

• 实验研究 •

Ⅳ型胫骨平台骨折后外侧塌陷关节面固定方式的生物力学研究

庄健 翟启麟 王驭恺 周凯华 潘福根 罗从风

【摘要】 目的 评估不同固定方式治疗后外侧关节面塌陷的 SchatzkerⅣ型胫骨平台骨折的生物力学效果。**方法** 利用人工骨建立 SchatzkerⅣ型胫骨平台骨折伴后外侧关节面塌陷的模型 18 例,将其均分为 3 组,分别模拟 3 种内固定方式固定: A 组采用内侧钢板固定;B 组采用内侧钢板加后侧支撑钢板固定;C 组增加外侧骨窗,采用内外侧双钢板固定。通过力学实验机加载静态负荷,获得塌陷关节面与周围相连皮质断裂时以及垂直位移 $>3\text{ mm}$ 时的载荷值。**结果** 塌陷关节面与相连皮质断裂时所加载的负荷为 A 组($1\,715.0\pm52.1$) N、B 组($2\,631.7\pm81.8$) N、C 组($2\,763.3\pm51.6$) N,3 组间载荷存在差异($F=486.183, P=0.000$),3 组间两两比较差异均有统计学意义(P 均 <0.05)。塌陷关节面垂直位移 $>3\text{ mm}$ 时的载荷为 A 组($2\,360.0\pm71.0$) N、B 组($3\,125.0\pm104.4$) N、C 组($3\,418.3\pm81.3$) N,3 组间载荷存在差异($F=238.140, P=0.000$),3 组间两两比较差异均有统计学意义(P 均 <0.05)。**结论** 对于合并后外侧关节面塌陷的 SchatzkerⅣ型胫骨平台骨折,增加外侧骨窗、内侧联合外侧钢板固定对于塌陷关节面的固定强度最高,内侧联合后侧钢板固定的强度次之,理论上两者均可承受行走时负荷;单纯内侧钢板固定强度最低,但亦可满足非负重功能锻炼时的负荷要求。

【关键词】 SchatzkerⅣ型胫骨平台骨折;关节面塌陷;固定方式;生物力学研究

DOI: 10.3969/j.issn.1673-7083.2019.04.013

Biomechanical analysis of three different fixations for Schatzker type Ⅳ tibial plateau fractures with posterolateral articular depression ZHUANG Jian¹, ZHAI Qilin¹, WANG Yukai², ZHOU Kaihua¹, PAN Fugen¹, LUO Congfeng². *Department of Orthopaedics, Qingpu Branch of Zhongshan Hospital Affiliated to Fudan University*¹, Shanghai 201799, China; *Department of Orthopaedic, the Sixth People's Hospital Affiliated to Shanghai Jiaotong University*², Shanghai 200233, China

Corresponding author: ZHAI Qilin E-mail: zhaiql@163.com

【Abstract】 Objective This study aimed to compare the biomechanical characteristics of different fixations for Schatzker type Ⅳ tibial plateau fractures with posterolateral articular depression. **Methods** Eighteen synthetic bones simulated the Schatzker type Ⅳ tibial plateau fractures with posterolateral articular depression and then divided into three groups on average. Group A were fixed with a medial plate; in Group B, medial plating combined with posterior plate fixation was applied; and Group C were fixed with medial and lateral plating following creation of a “bone window” on the lateral cortex. Static forces were applied by a testing machine. The load were recorded when the articular surface collapsed and when fragments displaced vertically over 3 mm. **Results** The load when the articular surface collapsed was $1\,715.0\pm52.1\text{ N}$ in group A, $2\,631.7\pm81.8\text{ N}$ in group B and $2\,763.3\pm51.6\text{ N}$ in group C. There was statistically significant difference among the three groups ($F=486.183, P=0.000$), and between any two groups ($P<0.05$). The load when the vertical displacement exceeded 3 mm was $2\,360.0\pm71.0\text{ N}$ in group A, $3\,125.0\pm104.4\text{ N}$ in group B and $3\,418.3\pm81.3\text{ N}$ in group C. There was statistically significant difference among the three groups ($F=238.140, P=0.000$), and between any two groups ($P<0.05$). **Conclusion** The medial and lateral plating fixation following creation of a “bone window” on the lateral cortex exhibited the best strength in treatment of Schatzker type Ⅳ tibial plateau fractures with posterolateral surface depression. The medial plating combined with posterior buttress fixation was superior to the medial plating alone in terms of resistance of fragment displacement. Both fixation strategies could tolerate the load during walking in theory. The medial plating displayed the lowest biomechanical characteristics, but could allow non-weight-bearing functional exercise.

【Key words】 Schatzker type Ⅳ tibial plateau fractures; Articular depression; Internal fixation; Biomechanical study

基金项目:上海市卫生和计划生育委员会科研课题青年项目 (20164Y0195)

作者单位:201799 上海, 复旦大学附属中山医院青浦分院骨科(庄健、翟启麟、周凯华、潘福根);200233, 上海交通大学附属第六人民医院骨科(王驭恺、罗从风)

通信作者:翟启麟 E-mail: zhaiql@163.com

胫骨平台骨折是常见的下肢关节内骨折,以 Schatzker 法分型时 Schatzker Ⅳ型骨折为内侧胫骨平台骨折。随着术前 CT 检查的普及,临床医生发现 Schatzker Ⅳ型骨折合并后外侧关节面塌陷时具有特殊性^[1-2],其特点为内侧骨折块的复位和固定相对容易,而后外侧关节面塌陷的复位和固定存在

困难^[3]。针对此类骨折,主要手术固定方式有3种:①采用传统内侧入路,通过骨折间隙复位后侧关节面,胫骨平台内侧以钢板固定,其近端以螺钉固定关节面(图1a)^[4];②采用后内侧入路,在胫骨平台内侧钢板固定基础上,加用后侧钢板支撑固定关节面(图1b)^[5];③采用内外侧入路,通过外侧平台截骨窗复位关节面,内外侧以双钢板固定(图1c)^[6]。



图1 合并后外侧关节面塌陷的SchatzkerⅣ型胫骨平台骨折的3种手术固定方式^[4-6] a. 内侧钢板固定,术前X线片(左)、术中复位过程中X线透视(中)及术后X线片(右) b. 内侧钢板固定加后侧钢板支撑固定,术前CT影像(左)及术后X线片(右) c. 外侧平台截骨后,内外侧平台双钢板固定示意图,术前(左)、术中截骨窗及复位(中)和术后(右)

本研究拟通过模拟以上3种方式的体外试验,比较不同固定方式对骨折复位后关节面稳定性的影响,评估不同固定方式对关节面固定的生物力学效果。

1 材料与方法

1.1 实验材料和设备

人工合成胫骨(1110型,右侧,瑞士Synbone公司),胫骨近端3.5 mm系统接骨板和螺钉,人工合成股骨(2350型,右侧,瑞士Synbone公司),电子万能材料试验机(Instron5569型)。

1.2 骨折模型制备

内侧大块型骨折在SchatzkerⅣ型骨折中占比最高,根据文献^[7]及本研究小组前期研究结果其主要形态学特征如下:①主要骨折线角度(内侧平台骨折线与股骨后髁线的夹角)为 $84.42^{\circ} \pm 6.48^{\circ}$;②内侧骨折块高度(骨块最远端到关节面的垂直距离)为 (57.21 ± 7.89) mm;③内侧骨折块关节面与整个平台关节面的面积比为 $59.76\% \pm 3.79\%$;④后外侧塌陷关节面与整个平台关节面的面积比为 $17.56\% \pm 8.31\%$;⑤后外侧塌陷关节面的深度为 (11.76 ± 3.53) mm;⑥在胫骨平台横断面建立坐标系,塌陷关节面中心的坐标位置为平均坐标 $(14.68, -5.65)$ ^[8]。

按照上述形态学测量结果,在人工合成胫骨上描绘出内侧大块型SchatzkerⅣ型胫骨平台骨折合并关节面塌陷的骨折线走向,然后操作如下:首先,在人工骨上用电动摆锯制造内侧骨折块(图2a);其次,利用切下的骨块切面使用钻头打空塌陷关节面以下10 mm区域,打空高度为12 mm(图2b);最后,沿所画的塌陷关节面边缘用2.5 mm克氏针打孔至上述已打空区域,塌陷关节面与周围相连皮质的弧度和小于 20° (图2c、2d)。

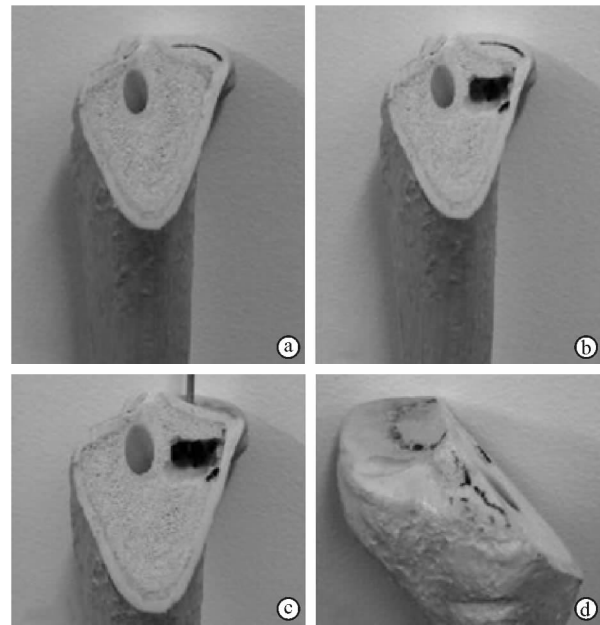


图2 后外侧关节面塌陷的SchatzkerⅣ型胫骨平台骨折模型制备 a. 切下内侧骨块后的切面 b. 打空的塌陷关节面下方10 mm起始区域 c. 在胫骨平台关节面沿所画的塌陷关节面边缘用克氏针打孔 d. 塌陷关节面与周围相连皮质的弧度和小于 20°

1.3 实验分组及处理

共制备18例骨折模型,将其随机均分为3组,

分别采用 3 种内固定方式固定。A 组采用胫骨近端内侧 3.5 mm 系统解剖型锁定接骨板固定。术者行骨折解剖复位后,将钢板置于胫骨平台内侧,近端钉孔方向垂直于骨折线,以克氏针临时固定;在骨折线远端以普通螺钉固定;最后,使用锁定套筒钻孔、测深及锁定螺钉固定,钢板近端钉孔锁定固定。B 组内侧钢板固定同 A 组,在此基础上增加后侧支撑钢板,即于后方由外上向内下安放 3.5 mm 干骺端钢板,使近端 1 枚螺钉的位置恰好打入塌陷关节面下

方,各钉孔使用锁定螺钉固定。C 组在内侧钢板固定基础上增加胫骨近端外侧解剖型钢板。首先依据文献^[6]方法制作:采用电动摆锯在外侧平台上进行截骨,截骨线连通塌陷关节面,其后方的皮质不予处理以模拟骨窗。术者先行内侧钢板固定(方法同 A 组),然后在外侧使用 2 根克氏针经钢板近端克氏针孔临时固定以确定钢板位置,钢板近端的后缘不越过腓骨切迹;以普通螺钉固定确认钢板位置满意后,使用锁定套筒钻孔、测深及锁定螺钉固定。见图 3。



图 3 A、B、C 组的内固定方式

1.4 生物力学测试

取制作好的标本固定于万能材料实验机上,为模拟膝关节负重,通过人工合成的股骨远端进行轴向载荷加压。载荷加压采用静态负载方式,以 700 N 为起始负荷,即相当于 70 kg 体质量人体步行时膝关节所承受的负荷^[9];然后以每 10 N 递增,测试塌陷关节面与周围相连皮质断裂时的载荷和垂直位移 >3 mm 时的载荷。塌陷关节面与周围相连皮质的断裂采用大体观察法,即骨折模型关节面各克氏针钻孔间皮质均断裂;垂直位移判定采用测量法,以关节面水平为基准,塌陷关节面上任意一点距此水平大于 3 mm 时即为垂直位移 >3 mm。记录以上两种情况发生时的静态载荷。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 19.0 版软件进行统计学分析。计量资料以均数 \pm 标准差表示,组间比较采用方差分析,进一步两两比较采用 *LSD-t* 法(方差齐)或 Dunnett T3 法(方差不齐), $P<0.05$ 为具有统计学差异。

2 结果

实验中未发生螺钉或钢板断裂。塌陷关节面与周围相连皮质断裂时所加载负荷分别为 A 组($1\,715.0\pm52.1$) N、B 组($2\,631.7\pm81.8$) N、C 组($2\,763.3\pm51.6$) N。经检验 3 组数据满足正态分

析条件并具方差齐性,予方差分析显示 3 组间加载负荷存在差异($F=486.183, P=0.000$);进一步采用 *LSD-t* 法行两两比较, $P_{AB}=0.000, P_{AC}=0.000, P_{BC}=0.003$,3 组间载荷均存在差异。塌陷关节面垂直位移 >3 mm 时的载荷分别为 A 组($2\,360.0\pm71.0$) N、B 组($3\,125.0\pm104.4$) N、C 组($3\,418.3\pm81.3$) N。经检验 3 组数据满足正态分析条件并具方差齐性,予方差分析显示 3 组间载荷存在差异($F=238.140, P=0.000$);进一步采用 *LSD-t* 法行两两比较, $P_{AB}=0.000, P_{AC}=0.000, P_{BC}=0.000$,3 组间载荷均存在差异。

3 讨论

胫骨平台骨折应用最广泛的分型是 Schatzker 骨折分型,其中 Schatzker IV 型为内侧胫骨平台骨折,可伴有骨折脱位。随着术前 CT 检查的广泛应用,学者们发现部分 Schatzker IV 型骨折可伴外侧平台关节面塌陷,且塌陷通常位于外侧平台中部或后部,这给手术复位及固定带来一定困难^[1,4-6,10-11]。

内侧手术入路及固定是治疗 Schatzker IV 型骨折的经典方式,该入路可直接暴露内侧平台骨折块,于直视下行复位和固定,但对于存在后外侧平台塌陷者,此入路在复位和固定上均存在一定困难,而后外侧关节面的处理在手术中是非常重要的^[12]。有学者认为,可通过此入路于骨折块间隙插入撑开器,

然后使用顶棒等工具在 X 线透视下复位后外侧关节面^[4]。也有学者建议,内侧切口仅处理内侧骨块,在前外侧增加切口,利用关节内截骨技术新增外侧平台骨折窗,将 Schatzker IV 型骨折转化为 Schatzker V 型,通过新增的骨折窗复位后外侧骨折块并以外侧钢板固定^[6]。还有学者使用胫骨平台后内侧倒“L”形入路处理此类骨折,该方法通过 1 个切口暴露内侧和后侧柱,在内侧钢板固定基础上增加后侧支撑固定^[5]。这 3 种手术方式各有优缺点,但尚无生物力学研究比较它们固定关节面的稳定性。

本研究的骨折模型及内固定方式均模拟临床操作。研究结果发现,内固定强度最高的是以内外侧双钢板固定,其次是以内侧钢板加后侧支撑钢板固定,强度最低的是以内侧钢板固定,3 种固定方式相同之处为均有内侧钢板固定。我们研究位移实验后的模型发现,内侧钢板近端 3 枚螺钉中的 2 枚可以打入塌陷关节面下方区域进行支撑,其中 1 枚通过塌陷中部,另 1 枚通过边缘。相比于单纯内侧钢板固定,加用后侧支撑钢板固定时,后侧钢板最近端的 1 枚螺钉也可打入塌陷关节面下方,因此其力学强度更优。而以内外侧双钢板固定时生物力学强度最高,其原因在于外侧钢板近端也有 2 枚螺钉可打入塌陷关节面下方,因此最多可有 4 枚螺钉对塌陷关节面起到支撑作用。不过需注意的是无论体外试验还是临床操作中,内外侧双钢板固定的近端螺钉均可能存在相互干扰,即当一端打入较长螺钉后(通常>70 mm),另一端通常无法打入长螺钉。在实践中,术者可通过调整钢板高度进行避让,使内侧钢板位置略低于外侧钢板。

生物力学研究的目的是为临床决策提供依据。根据 Morrison^[13]的研究,术后患者进行主动功能锻炼时膝关节应力约为人体质量的 1.3 倍(体质量 70 kg 者约 910 N),而人行走时踩地瞬间的膝关节应力可达人体质量的 3.5 倍(体质量 70 kg 者约 2 500 N)。本研究中,塌陷关节面与周围相连皮质断裂时载荷最低组(内侧钢板固定组)的负荷为 1 715 N,应可以满足人体非负重活动需要,而另外 2 组(内侧钢板加后侧支撑钢板固定组、内外侧双钢板固定组)的负荷值理论上均可满足人行走需要。

本研究的不足之处在于骨折模型与临床情况存在一定差异。临床实践中,塌陷关节面的形状多不规则且为游离状,在利用顶棒等工具抬起后,塌陷关节面与周围组织存在一定的黏液摩擦和滑动摩擦,

而这在人工骨材料上无法完全模拟。目前,临床医生对于胫骨平台骨折的治疗多采用生物学固定的理念,即在不牺牲生物力学固定强度的情况下保护骨折周围生物学环境的稳定。尽管本研究的结果显示以内外侧双钢板固定稳定性更强,但在临床实践中仍需要结合实际情况进行综合判断。

参 考 文 献

- [1] Kfuri M, Schatzker J. Revisiting the Schatzker classification of tibial plateau fractures[J]. *Injury*, 2018, 49(12): 2252-2263.
- [2] 刘璠. 胫骨平台骨折治疗相关问题与思考[J]. *中华骨科杂志*, 2016, 36(18): 1149-1150.
- [3] 王驭恺, 罗从风, 翟启麟. 胫骨平台骨折关节面塌陷治疗研究进展[J]. *国际骨科学杂志*, 2014, 35(3): 147-150.
- [4] Potocnik P, Acklin YP, Sommer C. Operative strategy in postero-medial fracture-dislocation of the proximal tibia[J]. *Injury*, 2011, 42(10): 1060-1065.
- [5] Berber R, Lewis CP, Copas D, et al. Postero-medial approach for complex tibial plateau injuries with a postero-medial or postero-lateral shear fragment[J]. *Injury*, 2014, 45(4): 757-765.
- [6] Sciadini MF, Sims SH. Proximal tibial intra-articular osteotomy for treatment of complex Schatzker type IV tibial plateau fractures with lateral joint line impaction: description of surgical technique and report of nine cases[J]. *J Orthop Trauma*, 2013, 27(1): e18-e23.
- [7] Wahlquist M, Iagulli N, Ebraheim N, et al. Medial tibial plateau fractures: a new classification system[J]. *J Trauma*, 2007, 63(6): 1418-1421.
- [8] Zhai Q, Hu C, Xu Y, et al. Morphologic study of posterior articular surface depression in Schatzker type IV tibial plateau fractures[J]. *Orthopedics*, 2015, 38(2): e124-e128.
- [9] Egol KA, Su E, Tejwani NC, et al. Treatment of complex tibial plateau fractures using the less invasive stabilization system plate: clinical experience and a laboratory comparison with double plating[J]. *J Trauma*, 2004, 57(2): 340-346.
- [10] Yang G, Zhu Y, Luo C, et al. Morphological characteristics of Schatzker type IV tibial plateau fractures: a computer tomography based study[J]. *Int Orthop*, 2012, 36(11): 2355-2360.
- [11] Higgins TF, Kemper D, Klatt J. Incidence and morphology of the posteromedial fragment in bicondylar tibial plateau fractures[J]. *J Orthop Trauma*, 2009, 23(1): 45-51.
- [12] 胡孙君, 张世民. 累及后外侧髁的胫骨平台骨折手术治疗[J]. *国际骨科学杂志*, 2016, 37(4): 228-231.
- [13] Morrison JB. The mechanics of the knee joint in relation to normal walking[J]. *J Biomech*, 1970, 3(1): 51-61.

(收稿:2019-01-13)

(本文编辑:杨晓娟)