

# 弯曲工况下钉数和钉的分布对胫骨骨折外固定稳定性的影响

张纯<sup>1</sup> 贺西京<sup>1</sup> 姚明<sup>2</sup> 乔万海<sup>1</sup>

(1. 西安交通大学第二医院骨三科, 陕西 西安 710004; 2. 西安市第五医院)

**【摘要】** 目的 揭示不同钉分布和钉数对胫骨-外固定器稳定性的影响。方法 以人干燥的尸体胫骨中部行单侧外固定器固定为实验模型。通过电测法观测不同加压量固定的不同实验模型在不同等级弯曲工况下骨表面的应变及轴向位移变化;并设定节点和单元后对胫骨-外固定器系统进行计算应力分析。结果 在弯曲工况下,4 钉均匀分布及 6 钉均匀分布的稳定性较强,但后者稳定性更佳。结论 应用单侧外固定器治疗胫骨骨折时,应采用 4 钉均匀分布,条件许可时采用 6 钉均匀分布。

**【关键词】** 外固定; 胫骨骨折; 稳定性

**An effect of fixators stability of different distributions and number of screws for tibial fracture under torsion condition** ZHANG Chun, HE Xijing, YAO Ming, et al. Department of Orthopaedics, the 2nd Hospital, Xi'an Jiao Tong University (Shanxi Xi'an, 710004, China)

**【Abstract】 Objectives** To explore an effect of the stability of the system of tibia-external fixation from different distributions and numbers of screws **Methods** Experimental models were decided when human corpse tibial transverse fractures fixated with unilateral external fixations. The method of electric resistance fragments were used to observed values of stress of bone surface and axial displacement at grade loads and various models. And the stress of tibia-external fixation was analyzed. **Results** Under bending condition, the stability was better when screws distributions were even at four or six screws compared to other models, but the latter stability was excellent. **Conclusion** The even distribution of four screws was reasonable when tibial fractures were treated with unilateral external fixation, and six screws might be chosen if conditions were permitted.

**【Key words】** External fixator; Tibia fractures; Stability

实验从应变、位移和弯曲刚度(即挠度)这三个方面对胫骨外固定器系统的稳定性进行了比较。

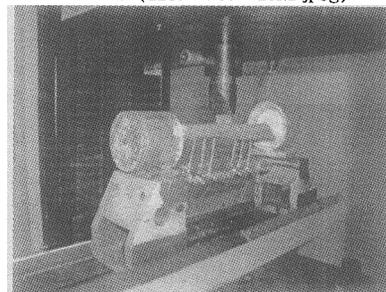
## 1 材料与与方法

**1.1 实验材料** 取形态完整的人尸体干燥胫骨 18 根,注意标本尽量一致;单侧多功能外固定器;固定胫骨两端的夹具,大小分别为 5 cm × 4.5 cm 及 3 cm × 2 cm;电子万能实验机(西安交大力学中心);YZ-25 型静态电阻应变仪,PZOR-25 型预调平衡箱;电阻应变片(R = 120 Ω, K = 2.16, 标距 2 mm × 2.5 mm)。

**1.2 实验步骤** 将 18 根胫骨随机分 6 组,行几何测量,包括胫骨干纵轴长度、截面形状和尺寸;将标本制成中间横断骨折;按 4 钉和 6 钉分成均匀分布、靠近及远离骨折端分布共 6 组;沿胫骨前内侧穿钉,钉间距离为 4 cm,外固定支架的侧杆与胫骨纵轴间距离为 3 cm,每组进行 3 次试验;用石膏固定胫骨两端;

电阻片粘贴在钉孔的受压区,距离骨折端 3.5 mm;4 钉及 6 钉的布片位置一致;载荷为 0~700 N;加载速度:5 mm/min;观测指标:布片位置的应变及外固定系统的轴向位移。实验示意图见图 1。

PC270462(1280×960×16M jpeg)



**图 1** 此为 6 钉均匀分布的弯曲工况。图中钉由左向右依次在 1、3 钉的右侧,6、4 钉在左侧及骨折端的上下粘贴电阻应变片,贴片处即为测点 1、2、3、4、5、6 的部位。

2 实验结果

2.1 钉均匀分布时应变值的实验结果(见表 1,2)  
所有应变值均加 1 675(因为应变的最小值为 -1 675

$\mu\epsilon$ )后通过对数转换、位移值通过平方根转换后行方差分析,采用 SPSS 10.0 软件进行统计分析。表中的数据已进行了还原。以下表中 1-6 为测点。

表 1 4 钉均匀分布时各测点应变变化( $\bar{x} \pm s$ )

载荷 (N)	1	2	3	4	5	6
100	-173 ± 30	-29 ± 8	-54 ± 19	12 ± 2	-14 ± 9	61 ± 3
200	-359 ± 90	-109 ± 20	-146 ± 50	6 ± 1	-60 ± 23	99 ± 6
300	-541 ± 160	-225 ± 42	-270 ± 71	7 ± 3	-113 ± 56	121 ± 10
400	-753 ± 260	-356 ± 52	-426 ± 140	-7 ± 4	-176 ± 62	-46 ± 13
500	-1561 ± 484	-482 ± 56	-680 ± 260	-150 ± 11	-240 ± 70	-30 ± 14
600	-569 ± 150	-685 ± 110	-440 ± 210	-121 ± 40	-158 ± 35	-68 ± 18
700	-743 ± 263	-944 ± 230	-715 ± 350	-151 ± 57	-232 ± 90	-231 ± 25

表 2 6 钉均匀分布时各测点应变变化( $\bar{x} \pm s$ )

载荷 (N)	1	2	3	4	5	6
100	-7 ± 1	-92 ± 5	-15 ± 2	-10 ± 3	-22 ± 2	-42 ± 2
200	-42 ± 2	89 ± 11	-1 ± 0.02	-29 ± 4	-66 ± 3	-60 ± 6
300	-83 ± 3	-127 ± 25	-11 ± 2	-40 ± 5	-111 ± 24	-96 ± 9
400	-119 ± 25	-171 ± 45	-42 ± 3	-58 ± 9	-154 ± 25	-140 ± 35
500	-156 ± 60	-218 ± 63	-70 ± 12	-61 ± 6	-188 ± 45	-189 ± 54
600	-196 ± 35	-39 ± 12	-95 ± 24	-79 ± 10	-243 ± 69	-239 ± 98
700	-238 ± 56	-390 ± 120	-121 ± 35	-126 ± 35	-294 ± 87	-297 ± 95

2.2 统计分析结果 表 1 及表 2 示:钉数不同( $F = 49.68, P < 0.001$ )、钉分布不同( $F = 8.72, P < 0.01$ )、各测点不同( $F = 2.93, P = 0.011$ )及载荷变化( $F = 6.632, P < 0.001$ )时各应变值均有显著性差异。钉数不变时,钉靠近及远离骨折端时应变值差异不显著( $P = 0.391$ ),这两种模型下的应变与均匀分布时的应变差别很大( $P < 0.01$ )。

2.3 轴向位移的实验结果(见表 3,4)

表 3 4 钉分布时的轴向位移( $\bar{x} \pm s$ )(单位:mm)

载荷 (N)	4 钉均布	4 钉近骨折端	4 钉远骨折端
100	1.38 ± 0.06	1.017 ± 0.27	1.195 ± 0.349
200	2.596 ± 0.102	2.13 ± 0.6	2.386 ± 0.532
300	4.104 ± 0.12	3.771 ± 0.215	3.518 ± 0.596
400	5.555 ± 0.211	4.853 ± 0.271	4.983 ± 0.787
500	7.108 ± 0.421	6.241 ± 0.22	3.973 ± 0.1
600	6.953 ± 0.536	8.07 ± 0.215	5.153 ± 0.1
700	5.38 ± 0.246	10.278 ± 0.223	6.393 ± 0.7

2.4 统计分析结果 表 3 及表 4 示:载荷变化( $F = 12.629, P < 0.001$ )、钉数不同( $F = 2.159, P = 0.143$ )及钉分布不同( $F = 2.255, P = 0.107$ )时外固定系统的轴向位移均有显著性差异。钉数不变时,钉靠近及远离骨折端时系统的轴向位移差异不显著( $P = 0.391$ ),这两种模型下的位移与均匀分布时的

位移有显著性差异( $P < 0.01$ )。

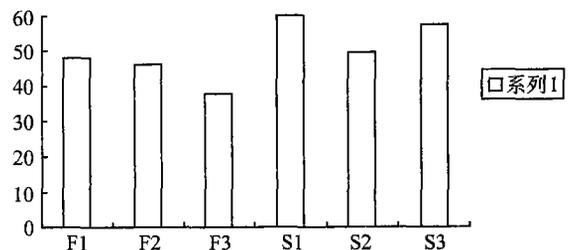
表 4 6 钉分布时的轴向位移( $\bar{x} \pm s$ )(单位:mm)

载荷 (N)	6 钉均布	6 钉近骨折端	6 钉远骨折端
100	0.565 ± 0.16	0.515 ± 0.3	0.689 ± 0.32
200	1.194 ± 0.3	1.164 ± 0.13	1.403 ± 0.45
300	1.884 ± 0.4	1.781 ± 0.11	2.022 ± 0.62
400	2.542 ± 0.48	2.328 ± 0.5	2.811 ± 0.97
500	3.217 ± 0.49	2.939 ± 0.7	4.027 ± 0.281
600	3.986 ± 0.55	3.552 ± 0.1	5.383 ± 0.546
700	5.106 ± 0.7	4.483 ± 0.16	4.544 ± 0.43

3 挠度计算值(见表 5)

表 5 700 N 时胫骨骨折外固定器固定后挠度值(NM/度)

F1	F2	F3	S1	S2	S3
46.53	44.66	36.23	58.27	47.72	55.81



根据表 5 及直方图可知:稳定性排序  $S1 > S3 > S2 > F1 > F2 > F3$

#### 4 700 N 下设置节点和单元后胫骨-外固定系统的应力分析

坐标系的建立: X 轴沿着胫骨的纵轴方向, 设定夹具、钉与胫骨接触的各点、骨折端及钉与外固定器接触的各点为节点, 相邻节点之间的线段为一单元。

表 6 示: 钉数相同时, F1 及 S1 的 Y 轴方向的位移和杆端力都是最小的。注: 以上表格中 F 和 S 分别代表 4 钉和 6 钉; 1、2、3 分别代表钉均匀、远离骨折端及靠近骨折端分布。

表 6 700 N 载荷下 4 钉分布和 6 钉分布的力学数据比较

	X, Y 轴方向的最大位移		最大杆端力		最大力矩 (Mz)(N/M)
	U(mm)	V(mm)	Fx(N)	Fy(N)	
F1	0.203(7.8)	1.101(5)	637.87	769.32	59.5
F2	0.282	1.693	426.40	1613.93	59.5
F3	0.198	2.005	700.13	1613.93	59.5
S1	0.219	0.891	693.28	818.43	59.5
S2	0.184	1.381	874.89	1073.73	59.5
S3	0.286	1.223	596.77	1087.39	59.5

#### 5 讨论

外固定器与胫骨组成的复合系统的总体刚度主要取决于外固定器内在稳定性和骨折间的稳定性。本实验中骨折端是稳定的, 所以用弯曲刚度作为系统稳定性的评价指标。

实验数据显示: 钉均匀分布时骨折端附近的应变值是同级载荷下最小的; 当钉数增加到 6 枚时, 对于均匀分布, 骨折断端的应变值差别不显著; 对于钉靠近骨折端分布, 骨折断端的应变值较大; 当钉远离骨折端时, 骨折端的应变值变小; 4 钉分布系统的轴向位移均值大于 6 钉分布, 因为横梁的位移即为整个系统的变形, 故前者的变形较大。

生物力学和组织形态学研究表明: 骨折愈合类型和骨改建的进程与骨折固定方法和器材有关, 其中重要因素是固定装置的刚度, 刚度愈大, 则该装置

在载荷下的变形量就愈小, 其骨折固定就愈坚强。固定刚度是影响骨折愈合的基本生物力学因素<sup>[1]</sup>。

无论哪种外固定器, 都是由结构单元连接而成<sup>[2]</sup>。设定节点和单元后计算 700 N 下各模型的挠度, 可见钉均匀分布时系统的稳定性是相对最强的。所以在临床中应采用均匀布钉的形式。

关于钉数与骨折愈合的关系, 赵建华等<sup>[3]</sup>通过体外力学测试, 结果表明增多固定钉数能显著提高外固定刚度, 同时也非常显著地提高了应力遮挡率; 赵京涛等<sup>[4]</sup>指出钉数与固定强度成正比, 针距与支架强度成反比。

这和本实验的结果是一致的。所以, 在条件允许时应尽量采用 6 钉分布, 但应具体分析。况且钉数增加对胫骨的损伤就越大, 易造成应力遮挡及应力集中。

为了尽量减少实验误差, 在进行应力计算时考虑了胫骨的几何形状, 这是本实验的特点。

Bryan 等<sup>[5]</sup>认为, 许多因素决定着外固定器的刚度。实验数据的差异毫无疑问反映着骨间的差异。由于实验条件的差异, 人群之间的差异也造成了骨折间位移的不同, 而胫骨的解剖形态、人们行走的步态及骨折类型比外固定器的构型更能影响到骨折的稳定性。所以, 在以后的实验中, 我们决定研究多种器械配置参数条件对外固定器稳定性的影响。

#### 参考文献

- 1 Lazo-zbikowski J. Biocompression external fixation. Clin Orthop, 1986, 206: 169.
- 2 Delprete C, Gola MM. Mechanical performance of external fixators with wires for the treatment of bone fractures-Part 1: Load-displacement behaviour. J biomech Eng, 1993, 115(1): 29-36.
- 3 赵建华, 李起鸿. 影响外固定刚度和应力分布因素的实验研究. 中国骨伤, 1996, 9(6): 9.
- 4 赵京涛, 王以进, 杨俊兴, 等. 外固定支架治疗股骨粗隆间骨折的生物力学优化实验研究. 中医正骨, 1999, 11(11): 3.
- 5 BYJ Bryan, Rorabeck. Stability of ten configurations of the Hoffman External-Fixation Frame. J Bone Joint Surg(Am), 1987, 69: 740.

(收稿: 2002-09-30 修回: 2003-02-09 编辑: 李为农)

### 北京天东电子医用设备公司供货信息

北京天东医疗设备有限公司生产部是多年生产口腔正畸材料、骨科器械及小针刀系列产品的专业厂家。审批文件: 京药管械经营许 20000629 号, 京药管械生产许 20000333 号, 京药管械(准)字 2001 年第 2140253 号, 京医械广审(文)200303012 号。

现办理小针刀邮购业务, 售价: I 型(20 支装)每套 120 元; II ~ III 型(10 支装)每套 90 元。每套加收 10 元包装邮资, 款到发货。地址: 北京天东医疗设备有限公司, 北京市丰台区三路居乙 12 号。邮编: 100073 电话: 010-63266458 63488112