

# 跟骨骨折的微创治疗进展

沈二栋<sup>1</sup>, 周凤金<sup>2</sup>, 严新安<sup>2</sup>, 张 堃<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>西安医学院研工部, 陕西 西安

<sup>2</sup>西安交通大学附属红会医院创伤骨科, 陕西 西安

收稿日期: 2023年8月9日; 录用日期: 2023年9月3日; 发布日期: 2023年9月11日

## 摘 要

跟骨骨折是跗骨最常见的骨折, 其发生率占跗骨骨折的90%左右, 占有所有骨折的2%左右。跟骨骨折的分型已有很多分类, 在临床中通常将Essex-Lopresti分型和Sanders分型相结合来治疗。传统的治疗方法极易导致周围软组织、神经和血管损伤, 而且创伤大、并发症多。但随着对跟骨解剖结构的认识逐渐加深, 微创技术已成为治疗的主要方法。微创治疗跟骨骨折, 可以很好地复位关节, 其切口小、对血供影响小, 而且愈合快。笔者查阅相关文献, 就跟骨骨折的分型和微创治疗进展作一综述, 为跟骨骨折的临床治疗提供一定的参考。

## 关键词

跟骨骨折, 骨折分型, 微创治疗, 机器人

# Advances in Minimally Invasive Treatment of Calcaneal Fractures

Erdong Shen<sup>1</sup>, Fengjin Zhou<sup>2</sup>, Xinan Yan<sup>2</sup>, Kun Zhang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate School, Xi'an Medical University, Xi'an Shaanxi

<sup>2</sup>Department of Orthopaedic Trauma, Honghui Hospital Affiliated to Xi'an Jiaotong University, Xi'an Shaanxi

Received: Aug. 9<sup>th</sup>, 2023; accepted: Sep. 3<sup>rd</sup>, 2023; published: Sep. 11<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

Calcaneal fractures are the most common fracture of the tarsus, accounting for about 90 percent of tarsal fractures and about 2 percent of all fractures. There have been many classifications of calcaneal fractures, and in clinical practice, they are usually treated by combining the Essex-Lopresti classification with the Sanders classification. Traditional treatments are highly likely to cause

\*通讯作者。

damage to the surrounding soft tissues, nerves and blood vessels, and are highly traumatic with many complications. However, with the progressive understanding of the anatomy of the calcaneus, minimally invasive techniques have become the mainstay of treatment. Minimally invasive treatment of calcaneal fractures allows for excellent resetting of the joint with small incisions, minimal impact on the blood supply, and rapid healing. The author reviewed the relevant literature and made a review on the progress of typing and minimally invasive treatment of calcaneal fractures to provide certain reference for the clinical treatment of calcaneal fractures.

## Keywords

Calcaneal Fracture, Fracture Types, Minimally Invasive Treatment, Robots

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

跗骨骨折一直被认为是最难治疗的骨折之一，其可以是高能量创伤，也可以是低能量创伤，但大多数是由高处坠落或挤压所致。虽然跟骨骨折仅占有所有骨折的 2%左右，但它们却占跗骨骨折的 90%左右，并且其中有 80%是关节内骨折[1]。跟骨骨折的患者表现为足跟部剧烈疼痛、肿胀和淤斑明显、足跟部不能着地行走、跟骨压痛等。常伴有脊椎骨折，骨盆骨折等。跟骨骨折具有重大社会影响，其生活质量明显降低[2]。Stiegelmar 等[3]将 28 名足部受伤的患者与 28 名没有足部受伤的类似患者进行比较，发现前者的平均 SF-36 得分为 49，而后者的平均 SF-36 得分为 69。在早期，通过 L 型外侧手术入路使用钢板进行切开复位内固定(ORIF)被认为是 Sanders II 型和 III 型骨折的金标准。然而，由于伤口愈合延迟和皮肤坏死，ORIF 技术的并发症发生率很高(伤口裂开和感染、血管神经损伤、骨膜间隙综合征、跟距关节炎等)。因此，为了避免这些问题，使临床医生不得不去创新更好的治疗方法。在治疗跟骨骨折前，需要鉴别骨折的类型，因此熟悉跟骨骨折分型是极其重要的[4]。维持局部稳定、纠正足跟部畸形、恢复患足正常功能是治疗跟骨骨折的基本原则。而跟骨骨折的治疗目标是恢复后关节面的完整性、跟骨的高度、长度和宽度，达到解剖复位并获得良好的固定，以便早期进行功能锻炼，尤其是避免罕见的切口并发症[5]。现如今，随着技术的进步和观念的不断更新，由于其切口小、对血供影响小、愈合快等特点，微创技术在骨折治疗中受到广泛关注。目前，如何准确诊断跟骨骨折并进行有针对性的治疗是临床医生面临的主要挑战。本文就跟骨骨折分型和微创治疗方法作一综述，为跟骨骨折的临床治疗提供参考。

## 2. 跟骨骨折分型

目前医学上对跟骨骨折的分型已有很多分类。1931 年提出了第一种分类方法，Böhler 根据 X 线片划分两种类型：关节内骨折和关节外骨折[6]。在过去，关节外和关节内骨折首选保守治疗，但随着时间的推移，关节内骨折保守治疗的结果并不理想，可能会伴有严重的功能丧失和残疾；因此，如今的保守治疗应仅用于关节外骨折或特定病例[7]。1952 年，Essex-Lopresti 提出了一种被人们广泛接受的分型方法，主要骨折线总是发生在后小关节，形成 2 个骨折碎片。即包含距下关节型与不包含距下关节型，而又把包含距下关节型划分成舌型骨折与关节压缩型骨折；前者较少发生，被描述为横断面中位于结节小关节下方的继发性骨折线；后者的典型 X 线表现包括 Böhler 角减小、Gissane 角减小、跟骨缩短、跟骨增宽和内翻畸形[8]。1975 年，Soeur 与 Remy 提出了基于受伤作用力的骨折分型，包括垂直压缩力、剪切力

与二者联合作用[9]。1990年, Crosby等[10]在CT扫描下依据后关节面把跟骨骨折简单分型。I型:后关节面骨块没有移位或移位小于2mm; II型:后关节面骨块出现移位但无粉碎; III型:后关节面粉碎的骨折。他们是第一个将分型与CT联系到一起的,这种分型方法在当时对预后提供了临床价值。1992年, Sanders[6]创新了一种新的分型方法,即根据跟骨冠状面和轴位CT图像下看到的骨折块位置和数量划分的, I型为所有无移位的骨折,无论有多少骨折线,均无需手术治疗; II型为两部分的骨折,而依据骨折线的分布位置又分为IIA、IIB、IIC三个亚型; III型为关节内三部分骨折,同样,依据骨折线的分布位置又分为IIIAB、IIIAC和IIIBC; IV型为骨折高度粉碎,常存在超过4个关节内骨折碎片。现如今,临床上往往将Essex-Lopresti分型和Sanders分型结合起来,以对跟骨骨折进行更好的治疗。

### 3. 跟骨的微创治疗

跟骨的解剖形态较复杂,因此增加了治疗难度。在临床上,最佳的手术入路取决于临床医生对不同方法的适应程度、患者的自身情况以及骨折/皮肤软组织特征。对于轻微移位的骨折,保守方法产生了令人满意的结果,但在严重移位或粉碎性骨折中,越来越多的作者倾向于手术治疗,其一般分为复位和固定两部分。跟骨骨折常用的传统治疗方法是螺钉与钢板内固定,但其极易导致周围软组织和神经血管损伤,需等局部的消肿才能进行手术治疗[11],而且创伤大、出血与并发症也多[12]。近些年,为了减少伤口和感染性并发症,微创技术已成为临床治疗的发展趋势,这些较新的方法降低了并发症发生率,并保持了可观的治疗效果。于是,一大批学者开始采用微创方法治疗跟骨骨折并取得了满意的效果。

#### 3.1. 跗骨窦入路内固定

因粉碎较少, Sanders II型及部分 Sanders III型骨折可能是跗骨窦入路的理想适应症。首先需把跟骨内侧塌陷的骨折块恢复到同一关节面。然后,使用克氏针横向穿过跟骨结节进行横向牵引,以矫正跟骨内翻并恢复跟骨的长度。最后,将跟骨外侧壁的骨折块复位,并用克氏针临时固定。经C型臂X线透视后,如果Bohler角与Gissane角复位满意,依次置入锁定钢板和螺钉固定[13]。随着松质骨的重建,跟骨会迅速愈合,而不会失去复位[14]。传统上大部分使用扩展外侧L形入路,该入路可以准确复位距下关节,充分暴露和处理关节内跟骨碎片,容易放置钢板,实现稳定固定。然而,有报道称,其伤口并发症发生率高达30%,包括伤口延迟愈合、感染、裂开和皮瓣坏死[15],现在已经很少使用。而跗骨窦入路的手术时间更短,伤口并发症更少,可以在尽量减少软组织剥离的同时,显示复位关节碎片。而且,还能改善可能受外伤和水肿的软组织包膜状况,以避免腓肠神经损伤[16],因此可采用跗骨窦入路来实现关节面的解剖复位。但跗骨窦入路是一项技术要求更高的手术入路,由于其操作视野有限,可能会对跟骨和距下关节的解剖复位产生影响[17]。

#### 3.2. 外固定架

外固定架对骨折处皮肤软组织条件差及开放性骨折的疗效较好,可以很好的降低对软组织的损伤以及出现并发症的几率。常用的外固定架有Ilizarov支架和撑开式外固定架。在Ilizarov技术中,可以在最小的皮肤切口下对骨折进行复位和稳定骨折块,且不需要大范围的解剖,足内部不会留下任何钢板或螺钉,这会降低伤口深度感染的风险,并且可以提供三平面的稳定固定[18]。撑开式外固定架操作方便,在撑开时也不会有太大的移位及矫正过度,利用胫骨、前足、跟骨的三角力学结构,通过跟骨调节胫骨-前足、胫骨-跟骨结节两个力臂的长度,恢复跟骨的高度(Bohler氏角),调节两杆间的角度,控制跟骨的长度,选择跟骨内外侧进针点控制跟骨结节内翻对线,挤压跟骨内外侧纠正跟骨侧方增宽,并解除对腓骨肌腱的嵌压,预防撞击综合征的发生,至此基本能达到治疗的目标[19]。而在切开复位内固定中,可能

会损伤血管导致血液循环受损。因此,对于皮肤坏死或有水泡时,外固定架的应用优于切开复位内固定[20]。

### 3.3. 关节镜辅助技术

关节镜辅助技术是一种先进且具有挑战性的技术。如今,随着经验的进一步积累,已经越来越多的应用于跟骨骨折的治疗,在术中可以直接看到骨折复位、评估软骨缺陷以及摘除关节内游离体。Wolfram Grün 等人[21]认为关节镜辅助技术是治疗跟骨骨折的一种很有前途的手术技术,它结合了经皮入路的优点,降低了并发症的风险,提供了距下关节后关节面的完整可视化。尤其对于 Sanders II、III 型骨折建议术中应用距下关节镜辅助复位及评估后关节面骨折,可以检测到螺钉的关节穿透,并且使用术中关节镜装置进行,无需额外的专门设备,保证手术疗效,避免剥离外侧壁骨折块,导致血运的二次破坏[22]。然而, Park 等人[23]研究发现,由于距下关节间隙狭窄,在没有医源性软骨损伤的情况下,将关节镜插入距下关节并非易事;因此,在某些情况下,需要在手术切口前设置一个额外的入口,使关节镜水平插入距下关节更容易,并能很好地显示后关节面。关节镜辅助可以使跟骨很好的复位,但需要高水平的专业外科技能,若手术过程操作有误,极易损伤软骨面,因此其受到了一些限制。

### 3.4. 关节融合术

在畸形愈合的跟骨骨折中,解剖结构扭曲,而跟骨较宽、较短,并伴有内翻或外翻排列不良[24][25]。近年来,严重的跟骨畸形愈合的患者需要距下关节融合术来治疗创伤后的跟骨畸形[26]。Sanders IV 型的跟骨骨折复位具有挑战性,骨折严重粉碎,随着时间的推移,复位丢失很常见;因此,对于此类骨折的患者,建议直接进行关节融合术。Stephens 和 Sanders 将跟骨畸形愈合分为三型: I 型畸形愈合的特征是侧壁外生骨疣,无排列不齐,很少或没有距下关节炎; II 型畸形愈合有明显的距下关节炎和内翻畸形  $\leq 10^\circ$ ; III 型畸形愈合与 II 型相似,但内翻畸形大于  $10^\circ$  [27]。1988 年, Carr 及同事首次描述了治疗跟骨畸形愈合的距下关节融合术,其目标为恢复跟骨高度和宽度以改善踝关节活动范围[28]。关节融合术既有效又安全,但融合不良是最令人担忧的并发症之一,为了避免骨不连,通常会增加骨移植。虽然距下关节融合术可以缓解疼痛,但需要考虑由此产生的踝关节生物力学改变,因为该手术可能会使剩余的后足和胫距关节加速退行性变化[29]。

### 3.5. 3D 打印辅助治疗技术

现普遍认为,治疗跟骨骨折的目的是将骨折复位至解剖位置,并通过稳定的固定保持复位直至骨性愈合。为确保这些,对骨折特征的透彻了解和充分的术前准备是必要的先决条件。因此,3D 打印辅助技术是非常有必要的,其特别适用于关节内骨折[30]。3D 打印技术,也称为快速成型技术,基于对健侧和患侧的 CT 扫描结果的比较,提供高质量的射线照相数据,并使用计算机技术协助设计和制造,对跟骨进行三维重建,进而快速准确地直接生成所需任何结构的目标模型,之后在目标模型上进行钉道的设计,来确定拟置入螺钉的方向和长度,以此获得更精确的解剖细节并模拟骨折的复位[31]。近年来,3D 打印技术在临床中得到越来越广泛的应用,并取得了令人满意的结果,为跟骨骨折的治疗提供了新思路。真实的 3D 打印骨折模型有助于诊断,使外科医生能够确定骨折的类型。此外,还可以在体外复制手术,以此来选择合适尺寸和类型的钢板和螺钉,使跟骨达到良好的固定[32]。

### 3.6. 跟骨髓内钉技术

在近些年来,髓内钉技术治疗跟骨骨折也是一个研究的热点,即通过微创后路手术实现跟骨的复位和内固定。该术式适用于 Sanders II、III 型的跟骨骨折,其目标是恢复跟骨的轴线和高度,并允许通过跟骨结节中的骨内隧道减少后小关节面[33],且髓内钉可以提供更好的复位稳定性以及早期恢复负重。2016

年, Falis 等人[34]研究发现, 即采用跟骨髓内钉治疗 17 例跟骨骨折, 术后 AOFAS 评分平均为 82 分, 术后并发症发生率低。2018 年, Fascione 等人[35]应用髓内钉技术治疗 15 例跟骨骨折(包括 Sanders II 型 6 例, Sanders III 型 7 例, Sanders IV 型 2 例), 随访 18 个月, 术后 AOFAS 评分平均为 85 分, 但 2 例 Sanders IV 型出现了软组织损伤。与其他传统的开放式手术相比, 深部感染率明显降低, 使患者能够更快地恢复正常的日常生活。

### 3.7. 经皮球囊扩张术

经皮球囊扩张术是近年来治疗跟骨骨折的一种新兴技术。使用充有造影剂的球囊作为治疗手段的经皮复位技术已在脊柱中使用多年, 最初用作骨质疏松性骨折的治疗, 而最近用于急性创伤中[36]。通过利用类似于椎体压缩性骨折的经皮球囊扩张技术, 将其应用于跟骨关节内骨折的治疗。经皮球囊扩张术采用微创经皮外侧入路, 通过在透视下操作碎片来获得复位, 最后通过注射骨水泥来稳定距下表面。其大部分应用于 Sander II、III 型的跟骨骨折。有研究表明采用经皮球囊扩张复位, 注射硫酸钙植骨治疗 Sander II、III 型的跟骨骨折, 术后效果好, 创伤小, 无需二次取内固定[12]。Labbe 等[37]使用经皮球囊扩张术治疗跟骨骨折, 患者术后恢复良好, 具有较高的治愈率。经皮球囊扩张术创伤小, 出血少, 明显降低了并发症, 可以在术后早期负重并且骨折愈合后不用取内固定, 避免了二次损伤。但由于目前相关文献较少, 临床上应用较少, 其术式需进一步完善。

## 4. 展望

跟骨骨折的精准定位始终是大多数外科医生面临的挑战, 有时甚至也困惑着经验丰富的专家。因此, 手术机器人的面世解决了很大一部分难题。手术机器人作为创新型智能医疗设备, 能在人体腔道、血管和神经密集区域完成精细的手术操作, 具有定位准确、手术创伤小、感染风险低和术后康复快等优点, 因而引起世界的广泛关注[38]。2006 年 12 月, 第一台达芬奇手术机器人在解放军总院装机, 标志着我国手术机器人时代的开启[39]。现如今, 在跟骨骨折的手术中, 我国自主研发的“天玑”机器人应用的越来越多, 这也是微创手术未来发展的方向。“天玑”骨科手术机器人系统由机械臂主机、光学跟踪系统、主控台车 3 个部分组成, 是一种根据手术中的 3D 图像进行手术空间映射和手术路径规划的机器人定位系统[40]。手术机器人最大的优点就是在伤口最小化的情况下来实现手术的精准定位, 使手术变得更加方便、快捷, 并且还有利于减少患者的恢复时间。骨科手术机器人技术经过 30 余年的发展, 成果显著, 精准定位技术精度已达到 1 mm 左右, 可明显减少透视辐射剂量, 提高内植物置入精准度, 已成功应用于骨科手术的诊断、治疗及康复过程, 正在不断地改变着传统的骨科诊疗模式[41]。但由于价格昂贵, 患者接受能力低, 因此, 有待于更进一步的发展。

## 5. 小结

跟骨骨折是最常见的跗骨骨折, 因跟骨承载量大, 因此在人体中起着十分重要的作用。跟骨分型较多, 解剖复杂, 给临床医生带来了许多挑战。传统的切开复位内固定治疗效果好, 但并发症多, 而微创技术可以明显地降低并发症, 且恢复时间短, 因此微创技术成为了发展的主流。根据不同的骨折分型选择不同的手术方式, 在给患者减轻痛苦的同时也达到了满意的效果。

## 参考文献

- [1] Mesregah, M.K., Shams, A., Gamal, O., *et al.* (2020) Clinical and Radiological Outcomes of Minimally Invasive Reduction and Percutaneous K-Wire Fixation for Intra-Articular Calcaneal Fractures. *Orthopedics*, **43**, 97-101. <https://doi.org/10.3928/01477447-20191223-04>

- [2] Alexandridis, G., Gunning, A.C. and Leenen, L.P. (2016) Health-Related Quality of Life in Trauma Patients Who Sustained a Calcaneal Fracture. *Injury*, **47**, 1586-1591. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2016.04.008>
- [3] Stiegelmar, R., McKee, M.D., Waddell, J.P., et al. (2001) Outcome of Foot Injuries in Multiply Injured Patients. *Orthopedic Clinics of North America*, **32**, 93-204. [https://doi.org/10.1016/S0030-5898\(05\)70203-0](https://doi.org/10.1016/S0030-5898(05)70203-0)
- [4] 王小超, 王强, 沈影超. 跟骨骨折的微创手术治疗进展[J]. 局解手术学杂志, 2019, 28(2): 164-168.
- [5] Zhao, B., Zhao, W. and Assan, I. (2019) Steinmann Pin Retractor-Assisted Reduction with Circle Plate Fixation via Sinus Tarsi Approach for Intra-Articular Calcaneal Fractures: A Retrospective Cohort Study. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **14**, Article No. 363. <https://doi.org/10.1186/s13018-019-1405-5>
- [6] Jimenez-Almonte, J.H., King, J.D., Luo, T.D., et al. (2019) Classifications in Brief: Sanders Classification of Intraarticular Fractures of the Calcaneus. *Clinical Orthopaedics and Related Research*<sup>®</sup>, **477**, 467-471. <https://doi.org/10.1097/CORR.0000000000000539>
- [7] Kamath, K.R., Mallya, S. and Hegde, A. (2021) A Comparative Study of Operative and Conservative Treatment of Intraarticular Displaced Calcaneal Fractures. *Scientific Reports*, **11**, Article No. 3946. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83636-9>
- [8] Allegra, P.R., Rivera, S., Desai, S.S., et al. (2020) Intra-Articular Calcaneus Fractures: Current Concepts Review. *Foot & Ankle Orthopaedics*, **5**. <https://doi.org/10.1177/2473011420927334>
- [9] 刘立峰, 蔡锦方. 跟骨骨折的分型与治疗[J]. 中国骨伤, 2004, 17(8): 510-512.
- [10] Crosby, L.A. and Fitzgibbons, T. (1990) Computerized Tomography Scanning of Acute Intra-Articular Fractures of the Calcaneus. A New Classification System. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, **72**, 852-859. <https://doi.org/10.2106/00004623-199072060-00009>
- [11] 曾德妙, 楚明, 蒋俊. 跟骨骨折微创手术治疗策略[J]. 创伤外科杂志, 2020, 22(4): 318-321.
- [12] 马邦兴, 任绍东, 屠永刚, 等. 3D 打印结合微创撬拨克氏针固定在治疗 Sanders II、III 型跟骨骨折中的临床应用[J]. 生物骨科材料与临床研究, 2021, 18(1): 22-26.
- [13] Yao, L.F., Wang, H.Q., Zhang, F., et al. (2019) Minimally Invasive Treatment of Calcaneal Fractures via the Sinus Tarsi Approach Based on a 3D Printing Technique. *Mathematical Biosciences and Engineering*, **16**, 1597-1610. <https://doi.org/10.3934/mbe.2019076>
- [14] Tong, L., Li, M., Li, F., et al. (2018) A Minimally Invasive (Sinus Tarsi) Approach with Percutaneous K-Wires Fixation for Intra-Articular Calcaneal Fractures in Children. *Journal of Pediatric Orthopaedics B*, **27**, 556-562. <https://doi.org/10.1097/BPB.0000000000000532>
- [15] Zhan, J., Hu, C., Zhu, N., et al. (2019) A Modified Tarsal Sinus Approach for Intra-Articular Calcaneal Fractures. *Journal of Orthopaedic Surgery (Hong Kong)*, **27**. <https://doi.org/10.1177/2309499019836165>
- [16] Khazen, G. and Rassi, C.K. (2020) Sinus Tarsi Approach for Calcaneal Fractures: The New Gold Standard? *Foot and Ankle Clinics*, **25**, 667-681. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2020.08.003>
- [17] Peng, C., Yuan, B., Guo, W., et al. (2021) Extensile Lateral versus Sinus Tarsi Approach for Calcaneal Fractures: A Meta-Analysis. *Medicine (Baltimore)*, **100**, e26717. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000026717>
- [18] Emara, K.M. and Allam, M.F. (2005) Management of Calcaneal Fracture Using the Ilizarov Technique. *Clinical Orthopaedics and Related Research*<sup>®</sup>, **439**, 215-220. <https://doi.org/10.1097/00003086-200510000-00037>
- [19] 温必成, 李海江, 邹豪杰, 等. 撑开式复位外固定架微创治疗跟骨骨折的临床应用[J]. 中国矫形外科杂志, 2012, 20(6): 574-576.
- [20] Takahashi, M., Noda, M. and Saegusa, Y. (2013) A New Treatment for Avulsion Fracture of the Calcaneus Using an Ilizarov External Fixator. *Injury*, **44**, 1640-1643. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2013.04.019>
- [21] Grun, W., Molund, M., Nilsen, F., et al. (2020) Results after Percutaneous and Arthroscopically Assisted Osteosynthesis of Calcaneal Fractures. *Foot & Ankle International*, **41**, 689-697. <https://doi.org/10.1177/1071100720914856>
- [22] 王加利, 宋飞远, 陈仲华, 等. 距下关节镜辅助下联合牵开器, 复位器微创治疗 Sanders II、III 型跟骨骨折[J]. 中华创伤骨科杂志, 2020, 22(1): 20-26.
- [23] Park, C.H. and Yoon, D.H. (2018) Role of Subtalar Arthroscopy in Operative Treatment of Sanders Type 2 Calcaneal Fractures Using a Sinus Tarsi Approach. *Foot & Ankle International*, **39**, 443-449. <https://doi.org/10.1177/1071100717746181>
- [24] De Boer, A.S., Van Lieshout, E.M., Den Hartog, D., et al. (2015) Functional Outcome and Patient Satisfaction after Displaced Intra-Articular Calcaneal Fractures: A Comparison among Open, Percutaneous, and Nonoperative Treatment. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, **54**, 298-305. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2014.04.014>
- [25] Guerado, E., Bertrand, M.L. and Cano, J.R. (2012) Management of Calcaneal Fractures: What Have We Learnt over

- the Years? *Injury*, **43**, 1640-1650. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2012.05.011>
- [26] El-Hawary, A., *et al.* (2019) Distraction Subtalar Arthrodesis for Calcaneal Malunion: Comparison of Local versus Iliac Bone Graft. *The Bone & Joint Journal*, **101**, 596-602. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.101B5.BJJ-2018-1306.R1>
- [27] Vila-Rico, J., Ojeda-Thies, C., Mellado-Romero, M.A., *et al.* (2018) Arthroscopic Posterior Subtalar Arthrodesis for Salvage of Posttraumatic Arthritis Following Calcaneal Fractures. *Injury*, **49**, S65-S70. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2018.07.022>
- [28] Carr, J.B., Hansen, S.T. and Benirschke, S.K. (1988) Subtalar Distraction Bone Block Fusion for Late Complications of Os Calcis Fractures. *Foot Ankle*, **9**, 81-86. <https://doi.org/10.1177/107110078800900204>
- [29] Hutchinson, I.D., Baxter, J.R., Gilbert, S., *et al.* (2016) How Do Hindfoot Fusions Affect Ankle Biomechanics: A Cadaver Model. *Clinical Orthopaedics and Related Research*<sup>®</sup>, **474**, 1008-1016. <https://doi.org/10.1007/s11999-015-4671-5>
- [30] Dai, G., Shao, Z., Weng, Q., *et al.* (2021) Percutaneous Reduction, Cannulated Screw Fixation and Calcium Sulfate Cement Grafting Assisted by 3D Printing Technology in the Treatment of Calcaneal Fractures. *Journal of Orthopaedic Science*, **26**, 636-643. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2020.06.008>
- [31] Zhang, L., Lu, C., Lv, Y., *et al.* (2021) Three-Dimensional Printing-Assisted Masquelet Technique in the Treatment of Calcaneal Defects. *Orthopaedic Surgery*, **13**, 876-883.
- [32] Ozturk, A.M., Ozer, M.A., Suer, O., *et al.* (2020) Evaluation of the Effects of Using 3D-Patient Specific Models of Displaced Intra-Articular Calcaneal Fractures in Surgery. *Injury*, **53**, S40-S51.
- [33] Fourgeaux, A., Estens, J., Fabre, T., *et al.* (2019) Three-Dimensional Computed Tomography Analysis and Functional Results of Calcaneal Fractures Treated by an Intramedullary Nail. *International Orthopaedics*, **43**, 2839-2847. <https://doi.org/10.1007/s00264-019-04381-3>
- [34] Falis, M. and Pyszczel, K. (2016) Treatment of Displaced Intra-Articular Calcaneal Fractures by Intramedullary Nail. Preliminary Report. *Ortopedia Traumatologia Rehabilitacja*, **18**, 141-147. <https://doi.org/10.5604/15093492.1205021>
- [35] Fascione, F., Di Mauro, M., Guelfi, M., *et al.* (2019) Surgical Treatment of Displaced Intraarticular Calcaneal Fractures by a Minimally Invasive Technique Using a Locking Nail: A Preliminary Study. *Foot and Ankle Surgery*, **25**, 679-683. <https://doi.org/10.1016/j.fas.2018.08.004>
- [36] Jacquot, F. and Atchabahian, A. (2011) Balloon Reduction and Cement Fixation in Intra-Articular Calcaneal Fractures: A Percutaneous Approach to Intra-Articular Calcaneal Fractures. *International Orthopaedics*, **35**, 1007-1014. <https://doi.org/10.1007/s00264-011-1249-z>
- [37] Labbe, J.L., Peres, O., Leclair, O., *et al.* (2013) Minimally Invasive Treatment of Displaced Intra-Articular Calcaneal Fractures Using the Balloon Kyphoplasty Technique: Preliminary Study. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, **99**, 829-836. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2013.06.008>
- [38] 李治非, 杨阳, 苏月, 等. 我国外科手术机器人研究应用现状与思考[J]. 中国医学装备, 2019, 16(11): 177-181.
- [39] 陈光富, 王希友, 张旭. 达芬奇手术机器人系统在泌尿外科的临床应用及其评价[J]. 微创泌尿外科杂志, 2013, 2(7): 227-231.
- [40] 王恩运, 吴学谦, 薛莉, 等. 外科手术机器人的国内外发展概况及应用[J]. 中国医疗设备, 2018, 33(8): 115-119.
- [41] 韩晓光, 刘亚军, 范明星, 等. 骨科手术机器人技术发展及临床应用[J]. 科技导报, 2017, 35(10): 19-24.