

## · 基础研究 ·

闭合复位外固定架固定治疗合并下胫腓联合分离的  
旋前-外展型三踝骨折的稳定性研究

张琪, 成永忠, 黄晓宇, 陈奕历, 温建民, 蔡静怡, 程灏, 李永耀, 许晶晶, 贺达

(中国中医科学院望京医院, 北京 100102)

**摘要** 目的: 评估闭合复位外固定架固定治疗合并下胫腓联合分离的旋前-外展型三踝骨折的稳定性。方法: 将 7 对踝关节标本行间断骨钻孔后根据受伤机制施加暴力, 制备旋前-外展型三踝骨折模型 14 踝, 其中 3 对(6 踝)踝关节标本合并下胫腓联合分离。将一侧踝关节标本先进行闭合复位外固定架固定, 再进行切开复位接骨板内固定; 另一侧踝关节标本先进行切开复位接骨板内固定, 再进行闭合复位外固定架固定。每次复位固定后, 先后对模型施加 10 Nm、15 Nm、20 Nm 的扭矩外旋足踝, 通过在 X 线片上测定下胫腓联合间隙确定其稳定性。执行完一种固定方式的稳定性测试后, 将标本上固定的外固定架或内固定物完全拆除, 并将踝关节标本恢复至复位固定前的状态, 然后进行另一种固定方式的稳定性测试。比较不同扭矩下两种固定方式对下胫腓联合间隙的影响。结果: 造模后双侧踝关节下胫腓联合间隙比较, 差异无统计学意义[(6.29 ± 2.93) mm, (4.28 ± 1.69) mm,  $t = 0.378$ ,  $P = 0.540$ ]。闭合复位外固定架固定和切开复位接骨板内固定的合并下胫腓联合分离的旋前-外展型三踝骨折, 施加 10 Nm、15 Nm、20 Nm 扭矩后, 两组下胫腓联合间隙的差异均无统计学意义[(5.72 ± 2.46) mm, (5.29 ± 3.58) mm,  $t = 0.246$ ,  $P = 0.811$ ; (5.69 ± 2.72) mm, (6.98 ± 3.05) mm,  $t = -0.773$ ,  $P = 0.458$ ; (5.70 ± 2.95) mm, (6.80 ± 3.20) mm,  $t = -0.618$ ,  $P = 0.551$ ]。结论: 闭合复位外固定架固定治疗合并下胫腓联合分离的旋前-外展型三踝骨折, 其稳定性与切开复位接骨板内固定相当。

**关键词** 踝关节; 外固定器; 骨折固定术, 内; 下胫腓联合; 解剖

**A study of stability of closed reduction and frame external fixation in the treatment of pronation-abduction-type trimalleolar fractures combined with distal tibiofibular syndesmosis separation**

ZHANG Qi, CHENG Yongzhong, HUANG Xiaoyu, CHEN Yili, WEN Jianmin, CAI Jingyi, CHENG Hao, LI Yongyao, XU Jingjing, HE Da

Wangjing Hospital of China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100102, China

**ABSTRACT** **Objective:** To evaluate the stability of closed reduction and frame external fixation in treatment of pronation-abduction-type trimalleolar fractures combined with distal tibiofibular syndesmosis separation. **Methods:** The pronation-abduction-type trimalleolar fracture models (14 ankles) were made by applying violent force to ankle specimens (7 pairs) according to injury mechanism after intermittent bone drilling was performed, and distal tibiofibular syndesmosis separation was found in 3 pairs (6 ankles) of ankle specimens. One of a pair of ankle specimens was treated with closed reduction and frame external fixation, and then the treatment was replaced by open reduction and bone plate internal fixation; while the other one of a pair of ankle specimens was treated by the reversed sequence. After reduction and fixation, 10, 15 and 20 Nm-torques were applied to the models respectively to rotate the ankles outward, and then the stability was determined through measuring the distal tibiofibular syndesmosis interspaces on X-ray films. The two fixation methods were compared with each other in their effect on distal tibiofibular syndesmosis interspace under different torques. **Results:** There was no statistical difference in distal tibiofibular syndesmosis interspace between bilateral ankles after the modeling (6.29 ± 2.93 vs 4.28 ± 1.69 mm,  $t = 0.378$ ,  $P = 0.540$ ). For ankle specimens with pronation-abduction-type trimalleolar fracture and distal tibiofibular syndesmosis separation, there was no statistical difference in distal tibiofibular syndesmosis interspace between therapy of closed reduction and frame external fixation and therapy of open reduction and bone plate internal fixation after 10, 15 and 20 Nm-torques were exerted on them respectively (5.72 ± 2.46 vs 5.29 ± 3.58 mm,  $t = 0.246$ ,  $P = 0.811$ ; 5.69 ± 2.72 vs 6.98 ± 3.05 mm,  $t = -0.773$ ,  $P = 0.458$ ; 5.70 ± 2.95 vs 6.80 ± 3.20 mm,  $t = -0.618$ ,  $P = 0.551$ ). **Conclusion:** Closed reduction and frame external fixation is similar to open reduction and bone plate internal

fixation in stability in treatment of pronation-abduction-type trimalleolar fractures combined with distal tibiofibular syndesmosis separation.

**Keywords** ankle joint; external fixators; fracture fixation, internal; distal tibiofibular syndesmosis; dissection

合并下胫腓联合分离的旋前-外展型三踝骨折, 具有损伤机制复杂、症状严重、复位要求高等特点。临床多采用切开复位内固定治疗, 但术后需取出内固定物, 易发生内固定断裂、切口感染等并发症<sup>[1-2]</sup>。闭合复位外固定架固定是治疗踝关节骨折的重要方式之一, 但在此类骨折中的应用还缺乏相应的基础研究, 使其临床应用受到了一定限制。为此, 笔者研究了闭合复位外固定架固定治疗合并下胫腓联合分离的旋前-外展型三踝骨折的稳定性, 现总结报告如下。

## 1 材料与仪器

7 对成人新鲜完整踝关节标本, 由北京市解剖协会提供。用双层塑料袋密封后冷藏于 -20℃ 冰柜内, 保存待用。常规解剖设备、杆式外固定架(图 1)、微创连孔截骨器(泰州市五研医疗科技开发有限公司), 自行设计的标本固定装置, 内固定器械(6 孔 AO 干骺端钛板、3.5 mm 皮质骨螺钉、3.5 mm 松质骨螺钉、4.0 mm 半螺纹空心拉力螺钉, SYNTHES 公司), Kodak 7100 X 线摄片机(Kodak 公司), Digimizer v4.2.6.0 影像学测量软件(北京环中睿驰科技有限公司), 8 点薄膜压力传感器(TeKscan 公司)。实验方案经医院医学伦理委员会审查通过。

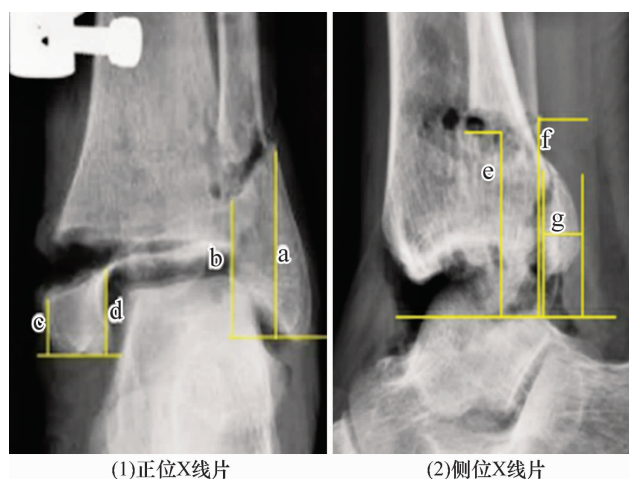


图 1 杆式外固定架

## 2 方法

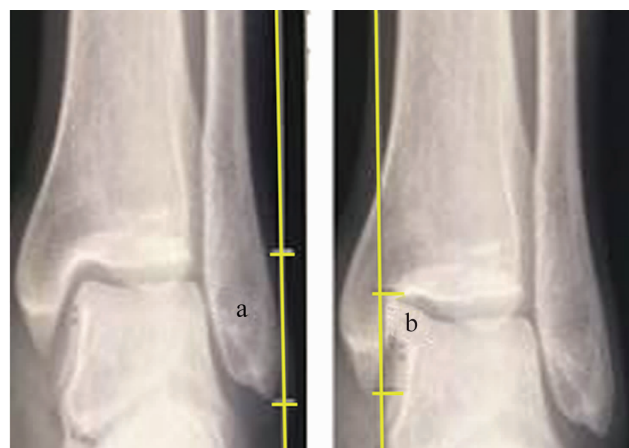
**2.1 骨折造模** 参考文献[3]的方法, 采用在典型旋前-外展型三踝骨折和正常踝关节 X 线片上测量的方法确定截骨位置。在典型旋前-外展型三踝骨折

正侧位 X 线片上分别测量出外踝外高、外踝内高、外踝前高、外踝后高、内踝外高、内踝内高及后踝骨折块厚度(图 2)。踝关节正位片上外踝骨折线外上端和内下端到外踝尖的高度, 即外踝外高和外踝内高; 侧位片上外踝骨折线前下端和后上端到踝尖的垂直高度, 即外踝前高和外踝后高。踝关节正位片上内踝内、外侧到内踝尖的垂直高度, 即内踝外高和内踝内高。踝关节侧位片上后踝骨折块的最大径即为后踝骨折块厚度。在正常踝关节正位 X 线片上测量内、外踝尖到胫骨远端关节面的距离(图 3)。



a 为外踝外高, b 为外踝内高, c 为内踝外高, d 为内踝内高, e 为外踝前高, f 为外踝后高, g 为后踝骨折块厚度

图 2 旋前-外展型三踝骨折参数测量示意图



a 为外踝尖到胫骨远端关节面的距离, b 为内踝尖到胫骨远端关节面的距离

图 3 正常踝关节参数测量示意图

根据 Lauge-Hansen 试验<sup>[4]</sup>得出的结果, 旋前-外展型三踝骨折的外踝骨折线在胫骨远端关节面上

20 ~ 30 mm, 可估计外踝骨折线的范围为 44.03 ~ 55.03 mm, 内踝骨折线为低于胫距关节水平的横形骨折线。与上述测量数据基本一致, 故依照上述测量数据进行截骨。

将踝关节标本自然解冻后根据测量结果确定的骨折线位置, 标记出其体表走形。借助管状微创连孔截骨导向器和直径 3.0 mm 的钻头及克氏针组件沿着标记线钻孔。钻孔结束后, 用 4 根直径 3 mm 的克氏针将踝关节标本固定在标本固定平台的足部固定端, 其中垂直方向以 1 根克氏针穿透胫骨双层皮质, 水平方向间隔 1 孔用 3 根克氏针贯穿胫腓骨固定。固定后将足标本置于旋前位, 造模者用右手握住足跟部, 左手握住足跖趾部, 先给足部一个推力, 模仿足负重时的压力, 同时瞬间施加一个外展暴力, 造成旋前 - 外展型三踝骨折。造模结束后, 拍摄踝关节正侧位 X 线片进行模型验证。经验证, 共有 3 对踝关节标本成功制备为合并下胫腓联合分离的旋前 - 外展型三踝骨折(图 4)。



图 4 造模后踝关节 X 线片

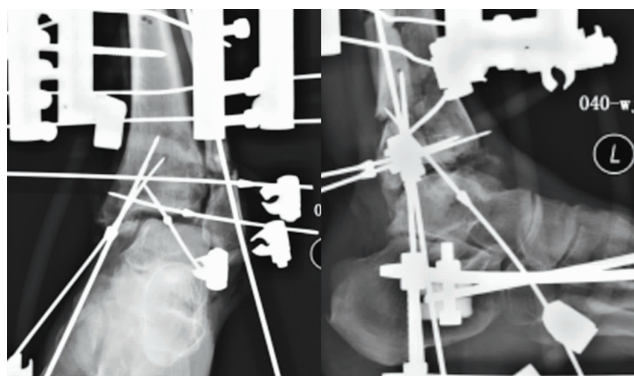
**2.2 复位固定及稳定性测定** 将 3 对踝关节标本的一侧踝关节先进行闭合复位外固定架固定, 再进行切

开复位接骨板内固定; 另一侧先进行切开复位接骨板内固定, 再进行闭合复位外固定架固定。每次复位固定后对模型进行稳定性测试。执行完一种固定方式的稳定性测试后, 将标本上固定的外固定架或内固定物完全拆除, 并将踝关节标本恢复至复位固定前的状态, 然后进行另一种固定方式的稳定性测试。

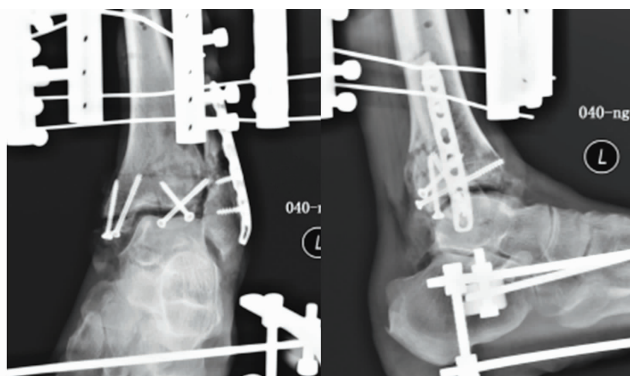
**2.2.1 闭合复位外固定架固定** 先手法复位纠正距骨脱位。内踝经皮巾钳复位满意后以 2 枚直径 2.0 mm 橄榄螺纹针平行固定。外踝采用小切口巾钳复位骨折端, 复位满意后自外踝尖插入直径 3.0 mm 克氏针对腓骨行髓内固定, 维持腓骨轴线。自外踝上 3.5 cm 处平行胫骨远端关节面自外踝穿入 1 枚直径 2.5 mm 的橄榄针贯穿胫腓骨, 固定下胫腓联合。透视复位满意后安装外固定架, 以 1 枚直径 4.5 mm 的半针于胫骨内侧距胫骨远端关节面上 4 cm 处, 从前内向后外与胫骨轴线成  $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$  固定胫骨, 加强外固定架稳定性。固定完成后立即拍摄踝关节正侧位 X 线片[图 5(1)]。

**2.2.2 切开复位接骨板内固定** 经腓骨外侧入路逐层切开, 沿骨面拨开骨膜, 暴露骨折端。用复位钳复位满意后, 选 6 孔 AO 干骺端钛板, 预塑形后固定于外踝及腓骨下段, 被动活动踝关节确认固定稳定。经内踝前弧形入路, 逐层切开, 暴露骨折端, 复位满意后, 以 2 枚直径 4.0 mm 的空心拉力螺钉固定。为减少前后处理差异, 先采用接骨板内固定的标本不加固下胫腓联合螺钉固定。固定完成后立即拍摄踝关节正侧位 X 线片[图 5(2)]。

**2.2.3 稳定性测定** 以 1 枚直径 3.0 mm 的克氏针自第五跖骨颈贯穿第一跖骨基底部, 通过克氏针安装外固定装置, 借助长 1 m 的铁棒通过外固定装置施加外力。从以 0 Nm 开始, 以  $5 \text{ Nm} \cdot \text{S}^{-1}$  的速度加载至



(1) 闭合复位外固定架固定



(2) 切开复位接骨板内固定

图 5 复位固定后踝关节 X 线片



10 Nm 内旋小腿,然后采用相同的方法分别予15 Nm、20 Nm 扭矩<sup>[5]</sup>外旋足踝,每次外力加载完毕后均立即拍摄 X 线片,测定下胫腓联合间隙(图 6)。采用 8 点薄膜压力传感器(图 7)监测、控制实验过程中施加的压力。

**2.3 数据统计** 采用 SPSS21.0 软件对所得数据进行统计分析。造模后双侧踝关节下胫腓联合间隙的比较和 2 种方式固定后下胫腓联合间隙的比较均采用 *t* 检验。检验水准  $\alpha = 0.05$ 。

### 3 结果

造模后双侧踝关节下胫腓联合间隙比较,差异无

统计学意义 $[(6.29 \pm 2.93) \text{ mm}, (4.28 \pm 1.69) \text{ mm}, t = 0.378, P = 0.540]$ 。闭合复位外固定架固定和切开复位接骨板内固定的合并下胫腓联合分离的旋前-外展型三踝骨折,施加 10 Nm、15 Nm、20 Nm 扭矩后,两组下胫腓联合间隙的差异均无统计学意义(表 1)。

### 4 讨论

踝关节是人体的承重关节,其稳定性和灵活性对人体的运动十分重要<sup>[6]</sup>。踝关节的稳定性依赖于下胫腓联合复合体,后者主要由胫腓前韧带、胫腓后韧带、横韧带和骨间膜组成<sup>[7]</sup>。50% 以上的踝关节扭伤发生在体育活动中,其中 1% ~ 11% 的病例会发生下

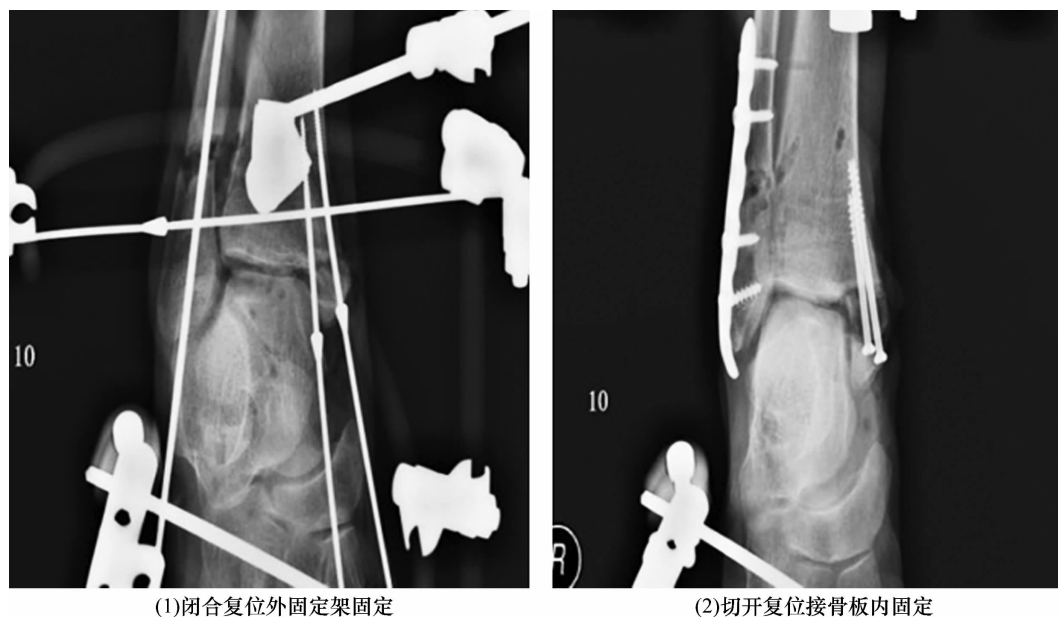


图 6 外力加载完毕后踝关节 X 线片



图 7 薄膜压力传感器

表 1 2 种方式固定的合并下胫腓联合分离的旋前-外展型三踝骨折施加不同扭矩后的下胫腓联合间隙

固定方式	样本量(踝)	施加不同扭矩后的下胫腓联合间隙( $\bar{x} \pm s, \text{mm}$ )		
		10 Nm	15 Nm	20 Nm
外固定架固定	6	$5.72 \pm 2.46$	$5.69 \pm 2.72$	$5.70 \pm 2.95$
接骨板内固定	6	$5.29 \pm 3.58$	$6.98 \pm 3.05$	$6.80 \pm 3.20$
<i>t</i> 值		0.246	-0.773	-0.618
<i>P</i> 值		0.811	0.458	0.551

胫腓联合分离<sup>[8]</sup>,从而破坏踝关节的稳定性,导致胫骨或腓骨之间的重力传递发生改变。对合并下胫腓联合分离的踝关节骨折进行复位与早期固定,可防止创伤后关节炎的发生<sup>[7-8]</sup>。

模拟旋前-外展型三踝骨折的有限元实验显示,受伤早期接触压力位于下胫腓关节腓骨内关节面,可见下胫腓联合损伤较轻,踝穴稳定性破坏不大;后期接触压力最大值位于外踝内关节面,较前期发生下移,说明下胫腓联合损伤加重,踝穴稳定性破坏加重;韧带应力最大值始终位于骨间膜下端,说明胫腓前韧带损伤后骨间膜遭受较大应力继续向上撕裂<sup>[9-10]</sup>。由此可见,合并下胫腓联合分离的旋前-外展型三踝骨折具有损伤机制复杂、症状严重、复位要求高等特点。

本实验将踝关节标本根据测量获得的骨折线位置进行间断骨钻孔,将其固定后按照其受伤机制,使足置于旋前位,同时瞬间给出一个外展暴力,造成旋前-外展型三踝骨折。该造模方法可重复性强,操作简单,不存在骨折模型骨折线的位置和骨折类型等基础数据差异。

Thordarson 等<sup>[11]</sup>研究表明,腓骨缩短 2 mm、外移 5 mm 或外旋 5°均可引起踝关节压力的明显变化,为减少创伤性骨关节炎,必须进行良好的复位与固定。本实验应用局部穿针外固定治疗技术固定合并下胫腓联合分离的旋前-外展型三踝骨折标本模型。髓内固定可以很好地维持腓骨轴线,橄榄针固定下胫腓联合在加强外踝固定的同时还有加压作用,垂直交叉固定力学稳定性好。局部穿针杆式外固定架固定遵循了多平面穿针固定和早期坚强固定、中后期弹性固定的原则<sup>[12]</sup>。这种固定方式操作简单、可调节性强、手术时间短、费用少、对骨膜血液循环和软组织破坏少,而且对 X 线遮挡较少,有利于影像检查,及时了解复位情况<sup>[13-14]</sup>。本研究使用的外固定架有 2 个锁定装置,可进行轴向和横向锁定;在骨折中后期可先后或同时打开,使骨折端在负重时得到促进骨痂质量改建和数量生长的轴向及旋转等多方向生理应力刺激<sup>[15]</sup>。

本研究的结果提示,闭合复位外固定架固定治疗合并下胫腓联合分离的旋前-外展型三踝骨折,其稳定性与切开复位接骨板内固定相当。但由于尸体标本较少,本研究对同一标本先后采用 2 种方式固定测试,为减少前后处理差异,先采用接骨板内固定的标本未加用下胫腓联合螺钉固定,对于研究结果有一定

的影响。

## 参考文献

- [1] 舒衡生,马宝通,王宏川,等. Taylor 空间支架矫正创伤后膝内、外翻畸形[J]. 中华骨科杂志,2012,32(3):205-210.
- [2] 何建明. 不同固定方式在伴有下胫腓联合分离的踝关节骨折患者中的疗效分析[J]. 浙江创伤外科,2019,24(1):140-141.
- [3] 邱鹏,成永忠,刘广伟,等. 闭合间断骨钻孔后徒手暴力旋前-外展型三踝骨折尸体造模[J]. 中国组织工程研究,2018,22(36):5828-5832.
- [4] RODRIGUEZ E K, KWON J K, HERDER L M, et al. Correlation of AO and Lauge-Hansen classification systems for ankle fractures to the mechanism of injury[J]. Foot Ankle Int, 2013, 34(11):1516-1520.
- [5] CHEN C, CHENG Y Z, CHENG H, et al. Finite element analysis of the stress concentration in pronation-abduction ankle joint injuries[J]. International Journal of Clinical and Experimental Medicine, 2017, 10(1):276-284.
- [6] 程渊,高仕长,倪卫东,等. 螺钉置入内固定修复后踝骨折的适应证[J]. 中国组织工程研究,2015,19(17):2735-2740.
- [7] 汤样华,曾林如,岳振双,等. 下胫腓联合损伤的诊治进展及探讨[J]. 中国现代医生,2016,54(29):165-168.
- [8] 何龙. 下胫腓弹性钩钢板的研制及生物力学比较[D]. 南昌:南昌大学,2014.
- [9] 程安源,黄自锋,徐立,等. 腓骨钩钢板治疗老年腓骨远端骨折[J]. 浙江创伤外科,2019,24(2):323-324.
- [10] JUTO H, NILSSON H, MORBERG P. Epidemiology of adult ankle fractures: 1756 cases identified in Norrbotten County during 2009-2013 and classified according to AO/OTA[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2018, 19(1):441.
- [11] THORDARSON D B, MOTAMED S, HEDMAN T, et al. The effect of fibular malreduction on contact pressures in an ankle fracture malunion model[J]. J Bone Joint Surg Am, 1997, 79(12):1809-1815.
- [12] 杨春雷,朱登峰,许峰,等. 可任意穿针固定及生理应力加压的骨外固定器研制及临床应用[J]. 中华创伤杂志,2003,19(7):401-403.
- [13] 赵俊廷,祝建飞,成永忠,等. 橄榄针配合改良 Ilizarov 外固定器治疗三踝骨折 20 例[J]. 中国中西医结合外科杂志,2017,23(2):171-173.
- [14] 贺达,成永忠,赵勇,等. 半环式外固定架治疗 C 型桡骨远端骨折[J]. 中国矫形外科杂志,2019,27(8):682-686.
- [15] CORNELL C N, LANE J M. Newest factors in fracture healing[J]. Clin Orthop Relat Res, 1992, (277):297-311.

(收稿日期:2019-08-27 本文编辑:李晓乐)