

## · 基础研究 ·

# 股骨远端骨折 3 种内固定方法的生物力学研究比较

韩擎天<sup>1</sup>, 王以进<sup>2</sup>, 汤红伟<sup>1</sup>

(1. 上海交通大学医学院附属仁济医院嘉定分院骨科, 上海 201800; 2. 上海大学生物学研究所)

**【摘要】 目的:**对股骨远端骨折三种内固定方法进行定量生物力学比较,为临床选择有效的内固定方法提供理论依据。**方法:**取 12 具新鲜尸体股骨标本,制成股骨髁间骨折模型(AO 分类的 C1 型),采用股骨交锁髓内钉(A)、“L”形髁钢板(B)、加压钢板(C)3 种内固定方法,观察股骨髁上应变、位移、刚度、强度,对股骨远端 3 种内固定方法进行生物力学分析,并以有限元理论分析论证它的结果。**结果:**试验发现在受同等载荷条件下,髁上交锁髓内钉固定强度、刚度最佳,而采用“L”形髁钢板和加压钢板固定股骨髁强度、刚度较差。3 组应力和髁间位移均有显著差异性( $P < 0.05$ )。**结论:**采用股骨髁上交锁髓内钉固定方法优于其他内固定方法,具有操作简单、锁钉定位准确、固定牢靠等优点,是治疗股骨远端骨折较好的内固定方法。

**【关键词】** 股骨骨折; 骨折固定术,内; 生物力学

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2010.08.013

**Biomechanical comparison of three methods of internal fixation for distal femoral fractures** HAN Qing-tian\*, WANG Yi-jin, TANG Hong-wei. \*Department of Orthopaedic, Jiading Area Central Hospital, Shanghai 201800, China

**ABSTRACT Objective:** To compare the biomechanics of three internal fixations for distal femoral fractures, and to choose suitable clinical internal fixation according to experimental date. **Methods:** The fracture models of femoral condyle were made on 12 fresh cadaver femurs (C1 type of AO classification). The fractures were fixed by supracondylar intramedullary interlocking nails (A), L-shaped condyle plates (B) and compressed plates (C) respectively. The straining, displacement, rigidity and intensity of femoral supracondyla of the three internal fixations of distal femoral fractures were observed and analyzed by biomechanics. These three different internal fixation methods were compared by experimental stress analysis. These results were further confirmed by theoretical analysis using finite element method (FFM). **Results:** Under the same load condition, supracondylar intramedullary interlocking nail fixation was the best on the intensity and rigidity, while for compressed plate and L-shaped condyle plate, the femoral condyle intensity and rigidity were worse ( $P < 0.05$ ). There were distinct differences in stress and displacement among three methods ( $P < 0.01$ ). **Conclusion:** Supracondylar intermedullary interlocking nail is the best method among the three internal fixation methods. It has advantage such as screw location, solid fixation and less complication. It is a good internal fixation method for distal femoral fracture.

**KEYWORDS** Femoral fractures; Fracture fixation, internal; Biomechanics

Zhongguo Gushang/China J Orthop & Trauma, 2010, 23(8): 601-604 www.zggszz.com

股骨远端骨折(髁上、髁间骨折)常因粉碎、不稳定和涉及关节面,处理比较困难,易后遗畸形及膝关节强直等并发症。目前国内治疗股骨远端骨折的内固定方法很多,临床疗效报道不一,对其生物力学性能缺乏研究。为此,我院与上海大学生物力学研究所一起对股骨远端骨折常用的 3 种内固定方法进行定量生物力学分析比较研究,并制作有限元计算力学模型<sup>[1]</sup>,测试其生物力学强度及进行有限元理论分析,为临床选择有效的内固定方法提供客观的试验和理论依据。

通讯作者:韩擎天 E-mail: thwgm@hotmai.com

## 1 材料与方 法

**1.1 试验材料** 选用 12 具 29~42 岁男性新鲜尸体股骨,剔除附骨软组织, X 线摄片排除损伤及骨密度异常。

**1.2 分组** 将 12 具新鲜尸体股骨编号,随机分成 3 组,制成 AO 分类<sup>[2]</sup>的 C1 股骨髁间骨折标本模型:股骨髁上交锁髓内钉固定组(A)、“L”形髁钢板固定组(B)、加压钢板固定组(C),每组 4 具尸体股骨标本。为保证平稳加载,提高测量精度,在股骨中段上方灌注骨水泥固定,并制作膝关节屈曲运动夹具。在股骨髁上 4 个不同部位分别贴上“T”形粘贴电阻应变片,其走向与股骨平行,按试验力学要求进行操

作。3 组试验标本的力学模型在结构、载荷、材料、固定方式上均一致。

**1.3 试验方法与观测项目** 观察股骨髁上应变、髁间水平位移、轴向压缩位移、髁间应力强度、股骨髁轴向刚度、承载能力。将标本在 WE-5A 万能试验机上进行生物力学测试,分级加载(0~600 N),加载速度 1.5 mm/min。用 KG-101(精度 0.1 mm)高精度数显光栅位移传感器检测位移,重复 6 次取平均值,记录股骨髁上应变,水平位移与垂直位移等。试验装置见图 1,A、D 为股骨髁外侧,C、F 为股骨髁内侧。

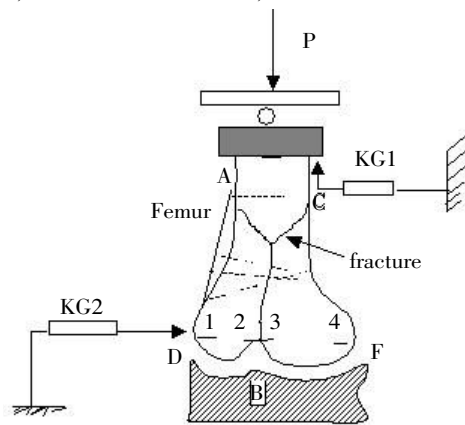


图 1 股骨远端骨折内固定生物力学试验示意图 P 为膝关节上载荷,KG1-KG2 为位移测量仪,1、2、3、4 点为应变计测点,D、B、F 为股骨髁测点

Fig.1 Schematic diagram of biomechanical experiment of internal fixation for distal femoral fracture P means load of knee joint,KG1-KG2 means measure instrument of displacement,D,B,F means measure point of femoral condyle

**1.4 统计学处理** 测量数据经计算机处理,行线性回归,两因素方差分析,多组间两两比较。按数理统计检验,计算相差参数,Student's T 检验,Chanvent 法精度分析。统计分析由 SPSS 11.0 软件完成。

**2 结果**

**2.1 载荷-应变** 髁上应变值以 A 组最小,其次是 B 组,而 C 组应变值最大。A、B 两组间应变值比较,差异有统计学意义( $q=6.60, P<0.05$ );A、C 两组间比

较,差异有统计学意义( $q=12.12, P<0.05$ ,见表 1)。应变变化规律表明,髁间外侧平均应变小于内侧应变,两者相差约 12%,髁间中央应变明显小于外侧边缘应变,内外侧分别相差约 36%和 41%(见图 2)。此结果同人体生理功能相适应,与有限元理论分析结果相一致。

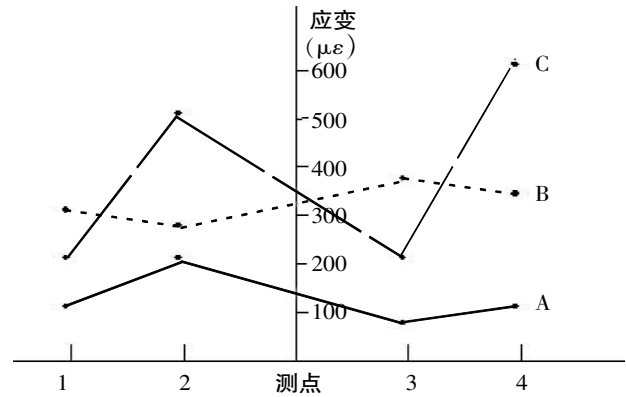


图 2 生理载荷 600 N 时髁上 3 种内固定应变分布曲线

Fig.2 The curve of stress distoribution of three methods of internal fixation for supracondyle femoral under physiological loading 600 N

**2.2 载荷-位移** 3 种不同内固定位移引起的髁间分离性水平位移( $\Delta H$ ),A、B 两组间比较,差异有统计学意义( $q=13.22, P<0.05$ );A、C 两组间比较,差异有统计学意义( $q=10.24, P<0.05$ )(见表 1)。3 种不同内固定的轴向压缩性位移( $\Delta P$ ),A、B 两组间相差约 76%,A、C 两组平均相差约 77%(见图 3)。

**2.3 股骨髁刚度** 轴向压缩刚度以 A 组固定最高,B 组其次,C 组固定最低。A、C 两组间比较,差异有统计学意义( $q=13.24, P<0.05$ );髁间横向刚度 A、B 两组间比较,差异有统计学意义( $q=8.89, P<0.05$ ,见表 2)。

**2.4 髁间应力强度** 髁间应力强度,其中 A、B 两组间应力比较,差异有统计学意义( $q=6.82, P<0.05$ );A、C 两组间比较,差异有统计学意义( $q=12.02, P<0.05$ ,见表 3)。应力强度变化规律表明,髁间外侧应力小于内侧应力<sup>[2]</sup>,两者相差约 12%。

表 1 3 种不同内固定股骨髁上应变与位移(600 N)( $\bar{x}\pm s$ )

Tab.1 Comparison of straining and displacement of supracondylar femoral for three internal fixitions(600 N)( $\bar{x}\pm s$ )

组别	测点应变值( $\mu\epsilon$ )				位移值(mm)	
	$\epsilon^1$	$\epsilon^2$	$\epsilon^3$	$\epsilon^4$	轴向 $\Delta P$	水平 $\Delta H$
A	80.80±8.00	187.50±33.00	7.00±1.41	90.00±8.40	0.67±0.12	0.08±0.01
B	166.70±4.03	500.00±11.93	180.00±3.20	535.00±8.49	0.72±0.09	0.25±0.05
C	271.00±1.27	255.00±3.55	350.00±7.07	320.00±4.17	3.06±0.23	1.35±0.08

注:应变值:A 组与 B 组比较, $q=6.60, P=0.023 1<0.05$ ;A 组与 C 组比较, $q=12.12, P=0.031 1<0.05$ 。轴向位移:A 组与 B 组比, $q=5.56, P=0.030 1<0.05$ ;A 组与 C 组轴向位移比较, $q=14.60, P=0.020 8<0.05$ 。水平位移:A 组与 B 组比较, $q=13.22, P=0.027 8<0.05$ ;A 组与 C 组比较, $q=10.24, P=0.037 1<0.05$

Note:Comparison of straining:group A vs group B, $q=6.60, P=0.023 1<0.05$ ; group A vs group C, $q=12.12, P=0.031 1<0.05$ . Comparison of axial displacement, group A vs group B, $q=5.56, P=0.030 1<0.05$ ;group A vs group C, $q=14.60, P=0.020 8<0.05$ . Comparison of level displacement, group A vs group B, $q=13.22, P=0.027 8<0.05$ ; group A vs group C, $q=10.24, P=0.037 1<0.05$

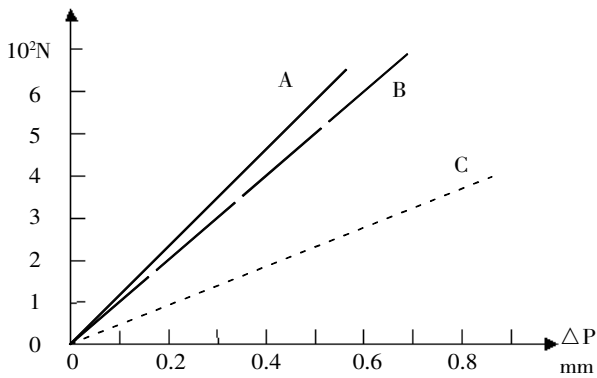


图 3 载荷-位移(P-ΔP)曲线

Fig.3 Loading-displacement (P-ΔP) curve

表 2 3 种不同内固定股骨髁间刚度(600 N)( $\bar{x} \pm s$ )

Tab.2 Comparison of rigidity of femoral supracondylar for three internal fixitions(600 N)( $\bar{x} \pm s$ )

组别	轴向刚度(EF1)	水平剪切刚度(EF2)
A	833.34±24.22	2 448.98±42.36
B	888.89±28.41	75.00±68.26
C	196.08±16.42	444.44±18.62

注:A、C 组轴向刚度比较,  $q=13.24, P=0.0187 < 0.05$ ; A、B 组水平剪切刚度比较  $q=8.89, P=0.0276 < 0.05$

Note: Comparison of axial rigidity, group A vs group C,  $q=13.24, P=0.0187 < 0.05$ ; Comparison of level rigidity, group A vs group B,  $q=8.89, P=0.0276 < 0.05$

**2.5 有限元理论分析** 为验证生物力学试验应力分析,我们采用两维平面应力模型(模型共有 272 个节点,100 批单元),进行两维有限元理论计算法。用 SAP-5A 进行计算<sup>[3]</sup>,可得到单元形心和边界中点处的应力输出,以有限元理论分析股骨髁间接触边界 10 mm 及 50 mm 股骨上应力。经计算结果表明有限元理论计算结果与试验结果相差仅 8%,二者结果基本一致(见表 3 理论值)。有限元计算结果与 Hayes 计算结果一致<sup>[1]</sup>。

### 3 讨论

**3.1 股骨远端骨折的特点** 股骨远端骨折包括股骨髁间骨折和髁上骨折,绝大多数遭受膝关节高能量损伤,由于其复杂解剖结构,损伤后常形成冠状面、矢状面、横断面三维膝关节内骨折,常伴有骨块丢失、松质骨骨质压缩、骨缺损及严重粉碎骨折,同

时由于腓肠肌内外侧头牵拉,骨折远端易向后及旋转移位。手术必须使髁间及髁前关节面达到解剖复位,修复股骨髁间胫骨面、髌骨面解剖结构。根据生物实验应力分析结果表明,股骨髁间应力较大,髁间分离位移和剪切应力不可忽视<sup>[2]</sup>。

**3.2 生物力学试验和两维有限元分析** 采用股骨髁上交锁髓内钉固定应变最小、轴向压缩位移、髁间分离位移最小,优于“L”形髁钢板固定和加压钢板固定。应变越小,说明器械固定越牢固,越不容易产生变形。股骨髁间应力强度以髁上交锁髓内钉固定最小,由于固定牢靠,不易产生变形,应力传递快,应力就越小。而加压钢板相应应力增大很多,特别是边缘应力很大,它的固定也就存在潜在松动的危险,易产生变形。从极限强度来看,股骨髁上交锁髓内钉平均为 6 100 N 时破坏,而“L”形髁钢板与加压钢板分别为 5 230 N 和 4 650 N 时股骨就被劈裂,两者相差 14%和 24%,说明前者优于后二者。本文进行两维有限元计算,其理论结果与试验结果两者一致,证明本试验应力分析具有较高精确度,同时也说明人体膝关节有限元模型能够反映膝关节情况。

**3.3 3 种内固定方法比较** 加压钢板、“L”形髁钢板等钢板螺钉类内固定均为髓外固定,钢板受弯曲应力大,钢板较厚,虽经塑形也很难与股骨外髁面紧贴,不易与骨干轴线一致,固定力线上存在缺陷,固定力量弱,骨折两端任何折弯力和扭曲力,易使螺钉固定松动脱落,术后常需外固定,不利于膝关节早期活动及肢体负重,造成膝关节功能差。“L”形髁钢板虽具有抗扭曲、抗弯、抗旋转及剪力作用,但在固定击入时,易发生两髁分离,髁间锁固难以保证,尤其对髁部粉碎骨折伴有内髁骨折块较小时,固定不牢,不易保证解剖复位,使用时受到一定限制。上述二种内固定方法由于切口长、创伤大、出血多,广泛剥离断端软组织及暴露骨膜,干扰骨外膜血供,易发生感染、皮瓣坏死、骨外露、骨折延迟愈合、不愈合、膝关节功能障碍。Ostrum 等<sup>[3]</sup>报道股骨远端骨折不愈合高达 20%。采用股骨髁上交锁髓内钉自膝关节逆向插入,能稳定峡部以下骨折,防止骨折复位后短缩和骨折远端向后移位和骨折端旋转移位,保持肢体长

表 3 3 种不同内固定髁间应力强度(600 N)( $\bar{x} \pm s$ )

Tab.3 Comparison of intensity of supracondylar femoral for three internal fixitions(600 N)( $\bar{x} \pm s$ )

组别	试验值 $\sigma$ (Mpa)				理论值(3D-EFM) $\sigma$ (Mpa)			
	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_4$	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_4$
A	11.20±1.12	26.25±4.62	9.80±1.98	12.60±1.18	10.30±1.16	24.94±2.47	8.67±1.23	11.20±1.08
B	23.28±5.14	70.00±16.70	25.20±4.80	74.90±11.89	22.04±4.82	68.81±14.72	24.18±4.20	72.99±10.08
C	37.94±1.78	35.70±4.97	49.00±9.90	44.80±5.84	35.90±1.62	34.70±4.28	48.12±8.86	42.78±4.88

注:髁上应力强度:A 组与 B 组比较,  $q=6.82, P=0.0246 < 0.05$ ; A 组与 C 组比较,  $q=12.04, P=0.0324 < 0.05$

Note: Comparison of intensity, group A vs group B,  $q=6.82, P=0.0246 < 0.05$ ; group A vs group C,  $q=12.04, P=0.0324 < 0.05$

度。髓内钉固定的力线处于骨干受力的中轴线上,位置比侧方钢板接近下肢力线,其力臂从骨折端延伸到骨干两端达到弹性固定,应力分布比较均匀,应力遮挡小,符合生物力学要求,因而达到坚强固定,固定及恢复了原有的股骨刚强度和稳定性,术后即能进行膝关节功能锻炼,增加关节软骨细胞营养和代谢活动,加速软骨损伤修复,有效防止粘连,关节功能恢复快<sup>[4-6]</sup>,骨折愈合率高。股骨髁上交锁髓内钉固定技术具有操作简单、出血少、锁钉定位准确、固定牢靠、并发症少等优点,是目前治疗股骨远端骨折较理想的内固定方法<sup>[7]</sup>。

**参考文献**

[1] Koltmert L, Wulff K. Epidemiology and treatment of distal femoral fracture in adults[J]. Acta Orthop Scand, 1982, 53(6): 957-962.

[2] 李强一,王以进,张秋琴,等. 股骨髁间骨折采用 L 形髁钢板+螺栓内固定的生物力学分析[J]. 医用生物力学杂志, 1999, 4: 226-231.

[3] Ostrum RF, Geel C. Indirect reduction and internal fixation of supracondylar femur without bore graft[J]. J Orthop Trauma, 1995, 9(3): 278-284.

[4] 杨兆军,肖索青. 逆行交锁髓内钉治疗股骨髁上骨折临床观察[J]. 山东医药, 2008, 48(37): 22.

[5] 董恒纲,王存,张志宏,等. 股骨远端骨折治疗方案的探讨[J]. 中国骨伤, 2007, 20(3): 186.

[6] 江天蔚,郑玉鹏,王澍,等. 62 例股骨髁上骨折临床治疗分析[J]. 中国现代医生, 2009, 47(5): 241.

[7] 韩擎天,汤红伟. 股骨髁上髓内钉治疗股骨远端骨折 59 例报告[J]. 中国骨伤, 2009, 22(5): 338-339.

(收稿日期: 2010-05-20 本文编辑: 王玉蔓)

**· 经验交流 ·**

**足拇甲瓣供区修复方法优缺点分析**

王西迅<sup>1</sup>, 李钧<sup>1</sup>, 孙文海<sup>2</sup>, 陈波<sup>1</sup>, 胡继超<sup>1</sup>, 魏勇<sup>1</sup>, 童哲<sup>1</sup>, 舒正华<sup>1</sup>, 潘跃<sup>1</sup>, 丁潮琪<sup>1</sup>  
 (1. 中国武装警察部队浙江省总队医院手足外科, 浙江 嘉兴 314000; 2. 山东省立医院手足外科)

**关键词** 拇趾; 外科皮瓣; 拇指; 软组织损伤; 重建外科手术

**DOI:** 10.3969/j.issn.1003-0034.2010.08.014

**Advantages and disadvantages of the donor site renovation after the wrap-around flap transfer** WANG Xi-xun\*, LI Jun, SUN Wen-hai, CHEN Bo, HU Ji-chao, WEI Yong, Tong Zhe, SHU Zheng-hua, Pan Yue, DING Chao-qi. \*Zhejiang Provincial Corps Hospital of Chinese Peoples Armed Police Forces, Jiaxing 314000, Zhejiang, China

**KEYWORDS** Hallux; Surgical flaps; Thumb; Soft tissue injuries; Reconstructive surgical procedures

Zhongguo Gushang/China J Orthop & Trauma, 2010, 23(8): 604-605 www.zggszz.com

足拇甲瓣再造拇、手指,外形、感觉较满意,是再造拇、手指理想的供区。但足拇甲瓣切取后供区创面的修复一直是比较棘手的问题。我们自 2003 年至今,应用多种局部转移皮瓣及游离皮瓣修复足拇甲瓣切取后供区创面,取得了满意效果。各有其适应证及优缺点,现总结分析如下。

**1 临床资料**

本组 36 例中,男 23 例,女 13 例;年龄 18~47 岁,平均 28.6 岁。均为拇指损伤,其中拇指脱套伤 12 例,拇指缺损 24 例,用足拇甲瓣或足拇甲骨皮瓣修复。其中单纯足拇甲瓣 12 例,带末节部分趾骨的足拇甲骨皮瓣 21 例(其中 10 例同时取腓骨条植骨),足拇甲瓣合第 2 趾骨关节、肌腱复合移植 3 例。足拇甲瓣供区创面用游离或带蒂皮瓣修复,其中 1 例为供区植皮坏死二期修复创面。

**2 治疗方法**

局部带蒂皮瓣修复 21 例,其中前踝上皮瓣 3 例,跗外侧皮瓣 12 例,跖底皮瓣合植皮 2 例,逆行足底内侧皮瓣 1 例,第

2 趾别骨甲皮瓣修复 3 例;用于足拇甲瓣合第 2 趾骨关节、肌腱复合移植再造拇指 IV 度以上缺损。游离皮瓣修复 15 例,其中游离股前外侧皮瓣 6 例,游离腹股沟皮瓣 3 例,游离对侧足背皮瓣 4 例,游离对侧小腿内侧皮瓣 2 例。

**3 结果**

本组 36 例,35 例全部成活,1 例前踝上皮瓣因静脉回流不佳部分坏死。经植皮而愈合。1 例游离腹股沟皮瓣因静脉回流不畅皮瓣边缘发紫,经拆除部分缝线后皮瓣成活良好。3 例游离股前外侧皮瓣和 2 例腹股沟皮瓣因皮瓣臃肿行皮瓣整形手术。随访 4 个月~3 年,平均 18 个月。术后足拇趾外形及功能恢复满意,部分感觉恢复,不影响行走及跑跳,无跛行。典型病例术前术后照片见图 1。

**4 讨论**

**4.1 足拇甲瓣供区创面修复方法的选择要点** 足拇甲瓣供区创面的修复比较棘手,修复方法很多,但各有其相应的适应证及优缺点。足拇甲瓣供区创面修复主要有局部带蒂皮瓣、游离皮瓣和交腿皮瓣。

选择局部带蒂旋转皮瓣主要是逆行皮瓣,首先要注意皮

通讯作者:王西迅 E-mail: xixunwang@163.com