

不同固定方法治疗胫骨平台外后侧骨折的生物力学分析研究*

毛冯缘¹, 程邦君², 黄燕峰², 罗轶²

(1.安徽医科大学, 安徽 合肥 230022; 2.上海市第六人民医院金山分院 骨科, 上海 201599)

摘要: **目的** 通过生物力学分析研究采用掌骨T形钢板和拉力螺钉治疗胫骨平台外后侧骨折的疗效。**方法** 将20具人工合成的右侧胫骨模型, 根据胫骨平台外后侧劈裂塌陷性骨折的形态学特征, 建立胫骨平台外后侧劈裂塌陷性骨折模型, 随机分为两组 ($n=10$): A组采用3.5掌骨T形钢板固定; B组采用2枚拉力螺钉固定。测量两组在轴向负荷加载起始为10 N, 最大为2 000 N的压力下的垂直位移和最大失效载荷。**结果** 钢板组和螺钉组在250 N载荷下骨折块的垂直位移分别为 (0.21 ± 0.15) mm和 (0.35 ± 0.11) mm, 在500 N载荷下骨折块的垂直位移分别为 (0.32 ± 0.12) mm和 (0.91 ± 0.27) mm, 在1 000 N载荷下骨折块的垂直位移分别为 (0.76 ± 0.16) mm和 (1.75 ± 0.21) mm, 在1 500 N载荷下骨折块的垂直位移分别为 (0.93 ± 0.14) mm和 (2.37 ± 0.26) mm, 在同一载荷下二者比较差异有统计学意义 ($P<0.05$)。钢板组和螺钉组的最大失效载荷分别为 $(1\ 865 \pm 183)$ N和 $(1\ 242 \pm 146)$ N, 二者最大失效载荷比较差异有统计学意义 ($P<0.05$)。**结论** 掌骨T形钢板固定胫骨平台外后侧骨折, 可以对塌陷的胫骨平台外后侧骨折块起到有效、稳定、坚强的固定, 具有较强的稳定性和明显的生物力学优势。

关键词: 胫骨平台骨折; 胫骨外后侧平台骨折; 外后侧骨折; 支撑钢板; 螺钉

中图分类号: R683.42

Biomechanical analysis of different fixation methods for treating posterior tibial plateau fractures

MAO Fengyuan¹, CHENG Bangjun², HUANG Yanfeng², LUO Yi²

(1. Anhui Medical University, Hefei, Anhui 230022, China; 2. Orthopedics Department, Jinshan Branch, Shanghai Sixth People's Hospital, Shanghai 201599, China)

Abstract: **[Objective]** To investigate the therapeutic effect of using metacarpal T-shaped steel plate and tension screw to treat posterior tibial plateau fractures through biomechanical analysis. **[Methods]** Twenty artificially synthesized right tibial models were used to establish a tibial plateau lateral split collapse fracture model based on the morphological characteristics of the fracture. The models were randomly divided into two groups ($n=10$): Group A was fixed with a 3.5 metacarpal T-shaped steel plate; Group B was fixed with 2 tension screws. Measure the vertical displacement and maximum failure load of two groups under axial load starting at 10 N and maximum pressure of 2000 N. **[Results]** The vertical displacements of the fracture blocks in the steel plate group and screw group under 250 N load were 0.21 ± 0.15 mm and 0.35 ± 0.11 mm. The vertical displacements of the fracture blocks under 500 N load were 0.32 ± 0.12 mm and 0.91 ± 0.27 mm. The vertical displacements of the fracture blocks under 1000 N load were 0.76 ± 0.16 mm and 1.75 ± 0.21 mm. The vertical displacements of the fracture blocks under 1500 N load were 0.93 ± 0.14 mm and 2.37 ± 0.26 mm. There was a statistically significant difference between the two under the same load ($P<0.05$). The maximum failure loads of the steel plate group and screw group were 1865 ± 183 N and 1242 ± 146 N and there was a statistically significant difference in the maximum failure loads between the two groups ($P<0.05$). **[Conclusion]** The use of metacarpal T-shaped steel plate fixation for posterior tibial plateau fractures can effectively, stably, and strongly fix collapsed posterior tibial plateau fractures, demonstrating strong stability and significant biomechanical advantages.

Keywords: tibial plateau fracture; fracture of the posterior tibial plateau; external posterior fracture; supporting steel plate; screw

收稿日期: 2023-11-13

* 基金项目: 上海市金山区医药卫生类科技创新项目课题 (2020-3-27); 上海健康医学院运动医学临床研究中心科研课题 (20MC2020003)

[通信作者] 程邦君, E-mail: chj200909@163.com

随着三维 CT 扫描的广泛应用, 胫骨平台外后侧骨折逐渐被临床所认知, 其发生率约占胫骨平台骨折的 7%~15%^[1]。其发生多为膝关节受到外来的屈曲外翻力, 使胫骨平台后方受股骨外髁撞击所致, 多为劈裂塌陷性骨折, 外后侧多表现为较大一块骨折块整体凹陷性下沉, 移位明显^[2-3]。胫骨平台外后侧骨折为关节内骨折, 容易发生膝关节功能障碍及创伤性关节炎, 故精准复位和坚强固定是其治疗的金标准^[4]。目前临床治疗胫骨平台外后侧骨折的内固定物选择多样, 但每种内固定物的强度及稳定性各有争议。同时由于膝关节后侧手术暴露困难、易损伤周围血管神经, 故选择一种固定牢靠、手术风险小的固定物显得尤为重要。本研究通过对掌骨 T 形钢板和拉力螺钉行相关生物力学研究比较, 来获得两者的最佳固定方式并指导临床。

1 材料与方法

1.1 标料和设备

20 具人工合成的右侧胫骨模形 (瑞士 Synbone 公司提供), 拉力螺钉 (苏州康力医疗器械公司提供, 6.5 mm 短螺纹松质骨钉)、掌骨锁定钢板 (常熟双羊器械有限公司提供, 3.5 mm T 形钢板), 克氏针, 骨刀, 电钻等。采用美国 INSTRON 公司 5569 型万能材料试验机进行生物力学测试, 采用上海江晶翔公司 FCS1-5-15 型位移传感器 (精度为 0.005 mm) 来测量外后侧骨折块的垂直位移。

1.2 建立模型

根据罗从风等^[5]的胫骨平台的三柱理论分型、毛玉江^[6]的“四柱或四象限”概念和 KHAN 等^[7]的 P 形平台后侧骨折分型, 建立胫骨平台外后侧塌陷性模型。首先将胫骨平台后柱分为 P1 型 (平台后内侧骨折) 和 P2 型 (平台外后侧骨折), 以骨刀在外后侧胫骨平台关节面处取出一相同大小的楔形骨块 (约 20 mm × 15 mm × 10 mm 大小, 模拟劈裂塌陷的外后侧骨折块)。

1.3 实验分组

将 20 具胫骨平台外后侧塌陷性骨折模型标本随机分为 A 组和 B 组, 每组 10 例, 分别采用两种不同的内固定方式进行固定。A 组采用 3.5 掌骨 T 形钢板固定; B 组采用 2 枚 6.5 mm 拉力螺钉平行固定。首先复位楔形骨块, 克氏针临时固定。A 组 3.5 掌骨 T 形钢板上缘距关节面 3 mm 处放置, 近端水平置入 2 枚 3.5 mm 锁钉, 骨折线以远置入

2 枚 3.5 mm 锁钉。B 组的 2 枚 6.5 mm 拉力螺钉距离关节面 5 mm 处平行于关节面置入, 螺钉之间亦尽量保持平行, 均穿透双侧皮质并适度加压。所有骨折模型固定均由同一名骨科医生按标准操作程序完成以保证解剖复位及内固定的准确置入。

1.4 生物力学检测

所有的胫骨平台标本远端使用牙托粉填充固定夹具中, 保证胫骨平台平面处于水平位置, 然后固定于生物力学机上。采用直径为 2 cm 螺钉作为施压模具作用于胫骨平台外后侧骨折块塌陷区域, 采用垂直加压的方式, 起始加载载荷为 10 N, 载荷加载速度为 6 mm/min, 最大加载载荷为 2 000 N, 测试停止条件为载荷达到 2 000 N 或样本失效。载荷设置标准^[8]: 60 kg 的成年人在双足站立、单足站立、慢走、快走时胫骨平台承受的力分别为 250 N、500 N、1 000 N、1 500 N。以往研究发现胫骨平台骨折内固定失效多为轴向应力所致, 所以本研究主要分析轴向载荷 250 N、500 N、1 000 N、1 500 N 时骨折块的移位及受力情况。记录实验中最大载荷或样本失效时楔形骨块的位移情况。生物力学检测过程中保持实验室环境稳定: 温度为 20℃, 湿度为 55%。

1.5 统计学方法

数据采用 SPSS20.0 软件进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 两组数据之间比较采用独立样本 *t* 检验。*P* < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

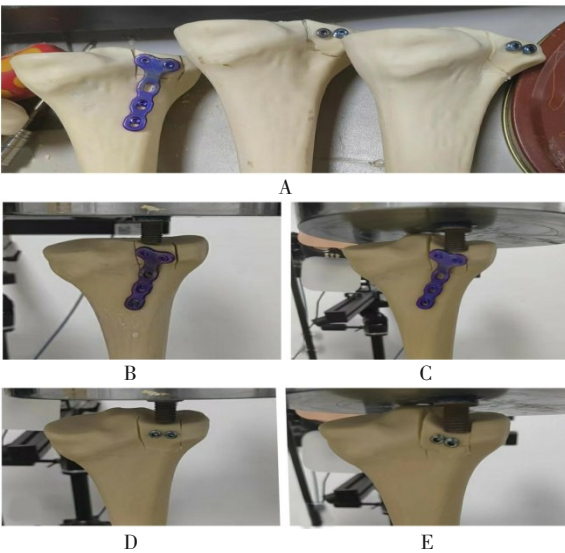
钢板组和螺钉组在 250 N 载荷下骨折块的垂直位移分别为 (0.21 ± 0.15) mm 和 (0.35 ± 0.11) mm, 在 500 N 载荷下骨折块的垂直位移分别为 (0.32 ± 0.12) mm 和 (0.91 ± 0.27) mm, 在 1 000 N 载荷下骨折块的垂直位移分别为 (0.76 ± 0.16) mm 和 (1.75 ± 0.21) mm, 在 1 500 N 载荷下骨折块的垂直位移分别为 (0.93 ± 0.14) mm 和 (2.37 ± 0.26) mm, 在同一载荷下两组垂直位移比较差异均有统计学意义 (*P* < 0.05); A 组和 B 组的最大失效载荷分别为 (1 865 ± 183) N 和 (1 242 ± 146) N, 比较差异有统计学意义 (*P* < 0.05)。见表 1。

实验过程中标本与夹具之间无松动, 标本其它部位无骨折; 钢板和螺钉未出现松动和断裂情况, 见图 1。

表 1 两种内固定方式在不同载荷下外后侧骨折块的垂直位移和最大失效载荷 (n=10, $\bar{x} \pm s$)

组别	垂直位移/mm				最大失效载荷/N
	250 N	500 N	1 000 N	1 500 N	
A 组	0.21±0.15	0.32±0.12	0.76±0.16	0.93±0.14	1 865±183
B 组	0.35±0.11	0.91±0.27	1.75±0.21	2.37±0.26	1 242±146
t	216.53	143.21	106.37	95.43	46.61
P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注：预载负荷 10 N，加压速度 6 mm/min，最大加压负荷 2 000 N。



A：用 3.5 掌骨支撑板和普通螺钉固定胫骨平台外后侧骨折断端的生物力学模型；B：预载 10 N 压力下的掌骨支撑钢板固定的外后侧骨折块情况；C：样本失效下的掌骨支撑钢板固定的外后侧骨折块移位情况；D：预载 10 N 压力下的拉力螺钉固定的外后侧骨折块情况；E：样本失效下拉力螺钉固定的外后侧骨折块移位情况。

图 1 两种不同固定方案的胫骨平台外后侧塌陷性骨折模型标本

3 讨论

单独的胫骨平台外后侧骨折由于 X 平片不易被发现，曾被认为是一种少见的骨折类型，未引起临床的足够重视，给膝关节的功能恢复带来很大影响^[9]；随着三维 CT 扫描技术的日益发展，本病的诊断水平得到了不断提高，尤其是罗从风等^[5]的胫骨平台三柱理论分型和 KHAN 等^[7]的 P 形平台后侧骨折分型的提出，进一步使胫骨平台外后侧骨折引起临床医生的重视。独立发生的胫骨平台外后侧骨折是一种特殊类形的平台骨折，其发生率约占胫骨平台的 14.8%，其损伤机制为膝关节屈曲时受到外翻力和轴向力，股骨外髁撞击胫骨平台后外侧所致^[3,10]。由于胫骨平台外后侧骨折多表现为胫骨平台外后侧劈裂、塌陷，同时致胫骨平台后倾角度变化，从而导致膝关节不稳定，故需要手术直视下解剖复位并坚强固定^[4]。

对于单独发生的胫骨平台外后侧骨折，内固定的选择已趋于多样化。但由于外后侧骨折位置

在解剖上的特殊性，该部位大部分被腓骨头遮挡，且与腘动脉分支、腓总神经和后外侧复合体相邻，故临床为了减少膝关节后侧暴露和固定的困难、减少副损伤等问题，而选择膝关节外侧或前外侧固定的方式来治疗^[11]。有学者通过单纯外侧锁定钢板治疗单纯胫骨平台后外侧骨折，术后 10% 患者出现复位丢失，考虑可能外侧锁定钢板螺钉方向大部分与外后侧骨折块平行，无法牢固固定外后侧骨折块^[12]。张岩等^[13]通过研究分析得出胫骨后外侧平台骨折采用前后方向拉力螺钉具有最稳定的生物力学效果。还有学者采用小切口从前向后打入拉力螺钉，来固定外后侧骨折块，但容易发生骨折块复位困难及内固定失效^[14]。采用前后方向拉力螺钉固定外后侧骨折，对于无移位的外后侧骨折可能有一定效果，但对于单纯的、移位的、塌陷的外后侧骨折块，无法做到对骨折块复位，同时前后拉力螺钉只有一层皮质固定，术后易发生固定失效。目前临床上没有较为统一的后外侧骨折内固定材料，大多数学者通过行膝关节

后侧有限切开,采用锁定或重建钢板、拉力螺钉等来固定外后侧骨折块取得了一定的效果,但二者生物力学效果却各有说法。本研究通过对比二者的生物力学,从而判断其稳定性,指导临床工作。

对于单纯的胫骨平台外后侧骨折,行膝关节后侧有限切开,骨折块复位后予以螺钉尽可能贴近关节面排钉固定,来防止骨折内固定术后关节面下沉的发生,取得了良好的临床效果^[15-16]。范鑫斌等^[17]通过对胫骨平台外后侧骨折模型行有限元分析对比研究显示前侧拉力螺钉和后侧支撑钢板较外侧钢板均具有良好的生物力学稳定性,可能由于其骨折模型移位不明显的原故。还有学者^[14,18]通过外后侧胫骨平台模型,来比较前侧拉力螺钉、外侧锁定钢板和 T 型钢板的生物力学性能,结果证实 T 形钢板固定强度优于其余二者。相关临床研究证实^[3,19-20]采用桡骨远端 T 形固定外后侧骨折端,不仅可以坚强固定外后侧骨折块,还可以纠正后倾角度,为骨折愈合、关节软骨良性修复提供了解剖基础,同时还可以防止骨折块在术后功能锻炼时移位及高度的丢失。但桡骨远端 T 型钢板较掌骨 T 型钢板体积偏大,术中操作风险可能增大。本生物力学研究结果发现,随着载荷的不断增大,钢板组和螺钉组外后侧骨折块的垂直位移逐渐增大,但钢板组的垂直位移较螺钉组变化小;同时对比两者的最大失效载荷也发现,钢板组的失效载荷明显大于螺钉组,说明钢板组较螺钉组具有更大的稳定性和牢固性。可能由于钢板组不仅给外后侧骨折断端提供坚强支撑作用,同时近端螺钉还可能具有排钉的效果,防止复位后的关节面再次塌陷及移位。

综上所述,对于单纯的胫骨平台外后侧骨折,拉力螺钉虽然对软组织剥离较小,也有部分排钉效果,但由于其没有良好的支撑效果,术后骨折块移位的风险较大;外后侧掌骨 T 形钢板具有明显的生物力学优势和坚强的稳定性,其能有效、稳定、坚强的固定塌陷的胫骨平台外后侧骨折块,同时还可以有效降低复位后骨折块再移位的发生率,使患者术后早期行康复锻炼,提高患者的生活质量。本研究也存在很多不足:如没有考虑膝关节周围肌肉、韧带等软组织对实验的影响;人工合成骨的强度及韧性均与人体骨骼存在一定的差异;还有实际术后功能锻炼时膝关节所受的实际载荷和实验也有较大差异。故本研究可能与有的研究结果相悖,有待进一步继续相关实验。

参 考 文 献

- [1] 王德斌,毕郑刚. 胫骨平台后外侧骨折内固定策略及 3D 打印技术的优化应用[J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(12): 1904-1910.
- [2] XIE XT, ZHAN Y, WANG YK, et al. Comparative analysis of mechanism-associated 3-dimensional tibial plateau fracture patterns[J]. J Bone Joint Surg Am, 2020, 102(5): 410-418.
- [3] 魏学忠,卢士学,王松,等. 改良后侧入路手术治疗胫骨平台后外侧骨折[J]. 中国矫形外科杂志, 2021, 29(4): 346-349.
- [4] KFURI M, SCHATZKER J. Revisiting the Schatzker classification of tibial plateau fractures[J]. Injury, 2018, 49(12): 2252-2263.
- [5] 罗从风,陈健,孙辉. 胫骨平台后柱骨折的手术治疗[J]. 中华创伤骨科杂志, 2008, 10(9): 804-807.
- [6] 毛玉江. 胫骨平台骨折的诊治进展[J]. 中华创伤骨科杂志, 2013, 15(4): 345-348.
- [7] KHAN RMS, KHAN SH, AHMAD AJ, et al. Tibial plateau fractures[J]. Clin Orthop Relat Res, 2000, 375: 231-242.
- [8] 刘世军,李治国,马治国,等. 三种固定方式治疗胫骨平台后外侧 1/2 骨折的生物力学分析[J]. 创伤外科杂志, 2017, 19(5): 338-342.
- [9] LI Q, ZHANG YQ, CHANG SM. Posterolateral fragment characteristics in tibial plateau fractures[J]. Int Orthop, 2014, 38(3): 681-682.
- [10] 高迪,张清,刘融. 3D 打印技术在胫骨平台后柱骨折诊治中的应用优势与展望[J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(6): 911-916.
- [11] SHEN QJ, ZHANG JL, XING GS, et al. Surgical treatment of lateral tibial plateau fractures involving the posterolateral column[J]. Orthop Surg, 2019, 11(6): 1029-1038.
- [12] 宋虎,左照光,孙再杰,等. 腓骨头上入路外侧胫骨平台截骨结合外侧锁定钢板治疗单纯胫骨平台后外侧骨折[J]. 中华创伤骨科杂志, 2019, 21(2): 166-169.
- [13] 张岩,梁旭,范鑫斌,等. 三种固定方式修复胫骨平台后外侧骨折的生物力学比较[J]. 中国组织工程研究, 2014, 18(31): 5011-5016.
- [14] 孔令宝,吕欣. 胫骨后外侧平台骨折手术治疗中植入物选择与入路对支撑作用的影响[J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(6): 942-947.
- [15] YE X, HUANG DW, PERRIMAN DM, et al. Influence of screw to joint distance on articular subsidence in tibial-plateau fractures[J]. ANZ J Surg, 2019, 89(4): 320-324.
- [16] POLAT B, GURPINAR T, POLAT AE, et al. Factors influencing the functional outcomes of tibia plateau fractures after surgical fixation[J]. Niger J Clin Pract, 2019, 22(12): 1715-1721.
- [17] 范鑫斌,张岩,杨铁毅,等. 胫骨平台后外侧骨折 3 种内固定方式的有限元分析[J]. 中国组织工程研究, 2014, 18(22): 3510-3516.
- [18] ZHANG W, LUO CF, PUTNIS S, et al. Biomechanical analysis of four different fixations for the posterolateral shearing tibial plateau fracture[J]. Knee, 2012, 19(2): 94-98.
- [19] 于健,徐刚,孙宏,等. 后外侧支撑固定治疗胫骨平台后外侧髁骨折预后的多元 Logistics 回归分析[J]. 中国组织工程研究, 2019, 23(32): 5138-5145.
- [20] 马海召,冯新霞,陈晓华,等. 单纯 T 形钢板与双支撑钢板治疗胫骨平台骨折的疗效分析[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2019, 34(2): 185-187.

(张咏 编辑)