机器人辅助置钉治疗跟骨骨折有一定学习曲线,但学习成本低,曲线平滑,临床医师能够很好地掌握该项技术,有利于技术的推广。

当然,经皮复位联合机器人辅助置钉技术临床应用中也存在一定局限性。(1)骨科机器人设备购置费高昂,精密且维修保养复杂,仅适用于部分经济条件较好的地区或医疗机构。(2)骨科机器人辅助费用较高,全国仅北京地区将骨科机器人辅助手术项目列入医保甲类,其配套材料列入医保乙类,按比例报销。(3)通道规划前 3D 扫描影像采集相对 C 臂 X 射线透视辐射剂量更大。(4)不合理的空间螺钉规划可能有距下关节骨折移位的风险,期待 AI 与骨科机器人强强联合,自动规划复位通道及合理的螺钉空间构型。(5)软组织条件差、跟骨外形丢失、消肿时间>1 周的 SandersⅣ型跟骨骨折关节面骨块难以经皮解剖复位,此时需要跗骨窦切口辅助复位。(6)经皮复位技术对主刀医师要求较高,对该术式不熟悉可能导致手术时间延长。

对于经皮复位机器人辅助置钉治疗 SandersⅣ型跟骨骨折的疗效、并发症等缺乏国内外文献及大样本统计学数据支撑,存在争议。张军等^[11]认为 SandersⅣ型跟骨骨折骨块小、分布复杂、生物力学稳定性差,无法很好地固定及维持复位,不适用本术式。但是,张广等^[14]使用该术式治疗 69 例跟骨骨折,其中有 SandersⅣ型 5 例,术后 12 个月 AOFAS 踝与后足功能评分优 4 例、良 1 例,均获良好预后。这与本研究结果类似,但还需加大样本量及长期随访数据进一步验证其长期效果。

综上所述,一期经皮复位恢复跟骨解剖学形态、重建跟骨稳定性、减轻断端对微循环的持续性压迫,为术后快速康复提供稳定环境。骨科机器人辅助精准置钉切口小、手术时间短、减轻了皮肤软组织血运破坏,在治疗跟骨骨折中可获得更低的早期 VAS 评分和更高的 AOFAS 踝与后足功能评分,临床疗效确切、安全、精准、微创,具有一定的临床意义。

参考文献

[1] WILMSEN L, NEUBERT A, WINDOLF J, et al. Screw fixation in the treatment of displaced intra-articular calcaneus fractures: a systematic review protocol[J]. Syst Rev, 2022, 11(1):199.

[2] RAMMELT S, ZWIPP H. Calcaneus fractures:

facts, controversies and recent developments [J]. Injury, 2004, 35(5):443-461.

[3] JOSEPH N M, BENEDICK A, MCMELLEN C, et al. Acute fixation of displaced intra-articular calcaneus fractures is safe using the sinus tarsi approach [J]. J Orthop Trauma, 2021, 35(6):289-295.

[4] 张学全, 曾金莲, 曾参军, 等. 数字技术辅助下微创治疗Ⅱ、Ⅲ型跟骨骨折[J]. 实用骨科杂志, 2017, 23(12):1146-1149.

[5] KAMATH K R, MALLYA S, HEGDE A. A comparative study of operative and conservative treatment of intraarticular displaced calcaneal fractures[J]. Sci Rep, 2021, 11(1):3946.

[6] DRIESSEN M L S, VERSTAPPEN C, POEZE M, et al. Treatment of displaced intra-articular calcaneal fractures: a single-center experience study with 20 years follow-up[J]. Injury, 2022, 53(10):3535-3542.

[7] CHO J, KIM J, KANG E M, et al. Surgical treatment using sinus tarsi approach with anterolateral fragment open-door technique in sanders type 3 and 4 displaced intraarticular calcaneal fracture[J]. Int J Environ Res Public Health, 2021, 18(19):10400.

[8] 张博禹, 张俊国, 谢文勇, 等. 跟骨骨折术后距下关节炎与足部功能预后的危险因素分析[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2022, 15(12):958-963.

[9] 蒋代翔, 饶鑫, 鲁辉, 等. 空心螺钉固定 SandersⅡB型跟骨骨折的有限元研究[J]. 中华创伤骨科杂志, 2024, 26(7):618-625.

[10] 田伟. 医用机器人的发展现状[J]. 中华医学杂志, 2021, 101(5):374-378.

[11] 张军, 胡延春, 白云亭, 等. 骨科机器人辅助经皮撬拨治疗跟骨骨折[J]. 中国微创外科杂志, 2022, 22(4):313-317.

[12] 袁心伟, 张斌, 胡豈, 等. 机器人辅助下跟骨骨折内固定与传统切开复位内固定对比研究[J]. 中国修复重建外科杂志, 2021, 35(6):729-733.

[13] 徐俊华, 王子健, 张奕, 等. 天玑骨科机器人辅助与传统切开复位内固定治疗跟骨骨折的临床对比研究[J]. 重庆医学, 2024, 53(6):850-854, 860.

[14] 张广, 肖爱国, 王张伟, 等. 改良闭合复位联合机器人辅助置钉治疗跟骨骨折的疗效评价[J]. 实用骨科杂志, 2024, 30(7):649-652.

[15] 李川, 阮默. 手术机器人在骨科领域中的应用及发展[J]. 中华创伤骨科杂志, 2021, 23(3):272-276.