

• 实验研究 •

# 外固定器背伸位固定治疗三踝骨折外踝顶针生物力学研究

成永忠<sup>1</sup>, 温建民<sup>1</sup>, 王雷<sup>1</sup>, 常德有<sup>1</sup>, 桑志成<sup>1</sup>, 刘志成<sup>2</sup>, 张昆亚<sup>2</sup>, 徐颖鹏<sup>1</sup>

(1. 中国中医科学院望京医院骨伤医疗中心, 北京 100700

2 首都医科大学生物医学工程学院, 北京 100054)

**摘要 目的:** 探讨外固定器背伸位固定治疗三踝骨折时使外踝骨折稳定的踝关节固定位置。**方法:** 应用手术截骨方法制作三踝骨折的尸体标本模型。复位后安装外固定器, 并应用 6 根顶针复位与固定。于外踝顶针下表面贴应变片, 并与应变仪导线连接。通过调整踝关节固定复位器, 分别使踝关节固定于背伸中立、背伸内翻、背伸外翻 3 种位置。用试验机控制加载, 应用应变仪采集顶针应变数据。**结果:** 将踝关节分别固定于背伸中立位、背伸内翻位、背伸外翻位时, 外踝外后侧顶针与外侧顶针随加载出现的应变值均较小; 但 3 种位置相比, 背伸中立位固定时外踝骨折的稳定性稍好。**结论:** 应用外固定器治疗三踝骨折时, 使外踝骨折稳定的最佳踝关节固定位置可能是背伸中立位。

**关键词** 外固定器 骨折 踝关节 三踝骨折 生物力学

**B i o m e c h a n i c a l r e s e a r c h o n t h e p i n s o f l a t e r a l m a l l e o l u s w h e n t r i m a l l e o l a r f r a c t u r e i s t r e a t e d b y e x t e r n a l f i x a t o r s f i x e d i n d o r s i f l e x i o n p o s i t i o n** CHENG Yong-zhong\*, WEN Jian-min, WANG Lei et al.\* Bone Medical Center of Wangjing Hospital of China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700 China

**ABSTRACT Objective** To explore the position of ankle joint in which fracture of lateral malleolus is stable when trimalleolar fracture is treated by external fixators fixed in dorsiflexion position. **Methods** Corpse specimen model with trimalleolar fracture was made through the method of surgical osteotomy. External fixator was installed after the fracture was restored, meanwhile 6 pins were used. Straining flake was stuck on the lower surface of the pins of lateral malleolus and it was connected to strain gauge wires. Through adjusting the fixator of ankle joint, the ankle joint was fixed in dorsiflexion-neutral (D-N) position, dorsiflexion-varus (D-V) position and dorsiflexion-ecstrophy (D-E) position respectively. Load was controlled by testing machine while the strain data of pins were collected through strain gauge. **Results** When ankle joint was fixed in D-N, D-V and D-E position respectively, the strain of both lateral posterior pin and lateral pin of lateral malleolus were small. The lateral malleolus fracture was more stable in D-N position than in another two positions. **Conclusion** When trimalleolar fracture is treated by external fixators, the best fixed position of ankle joint is dorsiflexion-neutral position on purpose of making lateral malleolus stable.

**Key words** External fixators; Fractures; Ankle joint; Trimalleolar fracture; Biomechanics

外固定器固定治疗骨折无论在和平年代还是在战争、地震等灾难时期, 都有其独特的优势。外固定器固定治疗三踝骨折伴脱位疗效满意<sup>[1, 2]</sup>。2004 年 11—12 月, 笔者通过研究外固定器背伸位固定时外踝顶针的应变情况, 探讨了外固定器背伸位固定三踝骨折时使外踝骨折稳定的踝关节固定位置。

## 1 材料与方法

**1.1 三踝骨折脱位的模型制作** 根据三踝骨折的独立分型<sup>[3]</sup>, 以无下胫腓分离的距骨外脱位型 (I a 型)

为模型标准。将自然解冻成人男性新鲜尸体标本下肢用手术刀在腓骨下端外侧纵行切开皮肤、皮下组织及筋膜, 暴露外踝, 用摆锯于胫腓联合水平处将腓骨斜行截断, 截骨方向为自前下向后上倾斜 45° (图 1)。用同样方法在内踝内侧做横行切口, 暴露内踝, 用摆锯于胫距关节水平将内踝横行截断; 沿内踝后侧纵行切开各层组织, 暴露后踝, 用摆锯纵行截断后踝厚 0.5 cm (图 2)。将踝关节置于旋后位, 强力外旋踝关节, 使距骨脱位, 造成三踝骨折脱位模型。见图 1 图 2。

**1.2 外固定器安装** 外固定器的主体结构是由 1 个半环形钢环、1 个全环形钢环和 3 个装有球形关节的支

撑杆组成,近端安装 2 个增高柱,远端全环形钢环安装 2 个增高柱、1 个锁针器连接器和 3 个带球形关节的 T 型锁针器连接器(图 3)。将模型行手法复位后,分别选取  $\Phi 3\text{ mm}$  骨圆针、 $\Phi 2.5\text{ mm}$  斯氏针各 1 根,分别于小腿标本的胫骨结节下方  $1\text{ cm}$  和踝关节上方约  $6\text{ cm}$  处用手摇钻水平贯穿胫骨;再选取另 1 根  $\Phi 3\text{ mm}$  骨圆针自内向外贯穿跟骨结节;最后选取  $\Phi 2.0\text{ mm}$  克氏针 1 根,水平贯穿第一、二跖骨颈部。进一步复位,安装外固定器,使踝关节固定于背伸中立位。选取  $\Phi 3\text{ mm}$  骨圆针 6 根,自外后上向内前下顶于外踝骨折块后外侧 1 根,自外上向内下顶于外踝骨折块外侧 1 根,自内下向外上顶于内踝骨折块内侧 1 根,自内前下向外上后顶于内踝骨折块前内侧 1 根,自后内上向前外下顶于后踝后内侧 1 根,自后外上向前内下顶于后踝后外侧 1 根。通过手感加适当预应力,并分别锁紧于内外后侧 3 个 T 形锁针器连接器上。

**1.3 实验方法** 于外踝 2 根顶针的下表面距锁针器  $2.5\text{ cm}$  沿轴向贴应变片(栅长、栅宽均为  $1\text{ mm}$ ;电阻为  $120\ \Omega$ )各 1 个。将尸体标本模型足部向上,胫骨下端去除  $10\text{ cm}$  长软组织,用牙托粉灌注固定于 WDW4100 微机控制电子万能实验机下面的卡具上。小腿直立,足跟正对试验机压头;小腿纵轴与实验机传感器纵轴一致。调整外固定器,依次使踝关节处于背伸中立位、背伸内翻位、背伸外翻位。在 3 种不同的踝关节固定位置,用试验机控制加载,分别于加载值为  $50\text{ N}$ 、 $100\text{ N}$ 、 $150\text{ N}$ 、 $200\text{ N}$ 、 $250\text{ N}$ 、 $300\text{ N}$ 、 $350\text{ N}$ 、 $400\text{ N}$ 、 $450\text{ N}$ 、 $500\text{ N}$ 、 $550\text{ N}$ 、 $600\text{ N}$  时用 DH-3816 静态应变仪采集顶针应变数据(图 4)。每个位置各加载及采集数据 3 次,每次加载和采样的时间间隔均为  $30\text{ min}$ 。



图 1 外踝截骨



图 2 内后踝截骨

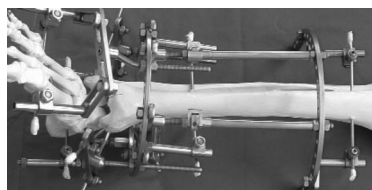


图 3 外固定器模型安装

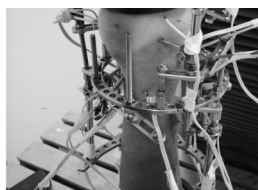


图 4 实验图

## 2 结果

**2.1 外踝外后侧顶针应变情况** 背伸中立位、背伸内翻位、背伸外翻位时,外踝外后侧顶针应变随荷载变化情况见图 5 及表 1。

**2.2 外踝外侧顶针应变情况** 背伸中立位、背伸内翻位、背伸外翻位时,外踝外侧顶针应变随荷载变化情况见图 6 及表 2。

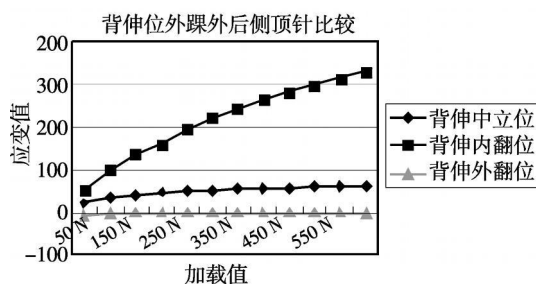


图 5 外踝外后侧顶针应变情况

表 1 踝关节不同固定位置外踝外后侧顶针应变值

| 加载值   | 外踝外后侧顶针应变值 ( $\mu\epsilon$ ) |       |       |
|-------|------------------------------|-------|-------|
|       | 背伸中立位                        | 背伸内翻位 | 背伸外翻位 |
| 50 N  | 21                           | 52    | -7    |
| 100 N | 34                           | 98    | -4    |
| 150 N | 42                           | 133   | -2    |
| 200 N | 47                           | 161   | 0     |
| 250 N | 51                           | 196   | 0     |
| 300 N | 52                           | 222   | 0     |
| 350 N | 55                           | 243   | -1    |
| 400 N | 56                           | 261   | -1    |
| 450 N | 57                           | 280   | -2    |
| 500 N | 59                           | 299   | -2    |
| 550 N | 61                           | 314   | -2    |
| 600 N | 61                           | 328   | -3    |

## 3 讨论

**3.1 应变片的应变值与顶针形变间关系的基本规律分析** 外固定器固定治疗三踝骨折脱位,是通过胫骨上下横向 2 根穿针与跟骨及第 1、第 2 跖骨的横向穿针为基础与外固定器相连接,形成 1 个相对稳定的几何不变体系。可以将固定器的钢环和纵向支撑杆看成刚体,而横向骨穿针有一定弹性,可看成是弹性材料。踝关节的关节软骨与骨骼相比有一定弹性,因此,在模拟负重加载时,作用力分别由外固定器和肢体承载,可以出现一定限度内的踝关节纵向整体形变。顶针主要为横向穿针,与外固定器远端钢环相对刚性连接,在模拟负重加载时,出现的踝关节纵向整体形变与顶针间出现相对作用,并且顶针的形变主要为上下弯曲变形,主应变方向与顶针纵轴一致。因

此,顶针下表面所贴的应变片能测量顶针的主应变。顶针分别顶于三踝骨折骨折块的表面,起到复位和固定作用。当顶针弯曲变形时,参照超静定梁的力学分析<sup>[4]</sup>,顶于骨折块表面的顶针对骨折块的支力与弯曲方向一致,即应变为正值。通过试验所测得的下表面应变可以推断顶针端对骨折块的支力方向。顶针材料特性一致,均为直径 3 mm 的不锈钢圆柱体,其下表面应变与顶针端的支力成正相关。因此,可以通过不同固定位置下顶针相同位置的应变比较分析其对骨折块的支力作用特点。

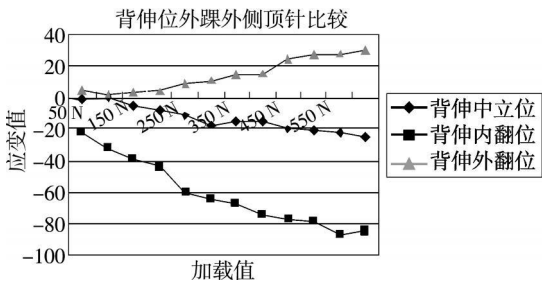


图 6 外踝外侧顶针应变情况

表 2 踝关节不同固定位置外踝外侧顶针应变值

| 加载值   | 外踝外侧顶针应变值 (με) |       |       |
|-------|----------------|-------|-------|
|       | 背伸中立位          | 背伸内翻位 | 背伸外翻位 |
| 50 N  | - 1            | - 22  | 5     |
| 100 N | 1              | - 32  | 2     |
| 150 N | - 5            | - 39  | 3     |
| 200 N | - 8            | - 44  | 4     |
| 250 N | - 11           | - 60  | 9     |
| 300 N | - 17           | - 64  | 11    |
| 350 N | - 15           | - 67  | 14    |
| 400 N | - 15           | - 74  | 15    |
| 450 N | - 20           | - 77  | 25    |
| 500 N | - 21           | - 79  | 27    |
| 550 N | - 22           | - 86  | 28    |
| 600 N | - 25           | - 85  | 31    |

**3 2 外踝两根顶针下表面应变与针端对骨折块支力间关系的规律分析** 外踝外后侧顶针自外踝骨折块的外后上方向内前下方顶于外踝骨折块外后侧,当其下表面应变为正值时,顶针向外后下弯曲,增加了向下推顶骨折块的作用力,防止骨折块再次向外后上移位。如果应变为负值则作用相反,顶针呈向内前上弯曲,增加了向上推顶骨折块的作用力,使外踝骨折块进一步移位。外踝外侧顶针自外踝骨折块的外上方向内下方顶于外踝骨折块外侧,当其下表面应变为正值时,顶针呈向外下弯曲,增加了向下推顶骨折块的作用力,防止骨折块再次向外上移位;当其下表面应

变为负值时,顶针呈向内上弯曲,增加了向上推顶骨折块的作用力,使外踝骨折块再次向外上移位。

**3 3 背伸位时外踝顶针应变随负重荷载变化情况** 背伸中立位、背伸内翻位、背伸外翻位固定时,外踝外后侧顶针与外踝外侧顶针随加载出现的应变值都比较小,说明 3 种位置下固定时外踝骨折的稳定性均较好,但也存在细微差别。

**3 3 1 外踝外后侧顶针应变随负重荷载变化情况** ①背伸中立位与背伸内翻位固定时,外踝外后侧顶针下表面应变均为正值(图 5 表 1),顶针向外后下弯曲,增加了向下推顶骨折块的作用力,防止骨折块再次向外后上移位。②背伸外翻位固定时,外踝外后侧顶针应变为负值(图 5 表 1),顶针向内前上弯曲,增加了向上推顶骨折块的作用力,可使骨折块再次向外上移位。

**3 3 2 外踝外侧顶针应变随负重荷载变化情况** ①背伸中立位与背伸内翻位固定时,外踝外侧顶针下表面应变均为负值(图 6 表 2),顶针向内上弯曲,增加了向上推顶骨折块的作用力,可使骨折块再次向上移位。②背伸外翻位固定时,外踝外侧顶针应变为正值(图 6 表 2),顶针向外下弯曲,增加了向下推顶骨折块的作用力,可防止骨折块再次向外上移位。因此,虽然背伸中立位与背伸外翻固定时应变的绝对值均较小,但仍以固定于背伸外翻位稍好。

综上所述,应用外固定器治疗三踝骨折时,将踝关节分别固定于背伸中立位、背伸内翻位、背伸外翻位,外踝骨折均较稳定。但 3 种位置相比,背伸中立位固定时外踝骨折的稳定性稍好。本研究为临床上应用外固定器治疗三踝骨折时踝关节固定位置的选择提供了理论基础和研究思路,但缺点是样本量太少。在今后的工作中我们将进一步增加样本量,完善此项研究。

**4 参考文献**

[ 1 ] 温建民,成永忠,赵勇,等.改良 Ilizarov 外固定架治疗三踝骨折 [ J ].中国骨伤, 2004, 17( 5 ): 305- 306

[ 2 ] 温建民,成永忠,赵勇,等.外固定器治疗三踝骨折伴脱位 [ J ].中国中医骨伤科杂志, 2007, 15( 6 ): 28- 29

[ 3 ] 成永忠,温建民,马少云,等.三踝骨折的独立分型 [ J ].中国骨伤, 2005, 18( 8 ): 483- 486

[ 4 ] 孟和,顾志华,谈正卿.骨伤科生物力学 [ M ].北京:人民卫生出版社, 1989: 429- 435

( 2008- 07- 10 收稿, 2009- 10- 13 修回 )