

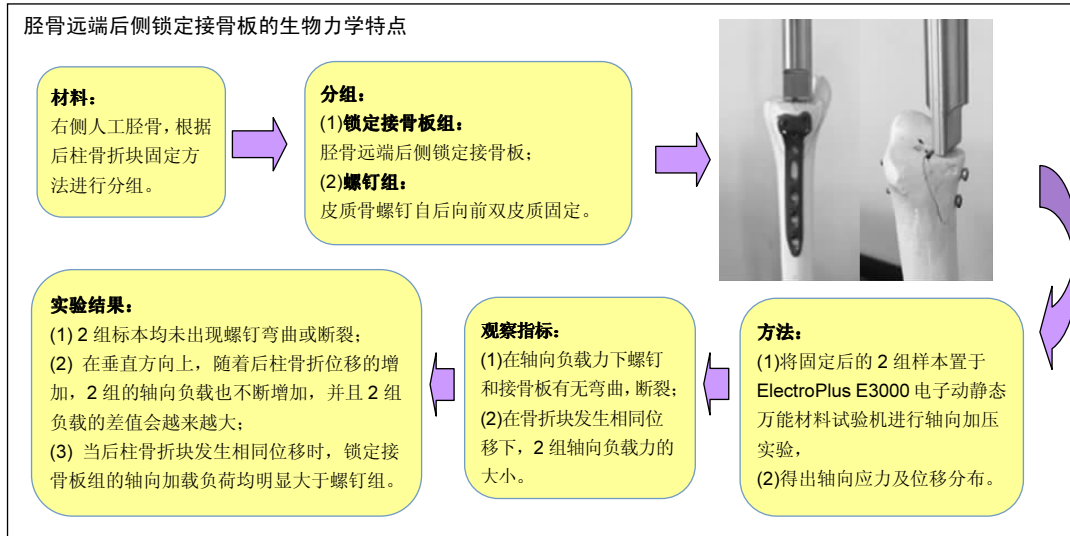
# 胫骨远端后侧锁定接骨板固定Pilon后柱骨折的力学分析

高杨, 张德强, 汤欣(大连医科大学附属第一医院, 辽宁省大连市 116011)

引用本文: 高杨, 张德强, 汤欣. 胫骨远端后侧锁定接骨板固定Pilon后柱骨折的力学分析[J]. 中国组织工程研究, 2017, 21(23): 3712-3717.

DOI:10.3969/j.issn.2095-4344.2017.23.018 ORCID: 0000-0002-1756-6743(高杨)

文章快速阅读:



高杨, 男, 1988年生, 安徽省长丰县人, 汉族, 大连医科大学毕业, 硕士, 医师, 主要从事四肢及关节周围骨折微创治疗方面的研究。

通讯作者: 张德强, 博士, 主任医师, 专业方向为复杂关节周围骨折的微创治疗。

中图分类号: R318

文献标识码: A

文章编号: 2095-4344

(2017)23-03712-06

稿件接受: 2017-06-30

文题释义:

**Pilon后柱骨折:** 为踝关节后方的Pilon骨折, 由垂直暴力导致, 往往伴有关节软骨的塌陷及粉碎性骨折, 胫骨远端后方骨折块较大常伴有距骨的半脱位, 由于Pilon后柱骨折往往存在距骨的半脱位, 如果不能良好复位, 往往存在踝关节不稳定, 容易出现踝关节退变。

**Pilon后柱骨折内固定治疗:** Pilon后柱骨折行切开解剖复位内固定治疗已达成共识, 但关于内固定方案的选择尚无统一的标准。目前, 治疗Pilon后柱的方法有支持钢板固定、自后向前螺钉固定及自前向后螺钉固定。术者应根据患者病情、术者的技巧和经验选择合适的内固定物。

摘要

**背景:** Pilon后柱骨折行切开解剖复位内固定治疗已达成共识, 但关于内固定方案的选择尚无统一标准。

**目的:** 探讨两种内固定方式修复Pilon后柱骨折的生物力学性能, 为临床选择合适的内固定提供参考。

**方法:** 将20具右侧人工胫骨随机分成2组, 根据Pilon后柱骨折特点及临床分型制造出Pilon后柱骨折模型。锁定接骨板组采用5孔胫骨远端后侧锁定接骨板系统固定, 螺钉组采用2枚3.5 mm皮质骨螺钉由后向前双皮质固定。分别置于电子动静态万能材料试验系统中, 垂直加载至内固定失效, 记录出现不同台阶时的轴向加载负荷。

**结果与结论:** ①加载后2组标本均未发生螺钉弯曲或断裂; ②出现0.5, 1.0, 1.5, 2.0 mm台阶时, 胫骨远端后侧锁定接骨板组的轴向加载负荷均大于螺钉组, 随着后柱骨折块位移的增加, 2组间的轴向加载力差值也越来越大, 且组间比较差异均有显著性意义( $P < 0.05$ ); ③生物力学检测分析表明, 在治疗Pilon后柱骨折中, 胫骨远端后侧锁定接骨板的固定效果优于螺钉。

**关键词:**

骨科植入物; 骨植入物; 胫骨远端后侧锁定接骨板固定; Pilon后柱骨折; 螺钉从后向前固定; 生物力学; 国家自然科学基金

**主题词:**

胫骨; 骨折; 内固定器; 生物力学; 组织工程

**基金资助:**

国家自然科学基金专项基金项目(81350017)

Gao Yang, Master, Physician, the First Affiliated Hospital of Dalian Medical University, Dalian 116011, Liaoning Province, China

Corresponding author: Zhang De-qiang, M.D., Chief physician, the First Affiliated Hospital of Dalian Medical University, Dalian 116011, Liaoning Province, China

## Mechanical analysis of the distal tibia posterior locking plate fixation for posterior Pilon fracture

Gao Yang, Zhang De-qiang, Tang Xin (the First Affiliated Hospital of Dalian Medical University, Dalian 116011, Liaoning Province, China)

## Abstract

**BACKGROUND:** Open reduction and internal fixation has been confirmed to treat posterior Pilon fracture, but choosing which fixation scheme is still under discussion.

**OBJECTIVE:** To explore the biomechanical properties of posterior Pilon fracture after repaired by two different fixation methods, thus providing reference for selecting an appropriate fixation scheme.

**METHODS:** Twenty right artificial femurs were randomized into two groups A and B, and the models of posterior Pilon fracture were established based on its characters and classification. The group A received with 5 holes distal tibial posterior locking plate fixation, and the group B underwent two 3.5 mm of cortical screws from back to front bicortical fixation, followed by placed in the Instron ElectroPulsE3000 universal electronic static and dynamic materials testing systems, vertical speed loaded until internal fixation failure, the loading was recorded when different steps appeared.

**RESULTS AND CONCLUSION:** (1) After loading, none of groups presented with screw bent or broken. (2) The axial load when appeared with 0.5, 1.0, 1.5, and 2.0 mm steps in the group A was higher than that in the group B, and the axial load significantly increased with fracture fragment displacement increasing ( $P < 0.05$ ). (3) The biomechanical test shows that the distal tibial posterior locking plate fixation is better than screws in the treatment of posterior Pilon fracture.

**Subject headings:** Tibia; Fractures, Bone; Internal Fixators; Biomechanics; Tissue Engineering

**Funding:** the National Natural Science Foundation of China, No. 81350017

**Cite this article:** Gao Y, Zhang DQ, Tang X. Mechanical analysis of the distal tibia posterior locking plate fixation for posterior Pilon fracture. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2017;21(23): 3712-3717.

## 0 引言 Introduction

Hansen<sup>[1]</sup>于2000年用后Pilon一词来定义由垂直暴力合并或不合并扭转暴力导致的胫骨远端后侧关节内骨折, 且指出此骨折类型和一般的三踝骨折相比更为严重, 预后差。2010年汤欣等<sup>[2]</sup>首先用Pilon后柱骨折来定义踝间线后方的Pilon骨折, 并指出此型骨折是由垂直暴力导致, 胫骨远端后方骨折块较大伴有距骨的半脱位。有文献报道此类骨折约占全部Pilon骨折的5.6%<sup>[3]</sup>, 作为Pilon骨折的一种类型, 对于Pilon后柱骨折行切开解剖复位内固定治疗已达成共识, 但关于内固定方案的选择尚无统一的标准。目前治疗Pilon后柱的方法有支持钢板固定、自后向前螺钉固定及自前向后螺钉固定。赵宏谋等<sup>[4]</sup>的生物力学实验表明, 在治疗后Pilon骨折时, 支持钢板和自后向前螺钉固定效果优于自前向后螺钉固定, 但是赵宏谋等的实验中使用的支持钢板为1/3管状接骨板, 术中需塑形, 影响骨膜血供, 且不能多方向固定骨折块。作者依据国人胫骨远端解剖特点设计出符合国人的胫骨远端后侧锁定钢板(201320773146.0)来治疗Pilon后柱骨折, 实验着重比较胫骨远端后侧锁定接骨板和螺钉固定Pilon后柱骨折的生物力学性能, 以期为临床合理选择内固定方案提供参考。

## 1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 随机对照实验。

1.2 时间及地点 于2015年6月至2016年3月在大连医科大学附属第一医院创伤骨科完成。

1.3 材料

1.3.1 实验标本及分组 20个右侧人造胫骨(德国3B Scientific公司生产, 材料为聚氯乙烯)按随机数字表法分为2组, 每组10个。锁定接骨板组采用5孔胫骨远端后侧锁定接骨板固定, 螺钉组采用2枚3.5 mm皮质骨螺钉由后向前双皮质固定。人造胫骨具体参数见表1。由表1可知, 在刚度方面, 人体骨骼的刚度为(840±85) N/mm, 人造胫骨刚

度为837 N/mm, 人造胫骨与人体骨骼在生物力学参数方面具有高度的相似性, 可满足本次生物力学实验的要求。

1.3.2 实验室及实验仪器 常州华森医疗器械有限公司生物力学实验室, ElectroPlus E3000电子动静态万能材料试验机(美国英斯特朗集团生产)、摆摆及电钻(常州华森医疗器械有限公司)。

表1 人造胫骨的生物力学相关参数

Table 1 Biomechanical parameters of the artificial tibia

弯曲测试结果	刚度(N/mm)
3B ORTHO bones	837
典型硬质泡沫车间接材料 A	186
典型硬质泡沫车间接材料 B	214
第三代生物力学材料	903
人体骨骼( $\bar{x}\pm s$ )	840±85

1.4 对象 为了制造出符合临床实际病例的骨折模型, 首先回顾性分析了大连医科大学附属第一医院创伤骨科2010年10月至2015年10月收治的Pilon后柱骨折患者的临床资料。

**诊断标准:** ①受伤机制以垂直暴力为主如高处坠落、车祸等; ②胫骨远端后方受损骨块面积较大且有移位; ③距骨存在半脱位或完全脱位。

**纳入标准:** ①符合Pilon后柱骨折的诊断标准; ②年龄均> 18岁; ③新鲜骨折及从受伤至手术时间≤ 3周; ④术前影像学资料全面, 有本院术前踝部正侧位X射线片、CT及三维重建(图1, 2); ⑤患者知情同意。

**排除标准:** 病理性骨折。

1.5 方法

1.5.1 骨折模型的建立 对收集的病例的Pilon后柱骨折块的高度(骨折块最近段至关节面的距离)及面积(骨块的关节面大小)进行统计, 统计结果见表2。

临床上Pilon后柱骨折中后外侧骨折块多见, 结合参考

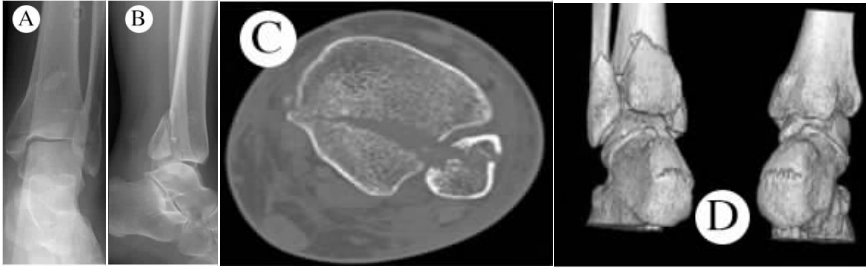


图 1 男性 46 岁 Pilon 后柱骨折患者的影像学图片

Figure 1 Images of a 46-year-old male patient with posterior Pilon fracture

图注: 图 A、B 为患者受伤患关节的正侧位, 可以看出后柱骨折块发生明显移位; C 为患者踝关节 CT 平扫, 可以看出受损伤关节的面积; D 为患者踝关节的三维重建, 后柱骨折块大小、高度清晰可见。

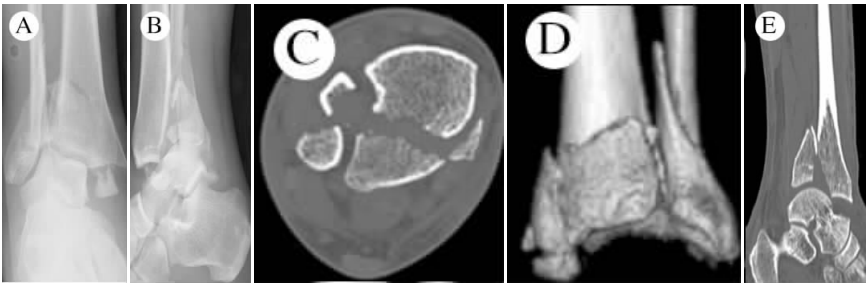


图 2 男性 50 岁 Pilon 后柱骨折患者的影像学图片

Figure 2 Images of a 50-year-old male patient with posterior Pilon fracture

图注: 图 A、B 为患者受伤患关节的正侧位, 可以看出双轮廓影, 后柱骨折块发生明显移位; C 为患者踝关节 CT 平扫横断面, 可以看出受损伤关节的面积; D 为患者踝关节的三维重建, 后柱骨折块大小、高度清晰可见; E 为患者踝关节 CT 平扫矢状面, 可以看出后柱骨折块被距骨撞击, 发生位移。

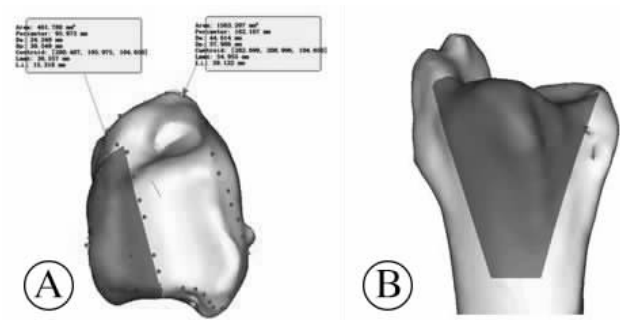


图 3 根据 Pilon 后柱骨折块特点制备的骨折模式图

Figure 3 Models of the posterior Pilon fracture based on its characters

图注: 图 A 中黑色区域为后柱骨折块受损伤关节面面积, 约占胫骨远端关节面面积的 30%; B 中黑色区域高度为后柱骨块高度约为 3.6 cm。

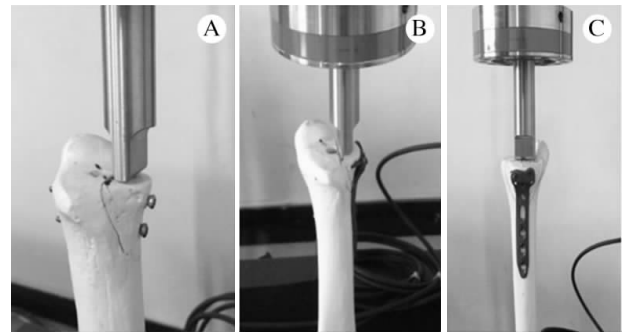


图 4 实验中的样本

Figure 4 The experimental samples

图注: 图 A 为实验中的螺钉固定组; B、C 为实验中胫骨远端后侧锁定接骨板组。

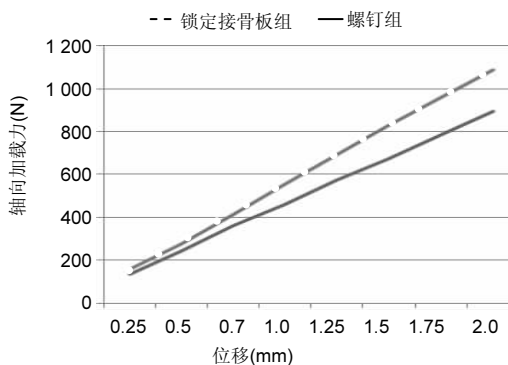


图 5 两组平均加载力与位移的关系

Figure 5 The mean load-displacement curves in the two groups

图注: 可以看出, 后柱骨折块发生相同位移时, 锁定接骨板组轴向加载负荷均明显大于螺钉组, 并且 2 组负载的差值会越来越大。

文献[5], 本实验标本均制成后外侧骨折, 并依据统计的 Pilon 后柱骨折块的特征, 制取胫骨远端关节面骨折线为腓骨切迹中点至内踝后丘, 高度为距离骨关节面 3.6 cm 的骨折

块, 关节面受损约 30%, 骨折模型见图 3。

1.5.2 固定与力学检测 摆制备骨折模型, 锁定接骨板组用 5 孔右侧胫骨远端后侧锁定接骨板(常州华森医疗器械有限公司提供), 近端用 3 枚 3.5 mm 锁定螺钉单皮质固定 Pilon 后柱骨折块, 远端用 3 枚 3.5 mm 锁定螺钉固定。螺钉组用 2 枚 3.5 mm 的皮质骨螺钉(常州华森医疗器械有限公司提供)自后向前双皮质固定骨折块。各样本固定完成后分别置于 Intron Electro Plus E3000 电子动静态万能材料试验机力学加载系统中, 胫骨倒置垂直位, 胫骨远端关节面向上, 通过试验机自带夹具牢固胫骨近段并连接于电子万能试验机, 每次实验前进行 2 轮预加载, 预加载轴向压力为 20 N, 以基本消除各样本骨折复位后骨折关节面与轴向压力探头间间隙因素对实验的影响, 再以 0.05 mm/s 的速度垂直加载至内固定失败(骨折线出现 2 mm 台阶), 记录出现 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 mm 台阶时的轴向加载负荷, 实验样本如图 4。

表2 病例Pilon后柱骨折块的特点

Table 2 Characters of the posterior Pilon fracture

病例	骨折块高度(cm)	后柱面积(cm <sup>2</sup> )	总面积(cm <sup>2</sup> )	面积比(%)
1	5.39	3.32	8.66	38.34
2	6.02	3.79	9.31	40.71
3	3.08	3.56	17.15	20.76
4	3.88	4.52	15.16	29.82
5	3.10	3.32	9.62	34.51
6	3.16	3.87	11.09	34.90
7	4.10	4.29	12.19	35.19
8	3.41	3.50	13.00	26.92
8	2.71	3.11	11.53	26.97
10	3.09	3.13	11.95	26.19
11	3.77	4.03	14.15	28.48
12	3.87	4.21	14.36	29.32
13	3.90	4.06	8.25	49.21
14	3.46	2.98	10.86	27.44
15	2.87	3.18	12.03	26.43
16	3.27	1.96	10.61	18.47
17	2.51	3.44	9.68	35.54
18	7.24	4.18	9.92	42.14
19	2.93	3.34	14.09	23.70
20	3.46	2.86	11.75	24.34
21	3.09	5.58	14.08	39.63
22	3.34	2.77	11.37	24.36
23	2.24	2.86	11.54	24.78
平均值	3.65	3.56	11.84	30.06

1.6 主要观察指标 ①在轴向负载力下螺钉和接骨板有无弯曲、断裂; ②在骨折块发生相同位移下, 2组轴向负载力的大小。

1.7 统计学分析 采用SPSS 22.0统计软件包进行分析, 数据采用 $\bar{x}\pm s$ 表示, 组间比较采用方差分析检验,  $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。

## 2 结果 Results

2.1 两组模型在垂直方向的位移情况 2组标本均未出现螺钉弯曲或断裂, 由图5看出, 在垂直方向上, 随着后柱骨折位移的增加, 2组的轴向负载也是不断增加的, 并且2组负载的差值会越来越大。当后柱骨折块发生相同位移时, 锁定接骨板组轴向加载负荷均明显大于螺钉组, 且差异均有显著性意义( $P < 0.05$ )。

2.2 后柱骨折块发生0.5, 1.0, 1.5, 2.0 mm台阶时2组轴向加载力情况 由表3看出, 出现0.5 mm台阶时, 与螺钉组相比可发现接骨板组轴向负荷增加11.9%; 出现1.0 mm台阶时, 与螺钉组相比接骨板组轴向负荷增加18.3%; 在1.5 mm台阶时, 与螺钉组相比接骨板组轴向负荷增加15.5%; 在2.0 mm台阶时, 与螺钉组相比接骨板组轴向负荷增加21.0%。在4个位移处轴向加载力差值依次为29.82, 103, 175 N。利用SPSS 22.0对实验数据进行统计分析, 可知2组间比较差异均有显著性意义( $P < 0.05$ )。

2.3 不良反应 2组标本均未出现螺钉弯曲或断裂。

表3 两组生物力学轴向加载力比较

( $\bar{x}\pm s, n=10, N$ )

Table 3 Comparison of the axial load in the two groups

组别	0.5 mm 台阶	1.0 mm 台阶	1.5 mm 台阶	2.0 mm 台阶
锁定接骨板组	273.3±26.4	530.0±45.5	768.1±65.2	1 009.7±86.2
螺钉组	244.2±1.3	445.8±3.5	665.1±6.6	835.6±2.0
<i>F</i>	10.86	34.00	76.48	135.68
<i>P</i>	0.04	0.00	0.00	0.00

## 3 讨论 Discussion

胫骨远端Pilon骨折是涉及胫骨负重关节面的骨折, 伴有胫骨远端关节面压缩, 多为高能量垂直暴力引起, 且骨折周围软组织条件损伤严重, 治疗有较大的挑战。Pilon后柱骨折属关节内骨折, 其治疗原则是解剖复位, 坚强固定, 早期功能锻炼, 最大限度恢复踝关节功能, 减少踝关节不稳及创伤性关节炎的发生。在此值得注意的是, 由于Pilon后柱骨折与后踝骨折的治疗方案及预后不尽相同, 所以对于如何区分这两种骨折类型就显得十分有必要了。有文献报道可以从以下几个方面进行区别<sup>[5-10]</sup>: ①受伤机制: Pilon后柱骨折以垂直暴力为主, 是一种高能量损伤, 关节软骨损伤较重, 往往伴有有关节软骨的塌陷及粉碎性骨折。后踝骨折为旋转外力导致的下胫腓韧带牵拉引起的撕脱性骨折, 是一种低能量损伤, 关节软骨损伤较小, 一般不存在关节软骨的塌陷; ②骨块的大小: Pilon后柱骨折中后方骨折块较大, 常累及内踝在内的整个胫骨远端后侧, 包括后内及后外侧骨折, 骨折块可向后内及后外移位。后踝骨折一般为单一的较小的三角形骨折块, 随下胫腓后韧带的牵拉向后、向外移位, 一般不涉及内踝; ③距骨的脱位: Pilon后柱骨折往往存在距骨的半脱位, 如果不能良好复位, 往往存在踝关节不稳定, 容易出现踝关节退变, 而后踝骨折一般不存在距骨半脱位。

关于固定后柱骨块的内置物选择, 不同学者的选择也是不同的。传统治疗方法是螺钉固定, 但螺钉固定具有一定的不足及局限性: ①螺钉容易误入关节内; ②固定的稳定性不足, 特别是骨质疏松患者。Amorosa等<sup>[11]</sup>指出使用螺钉自后向前固定后Pilon骨折块时很可能突出于前方骨皮质, 由于胫骨远端前方软组织较薄弱, 很容易产生前方肌腱及皮肤的激惹现象。此外, 合并Pilon前柱骨折需要单独的前方入路时, 螺钉固定很可能阻碍前方骨折块的复位和固定。随着锁定钢板技术不断发展, 产生了针对不同部位骨折的新的具有贴服性好的解剖接骨板。胫骨远端后柱锁定接骨板利用锁定螺钉创建一个固定的角度构造可提供角的稳定性, 这一优势是单纯螺钉固定无法具有的, 同时依据国人胫骨远端解剖特点设计。Pilon骨折后柱解剖钢板是由大连医科大学附属第一医院创伤骨科汤欣教授设计, 华森医疗器械有限公司生产的锁定加压钢板, 优点如下: ①完全按照国人成人胫骨远端后柱生理解剖特点设计而

成, 与胫骨远端后柱解剖形态相符、贴服性好, 以最少的金属用量满足胫骨远端后柱重建的固定要求; ②无需术中二次塑型钢板, 避免钢板塑形不确切导致的骨折移位, 畸形愈合; ③锁定孔具有多向性, 遵循生物力学原理、稳定性强、强度及刚度可靠、固定牢靠, 在骨折愈合期及功能锻炼时, 有效的保护骨折块, 减少骨折再发或者钢板断裂的概率; ④钢板采用最新的锁定加压技术, 与传统钢板不同的是提供稳定性的固定螺钉可以把整个应力沿整个内置物更均匀的分布, 不会将应力集中在某一个螺钉界面, 传统钢板的固定失效通常开始于一枚螺钉, 然后发展到其他螺钉。这种现象不会出现在 Pilon 骨折后柱解剖钢板上, 故更适用于干骺端松质骨 Pilon 骨折<sup>[12-15]</sup>; ⑤螺钉与钢板的锁定机制可以允许一侧皮质骨固定, 不需要 2 层皮质, 可以用瞄准器置入单层皮质锁定钉, 不需要准确测量螺钉长度。可以有效的避免胫骨远端关节面前方的软组织激惹现象, 同时也减少了对前方骨折块复位及固定的干扰。本实验的目的在于比较胫骨远端后柱锁定接骨板和传统单纯螺钉固定在治疗 Pilon 后柱骨折中所提供的整体稳定性, 为临床合理选择内置物提供一定的参考。关于 Pilon 后柱骨折内固定选择的生物力学研究文献报道很少, 2001 年 Tornetta 等<sup>[16]</sup>指出在在治疗三踝骨折中后踝骨折中自后向前打入螺钉的生物力学性能优于自前向后置入螺钉。2010 年 Amorosa 等<sup>[11]</sup>报道应用自后向前置入拉力螺钉治疗 15 例后 Pilon 骨折患者, 无切口感染、不愈合及神经损伤并发症, 其中 1 例骨折不愈合。2012 年 Chen 等<sup>[17]</sup>应用支撑钢板治疗 10 例后 Pilon 骨折患者, 无切口感染、不愈合及神经损伤并发症, 术后 13 周所用患者骨折愈合, 支撑钢板在治疗后 Pilon 骨折时可获得满意的临床效果, 但他指出在治疗后 Pilon 骨折方面支撑钢板的生物力学是否要优于螺钉固定仍然需要生物力学提供证据。2013 年赵宏谋等<sup>[4]</sup>比较 3 种内固定方法治疗后 Pilon 骨折的临床及生物力学表现, 得出支撑钢板(1/3 管状接骨板)固定后侧 Pilon 骨块的稳定性优于螺钉组, 且自后向前置于螺钉固定的稳定性优于自前向后螺钉固定。2015 年 O'Connor 等<sup>[18]</sup>对支撑钢板和自前向后置入拉力螺钉治疗后踝骨折进行了分析比较, 提出了支撑钢板更具有优势。但是, 关于 Pilon 后柱骨折固定采用螺钉固定和锁定钢板固定尚缺乏临床对比研究, 所以期望在生物力学方面能够得到一些启示。在本实验中采用轴向加压, 比较 Pilon 后柱不同固定方式下产生相同位移的轴向负荷, 实验结果证实治疗 Pilon 后柱骨折中, 胫骨远端后侧锁定接骨板所提供的稳定性较螺钉优越, 作者认为其原因归于胫骨远端后侧锁定接骨板的生物力学性能优势, 即多枚锁定可多向固定骨折块, 且锁定接骨板上, 降低螺钉松动的发生, 提供更好的角稳定性。对于胫骨远端关节面而言, 角稳定性可防止或减缓关节面的压缩, 为后期功能锻炼提供完整的关节面, 从而减少内固定失效、关节疼痛和创伤性关节炎的发生。此外, 锁定钢板不直接与骨皮质接触, 骨膜的血供不会被

破坏。然而, 胫骨远端骨折尤其是 Pilon 骨折, 通常伴有严重的软组织损伤, 外科手术治疗需利用恰当的手术入路及合适的内置物提供绝对的稳定同时最小程度的引起软组织的二次损伤<sup>[19-23]</sup>, 就单纯 Pilon 后柱治疗而言, 在破坏软组织程度上, 钢板置入的损伤很可能是高于螺钉的<sup>[23-27]</sup>。但是临床上的 Pilon 后柱骨折常伴外侧柱或是内侧柱骨折, 可以利用 MIPO 技术在处理外侧柱或是内侧柱的同时处理后柱, 尽量避免软组织损伤的进一步加重, 后柱钢板后方有大量的软组织覆盖, 软组织激惹现象很少发生<sup>[28-31]</sup>。

本实验的不足: ①本实验所有胫骨样本均为人工骨, 虽然在力学性能上和真人骨相仿, 但毕竟无法达到与真人骨性能完全一样, 存在固有的缺陷。同时, 本实验没有将胫骨远端软组织及骨折愈合过程中的胫骨远端关节面轴向负载与负载下的位移关系考虑在内, 无法测试出并模拟骨折愈合动态过程 2 种内置物固定对抗轴向负载的性能; ②本实验的所用骨折模型均涉及胫骨远端关节面, 采用的试验方法仅仅只有轴向加压实验, 在临床实践中遇到的 Pilon 后柱骨折大多伴随内侧柱或外侧柱的骨折, 甚至是干骺端的骨折, 在 Amorosa 等<sup>[11]</sup>的报道中, 他所诊治的 15 例 Pilon 后柱骨折中, 外踝骨折占 100%, 内踝骨折占 60%, 所以单纯的后柱骨折是不多见的, 有关内外侧及弯曲实验是没有测试的。因此, 本实验的所测得数据应以生物力学分析得出, 能代表内固定工作效用以及骨折固定时的局部情况。尽管骨折模型未将软组织条件考虑在内, 但是关于治疗 Pilon 后柱骨折中对胫骨远端关节稳定性而言, 得出胫骨远端后方锁定接骨板优于螺钉组的结论是可信的。

总之, 在相同的轴向加载力下, 锁定接骨板组固定的后柱骨折产生的位移量明显小于螺钉组, 即胫骨远端后侧锁定接骨板固定效果优于螺钉, 本实验结果更倾向于支持使用胫骨远端后侧锁定接骨板治疗 Pilon 后柱骨折。本文仅仅力图通过实验证明, 在生物力学方面, 胫骨远端后侧锁定接骨板的固定效果优于单纯螺钉; 因为目前仅有少量证明支撑钢板优于单纯螺钉固定的生物力学实验研究, 而没有专用解剖锁定钢板的相关结论, 希望逐步完善解剖锁定钢板与支撑钢板的比较研究, 这也是本实验的局限性所在。

**作者贡献:** 高杨负责实验设计、文献查阅、结果分析及随访, 张德强负责实验设计、实验实施及随访, 汤欣负责实验设计及结果分析。

**利益冲突:** 所有作者共同认可文章无相关利益冲突。

**伦理问题:** 临床试验研究的实施符合《赫尔辛基宣言》和医院对人体研究的相关伦理要求。文章的撰写与编辑修改后文章遵守了《观察性临床研究报告指南》(STROBE 指南)。参与试验的患病个体及其家属为自愿参加, 对试验过程完全知情同意, 在充分了解本治疗方案的前提下签署“知情同意书”。

**文章查重:** 文章出版前已经过 CNKI 反剽窃文献检测系统进行 3 次查重。

**文章外审:** 文章经国内小同行外审专家双盲外审, 符合本刊发稿宗旨。

**作者声明:** 通讯作者张德强对研究和撰写的论文中出现的不端行为承担责任。论文中涉及的原始图片、数据(包括计算机数据库)记录

及样本已按照有关规定保存、分享和销毁,可接受核查。

**文章版权:** 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

**开放获取声明:** 这是一篇开放获取文章,文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享3.0”条款,在合理引用的情况下,允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展,同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献,并为之建立索引,用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

#### 4 参考文献 References

- [1] Hansen ST. Functional Reconstruction of the foot and ankle. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2000.
- [2] 汤欣,吕德成,唐佩福,等.Pilon骨折的解剖四柱理论与临床治疗的关系[J]. 中华外科杂志,2010,48(9):662-666.
- [3] Topliss CJ, Jackson M, Atkins RM. Anatomy of pilon fractures of the distal tibia. J Bone Joint Surg Br. 2005;87(5): 692-697.
- [4] 赵宏谋,梁晓军,俞光荣,等. 三种内固定方法治疗后侧Pilon骨折的临床与生物力学分析[J]. 中国修复重建外科杂志, 2013, 27(10):1190-1195.
- [5] Yao L, Luo CF. Morphologic characteristics of the posterior malleolus fragment .Arch Orthop Trauma Surg. 2014;134: 389-394.
- [6] Jia SH, Huang CL, Xu HW, et al. Surgical treatment for posterior Pilon fracture through posterolateral approach.Zhongguo Gu Shang. 2016;29(6):557-560.
- [7] Yenna ZC, Bhadra AK, Ojike NI, et al .Polyaxial Screws in Locked Plating of Tibial Pilon Fractures. Orthopedics. 2015; 38(8):e663-667.
- [8] Wang Y, Wang J, Luo CF. Modified posteromedial approach for treatment of posterior pilon variant fracture.BMC Musculoskelet Disord. 2016 Aug 5;17:328.
- [9] Anjum R, Choudhary V, Sharma V. Revisited: A Prospective Study on Functional Outcome of Internal Fixation of Tibial Pilon Fractures with Locking Plate using MIPO.J Clin Diagn Res. 2016;10(10):RL01.
- [10] Song Z, Xue HZ, Zhang K, et al. Pathogenesis and Treatment Strategies for Pilon Fractures With Ankle Dislocation. J Foot Ankle Surg. 2015;54(5):815-820.
- [11] Amorosa LF, Brown GD, Greisberg J. A surgical approach to posterior pilon fractures. J Orthop Trauma. 2010;24(3): 188-193.
- [12] Gardner MJ, Brophy RH, Campbell D, et al. The mechanical behaviour of locking compression plates compared with dynamic compression plates in a cadaver radius model, J Orthop Trauma. 2005;19(9):597-603.
- [13] Lareau CR, Daniels AH, Vopat BG, et al. Emergency department external fixation for provisional treatment of pilon and unstable ankle fractures. J Emerg Trauma Shock. 2015; 8(1):61-64
- [14] Bartoniček J, Rammelt S, Kostlivý K et al. Anatomy and classification of the posterior tibial fragment in ankle fractures. Arch Orthop Trauma Surg. 2015;135(4):505-516.
- [15] Schoenleber SJ, Hutson JJ Jr. Treatment of hypertrophic distal tibia nonunion and early malunion with callus distraction. Foot Ankle Int. 2015;36(4):400-407.
- [16] Tornetta P 3rd, Ostrum RF, Trafton PG. Trimalleolar ankle fracture. J Orthop. Trauma. 2001;15(3):588-590.
- [17] Chen DW, Li B, Aubeeluck A, et al. Open reduction and internal fixation of posterior pilon fractures with buttress plate. Acta Orthop Bras. 2014;22(1): 48-53.
- [18] O'Connor TJ, Mueller B, Ly TV, et al. "A to p" screw versus posterolateral plate for posterior malleolus fixation in trimalleolar ankle fractures. J Orthop Trauma. 2015;29(4): e151-156.
- [19] Kuhn S, Greenfield J, Arand C, et al. Treatment of distal intraarticular tibial fractures: A biomechanical evaluation of intramedullary nailing vs. angle-stable plate osteosynthesis. Injury. 2015;46 Suppl 4: S99-S103.
- [20] Assal M, Ray A, Stern R. Strategies for surgical approaches in open reduction internal fixation of pilon fractures. J Orthop Trauma. 2015;29(2):69-79.
- [21] Chen DW, Li B, Aubeeluck A, et al. Open reduction and internal fixation of posterior pilon fractures with buttress plate. Acta Orthop Bras. 2014;22(1):48-53.
- [22] Switaj PJ, We atherford B, Fuchs D, et al. Evaluation of posterior malleolar fractures and the posterior pilon variant in operatively treated ankle fractures. Foot Ankle Int. 2014; 35(9):886-895.
- [23] Zelle BA, Gruen GS, McMillen RL, et al. Primary Arthrodesis of the Tibiotalar Joint in Severely Comminuted High-Energy Pilon Fractures.J Bone Joint Surg Am. 2014;96(11):e91.
- [24] Assal M, Ray A, Fasel JH,A modified posteromedial approach combined with extensile anterior for the treatment of complex tibial pilon fractures (AO/OTA 43-C).J Orthop Trauma. 2014; 28(6):e138-145.
- [25] Yao L, Zhang W, Yang G, et al. Morphologic characteristics of the posterior malleolus fragment: a 3-D computer tomography based study. Arch Orthop Trauma Surg. 2014;134(3): 389-394.
- [26] McPhillamy A, Gurnea TP, Moody AE, et al. The Clinical and Economic Impact of Generic Locking Plate Utilization at a Level II Trauma Center.J Orthop Trauma. 2016;30 Suppl 5: S32-S36.
- [27] Fokin A Jr, Huntley SR, Summers SH, et al. Computed Tomography Assessment of Peroneal Tendon Displacement and Posteromedial Structure Entrapment in Pilon Fractures. J Orthop Trauma. 2016;30(11):627-633.
- [28] Duckworth AD, Jefferies JG, Clement ND, et al. Type C tibial pilon fractures: short- and long-term outcome following operative intervention. Bone Joint J. 2016;98-B(8):1106-1111.
- [29] Dibbern K, Kempton LB, Higgins TF, et al. Fractures of the tibial plateau involve similar energies as the tibial pilon but greater articular surface involvement. J Orthop Res. 2017; 35(3):618-624.
- [30] Penny P, Swords M, Heisler J, et al. Ability of modern distal tibia plates to stabilize comminuted pilon fracture fragments: Is dual plate fixation necessary? Injury. 2016;47(8):1761-1769.
- [31] Viberg B, Kleven S, Hamborg-Petersen E, et al. Complications and functional outcome after fixation of distal tibia fractures with locking plate - A multicentre study. Injury. 2016 ;47(7):1514-1518.