

· 基础研究 ·

## 跟骨骨折锁定钢板内固定与普通钢板内固定的有限元分析

李维新,袁斌云

(湖南省核工业二四〇医院,湖南 郴州 423000)

**摘要 目的:**通过有限元分析,对比锁定钢板固定和普通钢板固定治疗跟骨骨折的临床疗效。**方法:**通过 CT 扫描得到健康成年男性左侧跟骨数据,利用 Mimics10.0 软件、Solidworks2010 三维设计软件及 Ansys12.1 有限元分析软件制成跟骨骨折锁定钢板固定和普通钢板固定有限元模型,分析二者在 640 N、1 280 N、2 560 N 及 5 120 N 载荷下的峰值应力、总位移和关节面塌陷方向位移。**结果:**锁定钢板固定模型在不同载荷下的峰值应力、总位移和关节面塌陷方向位移均小于普通钢板固定模型。随着载荷的倍增,锁定钢板固定模型的峰值应力、总位移和关节面塌陷方向位移值变化不大,普通钢板固定模型的相应指标随载荷的倍增近似成倍增加。**结论:**对于跟骨骨折,锁定钢板固定在峰值应力、稳定性和防止跟骨垂直方向塌陷方面优于普通钢板固定。

**关键词** 跟骨 骨折 骨折固定术,内 有限元分析

**Finite element analysis of internal fixation with locking plate and common plate in calcaneal fractures** LI Wei-xin\*, YUAN Bin-yun. \*Hunan Province Nuclear Industry 240 Hospital, Chenzhou 423000, Hunan, China

**ABSTRACT Objective:**To compare the clinical curative effect of internal fixation with locking plate with that of internal fixation with common plate in the treatment of calcaneal fractures through finite element analysis. **Methods:**The data of left calcaneus of normal adult males were collected through CT scans, and the Mimics10.0 software, Solidworks2010 software and Ansys12.1 software were used to build the finite element models of internal fixation in calcaneal fractures with locking plate and common plate, respectively. Such parameter of the models were analyzed as the peak stress, total displacement and displacement in the direction of collapse of articular surface under the load of 640 N, 1 280 N, 2 560 N and 5 120 N, respectively. **Results:**The peak stress, total displacement and displacement in the direction of collapse of articular surface for models of fixation with locking plate were all less than those for models of fixation with common plate. Along with the multiplication of loads, little change were found in the peak stress, total displacement and displacement in the direction of collapse of articular surface for models of fixation with locking plate, while above mentioned indexes doubled approximately for models of fixation with common plate. **Conclusion:**Fixation with locking plate is better than fixation with common plate in the peak stress, stability and prevention of calcaneus collapse in vertical direction for the calcaneal fractures.

**Key words** Calcaneus; Fractures, bone; Fracture fixation, internal; Finite element analysis

跟骨骨折在临床上以手术切开内固定治疗为主,常用的内固定材料为普通塑形钢板和锁定钢板<sup>[1]</sup>。为了比较这 2 种内固定方法治疗跟骨骨折的疗效,我们对其进行了有限元分析,现总结报告如下。

## 1 实验材料

**1.1 数据来源** 选取健康成年男性,对其左足进行薄层 CT 扫描,层厚 1 mm。

**1.2 实验软件** Materialise 交互式医学影像控制系统 Mimics10.0 软件;达索公司 Solidworks2010 三维设计软件;Ansys 公司 Ansys12.1 有限元分析软件。

## 2 方法

### 2.1 建模方法

**2.1.1 跟骨模型** 将利用 CT 扫描得到的健康成年

男性跟骨数据导入 Mimics10.0 软件,通过分割蒙板、编辑修补、光滑等操作后获得左侧跟骨三维点云数据<sup>[2]</sup>。然后将这些数据导入 Solidworks2010 三维设计软件,进行点云数据编辑和曲面向导等操作后形成跟骨三维模型。

**2.1.2 跟骨骨折模型** 根据《骨折治疗的 AO 原则》中的跟骨骨折块理论<sup>[3]</sup>,应用 Solidworks2010 软件模拟跟骨骨折的次级骨折线将所建立的跟骨三维模型分割为跟骨结节块、外侧关节骨折块、载距突骨折块、前外侧骨折块、前内侧骨折块、外侧壁骨折块 6 部分。

**2.1.3 钢板固定模型** 在所建立的跟骨骨折模型中选定 5 个螺钉位置,分别位于跟骨结节块外侧(2 个),前外侧骨折块(2 个)和载距突骨折块(1 个)。以 3.5 mm 贯穿钻孔后分别测量钻孔深度。然后在跟

骨外侧面选取包含钻孔的面,通过剪切在该面选定与塑形钢板形状一致的区域,并在该区域执行 3 mm 加厚操作。最后根据测定的钻孔深度制作 5 枚螺钉,经过装配完成钢板固定模型(图 1)。

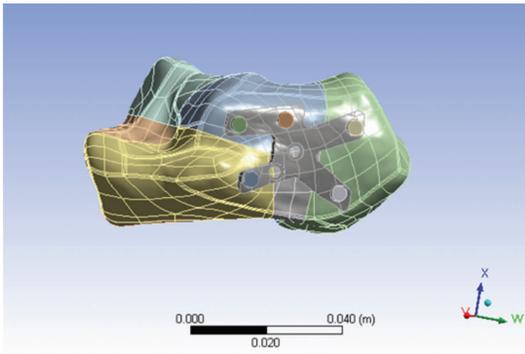


图 1 跟骨钢板固定模型

## 2.2 有限元分析

**2.2.1 材料属性赋值** 将钢板固定模型导入 Ansys12.1 有限元分析软件,打开静力分析模块。设置跟骨骨质材料为均质,弹性模量 3 000 MPa,泊松比 0.3;钢板、螺钉弹性模量 110 000 MPa,泊松比 0.35<sup>[4]</sup>;骨折块间摩擦系数 0.1,螺钉与骨块摩擦系数 0.5<sup>[5]</sup>。普通钢板固定定义为钢板与螺钉、螺钉与骨折块间摩擦系数 0.5,螺钉无位移约束;锁定钢板固定定义为钢板螺钉绑定,螺钉有位移约束,螺钉与骨折块间摩擦系数 0.5,2 种固定方式均忽略韧带和其他小肌肉力量影响<sup>[6]</sup>。

**2.2.2 施加载荷** 通过 Mimics 的网格划分命令,调用 Magic 模块自动划分网格,节点 16 234 个、网格 8 721 个(图 2)。拟定足跟底部和跟楔关节面保持不动,自跟距关节面向下对普通钢板固定和锁定钢板固定 2 种模型分别施加 640 N、1 280 N、2 560 N、5 120 N 载荷。然后对 2 种模型在以上 4 种载荷下的峰值应力、总位移和关节面塌陷方向位移进行静力有限元分析。

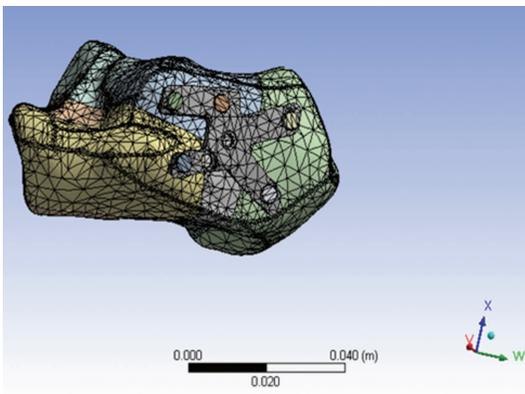


图 2 跟骨有限元网格模型

## 3 结果

锁定钢板固定模型在不同载荷下的峰值应力、总位移和关节面塌陷方向位移均小于普通钢板固定模型;随着载荷的倍增,锁定钢板固定模型的峰值应力、总位移和关节面塌陷方向位移值变化不大,普通钢板固定模型的相应指标随载荷的倍增近似成倍增加(表 1 至表 3)。

表 1 不同载荷下 2 种模型的峰值应力 MPa

模型	不同载荷下的峰值应力			
	640 N	1 280 N	2 560 N	5 120 N
普通钢板固定	252.000	469.000	880.000	1840.000
锁定钢板固定	74.300	78.300	74.900	102.000

表 2 不同载荷下 2 种模型的总位移 mm

模型	不同载荷下的总位移			
	640 N	1 280 N	2 560 N	5 120 N
普通钢板固定	0.152	0.303	0.612	1.220
锁定钢板固定	0.049	0.049	0.048	0.054

表 3 不同载荷下 2 种模型关节面塌陷方向的位移 mm

模型	不同载荷下关节面塌陷方向的位移			
	640 N	1 280 N	2 560 N	5 120 N
普通钢板固定	0.166	0.329	0.659	1.300
锁定钢板固定	0.012	0.018	0.029	0.052

## 4 讨论

在本实验中,我们根据健康成年男性足部 CT 扫描所获取的数据构建的跟骨骨折内固定三维有限元模型形态逼真。特别是应用 Solidworks2010 软件制作的塑形钢板,可以与骨折曲面完全吻合,较好地反映了钢板的几何特征及外科手术的要求。所建立的普通钢板和锁定钢板内固定模型,除了内固定方式不同之外,其他条件完全一致,具有良好的可比性。

从实验结果可以看出,锁定钢板固定模型在不同载荷下的峰值应力、总位移和关节面塌陷方向位移均小于普通钢板固定模型。其原因在于锁定钢板固定时螺钉与钢板连为一体,应力分布相对均衡;而普通钢板固定时依靠螺钉对钢板的压力及钢板与骨面之间的摩擦力起作用,易出现应力集中现象。同时由于跟骨骨折的钢板植入面常常破坏较严重,而跟骨又以松质骨为主,术后容易出现关节面塌陷。随着载荷的倍增,锁定钢板固定模型的峰值应力、总位移和关节面塌陷方向位移值变化不大,普通钢板固定模型对应的指标随载荷的倍增近似成倍增加。这提示锁定钢板固定有较好的稳定性,可以降低骨折愈合后期随功能锻炼强度增加跟骨因受到较强载荷而发生塌陷的风险。

表 3 2 组急性踝关节扭伤患者踝关节症状体征评分的比较 分

组别	疼痛评分			肿胀评分		
	治疗前	治疗 2 周后	治疗前后的差值	治疗前	治疗 2 周后	治疗前后的差值
针刺组	4.00 ± 1.06	1.40 ± 1.27	2.60 ± 0.92	3.91 ± 1.15	1.53 ± 1.22	2.37 ± 0.90
扶他林组	3.96 ± 1.22	2.46 ± 1.50	1.50 ± 0.87	3.86 ± 1.25	2.41 ± 1.58	1.45 ± 0.90
t 值	0.183		5.706	0.168		4.751
P 值	0.855		0.001	0.867		0.001

组别	功能障碍评分			综合评分		
	治疗前	治疗 2 周后	治疗前后的差值	治疗前	治疗 2 周后	治疗前后的差值
针刺组	4.37 ± 1.32	2.09 ± 1.37	2.28 ± 1.20	12.28 ± 3.22	5.02 ± 2.87	7.26 ± 1.95
扶他林组	3.95 ± 1.32	2.18 ± 1.54	1.77 ± 0.64	11.82 ± 3.68	7.09 ± 4.08	4.73 ± 1.37
t 值	1.466		2.443	0.621		7.004
P 值	0.146		0.017	0.536		0.001

## 4 讨论

现代医学认为急性软组织损伤的病理机制为外力造成局部组织微小血管破裂和细胞损伤,组织细胞充血水肿或变性坏死致局部肿胀、疼痛,且损伤后局部组织释放出炎性介质,代谢产物聚集造成内环境改变、细胞代谢障碍,又加重肿胀和疼痛<sup>[5]</sup>。针刺治疗软组织损伤可提高痛阈,减轻局部炎症反应,促进组织修复,从而起到缓解疼痛、减轻肿胀的作用<sup>[6-7]</sup>。踝关节急性扭伤的病因病机为外伤致经络气血壅滞,不通则痛,气滞水停而为肿,出现局部疼痛、肿胀,为实证,针刺治疗宜用泻法。“赤凤迎源”刺法又名凤凰展翅,出自《金针赋》,为飞经走气四法之一。操作时先进针直入深部,再退针至浅部,再进针至中部,疾进徐退,故有泻实作用,可使气血通畅、瘀滞消除,能迅速减轻疼痛。张延昭等<sup>[8]</sup>应用“赤凤迎源”针法治疗急性踝关节扭伤患者 380 例,治愈率 85.3%,有效率 100%。

本研究结果表明,针刺治疗急性踝关节扭伤,可有效缓解疼痛、减轻肿胀、改善踝关节功能,值得临床应用推广。

## 5 参考文献

- [1] Kemler E, van de Port I, Backx F, et al. A systematic review on the treatment of acute ankle sprain: brace versus other functional treatment types [J]. Sports Med, 2011, 41 (3): 185 - 197.
- [2] 李明, 万毅刚. 针刺治疗踝关节扭伤研究概况 [J]. 中国康复理论与实践, 2008, 14(2): 162 - 163.
- [3] 郑筱萸. 中药新药临床研究指导原则(试行) [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2002.
- [4] 樊粤光. 中医骨伤科学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2008: 212.
- [5] 李卫星, 谭大琦, 李秋华, 等. 消瘀止痛膏对大鼠急性软组织损伤的治疗作用 [J]. 中医正骨, 2000, 12(11): 9 - 10.
- [6] 武晓冬, 王佩. 针刺镇痛机理研究概述 [J]. 中国中医基础医学杂志, 1999, 5(12): 59.
- [7] 王文远, 郭芙蓉, 王铎, 等. 针刺臀痛穴对软组织损伤修复过程中病理及超微结构变化研究 [J]. 中国针灸, 1997, 6(5): 352 - 355.
- [8] 张延昭, 赵春棣. 赤凤迎源针法治疗急性踝关节扭伤 [J]. 中国针灸, 2011, 31(6): 486.

(2012-12-02 收稿 2013-01-03 修回)

(上接第 11 页)

本实验没有考虑跟骨周围韧带、肌肉、足弓受力、步态动态受力等的影响,仅选择了静态下增加载荷对内固定的影响,研究结果存在一定的局限性。

## 5 参考文献

- [1] 俞光荣, Hans Z. 跟骨骨折的基础与临床 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2008: 64 - 72.
- [2] 张景僚, 顾立强, 张美超. 骨盆三维有限元模型的建立及意义 [J]. 中华创伤骨科杂志, 2008, 10(1): 64 - 67.
- [3] Ruedi TP, Buckley RE, Moran CG. 骨折治疗的 AO 原则 [M]. 2 版. 危杰, 刘璠, 吴新宝, 等译. 上海: 上海科学技

术出版社, 2010: 667 - 680.

- [4] 马攀, 彭勤建, 林升, 等. 单、双、三螺纹种植体初期稳定性的三维有限元比较研究 [J]. 口腔颌面修复学杂志, 2007, 8(4): 281 - 283.
- [5] 戴海飞, 余斌, 张凯瑞, 等. 下胫腓联合分离单螺钉固定的有限元分析 [J]. 中国矫形外科杂志, 2012, 20(4): 350 - 354.
- [6] 苏佳灿, 张春才, 陈学强, 等. 静载荷作用下骨盆三维有限元分析及其生物力学意义 [J]. 中国临床康复, 2005, 9(6): 66 - 67.

(2012-06-08 收稿 2012-08-28 修回)