

跟骨骨折畸形愈合的治疗研究现状

刘雪松¹, 刘颖² (通信作者)

(1 滨州医学院烟台附属医院足踝外科 山东 烟台 264199)

(2 滨州医学院附属医院足踝外科 山东 滨州 256600)

【摘要】发生跟骨骨折的患者无论是采用保守治疗还是手术治疗,跟骨骨折畸形愈合的可能性都很高。跟骨骨折畸形愈合通常导致跟骨高度丢失、足内外翻畸形、跟骨外侧壁增宽,可能同时伴有跟腓撞击和腓骨肌腱、腓肠神经刺激。关节面的不完整会导致距下和跟骨创伤性关节炎。对于有疼痛症状的跟骨骨折畸形愈合的患者,需要系统的评估确定疼痛的来源。非手术治疗,如活动康复、支具、矫形器和注射药物,对许多患者有效。手术治疗包括简单的跟骨外侧壁截骨术及其他类型截骨术,此外还包括距下关节融合术、三关节融合术等关节融合术,手术治疗患者满意度较非手术治疗高。当前微创手术、计算机辅助技术、3D打印技术的应用使跟骨骨折畸形愈合的治疗取得重大进展。本文对跟骨骨折畸形愈合的治疗研究进展做一综述,旨在帮助医生选择最合适的术式。

【关键词】跟骨骨折;畸形愈合;研究进展

【中图分类号】R683

【文献标识码】A

【文章编号】2095-1752(2023)19-0026-06

Current research status of treatment for malunion of calcaneal fractures

LIU Xuesong¹, LIU Ying² (Corresponding author)

1 Department of Ankle Surgery, Binzhou Medical University Yantai Affiliated Hospital, Yantai, Shandong 264199, China

2 Department of Ankle Surgery, Binzhou Medical University Affiliated Hospital, Binzhou, Shandong 256600, China

【Abstract】 The possibility of malunion of calcaneal fracture is high in patients with calcaneal fracture, whether they are treated with conservative management or surgery. The malunion of calcaneal fracture usually leads to the loss of calcaneal height, foot valgus deformity, and widening of the lateral wall of the calcaneus, which may be accompanied by heel fibula collision and stimulation of peroneal tendon and sural nerve. Incomplete joint surfaces can lead to traumatic arthritis in the subtalar and calcaneal regions. For patients with painful symptoms of malunion of calcaneal fractures, a systematic assessment is needed to determine the source of pain. Non surgical treatments, such as rehabilitation, braces, orthotics, and injectable medications, are effective for many patients. Surgical treatment includes simple lateral calcaneal wall osteotomy and other types of osteotomy, as well as subtalar joint fusion, three joint fusion, and other joint fusion surgeries. Surgical treatment has a higher patient satisfaction than non-surgical treatment. At present, the application of Minimally invasive procedure, computer Assistive technology and 3D printing technology has made great progress in the treatment of malunion of calcaneal fractures. This article provides a review of the research progress in the treatment of malunion of calcaneal fractures, with the aim of helping doctors choose the most suitable surgical method.

【Key words】 Calcaneal fracture; Abnormal healing; Research progress

跟骨骨折在过去的文献中得到了广泛的关注,因为它是最常见的跗骨骨折,占跗骨损伤的65%,占所有骨折的2%,约75%的跟骨骨折是关节内骨折^[1]。跟骨骨折最常继发于高能量创伤,如从高处坠落或机动车事故。而不恰当的手术治疗、保守治疗、延迟治疗均可能导致跟骨骨折畸形愈合,畸形愈合导致的疼痛、畸形严重影响患者的正常生活和工作,增加患者的经济负担^[2]。

1 跟骨骨折的解剖

跟骨骨折最常继发于高能量创伤,Essex-Lopresti描述创伤通过距下关节传递的力驱动距骨外侧突进入外侧跟骨,主骨折线由距骨外侧突撞击跟骨外侧壁形成,并向后内侧延伸内侧壁,形成一条从内侧上至内侧下的骨折线^[3]。内侧碎片通过跟距韧带固定于距骨,然后力可以从前面进入前关节突。这就形成了外侧结节碎片和内侧支撑片^[4]。继发骨折线源于距骨与跟骨的持续撞击。正如Essex-Lopresti所述,继发性骨折始于Gissane角的

顶点,并在后小关节面后方的上方出现,形成凹陷,或从下方通过粗隆出现,形成舌型骨折^[3]。Carr及其同事建立了跟骨骨折的模型,证实了Essex-Lopresti所描述的骨折解剖^[5]。Sabry等^[6]进一步证实了Essex-Lopresti所假设的机制,即外侧突作为楔子进入跟骨的薄弱区域,形成了原发性和继发性骨折线。由此可见,如果非手术治疗、不恰当的手术治疗均会导致跟骨畸形愈合。

2 跟骨骨折畸形愈合的解剖

了解跟骨骨折畸形愈合的解剖学基础对于治疗跟骨骨折畸形愈合至关重要。距下关节面位移大于2mm会对其承重功能产生明显影响,这也是距下关节相关疾病发生的直接原因^[7]。由于骨折碎片相对于支撑骨向外侧和上侧移位,因此降低了跟骨的高度,同时增加了跟骨的宽度。宽度增加或高度丧失是一种病理性畸形,是跟腓撞击和腓骨肌腱病变或移位的直接原因。跟骨高度的降低具有重要的影响,因为它改变了跟骨杠杆力臂的功

能,使距骨倾斜角和跟距角变平。跟距角的丧失导致前踝关节撞击和足背屈的丧失^[8](见图1、图2)。

3 跟骨骨折畸形愈合的分型

Stephens 和 Sanders^[9]基于冠状位 CT 建立了跟骨骨折畸形愈合的分类系统。该分型完全基于影像学表现,该分型简单易懂,但无法评估跟骨的高度丢失情况,也无法指导术者选择何种术式。Zwipp 和 Rammelt^[10]开发了另一分类系统来指导跟骨骨折畸形愈合的手术治疗,见表1。

4 跟骨骨折畸形愈合的治疗

早期处理跟骨骨折畸形愈合包括非手术方法,以提高患者的舒适度和功能。然而,患有严重畸形或严重外侧撞击的年轻患者从早期手术干预中获益相对于保守治疗来说更多^[11]。

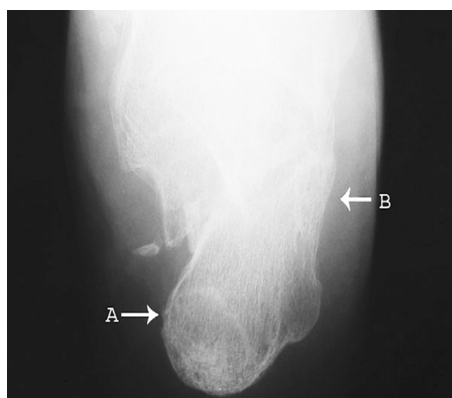
4.1 保守治疗

非手术措施包括改变足部活动方式,选择合适的鞋子形状,矫形器、支具、注射消炎止痛药物等,以此来帮助患者缓解疼痛和功能康复。然而大多数患者并不会长期使用这些笨重的矫形器、支具。非手术治疗通常作为手术治疗的辅助手段会取得更好的疗效。有研究发现一期距下关节融合、跟骨截骨并 Ilizarov 外固定架缓慢牵伸对于陈旧

性跟骨III型畸形愈合患者纠正畸形治疗效果良好^[12]。

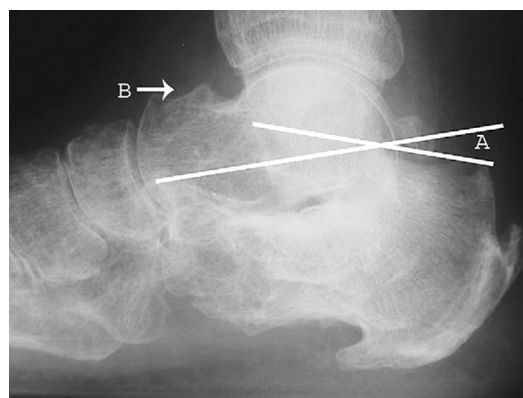
4.2 手术治疗

4.2.1 跟骨外侧壁截骨术 跟骨外侧壁截骨术最适用于外侧壁膨出较大的病例(如 Stephens I 型)(见图3)。外侧壁截骨术可通过外侧入路、距下 Ollier 入路或后外侧纵向切口进行,如果距下关节或跟骰关节的外侧有关节炎,这些部分也可以与外侧壁一起切除。引流管的使用可能有助于减少术后血肿发生的可能性^[13]。外侧壁截骨术可以有效缓解跟腓撞击痛,对于有腓肠神经症状的患者,腓肠神经松解术可与外侧壁截骨术联合进行。杨杰等^[14]使用外侧壁截骨减压术治疗 11 例 Stephens I 型跟骨骨折畸形愈合患者,末次随访时,VAS 评分较术前明显下降。Clare 等^[15]报道了 5 例采用外侧壁截骨术治疗的 Stephens I 型畸形愈合的患者,术后 AOFAS 后足平均评分为 68.2(最高 100),较术前明显改善。Cotton^[16]于 1921 年首次报道通过外侧壁截骨可以减压腓骨下撞击区,改善跟骨外观,是缓解外侧壁撞击和腓骨肌腱炎引起的外侧疼痛的有效方法。外侧壁截骨术可操作性强,当以截骨术作为基础术式,与其他截骨术或关节融合术相结合时,可以获得最佳的手术效果。



注: A—内翻畸形愈合; B—外侧壁膨出。

图1 跟骨骨折畸形愈合的解剖图 1

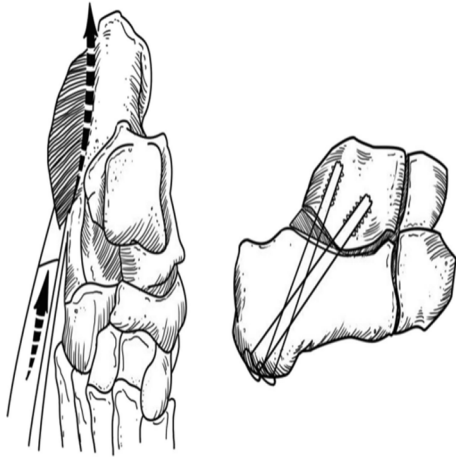


注: A—Bohler角减小; B—前骨赘表示胫骨撞击。

图2 跟骨骨折畸形愈合的解剖图 2

表 1 Stephens 和 Sanders 分型 Zwipp 分型及治疗策略参考

分型	治疗策略
Stephens 和 Sanders 分型	
I 型: 跟骨外侧壁膨出, 无或仅外侧边缘偶发距下关节炎;	骨外侧壁截骨术
II 型: 跟骨外侧壁膨出, 合并广泛距下关节炎;	联合距下关节融合术
III 型: 跟骨外侧壁膨出, 合并严重距下关节炎, 及跟骨后结节残留明显的内侧移位而导致的 大于 10° 的后足内翻畸形。	联合跟骨截骨术
Zwipp 分型	
I 型: 广泛距下关节炎, 跟骨形态无明显改变, 无其他畸形	距下关节原位融合术
II 型: 伴有跟骨内翻或外翻畸形	距下关节植骨融合术
III 型: 伴有跟骨正常高度丢失	距下关节撑开植骨融合术
IV 型: 伴有跟骨结节外移, 但无内外翻畸形;	沿原骨折线截骨矫形及距下关节融合术
V 型: 伴踝穴内的距骨倾斜	重建跟骨截骨及距下关节融合术



注：切除膨出的跟骨外侧壁；截取的骨块做自体骨移植。

图3 外侧壁截骨术

4.2.2 舌型截骨术 舌型截骨术适用于舌型跟骨骨折畸形愈合、伴或不伴有距下关节炎、距下关节面软骨损伤面积小于1/3的跟骨骨折畸形愈合的患者^[17]。舌型跟骨骨折畸形愈合在后关节面前下缘形成舌状碎片，将舌片向上和向后牵拉协调距下关节面。然后用从外侧壁切除的自体移植骨填充关节下的缺损，并用皮质螺钉和跟骨钢板固定跟骨^[18]（见图4）。YU等^[19]采用舌型截骨术治疗24例跟骨畸形愈合患者，AOFAS术前平均评分由28.9分显著提高至85.9分，最终随访的X线片，跟骨形态恢复至接近解剖形态，平均Bohler角、平均Gissane角、平均跟骨长度，平均距跟高度、平均跟骨结节高度，平均跟骨宽度、平均距骨倾斜角较前均有显著改善。舌型截骨术保留了距下关节，后足的活动度得到了很大程度的恢复，但是该技术仍存在术后发生距下关节炎的风险^[19]。还需要进一步的研究和长期的随访研究来评估该手术方式的疗效。

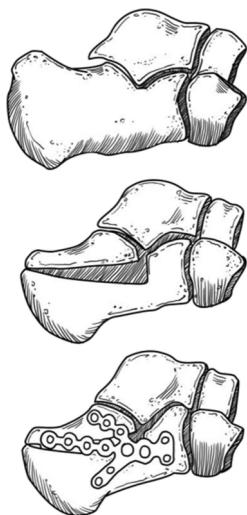


图4 舌型截骨术

4.2.3 Romash 截骨术 1993年Romash等^[20]首次提出截骨术重建原发性骨折线。Romash截骨术的基本原理是通过沿原骨折线行截骨术，像治疗新发骨折一样，对不愈合的骨折进行复位后，对活动的结节进行复位，以恢复距下关节的协调性，使足跟变窄，恢复高度，从而缓解患者痛苦。Romash等^[20]对10例因非手术治疗导致跟骨骨折畸形愈合因而出现后脚疼痛的患者进行了Romash截骨术。平均随访14个月，距跟外侧角平均增加25°（术前19°至术后33°），Bohler角平均增加20°（术前5°至术后26°）。10例患者中有7例的疼痛症状得到缓解。Romash截骨术是治疗跟骨骨折畸形愈合引起的症状的有效方法。该手术的核心是通过截骨术来矫正跟骨畸形，从而重建主要骨折线并恢复骨折碎片。然而，该手术的缺点是术中检测原始骨折线较为困难，术中观察距原骨折时间小于12个月的原发性骨折线较为简单。因此，Romash的方法可能适用于早期畸形愈合的患者。此外，恢复原有跟骨高度还可能会导致软组织覆盖不够。

4.2.4 距下关节原位融合术 距下关节原位融合术适用于畸形程度小，但有明显的距下关节炎（Stephens II型，Zwipp I型）的病例^[21]。距下关节原位融合术可以通过先前用于ORIF的切口或通过从外踝尖到第四跖骨底的跗骨窦切口入路。要注意避免损伤腓浅神经下支和腓肠神经上支。Bednarz等^[22]对28名患者的29只脚进行了距下关节融合术，AOFAS后足平均评分从25分提高到75分（ $P < 0.0001$ ），除1例患者外，其余患者均对结果满意（96%）。其中有4个骨不连2个内翻畸形，值得注意的是，这4例骨不连仅发生在吸烟者中（4/14）。Burton等^[23]在平均随访47个月（25~75个月）的过程中，采用相同的治疗方案治疗了11名患者的13只脚，患者均对结果满意，而且没有出现任何骨不连或内翻畸形。距下原位融合术愈合率高（>90%），患者满意度高，疼痛和功能改善效果明显，并发症发生率低。然而，由于用于距下融合的移植物的骨量有限，因此不建议在严重跟骨高度降低的情况下使用这种技术^[24]。同时某些风险因素已被证实^[25]。吸烟者和高龄患者发生骨不连的风险增加。2糖尿病患者可能容易发生骨不连，并且他们术后的预后往往较差^[26]。

4.2.5 距下关节撑开植骨融合术 距下关节撑开植骨融合术适用于伴有跟骨高度明显下降的跟骨骨折畸形愈合，如Stephens II畸形和Zwipp III畸形^[19]。术中通过撑开距下关节并将髂骨三面皮质骨移植到缺陷的距下关节处可恢复跟骨高度，矫正畸形。移植骨可采取髂骨、跟

骨外侧壁的截骨、冻干骨片、异体骨移植等。近年来,距下关节撑开植骨融合术不断改进,研究发现距下关节炎伴距跟高度明显下降的患者,采用双骨块替代单骨块植骨的中长期预后效果更好。不同形状的双骨块可更有效恢复距跟骨高度,纠正内外翻畸形及对线不齐^[27]。

距下关节撑开植骨融合术在跟骨骨折畸形愈合的治疗中取得了显著进展,但存在术后不愈合的缺点,因此需要进一步研究^[28]。

4.2.6 距下关节原位融合术联合外侧壁截骨术 单纯的距下关节原位融合术通过松解腓骨肌腱、切除跟骨外侧骨赘、松质骨螺钉经跟骨结节固定于距骨治疗距下关节炎,但是有报道称单纯距下关节原位融合术会导致距舟关节运动范围减少,在矢状面上足背屈和跖屈减少56%,在冠状面上内外展功能减少50%~70%,如有必要,该手术可与跟骨外侧壁截骨术相结合。Carr等^[5]报道了距下关节融合术联合跟骨外侧壁截骨术来消除距下关节疼痛、外侧撞击和胫距撞击的案例,1年后,8例患者中有6例获得满意的结果,但有1例不愈合,2例内翻畸形愈合需要再次手术。

4.2.7 距下关节原位融合术联合V形截骨术 跟骨V形截骨联合距下关节融合术治严重的跟骨骨折畸形愈合可有效缓解足部疼痛、矫正距跟高度、恢复距骨倾斜角、降低骨不愈合风险^[29]。田浩栋等^[30]使用距下关节原位融合术联合V形截骨术治疗Stephens II型14例,Stephens III型10例24例患者均获随访,随访时间12~23个月,平均17.1个月。患者足部形态均恢复良好,穿鞋恢复至伤前尺码,无前踝撞击存在。所有患者均获骨性愈合,愈合时间12~18周,平均14.1周。末次随访时,所有患者未发生邻近关节退变;5例行走时足部偶有轻度疼痛,对日常生活及工作无明显影响;无患者需行翻修手术。AOFAS踝与后足评分较术前显著提高,差异有统计学意义($P < 0.001$);获优16例、良4例、中4例,优良率83.3%。VAS评分及跟骨倾斜角、距骨倾斜角、后足力线角、跟骨宽度及距跟高度均较术前明显改善,差异有统计学意义($P < 0.001$)。

4.2.8 三关节融合术 当病变累及距舟关节或/和跟舟关节时,可能需要行距下关节、距舟关节和跟骰关节的关节融合术(即三联关节融合术)。平足畸形和有症状的跟骨畸形愈合的患者可以通过三关节融合术来纠正畸形和解决畸形愈合。三关节融合术可以使跟骨高度恢复,缓解距下关节炎引起的疼痛,但同时会导致后足背伸、跖屈、内外旋等踝关节运动明显受限^[11]。有研究发现三关节融合术对于距下关节不完整及伴有距下关节炎,同

时伴距舟、跟骰关节受损患者,效果优于单纯的距下关节融合术^[9]。

跟骨骨折不愈合后治疗方法有很多,治疗方法在很大程度上取决于伴随的跟骨畸形的程度^[31]。当跟骨骨折距下关节移位较小或进行切开复位内固定重建至接近解剖形态时,对患者的有效治疗可能仅限于距下关节。在这种情况下,可能需要关节镜。当距下关节炎逐步进展时,原位关节融合术是最佳的选择。对于关节面相对完整但移位明显的病例,可以考虑保关节截骨术。当主要畸形为塌陷并伴有跟骨高度下降和踝关节撞击的迹象时,应采用牵张骨块关节融合术来矫正距骨角度。当有冠状面畸形时,如后足内翻,在牵张骨块关节融合术的基础上增加外侧闭合楔形截骨术。在大多数跟骨畸形愈合病例中,应行外侧壁外骨切除术。

4.2.9 新技术在跟骨骨折畸形愈合治疗中的应用

4.2.9.1 基于三维CT解剖重建距下关节撑开植骨融合术 谢坤南等^[32]研究发现三维CT解剖重建距下关节撑开植骨融合术治疗陈旧性跟骨骨折畸形愈合安全有效,相信可以成为治疗陈旧性跟骨骨折畸形愈合的合适手术方式。

4.2.9.2 3D打印辅助跟骨骨折畸形愈合手术 有报道称采用3D打印技术辅助有助于指导术者根据不同患者选择合适的手术方式,减少手术的盲目性,提高手术的准确性,制定更加精确、可靠、合理的个体化治疗方案,从而获得更好的效果^[33]。

4.2.9.3 术前数字化截骨设计及术中截骨导板在治疗跟骨骨折畸形愈合中的应用 雷萌等^[34]研究发现,使用数字技术,术前使用Mimics软件设计跟骨截骨位置,术中使用截骨导板及内固定装置,按照术前制定的截骨方式联合截骨导板进行截骨矫形后置入内固定装置进行固定,与传统手术方式相比,该手术方式手术时间大大减少,大幅提升了手术的精确性和成功率,临床效果较为满意,能够有效提高Stephens-Sanders III型陈旧性跟骨骨折的临床效果,为复杂跟骨畸形愈合患者提供了一种新的有效的手术治疗方式。

4.2.9.4 计算机辅助虚拟手术技术在跟骨骨折畸形愈合术前设计中的应用 研究发现^[35]计算机辅助虚拟手术技术可以帮助外科医生了解跟骨畸形,从而改善术中矫治和重建。应用计算机辅助虚拟手术技术治疗跟骨畸形愈合,可获得满意的临床和影像学结果。

4.2.9.5 关节镜技术在手术治疗跟骨骨折畸形愈合中的应用 关节镜下跟骨切除术和关节镜下通过后踝关节切除跟骨后骨坠的技术适用于关节凹陷型跟骨骨折畸形

愈合引起的跟腓撞击和后踝撞击综合征。该技术的优点创伤小, 瘢痕不影响美观, 软组织破坏少以及可以更直观地评估距下关节状况的能力。该手术的潜在风险包括腓肠神经、腓骨肌腱、或距下后关节损伤和残余撞击等^[36]。JUNG等^[37]使用关节镜技术治疗了2例舌型跟骨骨折畸形愈合的患者, 术后均获得了满意结果, 疼痛较术前均缓解。李杨等^[38]运用关节镜下跟骨骨突切除术或联合关节镜下距下关节融合术等技术治疗23例跟骨畸形愈合患者, 术后 AOFAS 评分及疼痛评分为 [(90.40±6.3) 分] 和 [(1.19±5.9) 分], 较术前 AOFAS 评分 [(37.59±3.5) 分] 和疼痛评分 [(8.89±4.8) 分], 有显著改善。

5 讨论与展望

跟骨畸形愈合由于病理解剖破坏了正常的后足功能。在进行手术前, 需要对患者进行仔细的评估, 包括手术与非手术的选择、手术方式的选择等。适当的手术选择需要了解患者的具体症状与畸形愈合的病理解剖。跟骨骨折畸形愈合的治疗已经有了重大突破, 但缺乏大规模随机对照试验来验证相关治疗方式是否有效、可靠。因此, 在未来的治疗过程中针对不同骨折畸形愈合类型、不同症状、不同满意度要求的患者, 需要制定更加精确、可靠、合理的个性化治疗方案, 从而获得更好的预后效果。

【参考文献】

- [1] ESPINOSA N, VACAS E. Subtalar distraction arthrodesis [J]. *Foot Ankle Clin*, 2018,23(3): 485-498.
- [2] 李逸群, 包杭生, 吴峰, 等. 跟骨骨折畸形愈合治疗现状与展望 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2011,19(8): 643-645.
- [3] ESSEX-LOPRESTI P. The mechanism, reduction technique, and results in fractures of the os calcis [J]. *Br J Surg*, 1952,39(157): 395-419.
- [4] CARR J B. Mechanism and pathoanatomy of the intraarticular calcaneal fracture [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1993(290): 36-40.
- [5] CARR J B, HAMILTON J J, BEAR L S. Experimental intra-articular calcaneal fractures: anatomic basis for a new classification [J]. *Foot Ankle*, 1989,10(2): 81-87.
- [6] SABRY F F, EBRAHEIM N A, MEHALIK J N, et al. Internal architecture of the calcaneus: implications for calcaneus fractures [J]. *Foot Ankle Int*, 2000,21(2): 114-118.
- [7] LIU Y J, LI Z, LI H, et al. Protective effect of surgery against early subtalar arthrodesis in displaced intra-articular calcaneal fractures: a meta-analysis [J/CD]. *Medicine*, 2015,94(45): e1984-e1980.
- [8] REDDY V, FUKUDA T, PTASZEK A J. Calcaneus malunion and nonunion [J]. *Foot Ankle Clin*, 2007,12(1): 125-135.
- [9] STEPHENS H M, SANDERS R. Calcaneal malunions: results of a prognostic computed tomography classification system [J]. *Foot Ankle Int*, 1996,17(7): 395-401.
- [10] ZWIPP H, RAMMELT S. Posttraumatische Korrekturoperationen am Fuss [Posttraumatic deformity correction at the foot] [J]. *Zentralbl Chir*, 2003,128(3): 218-226.
- [11] BANERJEE R, SALTZMAN C, ANDERSON R B, et al. Management of calcaneal malunion [J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2011,19(1): 27-36.
- [12] 谢鸣, 方真华, 赵晶晶, 等. Ilizarov 外固定支架治疗 Stephen III 型陈旧性跟骨骨折畸形愈合 [C]. 泰安: 中国康协肢残康复专业委员会. 第 21 届中国康协肢残康复学术年会暨第二届“泰山杯”全国骨科青年科技创新论坛论文摘要. 2012:1.
- [13] RAMPONI D R, BAKER C. Sever's disease (calcaneal apophysitis) [J]. *Adv Emerg Nurs J*, 2019,41(1): 10-14.
- [14] 杨杰, 梁晓军, 李毅, 等. 保留距下关节治疗 Stephens I 型跟骨骨折畸形愈合 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2020,28(12): 1140-1142.
- [15] CLARE M P, LEE W E III, SANDERS R W. Intermediate to long-term results of a treatment protocol for calcaneal fracture malunions [J]. *J Bone Jt Surg*, 2005,87(5): 963-973.
- [16] COTTON F J. Old os calcis fractures [J]. *Ann Surg*, 1921,74(3): 294-303.
- [17] 田浩栋, 刘承义, 丁楠, 等. 截骨矫形术治疗跟骨骨折畸形愈合的研究进展 [J/CD]. *足踝外科电子杂志*, 2022,9(3): 99-105.
- [18] GUAN X, XIANG D Y, HU Y J, et al. Malunited calcaneal fracture: the role and technique of osteotomy—a systematic review [J]. *Int Orthop*, 2021,45(10): 2663-2678.
- [19] YU G R, HU S J, YANG Y F, et al. Reconstruction of calcaneal fracture malunion with osteotomy and subtalar joint salvage: technique and outcomes [J]. *Foot Ankle Int*, 2013,34(5): 726-733.
- [20] ROMASH M M. Reconstructive osteotomy of the calcaneus with subtalar arthrodesis for malunited calcaneal fractures [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1993(290): 157-167.
- [21] CHANDLER J T, BONAR S K, ANDERSON R B, et al. Results of in situ subtalar arthrodesis for late sequelae of calcaneus fractures [J]. *Foot Ankle Int*, 1999,20(1): 18-24.
- [22] BEDNARZ P A, BEALS T C, MANOLI A. Subtalar distraction bone block fusion: an assessment of outcome [J]. *Foot Ankle Int*, 1997,18(12): 785-791.
- [23] BURTON D C, OLNEY B W, HORTON G A. Late results of subtalar distraction fusion [J]. *Foot Ankle Int*, 1998,19(4): 197-202.
- [24] FAROUK A, IBRAHIM A, ABD-ELLA M M, et al. Effect of Subtalar Fusion and Calcaneal Osteotomy on Function, Pain, and Gait Mechanics for Calcaneal Malunion [J]. *Foot Ankle Int*, 2019,40(9): 1094-1103.
- [25] HUEFNER T, THERMANN H, GEERLING J, et al. Primary subtalar arthrodesis of calcaneal fractures [J]. *Foot Ankle Int*, 2001,22(1): 9-14.
- [26] CHAHAL J, STEPHEN D J G, BULMER B, et al. Factors associated with

- outcome after subtalar arthrodesis [J]. *J Orthop Trauma*, 2006,20(8): 555-561.
- [27] CHUNG H J, BAE S Y, CHOO J W. Mid-term follow up results of subtalar distraction arthrodesis using a double bone-block for calcaneal malunion [J]. *Yonsei Med J*, 2014,55(4): 1087-1094.
- [28] 王善玺, 李军, 黄富国, 等. 距下关节撑开植骨融合术在跟骨骨折畸形愈合治疗中的应用研究 [J]. *中国修复重建外科杂志*, 2017,31(6): 755-759.
- [29] 陆定松, 李鹏, 杨志奎, 等. 跟骨 V 形截骨保关节治疗陈旧跟骨骨折 [J]. *临床骨科杂志*, 2022,25(5): 741-744.
- [30] 田浩栋, 王欣文, 鹿军, 等. V 形截骨联合距下关节融合术治疗 Stephens II、III 型跟骨骨折畸形愈合 [J]. *中国修复重建外科杂志*, 2023,37(3): 296-301.
- [31] EBBEN B J, MYERSON M. Management of the subtalar joint following calcaneal fracture malunion [J]. *Foot Ankle Clin*, 2022,27(4): 787-803.
- [32] 谢坤南, 毕若杰, 马姗姗, 等. 基于三维 CT 解剖重建距下关节撑开植骨融合术治疗陈旧性跟骨骨折畸形愈合临床观察 [J]. *山东医药*, 2020,60(34): 38-43.
- [33] 张波, 陈磊, 韩清奎, 等. 3D 打印辅助跟骨骨折畸形愈合手术重建的意义 [J]. *中华骨与关节外科杂志*, 2020,13(7): 548-554.
- [34] 雷萌. 术前数字化截骨设计及术中截骨导板在单侧 Stephens-Sanders III 型跟骨骨折畸形愈合中的应用 [D]. 武汉: 江汉大学, 2018.
- [35] QIANG M F, ZHANG K, CHEN Y X, et al. Computer-assisted virtual surgical technology in pre-operative design for the reconstruction of calcaneal fracture malunion [J]. *Int Orthop*, 2019,43(7): 1669-1677.
- [36] LUI T H, SIU Y C, NGAI W K. Endoscopic management of calcaneofibular impingement and posterior ankle impingement syndrome caused by malunion of joint depressed-type calcaneal fracture [J/CD]. *Arthrosc Tech*, 2018,7(2): e71-e76.
- [37] JUNG H G, YOO M J, KIM M H. Late sequelae of secondary haglund's deformity after malunion of tongue type calcaneal fracture: report of two cases [J]. *Foot Ankle Int*, 2002,23(11): 1014-1017.
- [38] 李杨, 蒋逸秋, 潘竹, 等. 关节镜下微创手术治疗陈旧性跟骨骨折 [J/CD]. *足踝外科电子杂志*, 2015,2(4): 24-28.

(上接第 25 页)

- rats[J/OL]. *Drug testing and analysis*, 2018,10(7a8). <https://doi.org/10.1002/dta.2365>.
- [14] FANG H, GHOSH S, SIMS L C, et al. FGF21 prevents low-protein diet-induced renal inflammation in aged mice [J/OL]. *Am J Physiol Renal Physiol*, 2021,321(3): F356-F368. <https://doi.org/10.1152/ajprenal.00107.2021>.
- [15] KIM H W, LEE J E, CHA J J, et al. Fibroblast growth factor 21 improves insulin resistance and ameliorates renal injury in db/db mice [J]. *Endocrinology*, 2013,154(9): 3366-3376.
- [16] 章建娜, 张骥, 孙梅, 等. 成纤维细胞生长因子 21 与糖尿病肾病相关性的临床研究 [J]. *浙江医学教育*, 2016,15(4): 45-48.
- [17] YAMAMOTO S, KOYAMA D, IGARASHI R, et al. Serum endocrine fibroblast growth factors as potential biomarkers for chronic kidney disease and various metabolic dysfunctions in aged patients [J]. *Intern Med*, 2020,59(3): 345-355.
- [18] MARCHELEK-MYŚLIWIEC M, DZIEDZIEJKO V, NOWOSIAD-MAGDA M, et al. Chronic kidney disease is associated with increased plasma levels of fibroblast growth factors 19 and 21 [J]. *Kidney Blood Press Res*, 2019,44(5): 1207-1218.
- [19] LOOKER H C, COLOMBO M, HESS S, et al. Biomarkers of rapid chronic kidney disease progression in type 2 diabetes [J]. *Kidney Int*, 2015,88(4): 888-896.
- [20] CHEN Q Z, MA J F, YANG X N, et al. SIRT1 mediates effects of FGF21 to ameliorate cisplatin-induced acute kidney injury [J/OL]. *Front Pharmacol*, 2020(11): 241. <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.00241>.
- [21] WATANABE H, MIYAHISA M, CHIKAMATSU M, et al. Development of a long acting FGF21 analogue-albumin fusion protein and its anti-diabetic effects [J]. *J Control Release*, 2020(324): 522-531.
- [22] ADAMS A C, HALSTEAD C A, HANSEN B C, et al. LY2405319, an engineered FGF21 variant, improves the metabolic status of diabetic monkeys [J/OL]. *PLoS One*, 2013,8(6): e65763. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065763>.
- [23] WENG Y, CHABOT J R, BERNARDO B, et al. Pharmacokinetics (PK), pharmacodynamics (PD) and integrated PK/PD modeling of a novel long acting FGF21 clinical candidate PF-05231023 in diet-induced obese and leptin-deficient obese mice [J/OL]. *PLoS One*, 2015,10(3): e0119104. <https://doi.org/10.1371/journal.pone>.