

文章编号:1004-7220(2015)02-0167-07

## 三种内固定方式固定胫骨平台 后外侧骨折的生物力学研究

范鑫斌<sup>1</sup>, 张岩<sup>1</sup>, 杨铁毅<sup>1</sup>, 梁旭<sup>1</sup>, 罗从凤<sup>2</sup>, 刘粤<sup>1</sup>, 吴亮<sup>1</sup>, 叶维光<sup>1</sup>, 应辉<sup>1</sup>

(1. 上海市浦东新区公利医院 骨科, 上海 200135; 2. 上海交通大学附属第六人民医院 骨科, 上海 200233)

**摘要:** **目的** 探讨胫骨平台后外侧骨折合理有效的内固定方式。**方法** 制作成年男性尸体胫骨平台后外侧骨折模型12个,随机平均分为3组,分别使用前侧6.5 mm 拉力螺钉、胫骨平台外侧L型4.5 mm 解剖锁定钢板、后侧T型3.5 mm 锁定钢板固定。对标本模型进行轴向加压250、500、750、1000 N,检测其轴向位移及应力。**结果** 在相同应力下,前侧螺钉组轴向Y轴位移最小,分别与外侧钢板组和后侧钢板组存在显著差异,而外侧钢板组与后侧钢板组之间Y轴位移没有显著差异;前侧螺钉组在标识点的应力分布最为均衡。**结论** 在胫骨平台后外侧骨折的固定中,前侧螺钉能够有效增加轴向稳定,骨折块周围应力分布均衡,是一种有效的力学固定方式,外侧钢板在横向的稳定性控制上具有一定优势,后侧钢板对于后方需要复位的平台骨折具有一定价值。

**关键词:** 胫骨平台; 骨折; 内固定; 螺钉; 钢板; 应力分布

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.3871/j.1004-7220.2015.02.167

## Biomechanical study on three types of internal fixation methods for posterolateral fracture of the tibial plateau

FAN Xin-bin<sup>1</sup>, ZHANG Yan<sup>1</sup>, YANG Tie-yi<sup>1</sup>, LIANG Xu<sup>1</sup>, LUO Cong-feng<sup>2</sup>, LIU Yue<sup>1</sup>, WU Liang<sup>1</sup>, YE Wei-guang<sup>1</sup>, YING Hui<sup>1</sup> (1. Department of Orthopaedics, Gong Li Hospital of Pu Dong New Area, Shanghai 200135, China; 2. Department of Orthopaedics, Shanghai Sixth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200233, China)

**Abstract:** **Objective** To investigate a reasonable and effective internal fixation method for posterolateral fracture of the tibial plateau. **Methods** Specimens of the tibial plateau with posterolateral fracture made from 12 adult male cadavers were randomly and evenly divided into 3 groups, and fixed by anterior 6.5 mm lag screw, lateral 4.5 mm L-shape plate, posterior 3.5 mm T-shape plate, respectively. All the specimens were loaded in turn by stress of 250, 500, 750, 1 000 N, and the corresponding axial displacement and stress were measured. **Results** Under the same stress, the Y-axial displacement of the anterior lag screw group was the smallest, showing a significant difference with the lateral plate group and the posterior plate group, while there was no significant difference between the lateral plate group and the posterior plate group in the Y-axial displacement. The stresses on marked points in the anterior lag screw group were evenly distributed. **Conclusions** For fixation of isolated posterolateral fractures of the tibial plateau, the anterior 6.5 mm lag screw can effectively increase the axial stability and balance the stress distribution around the fracture block, indicating it is an effective method for mechanical fixation. The lateral plate has certain advantage in lateral stability control, while the posterior plate has certain value to reduction of the posterior tibia plateau fracture.

**Key words:** Tibia plateau; Fracture; Internal fixation; Screw; Plate; Stress distribution

收稿日期:2014-05-05; 修回日期:2014-08-05

基金项目:上海市浦东新区卫生系统重点学科建设项目(PWZx2014-09),上海市浦东新区卫生系统学科带头人项目(PWRd2012-16)。

通信作者:张岩,副主任医师, Tel:(021)58858730-5166; E-mail:mmyzh@126.com。

胫骨平台骨折一直是骨科创伤领域研究的热点之一<sup>[1-3]</sup>,特别对于高能量的损伤,由于骨折的复杂性,常会出现一些并发症<sup>[4]</sup>,使骨折恢复无法达到预期。而骨折治疗不再局限于传统双侧入路双钢板的理念,基于CT图像的胫骨平台骨折分型<sup>[5-6]</sup>进一步完善了对胫骨平台骨折的认识,也使胫骨平台后侧骨折的复位支撑及其稳定性受到越来越多的重视。本文旨在通过对尸体骨胫骨平台后外侧骨折模型的研究,初步探讨其生物力学特性,期望为临床工作提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

实验主要材料包括6具经福尔马林处理的成年男性防腐尸体胫骨标本共12个(由上海交通大学医学院解剖学教研室提供),经X片检查排除基本的骨骼系统疾病及严重的骨质疏松。前侧6.5 mm拉力螺钉、胫骨平台外侧L型4.5 mm解剖锁定钢板、后侧T型3.5 mm锁定钢板、螺钉若干以及钢板螺钉固定使用全套器械(Synthes公司,瑞士)。

所用仪器设备包括CSS-44000电子万能试验机(长春试验机研究所和德国DOULI电子公司合作产品),DH3818静态应变测试系统(东华靖江技术公司生产),BE120-2AA应变片[中航电测仪器公司生产,灵敏度系数:1.0~3.0自动修正,供桥电压:2 V,测量应变范围: $\pm 19\ 999\ \mu\epsilon$ ,最高分辨率:1  $\mu\epsilon$ ,敏感栅尺寸:2.0 mm  $\times$  1.7 mm,基底尺寸:5.4 mm  $\times$  3.2 mm,电阻值:(119.8  $\pm$  0.1)  $\Omega$ ,敏感系数:(2.17  $\pm$  1)%,可在正常室温环境下工作]。WAT-902H黑白高清晰度摄像机[北京嘉恒中自图像技术有限公司生产,CCD尺寸:1/2",有效像素:C440 K,水平解晰度:570 lines,最低照度:3  $\times 10^{-4}$  lx (F1.4)(AGC: High)]。

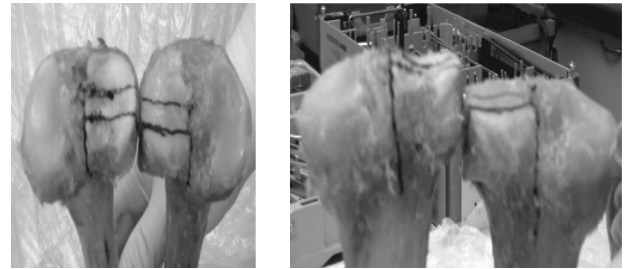
实验所用软件为TextExPert 3.0控制程序,负责采集数据、绘制曲线、曲线局部放大或缩小、曲线单显或多条曲线叠加对比、打印预览以及人工有效修正等功能。

其他实验工具及材料包括胫骨标本纵向固定夹具(同济大学生物医学工程研究所);自凝牙托粉(11型)3 kg、自凝牙托水3 L(上海市珊瑚化工厂生产)、砂纸、电吹风机、丙酮、无水酒精、焊接工具、铜

芯导线、万用表测量、手锯、502胶水、若干无菌消毒手套及工作衣等(自备)。

### 1.2 方法

**1.2.1 标本的制备与分组** 经福尔马林处理的成年男性防腐尸体胫骨标本12个,使用解剖工具小心剔除胫骨周围软组织,避免损伤骨组织,去除胫骨平台上方内外侧半月板及交叉韧带,包括胫骨两侧副韧带及周围脂肪、腱膜、肌肉组织等。胫骨远端使用锯子将其与足离断,保留胫骨近端30 cm。然后,根据胫骨平台三柱分型<sup>[5-6]</sup>的界限,将后侧平台沿中线分为后内侧和后外侧,在后外侧平台区域根据横向中线在标本上画上模拟的截骨线,矢状面上斜向的分界线与平台切线的夹角为80°,使用摆锯小心沿截骨方向截骨,制成胫骨平台后外侧骨折模型(见图1)。



(a) 正面观

(b) 侧面观

图1 胫骨平台后外侧模拟1/2骨折线

Fig. 1 Simulation of 1/2 fracture line in posterolateral tibial plateau (a) Anterior view, (b) Lateral view

12个标本中,随机分为3组,每组选用4个标本,分别使用前侧6.5 mm拉力螺钉、胫骨平台外侧L型4.5 mm解剖锁定钢板、后侧T型3.5 mm锁定钢板固定胫骨平台后外侧骨折模型。固定骨折块时尽可能模拟临床常用解剖入路及钢板螺钉固定的位置,不因体外实验(如腓骨小头、血管神经去除等原因)的便利而改变。

**1.2.2 加载平台的制作** 由于胫骨平台标本表面凹凸不平整,为了便于应力的均匀加载,需在每个模型平台上方使用牙托粉制作一个加载平台,使用牙托粉结合应力加载仪器的球头压出一个相互吻合的半圆形凹槽(直径2.0 cm),牙托粉可以有效塑型,约30 min后牙托粉固化,形成加载平台(见图2),制作时需保持胫骨标本标准直立位,防止侧向偏移影响力的传导。

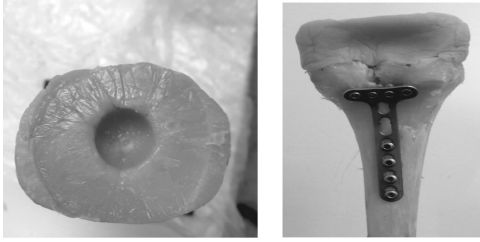


图2 使用牙托粉在骨折模型上方制作一个加载平台  
Fig.2 Loading platform on the fracture model by denture powder

**1.2.3 位移标识点及应变片的分布** 在白色铜版纸上通过激光打印机分别绘制出  $2.37\text{ mm} \times 2.43\text{ mm}$  小5字体的黑色圆点作为人工位移标识点及  $2 \sim 4$  个  $4\text{ mm} \times 4\text{ mm}$  的黑色正方形相连作为标尺。将标识置于后外侧平台骨折块上方的牙托粉上,便于摄像机拍摄。在骨折模型上,主要是在骨折块的周围及骨折块上布置多个标识点。在多个实验标本中选取5个相对标本间位置固定的标识点,作为最后进行测试及比较的点。5个位移标识点的位置按顺序分别位于后外侧平台骨折块的上方、内侧、骨折块中间、下方及外侧5个位置(见图3)。

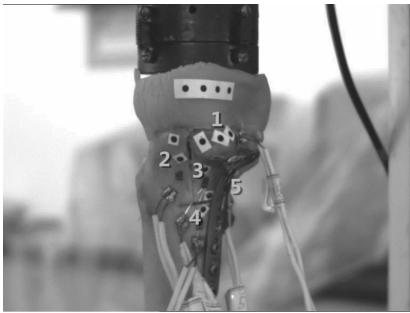


图3 标本上位移标识点及应变片分布  
Fig.3 Marked points and strain gauges on the specimen

考虑到实验中所产生的应力变化仅是轴向应力,采用应变片测试不同位置的应力变化。应变片的位置基本与位移标识点相一致,包括后外侧骨折块的上方、内侧、骨折块中间、下方及外侧5个位置,实验中保证多个样本应变片的安放部位和方向基本一致,以尽可能减少应变片放置差异所造成的实验误差。在放置电阻应变片前以砂纸( $100\# \sim 240\#$ )对骨面进行处理,砂纸打磨方向与置片纵轴成  $45^\circ$ ,以丙酮脱脂,无水酒精处理,电吹风机吹干。所有电阻

片应用万用表测电阻,任意两个电阻片之间电阻差值不得高于  $0.5\ \Omega$ 。以502胶水粘贴电阻应变片及端子。端子通过焊接,一端接电阻应变片,一端由导线接静态电阻应变仪,万用表测量无断路。

**1.2.4 标本的加载与控制** 将胫骨标本远端置于胫骨标本纵向固定夹具内并完全固定,保持标本直立位置。平台近端通过牙托粉制作的加载平台与标本完好贴合。应变片上通过导线连接静态电阻应变仪,应变仪连接控制电脑,通过电脑指令对模型进行力的加载及测试,标本的应力加载从  $0\text{ N}$  开始,分别记录加载至  $250, 500, 750, 1\ 000\text{ N}$  时标本上测试点的位移及应力变化。使用 WAT-902H 黑白高清晰度摄像机记录标识点加载后的位移变化,每次加载开始前进行位移  $0$  点的校正。加载均在弹性形变范围内进行,记录各电阻片的应变值,每枚应变片测量4次取平均值。

**1.2.5 统计方法** 应用 SPSS 16.0 对数据进行统计学处理,使用单因素方差分析进行数据分析,检验方差齐性,使用 LSD 法进行组间比较,  $P < 0.05$  表示差异具有统计学意义。

## 2 结果

实验均在室温下完成。测量过程中,实验标本没有因应力加载而发生螺钉、钢板断裂,各应变片没有出现短路或断路的情况。

### 2.1 标识点位移测试结果

根据 WAT-902H 黑白高清晰度摄像机记录标识点加载后的位移变化,  $Y$  轴方向位移正值为向下方移动,负值为向上方移动,各标识点测量  $Y$  轴位移数据见表1。  $Y$  轴位移数值通过 SPSS 16.0 软件进行统计,采用单因素方差分析进行数据统计,经方差齐性检验 ( $P > 0.05$ ),各组方差齐次。经 LSD 法进行组间两两比较,  $P < 0.05$  为有显著性差异,结果见表2。

### 2.2 标识点应力测试结果

通过模型上的应变片,并由导线连接静态电阻应变仪,进行标识点的应力检测。各标识点的应力检测结果见表3。根据上述位移、应力测试结果可知:①各分组下,位移及应力随着加载应力的增加而逐渐增加,变化呈正相关趋势。②  $Y$  轴位移变化:前侧螺钉组发生位移最小,前侧螺钉组位移与后侧钢

表1 标本上各标识点Y轴方向位移

Tab.1 The Y-axis displacement of each marked point in the specimen

轴向应力/N	位移/ $\mu\text{m}$					
	分组	点1	点2	点3	点4	点5
250	后侧钢板	231 ± 68	264 ± 57	281 ± 59	265 ± 49	288 ± 59
	外侧钢板	239 ± 79	273 ± 64	287 ± 62	275 ± 52	296 ± 64
	前侧螺钉	87 ± 46	90 ± 33	111 ± 27	94 ± 11	90 ± 7
500	后侧钢板	443 ± 126	516 ± 113	548 ± 111	519 ± 88	562 ± 118
	外侧钢板	464 ± 154	540 ± 126	564 ± 122	540 ± 98	578 ± 117
	前侧螺钉	165 ± 91	176 ± 67	214 ± 48	182 ± 19	180 ± 13
750	后侧钢板	588 ± 120	763 ± 167	788 ± 170	754 ± 137	815 ± 177
	外侧钢板	629 ± 128	782 ± 187	830 ± 207	771 ± 146	893 ± 238
	前侧螺钉	238 ± 128	245 ± 83	298 ± 71	238 ± 28	231 ± 18
1 000	后侧钢板	845 ± 252	1 001 ± 243	1 049 ± 226	995 ± 173	1 079 ± 233
	外侧钢板	887 ± 299	1 058 ± 256	1 080 ± 237	1 047 ± 197	1 117 ± 237
	前侧螺钉	318 ± 182	339 ± 122	410 ± 89	328 ± 29	334 ± 22

表2 标本上各标识点组间P值比较(\* $P < 0.05$ )

Tab.2 P value between groups of each marked point in the specimen

轴向应力/N	P值					
	组间比较	点1	点2	点3	点4	点5
250	后侧钢板-外侧钢板	0.862	0.828	0.878	0.750	0.825
	外侧钢板-前侧螺钉	0.010 *	0.001 *	0.001 *	0.000 *	0.000 *
	后侧钢板-前侧螺钉	0.013 *	0.001 *	0.001 *	0.000 *	0.000 *
500	后侧钢板-外侧钢板	0.821	0.749	0.828	0.715	0.815
	外侧钢板-前侧螺钉	0.009 *	0.001 *	0.001 *	0.000 *	0.000 *
	后侧钢板-前侧螺钉	0.013 *	0.001 *	0.001 *	0.000 *	0.000 *
750	后侧钢板-外侧钢板	0.653	0.859	0.719	0.839 *	0.537
	外侧钢板-前侧螺钉	0.002 *	0.001 *	0.001 *	0.000 *	0.000 *
	后侧钢板-前侧螺钉	0.003 *	0.001 *	0.002 *	0.000 *	0.001 *
1 000	后侧钢板-外侧钢板	0.817	0.720	0.828	0.642	0.788
	外侧钢板-前侧螺钉	0.010 *	0.001 *	0.001 *	0.000 *	0.000 *
	后侧钢板-前侧螺钉	0.015 *	0.002 *	0.001 *	0.000 *	0.001 *

板、外侧钢板组位移分别存在显著性差异( $P < 0.05$ ),而后侧钢板组与外侧钢板组位移之间没有显著性差异( $P > 0.05$ ),说明在轴向位移上,前侧螺钉组具有明显的优势。③Y轴位移变化总体趋势:后侧钢板组与外侧钢板组在骨折块外侧(标识点5)上位移变化最大,而在骨折块上方(标识点1)上位移变化最小;前侧螺钉组中标骨折块中间(标识点

3)位移变化最大,骨折块上方(标识点1)位移变化最小。④应力分布情况:3组内固定方式中,前侧螺钉组在5个标识点的应力分布最为均衡,后侧钢板组次之,而外侧钢板组应力分布较差。其中,后侧钢板组与外侧钢板组在标识点3位置,即后外侧骨块上,应力最为集中,而前侧螺钉组在骨折块与骨折周围的应力分布则不明显。

表3 标本上各标识点的应力

Tab.3 The stress of each marked point in the specimen

分组	轴向应力/ N	应力/MPa				
		点1	点2	点3	点4	点5
外侧 钢板	250	67.00	356.33	780.33	62.00	41.67
	500	75.67	267.00	848.67	75.67	55.33
	750	88.00	337.33	935.33	87.67	65.67
	1 000	103.67	457.33	1 235.33	90.00	79.00
后侧 钢板	250	1.00	0.33	203.67	1.33	3.00
	500	9.00	30.33	204.33	5.33	10.33
	750	11.33	53.33	208.67	14.00	11.00
	1 000	16.00	55.67	211.33	24.67	10.00
前侧 螺钉	250	21.00	85.33	12.67	13.33	98.33
	500	33.67	153.00	25.33	37.00	225.00
	750	42.00	236.00	43.00	66.00	329.33
	1 000	51.67	304.00	79.00	104.67	424.67

### 3 讨论

#### 3.1 胫骨平台骨折治疗理念的变革

Schatzker<sup>[7]</sup>于1997年提出胫骨平台骨折的Schatzker分型,从此开启人们对胫骨平台骨折认识的新篇章;他介绍了胫骨平台骨折的6类分型,并阐述其损伤机制以及治疗方法,对临床胫骨平台骨折的治疗起到关键作用。

时至今日,Schatzker分型仍然是治疗胫骨平台骨折最经典的分型,具有重要的临床价值;但由于高能量损伤的增多,临床上遇到了更为复杂的胫骨平台骨折病例。平台骨折已经跨越内外侧简单的双侧结构,在水平面360°上都出现了骨折;针对此类骨折处理上存在较大的分歧,治疗过程中出现的并发症也逐渐增多<sup>[8-11]</sup>。近年来,涉及胫骨平台后侧骨折成为研究热点,而根据其形态学很难归入国际常用的Schatzker分型<sup>[7]</sup>及AO分型<sup>[12]</sup>。Khan等<sup>[13]</sup>结合平台正侧位X线和CT等影像学检查,依照形态学分布将累及胫骨平台后侧的骨折划分为单独一型,即P型平台后侧骨折,并进一步细分为P1平台后内侧骨折和P2平台后外侧骨折,对后侧骨折进行单独的分型。此后,越来越多的学者认为,仅仅依靠X线对胫骨平台骨折的分型存在局限性,无法完全囊括胫骨平台所有的骨折类型。因此,结合X线和

CT等影像学资料,并涉及胫骨平台后侧骨折的三柱分型应运而生<sup>[5-6]</sup>。

#### 3.2 研究结果对临床工作的意义

本文胫骨平台后外侧骨折块生物力学研究结果发现,3种固定方式中,前侧螺钉在轴向位移以及应力分布上具有明显的优势;外侧钢板由于仅仅依靠侧方螺钉的固定,在对骨折的固定上相较薄弱;后侧钢板组由于缺乏侧方的稳定性,且钢板上螺钉直径相对较小(3.5 mm),仅仅依靠后侧钢板固定稳定性仍有所欠缺。

良好的固定方式需要将骨折块上的应力进行有效地分散,避免应力过分集中,从而导致内固定材料的固定失效或者出现钢板螺钉断裂等。本研究发现,前侧螺钉在应力分布上最为均衡,从而很好分散了来自轴向的应力;而同时,应力的分散不代表完全去除应力,使骨折块上的应力降到最低。事实上,根据Wolff定律,保持一定的应力是促进骨折愈合的必要条件。从这一点上来说,前侧螺钉的固定正好恰巧符合这样的原则。

有关平台骨折后侧固定的理念一直存在争论,由于膝关节后方血管神经的阻碍,使得后方的固定从解剖学上存在一定的困难。本研究结果表明,在一个相对较为理想的模型下(平台仅仅累及后外侧,且骨折相对简单,复位良好),前侧螺钉具有一定的优势,而且前方螺钉的置入不需要过多暴露后方的骨折块,手术技术的要求也不高,是对临床工作的一个很好参考。但不可忽略的是,本研究中的模型制备和固定都是在相对简单情况下进行(没有周围血管韧带神经,没有腓骨的阻挡),骨折的复位也是在直视下开展;而在临床实际工作中,往往会遇到更为复杂的情况,故本实验结果仅仅作参考,希望对临床能够起到一定的帮助作用。在一些临床病例中,认为后方的切口及钢板固定可以有效地对平台后方复杂的骨块进行复位,并且对平台起到后侧支撑的作用,防止平台向后的倾倒或滑移,在临床使用中具有一定的必要性和实用价值。而外侧钢板对于平台骨折有向外侧侧向移位的病例具有一定的价值,通过钢板对平台侧方的加压,可以有效减少骨块侧方的位移,且手术技术相对简单,掌握容易,是经典的平台手术入路。

值得一提的是,在临床工作中,实际情况往往更

为复杂,应力的大小、作用点、方向都在实验中无法近似模拟,骨折的类型、部位、损伤程度也不尽相同,故在实际工作中应考虑取长补短,结合多种内固定方式,对骨折块的稳定性会有更好的效果。

### 3.3 胫骨平台后侧骨折生物力学研究的意义

骨折的治疗理念来源于长期的临床积累,生物力学研究不仅是对骨折治疗新方法、新技术在临床应用开始前的模拟及推测,也是对新治疗方法的验证及评判,是骨折治疗不可或缺的实验室基础。

对于胫骨平台骨折的治疗,许多学者通过生物力学研究进行部分假设的推断与验证。Patil 等<sup>[14]</sup>对单纯胫骨平台塌陷骨折(Schatzker III型)的生物力学研究发现,平台下方使用4枚3.5 mm皮质骨螺钉要比2枚6.5 mm松质骨螺钉更坚强,能够承受更持久的轴向加压。Hasan 等<sup>[15]</sup>通过比较Schatzker V型及Schatzker VI型模型生物力学特性发现,3.5 mm与4.5 mm锁定钢板系统在轴向位移、弹性变形等方面都没有显著性差异,仅仅是在最大失效载荷上4.5 mm钢板更具优势。

而在新的技术和理念推出后,也有学者做了类似的尝试,试图进行验证。Weimann 等<sup>[16]</sup>测试了一种新的胫骨平台固定交锁技术,胫骨平台外侧骨折时,在传统的外侧2枚螺钉的基础上,在螺钉下方垂直于2枚螺钉方向打入1枚交锁螺钉,通过生物力学测试发现,交锁技术在平均最大承载应力(2.276 kN)上较传统外侧2枚螺钉技术(1.797 kN)优势明显,而在强度、位移、屈服载荷上无明显差异,作者认为交锁技术在防止螺钉切出上具有潜在优势。其他的新技术诸如平台填充植骨材料<sup>[17-18]</sup>、新的内固定材料<sup>[19-21]</sup>等也都经过生物力学研究的验证。

### 3.4 实验的局限性及对未来的展望

采用的位移及应力标识点根据骨折块周围、骨折块上依次标识,标识过程中由于固定方式的不同(后侧钢板及外侧钢板将部分参照点的位置占用而影响部分参考点的选择),仅能近似地选取位置相对较固定的点,而且模型间在选取标识点的过程中会存在一定误差,影响实验结果。

在应力的检测过程中,生物力学实验仅能在模型表面进行标识点的选取,无法如有限元分析可以选取模型的内部点;而在本课题组先期的有限元分

析中发现,应力最为集中的部位是内固定的螺钉与骨折线交汇的部分,而理论上最大应力的检测比模型表面的应力更有实际意义。

另外,采用的胫骨平台后外侧骨折模型是一个理想模型,骨折为简单骨折,没有粉碎骨折块,复位也是基本解剖复位,这与临床上复杂多变的情况不相一致,实验尚不能完全真实、可靠地呈现实际胫骨平台后外侧骨折时的情况。今后需要对复杂胫骨平台后侧骨折进行更为深入的研究。

### 参考文献:

- [1] Piposar J, Fowler JR, Gaughan JP, *et al.* Race may not affect outcomes in operatively treated tibia fractures [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2012, 470(5): 1513-1517
- [2] Babis GC, Evangelopoulos DS, Kontovazenitis P, *et al.* High energy tibial plateau fractures treated with hybrid external fixation [J]. *J Orthop Surg Res*, 2011, doi: 10.1186/1749-799X-6-35.
- [3] Zura RD, Browne JA, Black MD, *et al.* Current management of high-energy tibial plateau fractures [J]. *Curr Orthop*, 2007, 21(3): 229-235.
- [4] Papagelopoulos PJ, Partsinevelos AA, Themistocleous GS, *et al.* Complications after tibia plateau fracture surgery [J]. *Injury*, 2006, 37(6): 475-484.
- [5] Luo CF, Hu CF, Gao H, *et al.* Three-column classification for tibial plateau fractures [J]. *Chin J Orthop Trauma*, 2009, 11(3): 201-205.
- [6] Luo CF, Sun H, Zhang B. Three-column fixation for complex tibial plateau fractures [J]. *J Orthop Trauma*, 2010, 24(11): 683-692.
- [7] Schatzker J, McBroom R, Bruce D. The tibial plateau fracture. The Toronto experience 1968-1975 [J]. *Clin Orthop*, 1979, 138: 94-104.
- [8] Stauffer KD, Tuttle TA, Elkins AD, *et al.* Complications associated with 696 tibial plateau leveling osteotomies (2001-2003) [J]. *J Am Anim Hosp Assoc*, 2006, 42(1): 44-50.
- [9] Cross WW 3rd, Levy BA, Morgan JA, *et al.* Periarticular raft constructs and fracture stability in split-depression tibial plateau fractures [J]. *Injury*, 2013, 44(6): 796-801.
- [10] Heikkilä JT, Kukkonen J, Aho AJ, *et al.* Bioactive glass granules: A suitable bone substitute material in the operative treatment of depressed lateral tibial plateau fractures: A prospective, randomized 1 year follow-up study [J]. *J Mater Sci Mater Med*, 2011, 22(4): 1073-1080.

- [11] Hsieh CH, Huang HT, Liu PC, *et al.* Anterior approach for posteromedial tibial plateau fractures [J]. *Kaohsiung J Med Sci*, 2010, 26(3): 130-135.
- [12] Helfet DL, Haas NP, Schatzker J, *et al.* AO philosophy and principles of fracture management-Its evolution and evaluation [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2003, 85A(6): 1156-1160.
- [13] Khan RM, Khan SH, Ahmad AJ, *et al.* Tibial plateau fractures. A new classification scheme [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2000, 375: 231-242.
- [14] Patil S, Mahon A, Green S, *et al.* A biomechanical study comparing a raft of 3.5 mm cortical screws with 6.5 mm cancellous screws in depressed tibial plateau fractures [J]. *Knee*, 2006, 13(3): 231-235.
- [15] Hasan S, Ayalon OB, Yoon RS, *et al.* A biomechanical comparison between locked 3.5-mm plates and 4.5-mm plates for the treatment of simple bicondylar tibial plateau fractures: Is bigger necessarily better? [J]. *J Orthop Traumatol*, 2013, doi: 10.1007/s10195-013-0275-6.
- [16] Weimann A, Heinkele T, Herbolt M, *et al.* Minimally invasive reconstruction of lateral tibial plateau fractures using the jail technique: A biomechanical study [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2013, doi: 10.1186/1471-2474-14-120.
- [17] Zou H, Ma X, Tang C, *et al.* Biomechanical study on a novel injectable calcium phosphate cement containing poly (latic-co-glycolic acid) in repairing tibial plateau fractures [J]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*, 2013, 27(7): 855-859.
- [18] McDonald E, Chu T, Tufaga M, *et al.* Tibial plateau fracture repairs augmented with calcium phosphate cement have higher in situ fatigue strength than those with autograft [J]. *J Orthop Trauma*, 2011, 25(2): 90-95.
- [19] Lasanianos NG, Garnavos C, Magnisalis E, *et al.* A comparative biomechanical study for complex tibial plateau fractures: Nailing and compression bolts versus modern and traditional plating [J]. *Injury*, 2013, 44(10): 1333-1339.
- [20] Högel F, Hoffmann S, Panzer S, *et al.* Biomechanical comparison of intramedullar versus extramedullar stabilization of intra-articular tibial plateau fractures [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2013, 133(1): 59-64.
- [21] Lindeque B, Baldini T. A biomechanical comparison of three different lateral tibia locking plates [J]. *Orthopedics*, 2010, 33(1): 18-21.

---

## 邮箱变更通知

各位审稿专家、读者和作者:

由于编辑部原有电子邮箱 shengwulixue@gmail.com 一直不能稳定工作,本刊编辑部的电子邮箱现改为 shengwulixue@163.com,该电子邮箱自 2015 年起开始使用。不便之处,敬请谅解。

若有问题可以直接和编辑部联系,编辑部电话:(021)53315397。

本刊编辑部