

# 骨科机器人辅助经皮撬拨治疗跟骨骨折\*

张 军 胡延春\*\* 白云亭 李 虎 付生龙

(济南市第五人民医院骨科, 济南 250022)

**【摘要】** **目的** 探讨骨科机器人辅助经皮撬拨复位螺钉内固定治疗跟骨骨折的疗效。 **方法** 选取 2019 年 5 月~2021 年 5 月 32 例(35 足)跟骨关节内骨折, Sanders II 型 22 足, III 型 13 足。骨科机器人辅助设计规划螺钉方向和进针点, 经皮撬拨复位后行螺钉内固定。 **结果** 随访 13~25 (18.4 ± 2.9) 月。均达到骨性愈合, 美国足踝矫形外科协会 (American Orthopaedic Foot and Ankle Society, AOFAS) 踝-后足评分优良率 94.3% (33/35)。无切口感染、皮肤坏死、皮下积液、深静脉血栓等并发症。 **结论** 骨科机器人辅助行经皮撬拨复位螺钉内固定治疗跟骨骨折, 精准, 安全, 高效。

**【关键词】** 骨科机器人; 撬拨复位; 跟骨骨折

文献标识:A 文章编号:1009-6604(2022)04-0313-05

doi:10.3969/j.issn.1009-6604.2022.04.006

**Orthopedic Robot Assisted Percutaneous Joystick in the Treatment of Calcaneal Fracture** Zhang Jun, Hu Yanchun, Bai Yunting, et al. Department of Orthopedics, Jinan Fifth People's Hospital, Jinan 250022, China

Corresponding author: Hu Yanchun, E-mail: 31958515@qq.com

**【Abstract】** **Objective** To investigate the clinical efficacy of percutaneous joystick reduction screw fixation assisted by an orthopedic robot in the treatment of calcaneal fracture. **Methods** A total of 32 patients (35 feet) with intra-articular calcaneal fractures (Sanders type II for 22 feet and III for 13 feet) from May 2019 to May 2021 were selected. The screw direction and needle insertion point were planned by orthopedic robot assisted design, and screw internal fixation was performed after percutaneous joystick reduction. **Results** The follow-up period lasted for 13-25 months (mean, 18.4 ± 2.9 months). All the patients achieved bony healing, and the excellent and good rate of the American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) ankle-hindfoot score reached 94.3% (33/35). There were no complications such as incision infection, skin necrosis, subcutaneous effusion or deep venous thrombosis. **Conclusion** Application of percutaneous joystick reduction screw fixation assisted by an orthopedic robot in the treatment of calcaneal fracture is accurate, safe and efficient.

**【Key Words】** Orthopedic robot; Joystick reduction; Calcaneal fracture

大约 75% 的跟骨骨折为关节内骨折, 累及跟距关节<sup>[1,2]</sup>。许多累及关节的骨折患者恢复期较长, 并且由于慢性疼痛、足踝运动不适、手术并发症等的影响, 无法恢复到受伤前的活动水平<sup>[2]</sup>。由于跟骨形态的特殊性和复杂的关节毗邻关系, 治疗方法很多, 也存在着一定的争议。对移位的骨折多采用传统的外侧扩大切口切开复位钢板内固定, 创伤大, 切口并发症较多<sup>[3]</sup>。已有关节镜辅助经皮撬拨复位

内固定的报道<sup>[4]</sup>, 术中要求多个骨块准确复位, 空心钉精准内固定, 所以手术操作难度高, 可能出现固定不牢固。计算机辅助导航骨科手术 (computer assisted orthopedics surgery, CAOS)<sup>[5]</sup>技术的发展, 为闭合复位、微创内固定跟骨骨折提供了有利条件。2019 年 5 月~2021 年 5 月, 我院采用骨科机器人辅助行经皮撬拨复位螺钉内固定治疗跟骨关节内骨折 32 例(35 足), 取得良好的临床、影像学和功能结

\* 基金项目: 济南市卫生健康委员会科技计划项目(2020-4-53)

\*\* 通讯作者, E-mail: 31958515@qq.com

果,报道如下。

## 1 临床资料与方法

### 1.1 一般资料

本组 32 例,男 28 例,女 4 例。年龄 33~67 岁,(49.8±8.9)岁。右足 20 例,左足 9 例,双足 3 例,共 35 足。损伤机制为高处坠落 30 例,直接碰撞伤 2 例。受伤至手术时间 2~10 d,(5.2±2.0)d。均行 X 线跟骨侧位、正位、轴位摄片,CT 平扫三维重建,诊断跟骨关节内骨折,根据 Sanders 分型<sup>[6]</sup>,Ⅱ型 22 足,Ⅲ型 13 足(AC 型 6 足,BC 型 3 足,AB 型 4 足)。

病例选择标准:①Sanders Ⅱ型、Ⅲ型跟骨骨折;②闭合性骨折;③受伤 14 天之内。

### 1.2 手术方法

均行机器人辅助经皮撬拨复位空心钉内固定手术,其中 3 例辅以跗骨窦小切口。双足受伤者均双侧同时手术。机器人导航系统为北京天智航医疗科技股份有限公司的第三代天玑骨科手术机器人 TiRobot 系统。

1.2.1 术前计划 根据术前影像学资料评估跟骨骨折块数量、位置及大小,明确骨折分型、骨折移位程度。测量 Böhler 角、Gissane 角和跟骨长度;轴位片测量关节面塌陷情况及跟骨宽度。设计骨折复位方向,螺钉的位置、数量和长度等。

1.2.2 手术操作 腰麻硬膜外联合麻醉。健侧卧位(双足骨折先做分型复杂的一侧),健侧屈髋屈膝。在骶骨上打入 Schanz 螺钉,安装机器人示踪器。透视下选取跟骨结节或体部骨块的中心由内向外打入一枚直径 4.0 mm 的斯氏针。沿跟骨长轴向跟骨后下方牵引,助手握住前足,反向牵引并跖屈,恢复跟骨长度,纠正跟骨内翻畸形,并同时解锁体部骨块与关节面骨块的嵌插。透视采集图像传输到机器人操作系统(图 1A、B),助手在电脑上规划确定撬拨尖锥的进针点、方向和深度。红外线追踪相机引导机械臂自跟骨结节上方由后向前置入尖锥,精准打入塌陷的关节面骨块下方,撬起塌陷的跟骨后关节面骨折块(图 1C、D)。注意撬拨方向,防止滑脱。再次透视观察复位效果。根据跟骨后关节面骨块和跟骨结节部骨块的大小,将尖锥敲入前侧骨块,或由足底向距骨打入一枚克氏针临时固定。用加压

装置(2 把点式复位钳)垫纱布垫后于跟骨内外侧相对挤压,复位外侧壁骨折,恢复跟骨宽度(图 1E、F)。采集跟骨侧位和轴位像再次输入机器人操作系统。根据骨折块的大小和位置,助手在电脑操作系统上设计规划螺钉方向和进针点(图 1G),红外线追踪相机引导机械臂打入 3 枚 6.5 mm 全螺纹空心螺钉和 1 枚 4.5 mm 空心钉(图 1H、I、J)。4 枚螺钉的方向:①跟腱内侧由跟骨结节向跟骰关节;②跟腱外侧由跟骨结节向跟骰关节;③足底向距骨;④外侧壁向载距突。缝合切口(图 1K),加压包扎。

1.2.3 术后处理与随访 抬高患肢,应用消肿止痛药物。术后不再应用抗生素。术后第 2 天复查跟骨侧位、轴位 X 线片。术后第 5 天开始不负重状态下足部屈伸功能锻炼。术后 10~12 周根据骨折愈合情况开始负重锻炼。

术后 3 个月、半年、1~2 年定期复查跟骨 X 线片,侧位片观察 Böhler 角、Gissane 角和跟骨长度恢复情况,轴位片观察关节面塌陷及跟骨宽度恢复情况。

末次随访采用美国足踝矫形外科协会(American Orthopaedic Foot and Ankle Society, AOFAS)踝-后足评分系统评价功能恢复情况,对患足的疼痛(40 分)、功能(50 分)及对线(10 分)进行评定,总分 100 分,90~100 分为优,75~89 分为良,50~74 分为可,<50 分为差。

## 2 结果

不同 Sanders 分型的手术数据见表 1。随访 13~25 个月,(18.5±3.0)月,均达到骨性愈合。无切口感染、皮肤坏死、皮下积液、深静脉血栓等并发症。手术前后影像学指标见表 2。末次随访 AOFAS 评分 67~98 分,(89.7±7.4)分。优 22 足,良 11 足,可 2 足,优良率 94.3%(33/35)。手术前后 X 线比较见图 2。

## 3 讨论

由于跟骨特殊的松质骨结构以及较薄的皮质包裹,跟骨骨折解剖结构复杂。Sanders I 型骨折的骨折块无明显移位,可采用外固定保守治疗,而移位的跟骨关节内骨折(Sanders II~IV 型)一般需手术复位,否则将产生比较严重的并发症,预后不良。很多



图 1 手术过程:A、B. 采集图像, 传输到机器人操作平台; C、D. 在机器人导航下, 尖锥置入塌陷的关节面骨块下方, 撬起塌陷的跟骨后关节面骨折块; E、F. 克氏针、点式复位钳辅助复位临时固定骨块; G. 机器人操作平台规划螺钉图像; H、I、J. 机器人导航下精准打入空心钉; K. 手术切口 图 2 手术前后跟骨侧位片:A. 术前, 提示跟骨骨折 Böhler 角变小 ( $0^{\circ}$ ), Sanders 分型 III AC 型; B. 术后第 2 天, 提示 Böhler 角恢复; C. 术后 16 个月取出内固定螺钉

表 1 不同 Sanders 分型的手术数据

Sanders 分型	手术时间 (min)	置钉数量 (枚)	出血量 (ml)	透视次数	跗骨窦辅助切开例数
II 型 (n = 22)	62.8 ± 6.5	4.0 ± 0.5	11.0 ± 4.4	37.0 ± 3.0	0
III 型 (n = 13)	78.5 ± 7.4	4.2 ± 0.7	19.5 ± 5.4	42.8 ± 4.0	3

表 2 手术前后影像学指标 (n = 35)

时间	Böhler 角 (°)	Gissane 角 (°)	关节面最大塌陷 (mm)	跟骨长度 (mm)	跟骨宽度 (mm)	跟骨高度 (mm)
术前	3(-8 ~ 16)	100(83 ~ 113)	6(0 ~ 14)	73(63 ~ 78)	43(33 ~ 60)	36(25 ~ 55)
术后	25(15 ~ 37)	115(93 ~ 134)	0(-2 ~ 2)	77(65 ~ 88)	39(33 ~ 49)	46(41 ~ 56)
末次随访	24(14 ~ 33)	110(92 ~ 122)	0(-2 ~ 2)	76(65 ~ 87)	38(32 ~ 49)	44(39 ~ 51)

多个数据非正态分布,均用中位数(最小值~最大值)表示

微创手术方法用于治疗关节内移位的跟骨骨折,其中经皮撬拨复位螺钉内固定技术具有技术较成熟、创伤小、并发症少、操作简单等特点,是最常用的微创手术方法。关节镜的广泛应用极大地提高了微创治疗跟骨骨折的效果<sup>[7]</sup>。然而微创治疗透视量大,复位不确切,不能牢固固定所有骨块,螺钉的位置、长度无法精准确定,对术者的经验要求非常高。

由于距骨和载距突之间有坚强的韧带,载距突骨折块几乎是“恒定的”,通常处在相对固定的位置。根据 CT 图像可以确定跟骨结节或体部骨块、关节面骨块和前方骨块等关键受力骨块。这使撬拨复位内固定成为可能。术中精准找到关键骨块,使其准确复位、牢固固定,是手术成功的关键。

计算机导航技术在骨科的发展与应用,极大地提高了螺钉置入准确性<sup>[8]</sup>。骨科手术机器人机械臂稳定性好,避免导航状态下进针时徒手操作不稳定的误差;术中在机器人规划系统上模拟置钉,在采集的图像上立体把握螺钉的方向和位置;在跟骨狭小的空间内,一次精准植入 4 枚螺钉,互相之间不交锁、不碰撞,并做到力量平衡,这一点是徒手操作很难达到的。该手术要求操作者对跟骨的解剖结构和三维构造有深入了解,术前对骨折类型和关键骨块的移位方向及其受力点做详细、准确的分析,设计手术方案。通过计算机导航精准地找到骨折复位的关键受力点,仅需在术前、置入导针、置入螺钉 3 个环节透视,避免为达到进针准确而反复透视,极大地节省手术时间,减少放射线暴露<sup>[9,10]</sup>。对机器人操作熟练程度的提高以及对跟骨透视影像机位准确性的提高,可以进一步减少透视次数。由于机器人操

作均为体外操作,学习曲线可以大大缩短。

根据我们的经验,骨科机器人辅助经皮撬拨复位螺钉内固定治疗跟骨骨折主要适用于大部分 Sanders II 型和骨折块较大的 Sanders III 型骨折。其中 Sanders III AC/BC 型骨折,内侧载距突骨块极少移位,中部和外侧骨块较大,利于撬拨,螺钉固定比较稳固。如果累及关节面的外侧壁骨块较薄,从后面进针撬拨困难,可从外侧选取撬拨的进针点。Sanders III AB 型骨折,为了关节面准确复位,可采用跗骨窦小切口辅助复位,植骨支撑后,垂直跟骨纵轴横向打入 4.5 mm 空心钉固定,机器人辅助打入其他螺钉。本组 3 例 III AB 型骨折塌陷明显,外侧和中部骨块较游离,试行尖锥撬拨效果不理想,采用跗骨窦小切口辅助复位。该切口对于提高 Sanders III 型骨折的复位质量有明显优势<sup>[11]</sup>。Sanders IV 型粉碎骨折,骨块较小,分布位置复杂,力学支撑条件差,不能应用本手术方式。

骨科机器人辅助经皮撬拨复位螺钉内固定治疗跟骨骨折精准、安全、高效,克服传统手术方式徒手操作不稳定出现偏差及人员疲劳等缺点,符合现代骨科发展的方向。本研究为回顾性研究,未包括关节外骨折、累及关节面的舌型骨折等特殊类型,且病例数较少,尚需进一步积累经验。另外,骨科机器人价格昂贵,对其技术的推广也有一定限制。

## 参考文献

- 1 Barei DP, Bellabarba C, Sangeorzan BJ, et al. Fracture of the alcaeus. Orthop Clin North Am, 2002, 33(1): 263-285.
- 2 Rammelt S, Zwipp H. Calcaneus fractures: facts, controversies and recent developments. Injury, 2004, 35: 443-461.
- 3 Backes M, Schepers T, Beerekamp MS, et al. Wound infections

- following open reduction and internal fixation of calcaneal fractures with an extended lateral approach. *Int Orthop*, 2014, 38(4): 767 - 773.
- 4 林文琛, 徐耀明, 林伟东, 等. 关节镜辅助下经皮撬拨复位与切开复位内固定治疗跟骨 Sanders II、III 型骨折的疗效比较. *中华创伤杂志*, 2017, 33(2): 178 - 181.
- 5 Digioia AM. What is computer assisted orthopedic surgery? *Clin Orthop*, 1998, 354: 2 - 4.
- 6 Sanders R, Fortin P, DiPasquale T, et al. Operative treatment in 120 displaced intra-articular calcaneal fractures. Results using a prognostic computed tomography scan classification. *Clin Orthop Relat Res*, 1993, 290: 87 - 95.
- 7 丁凯, 凌为其. 距下关节镜辅助下经皮撬拨复位螺钉固定与切开复位内固定治疗 Sander II、III 型跟骨骨折的对比研究. *中国微创外科杂志*, 2021, 21(6): 508 - 512.
- 8 田伟. 医用机器人的发展现状. *中华医学杂志*, 2021, 101(5): 374 - 378.
- 9 李川, 阮默. 手术机器人在骨科领域中的应用及发展. *中华创伤骨科杂志*, 2021, 23(3): 272 - 276.
- 10 洪石, 吴征杰, 李雪, 等. 骨科机器人辅助下经皮螺钉内固定治疗. *中华创伤骨科杂志*, 2019, 21(1): 16 - 21.
- 11 李景光, 章平治. 经跗骨窦小切口与经皮撬拨治疗 Sanders II、III 型骨折的比较. *中国微创外科杂志*, 2020, 20(12): 1100 - 1105.

(收稿日期: 2021 - 09 - 17)

(修回日期: 2022 - 02 - 08)

(责任编辑: 王惠群)