

· 基础研究 ·

第 1 跖跗关节骨折脱位不同内固定方式对前足足底压力变化的影响

余霄, 庞清江

(宁波市第二医院骨科, 浙江 宁波 315010)

【摘要】 目的:测量第 1 跖跗关节骨折脱位 3 种内固定对前足足底压力的变化, 为选择内固定提供实验参考。**方法:**取 8 具新鲜足标本, 制成第 1 跖跗关节骨折脱位模型, 依次进行 3.5 mm 全螺纹皮质骨螺钉, 1/4 管形钢板及加压骑缝钉固定。经加载 600 N 后, 通过 F-scan 足底压力分析系统, 测量前足足底压力的变化。**结果:**第 1 跖跗关节骨折脱位后, 第 1 跖骨头下的峰值压力将减小, 而第 2 跖骨头下的峰值压力将增大, 差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)。对第 1 跖跗关节分别采用螺钉、钢板进行固定后, 第 1、2 跖骨头下的峰值压力都将趋于正常状态, 而进行骑缝钉固定后, 虽然第 1、2 跖骨头下的峰值压力都有所恢复, 但仍与正常状态比较, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。**结论:**当第 1 跖跗关节骨折脱位后, 邻近跖骨头可能存在着“负荷转移”的调节机制以代偿部分足底压力; 当第 1 跖跗关节骨折脱位采用螺钉和钢板内固定治疗后, 前足足底压力都可恢复至正常状态, 而若采用骑缝钉固定, 则前足足底压力仍难以恢复至正常状态。

【关键词】 跖跗关节; 骨折; 脱位; 骨折固定术, 内; 足底压力; 生物力学

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2015.02.014

Forefoot plantar pressure changes of the first tarsometatarsal joint fracture-dislocation fixation by different internal fixations YU Xiao and PANG Qing-jiang. Department of Orthopaedics, Ningbo No.2 Hospital, Ningbo 315010, Zhejiang, China

ABSTRACT Objective: To measure the changes of plantar pressure of the first tarsometatarsal joint fracture and dislocation by three different implants to provide experimental reference in selecting implants. **Methods:** Eight fresh foot specimens were made into the models of the first tarsometatarsal joint fracture and dislocation, which were fixed with 3.5 mm cortical screw, 1/4 tubular plate and compressive staple in turn. After the loading of 600 N, the changes of the plantar pressure in forefoot were measured by the method of the F-scan plantar pressure system. **Results:** After first tarsometatarsal joint fracture and dislocation, the peak pressure under the first metatarsal head would decrease, while the pressure under the second metatarsal head would increase, whose differences were statistically significant ($P < 0.05$). When the first tarsometatarsal joint was fixed with screw or plate respectively; the peak pressure under the two metatarsal heads would tend to be normal. However, the staple fixation showed the statistical significant difference compared with normal state, although the peak pressure under the first and second metatarsal heads were recovered in some extent ($P < 0.05$). **Conclusion:** After the first tarsometatarsal joint fracture-dislocation, the plantar pressure might be compensated partly by the adjacent metatarsal heads according to the regulation of the load transfer mechanism. While the first tarsometatarsal joint fracture-dislocation was fixated by screw or plate, the plantar pressure of the forefoot would return to the normal state. However, if the joint was fixated by the staple, it would still be difficult to return the plantar pressure to be normal.

KEYWORDS Tarsometatarsal joint; Fractures; Dislocations; Fracture fixation, internal; Plantar pressure; Biomechanics

Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2015, 28(2): 157-161 www.zggszz.com

第 1 跖跗关节是足内侧柱的重要组成部分, 其完整性在负荷的传递和足弓的维持上都具有重要的意义。第 1 跖跗关节损伤后应积极治疗, 恢复中足的

力线, 确保中前足应力传导的顺利进行^[1]。因此, 这也对内固定的选择提出了很高的要求, 尤其在高能量损伤, 有多个跖跗关节骨折脱位的病例中, 一旦内固定选择不当, 则容易引起足部局部的生物力学环境改变, 出现内固定断裂、复位丢失、畸形愈合等并发症^[2]。虽然目前有螺钉、钢板、骑缝钉、克氏针、缝合纽扣等多种材料适合固定跖跗关节, 但它们的适应证还没有形成共识, 而且大多数医生在选择内固

基金项目: 宁波市自然科学基金(编号: 2014A610250)

Fund program: Natural Science Foundation of Ningbo City (No. 2014A610250)

通讯作者: 庞清江 E-mail: pqjey@sina.com

Corresponding author: PANG Qing-jiang E-mail: pqjey@sina.com

定时只重视维持骨折端和关节面的平整,很少注意到若内固定造成了足底压力的异常,也是手术失败的重要原因。事实上,足的部分解剖区域支撑着人体大部分的重量并调节着人体的平衡。而一旦这些部位出现损伤,则可能出现重力支撑和平衡调节障碍,此时若能对这些区域进行足底压力测量,则有助于了解损伤区域及整个足踝部的病理生理学特征,对后续治疗具有重要的参考价值^[3]。鉴于此,本实验选取了第 1 跖跗关节骨折脱位的模型,对螺钉、钢板、骑缝钉固定下前足的足底压力变化进行研究,为第 1 跖跗关节损伤内固定的选择提供实验依据。

1 材料与方 法

1.1 研究对 象

选取新鲜足标本 8 具(同济大学医学院提供),所有标本足外形正常,无足趾缺损,无足部肌肉、韧带和肌腱的损伤及挛缩等病态,经 X 线检查,排除骨与关节的退行性变、骨折、肿瘤、结构性畸形及骨质异常等骨骼疾病。

1.2 实验设备 及器材

2T 扭拉负荷试验机(长春机械科学研究院有限公司);F-scan 离线鞋垫式足底压力分析系统(Tekscan 公司,美国);6 孔 1/4 管形钢板(康辉医疗器械公司),直径 3.5 mm 全螺纹皮质骨螺钉(Synthes 公司,瑞士),CHARLOTTETM 加压骑缝钉(Wright 公司,美国)。

1.3 实验方 法

1.3.1 标本准备 实验前室温下自然解冻标本,切除足背处的皮肤、皮下组织及肌肉,暴露内侧楔骨、中间楔骨、第 1、2 跖骨及连接内侧楔骨与第 1 跖骨基底背侧韧带(图 1)。将踝关节置于跖屈 30°位固定后,将标本倒置于标本固定盒内,用牙托粉包埋后,将标本固定盒置于扭拉负荷试验机底座上固定。根据足标本的左右侧及尺寸选择合适的鞋垫式传感器,将其置于特制平整木板上,再将木板与试验机顶端压板相连,并用胶布固定。调节试验机顶端压板位置,保证加载时鞋垫式传感器仅与前足接触(图 2)。

1.3.2 工况设置 对标本测试分 5 个工况:工况 1,骨-韧带结构正常状态;工况 2,第 1 跖跗关节骨折脱位状态(图 3);工况 3,用 1 枚直径 3.5 mm 全螺纹皮质骨螺钉,经第 1 跖骨基底向内侧楔骨置入,固定第 1 跖跗关节(图 4);工况 4:用 1 块 6 孔 1/4 管形钢板固定(图 5);工况 5:用 1 枚加压骑缝钉固定(图 6)。其中,第 1 跖跗关节骨折脱位模型参照 Alberta^[4]方法,先切断连接内侧楔骨与第 1 跖骨基底部的背侧韧带和跖侧韧带,造成脱位模型,然后再沿第 1 跖骨基底部关节面截骨,造成第 1 跖跗关节的



图 1 标本显露第 1 跖跗关节的背侧韧带(黄色箭头)
Fig.1 The exposure of the dorsal ligament of the first tarsometatarsal joint (yellow arrow)



图 2 标本置于踝关节跖屈 30°位固定下加载,鞋垫式传感器仅与前足接触
Fig.2 The specimen was fixed at the 30° of ankle plantar flexion, the sole transducer could only be contacted with the forefoot

关节内骨折模型,每具标本截骨的方向保持一致。

1.3.3 数据采集 加载前启动 F-scan mobile Clinical 5.26.5 程序,显示足底压力实时监控图像,完成对系统的校正。每个工况都保持从 0~600 N 匀速加载,采用手动触发器启动录像记录模式,提取 600 N 载荷下的足底压力图像,并通过系统自带的计算软件进行足底压力的计算。当一个工况完成加载及数据采集后,即对标本进行下一工况的处理,直至工况全部完成,再开始下一个标本的测试。进行数据分析前,先按系统自带的软件,对前足足底压力分区进行框选,确定主要部位的坐标。

1.4 统计学处理

记录各工况 600 N 载荷下足底各测试位点的峰值压力,以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,用 SPSS 13.0 统计软件进行数据分析,检验水准为 $\alpha=0.05$ 。采用单因素方差分析比较各工况对足底各测试位点的峰值

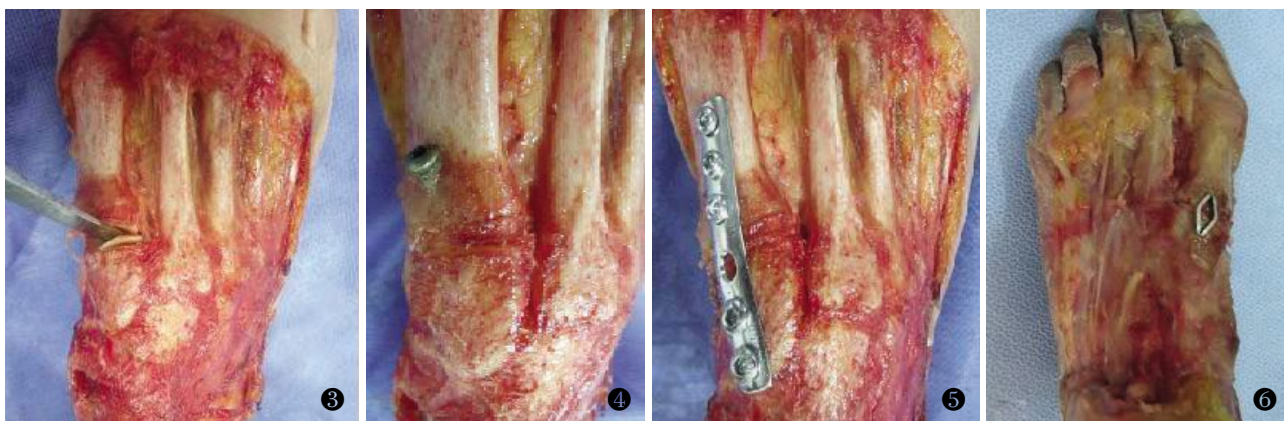


图 3 用截骨和切断韧带的方法建立第 1 跖跗关节骨折脱位模型 图 4 模型在实验过程中用螺钉固定 图 5 模型在实验过程中用钢板固定 图 6 模型在实验过程中用骑缝钉固定

Fig.3 The establishment of the fracture and dislocation model of the first tarsometatarsal joint by osteotomy and cutting the ligaments Fig.4 During the study, the model was fixed by screw Fig.5 During the study, the model was fixed by plate Fig.6 During the study, the model was fixed by staple

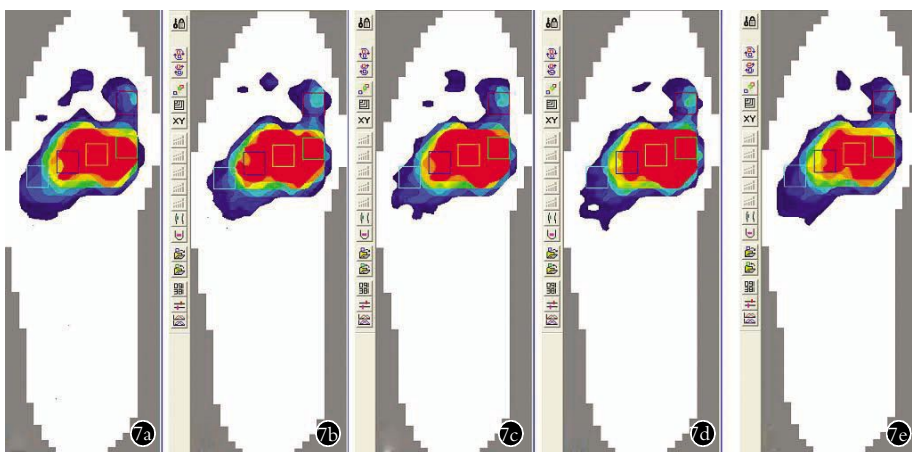


图 7 载荷 600 N 下前足足底压力分布变化图,从红色—黄色—绿色—浅蓝色—深蓝色,压力依次减小 7a. 正常状态下的足底压力分布图 7b. 第 1 跖跗关节损伤后的足底压力分布图 7c. 固定螺钉后的足底压力分布图 7d. 固定钢板后的足底压力分布图 7e. 固定骑缝钉后的足底压力分布图

Fig.7 The plantar pressure distribution in forefoot at 600 N loading, the color from red to yellow, green, light blue to deep blue demonstrated the plantar pressure from large to small 7a. The plantar pressure distribution in the normal state 7b. The

plantar pressure distribution in the state of the first tarsometatarsal joint injury 7c. The plantar pressure distribution in the state of screw fixation 7d. The plantar pressure distribution in the state of plate fixation 7e. The plantar pressure distribution in the state of staple fixation

表 1 载荷 600 N 下足底各测试位点的峰值压力 ($\bar{x} \pm s$, kPa, n=8)

Tab.1 The peak plantar pressure in each test site at the loading of 600 N ($\bar{x} \pm s$, kPa, n=8)

工况	拇趾	第 1 跖骨头	第 2 跖骨头	第 3、4 跖骨头	第 5 跖骨头
工况 1	64.32±11.44	140.88±13.21	216.47±15.04	177.74±12.84	69.47±10.82
工况 2	72.57±11.67	118.08±12.30	242.57±14.33	179.34±12.41	68.27±11.84
工况 3	63.75±12.16	141.78±10.62	216.14±11.15	181.31±13.66	72.48±11.63
工况 4	63.50±12.42	140.56±10.40	216.32±10.55	184.78±12.97	70.21±10.57
工况 5	68.84±10.04	124.37±11.04	236.37±14.17	182.25±13.77	71.08±12.86
F 值	0.746	10.908	5.729	0.254	0.144
P 值	0.570	0.000	0.002	0.904	0.976

注:工况 1,骨-韧带结构正常状态;工况 2,第 1 跖跗关节骨折脱位模型;工况 3,模型螺钉固定;工况 4,模型管形钢板固定;工况 5,模型加压骑缝钉固定

Note: The operating condition 1, normal bone-ligament structure; Condition 2, the 1st plantar hocks fracture dislocation model; Condition 3, the model was fixed by screw; Condition 4, the model was fixed by tubula steel plate; Condition 5, the model was fixed by staple nail

压力,若组间有统计学差异,再进行两两比较。

2 结果

不同工况加载至 600 N 后的足底各测试位点的

峰值压力如图 7 所示。第 1 跖跗关节在正常状态、破坏状态或是内固定状态下,前足的足底峰值压力按从大到小的顺序排列依次为第 2 跖骨头,第 3、4 跖

骨头,第 1 跖骨头,第 5 跖骨头,拇趾(图 7,表 1)。经方差分析,各工况下拇趾,第 3、4 跖骨头,第 5 跖骨头的峰值压力组间无统计学差异($P>0.05$),而第 1 跖骨头及第 2 跖骨头的峰值压力组间比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。

表 1 结果显示,当第 1 跖跗关节损伤后(工况 2),第 1 跖骨头下的峰值压力较工况 1 有所减小,差异具有统计学意义($P<0.05$),而第 2 跖骨头下的峰值压力则较工况 1 有所增大,且差异也具有统计学意义($P<0.05$)。说明破坏第 1 跖跗关节的完整性,将造成第 1 跖骨头下的峰值压力减小,第 2 跖骨头下的峰值压力增加。

当第 2 跖跗关节分别用螺钉(工况 3)、钢板固定后(工况 4),第 1 跖骨头下峰值压力在螺钉、钢板固定后都较工况 2 时增加,差异具有统计学意义($P<0.05$);而第 2 跖骨头下峰值压力在螺钉、钢板固定后都较工况 2 时减小,差异也具有统计学意义($P<0.05$)。但将螺钉固定和钢板固定比较,两者在第 1、2 跖骨头下的足底压力比较差异均无统计学意义($P>0.05$)。说明钢板和螺钉固定被破坏的第 1 跖跗关节后,都能使第 1、2 跖骨头下峰值压力趋向正常时的峰值压力,且钢板和螺钉在恢复第 1、2 跖骨头下峰值压力趋向正常的的能力上无明显差别。

骑缝钉固定后(工况 5),虽然第 1 跖骨头下的峰值压力有所增加,但仍大于工况 1 时的峰值压力,差异具有统计学意义($P<0.05$);而第 2 跖骨头下的峰值压力虽然有所减小,但仍大于工况 1 时的峰值压力,且差异也具有统计学意义($P<0.05$)。而将骑缝钉固定和螺钉固定及钢板固定相比,骑缝钉固定下第 1 跖骨头下的压力较螺钉和钢板固定下第 1 跖骨头下的压力小,而第 2 跖骨头下的压力较螺钉和钢板固定下第 2 跖骨头下的压力大,差异均有统计学意义($P<0.05$)。说明骑缝钉固定虽然能恢复第 1、2 跖骨头下的峰值压力趋向正常,但其恢复第 1、2 跖骨头下的峰值压力趋向正常的的能力与钢板和螺钉相比仍有差异。

3 讨论

3.1 第 1 跖跗关节骨折脱位模型的建立

第 1 跖跗关节脱位按横断面上的方向可分为向背侧脱位和向跖侧脱位,与损伤方式、暴力大小、作用位点、韧带强度等因素有关。而临床上,背侧脱位较跖侧脱位常见^[5]。此外,临床上中足损伤常伴有周围韧带的损伤及合并其他部位骨折,但目前的实验条件无法完全模拟损伤机制造成特定部位的骨折脱位和韧带损伤。因此本实验中,只能通过切断第 1 跖跗关节的背侧韧带和跖侧韧带,并在第 1 跖骨基底

部关节内截骨的方式建立第 1 跖跗关节骨折脱位模型,该模型根据 Myerson 分型为 B1 型损伤。笔者将标本倒置在力学加载机上通过前足足底加载一定的负荷,可观察到第 1 跖骨基底相对于内侧楔骨向背侧移位,以此判断成功建立第 1 跖跗关节骨折脱位模型。在正常的步态周期中,足跟着地开始至站立末期跖跗关节受力逐渐增加,至摆动前期所承受的负荷处于最大,此时踝关节处于跖屈约 15°的体位,但步态较大时,跖屈幅度会增大,而对处于极度跖屈状态的踝关节施加轴向负荷容易引起跖跗关节损伤,因此本实验中将踝关节置于跖屈 30°的体位下进行轴向加载^[6-7]。本实验将最高载荷设定为 600 N(正常成人的体重),事实上,在步态周期中跖跗关节所受的负荷远不止 600 N,但当载荷超过 600 N 后,踝关节跖屈 30°固定容易失败。

3.2 第 1 跖跗关节骨折脱位对前足足底压力变化

足底压力测量技术是运用专门的压力测量工具对人体在静止或动态过程足底压力的力学、几何形态及时间参数等进行测定,从而揭示足底压力分布特征的一种临床检测技术,为临床分析足踝部疾病的病因、病程演变、转归及功能评价提供参考依据。Schepers 等^[8]对 26 例跖跗关节损伤患者进行了步态与足底压力分析,结果发现:与健侧足相比,患侧足前足与地面的接触面积和接触时间均有所减少,而中足的接触面积及峰值压力都有所增加,若这种状态长期得不到纠正,可能是产生中足持续性疼痛的原因之一。但由于作者所纳入的患者跖跗关节损伤的程度和累及范围都有所不同,因此没有阐述跖跗关节损伤后前足足底压力变化情况。鉴于此,在本研究中,笔者先测量了 600 N 载荷下第 1 跖跗关节损伤前后前足足底压力,结果显示当第 1 跖跗关节损伤后,第 1 跖骨头下的峰值压力有所减小,而第 2 跖骨头下的峰值压力有所增大。笔者认为当第 1 跖跗关节骨折脱位后,前足足底压力可能存在着“负荷转移”的调节机制。正常情况下,第 2 跖骨头下的足底压力在位于其下方的脂肪垫及跖筋膜的缓冲、牵拉下具有一定的自身调节能力^[9]。但若出现第 1 跖跗关节不稳,影响第 1 跖骨整体活动度时自身调节机制可能受到损害,第 1 跖骨头触地面积的增大及缓冲负荷能力的减小,可使第 1 跖骨头下的足底压力减小,而其减少部分则可能需要由邻近的拇趾及第 2 跖骨头等部位代偿,尤其是在较高的载荷下,第 2 跖骨头承担的载荷将明显增加。这种“负荷转移”虽然在一定程度上缓解了受损跖跗关节下的压力,但前足其他部位额外增加的足底压力若长期存在可能是造成前跖痛、疼痛性胼胝、跖骨头坏

死、跖腱膜炎、压力性溃疡等并发症的原因^[10-11]。

3.3 不同内固定对前足足底压力的影响

目前在足踝部骨折的复位及复杂畸形的矫正过程中均强调了恢复足底压力的平衡比恢复足部的外形更重要的观点^[12]。Schepers 等^[13]对 21 例跟骨关节内骨折患者的足底压力进行了研究, 结果发现术后患足与健侧足的足底压力仍有显著性差异, 并且足底压力分布与临床效果评分并没有直接的联系, 由此认为, 临床疗效评分并不能完全取代足底压力分析。目前, 足底压力分析也常被用来选择确定合适的内固定及评价手术后的疗效^[14]。笔者对第 1 跖跗关节骨折脱位模型分别采用螺钉、钢板、骑缝钉固定后进行了前足足底压力测量。结果显示: 第 1 跖跗关节分别用螺钉、钢板固定后, 第 2 跖骨头下的峰值压力较骨折脱位状态下都有所减小, 第 1 跖骨头下的峰值压力则较骨折脱位状态有所增大, 且两者都趋向正常状态时的峰值压力。而当用骑缝钉固定后, 虽然第 2 跖骨头下的峰值压力较骨折脱位状态也有所减小, 但仍大于正常状态时的峰值压力。而第 1 跖骨头下的峰值压力虽然有所增加, 但也仍小于正常状态时的峰值压力。上述结果说明, 当第 1 跖跗关节的稳定性得到恢复后, 将再次通过“负荷转移”机制, 将原先由拇趾、第 2 跖骨头等部位承担的额外的负荷重新分配至第 1 跖骨头下, 前足的足底压力将因此而得到平衡。提示第 1 跖跗关节骨折脱位后, 积极采用钢板、螺钉等内固定治疗和精确的解剖复位有助于维持足底压力的平衡, 避免足部病症的出现。根据笔者的临床研究, 骑缝钉在固定背侧和跖侧韧带均损伤的跖跗关节完全脱位时, 可能会出现抗拔出力量不足而造成固定失败^[15], 联系到本实验, 若对第 1 跖跗关节骨折脱位的标本采用骑缝钉固定, 可能只能恢复第 1 跖跗关节的部分稳定性, 这意味着第 2 跖骨头仍需要额外承担一部分压力。由此提示: 临床上应用骑缝钉时应注意其适应证, 尽管骑缝钉固定在第 1 跖跗关节半脱位时具有优势, 但在固定第 1 跖跗关节骨折脱位时却应慎用。

当然, 本文作为生物力学研究且研究对象为尸体标本, 与临床实际可能会存在一定的偏差。由于标本数量有限, 实验时对一个标本进行螺钉、钢板、骑缝钉序贯固定, 可能会影响精确度。未来的研究包括: 增加样本量, 增加内固定种类; 进行有限元分析; 对临床病例进行足底压力测量等进一步研究跖跗关节损伤后的内固定与足底压力的关系。

参考文献

- [1] Arastu MH, Buckley RE. Tarsometatarsal joint complex and mid-tarsal injuries[J]. Acta Chir Orthop Traumatol Cech, 2012, 79(1): 21-30.
- [2] 朱辉, 赵宏谋, 袁锋, 等. 切开复位内固定治疗新鲜跖跗关节损伤的疗效分析[J]. 中国骨伤, 2011, 24(11): 922-925. Zhu H, Zhao HM, Yuan F, et al. Effective analysis of open reduction and internal fixation for the treatment of acute Lisfranc joint injury [J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2011, 24(11): 922-925. Chinese.
- [3] Chevalier TL, Hodgins H, Chockalingam N. Plantar pressure measurements using an in-shoe system and a pressure platform; a comparison[J]. Gait Posture, 2010, 31(3): 397-399.
- [4] Alberta FG, Aronow MS, Barrero M, et al. Ligamentous Lisfranc joint injuries: a biomechanical comparison of dorsal plate and transarticular screw fixation[J]. Foot Ankle Int, 2005, 26(6): 462-473.
- [5] Benirschke SK, Kramer PA. High energy acute Lisfranc fractures and dislocations[J]. Tech Foot Ankle Surg, 2010, 9(3): 82-91.
- [6] Panchbhavi VK, Andersen CR, Vallurupalli S, et al. A minimally disruptive model and three-dimensional evaluation of Lisfranc joint diastasis[J]. J Bone Joint Surg Am, 2008, 90(12): 2707-2713.
- [7] Lorenz DS, Beauchamp C. Functional progression and return to sport criteria for a high school football player following surgery for a lisfranc injury[J]. Int J Sports Phys Ther, 2013, 8(2): 162-171.
- [8] Schepers T, Kieboom B, van Diggele P, et al. Pedobarographic analysis and quality of life after Lisfranc fracture dislocation[J]. Foot Ankle Int, 2010, 31(10): 857-864.
- [9] Ko PH, Hsiao TY, Kang JH, et al. Relationship between plantar pressure and soft tissue strain under metatarsal heads with different heel heights[J]. Foot Ankle Int, 2009, 30(11): 1111-1116.
- [10] Eleftheriou KI, Rosenfeld PF. Lisfranc injury in the athlete: evidence supporting management from sprain to fracture dislocation [J]. Foot Ankle Clin, 2013, 18(2): 219-236.
- [11] Arastu MH, Buckley RE. Tarsometatarsal joint complex and mid-tarsal injuries[J]. Acta Chir Orthop Traumatol Cech, 2012, 79(1): 21-30.
- [12] Eleftheriou KI, Rosenfeld PF, Calder JD. Lisfranc injuries: an update[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2013, 21(6): 1434-1446.
- [13] Schepers T, Van der Stoep A, Van der Avert H, et al. Plantar pressure analysis after percutaneous repair of displaced intra-articular calcaneal fractures[J]. Foot Ankle Int, 2008, 29(2): 128-135.
- [14] Schuh R, Hofstaetter JG, Hofstaetter SG, et al. Plantar pressure distribution after tibiotalar arthrodesis[J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2011, 26(6): 620-625.
- [15] Yu X, Pang QJ, Yang CC. Functional outcome of tarsometatarsal joint fracture dislocation managed according to Myerson classification[J]. Pak J Med Sci, 2014, 30(4): 773-777.

(收稿日期: 2014-11-20 本文编辑: 王玉蔓)