

髌臼横行骨折四种内固定方式的生物力学研究

高烁, 王雷, 吴啸波, 何全杰, 刘弘扬, 徐凤松

华北理工大学附属骨科医院 唐山市第二医院 河北省创伤骨科中心, 河北 唐山 063000

摘要: **目的** 探讨四种内固定方法治疗髌臼横行骨折的稳定性,以确定髌臼横行骨折前柱内固定的理想位置。**方法** 采用防腐处理的成年男性半骨盆标本制作髌臼横行骨折模型 16 具,随机分成四组,A 组采用前柱重建接骨板,B 组采用前柱锁定接骨板,C 组采用骨盆缘下重建接骨板,D 组采用骨盆缘下锁定接骨板。通过对四种骨折内固定模型进行连续分级垂直加载,测量各组骨折的水平位移、纵向位移和 800N 下的剪切刚度,比较各组内固定方式的稳定性。**结果** 水平位移、纵向位移都随载荷的增加呈线性变化,在 600~1 200 N 时,经两两比较,水平位移、纵向位移在 A 与 C、D 组,B 与 C、D 组,C 与 D 组之间均存在统计学差异(P 均 < 0.05),在 A 与 B 组之间均无统计学差异(P 均 > 0.05),其中 C、D 组低于 A、B 组,D 组低于 C 组。在载荷 800 N 中,A 与 B 组剪切刚度无统计学差异($P > 0.05$),其余剪切刚度组间的两两比较均存在统计学差异(P 均 < 0.05)。**结论** 骨盆缘下接骨板内固定优于前柱接骨板内固定,并且骨盆缘下锁定接骨板稳定性高于骨盆缘下重建接骨板,而前柱锁定接骨板与前柱重建接骨板并无明显差异。

关键词: 髌臼; 横行骨折; 内固定; 前柱重建接骨板; 前柱锁定接骨板; 骨盆缘下重建接骨板; 骨盆缘下锁定接骨板; 生物力学

中图分类号: R 318.08 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-8182(2016)04-0444-04

Biomechanical study on four internal fixation methods of acetabular transverse fractures

GAO Shuo, WANG Lei, WU Xiao-bo, HE Quan-jie, LIU Hong-yang, XU Feng-song

The Second Hospital of Tangshan Hebei, Provincial Trauma Orthopedic Center, Tangshan, Hebei 063000, China

Corresponding author: WU Xiao-bo, E-mail: drwuxiaobo@foxmail.com

Abstract: Objective To investigate the stability of four internal fixation methods for the treatment of acetabular transverse fractures in order to assign the ideal position of anterior column internal fixation. **Methods** The hemi-pelves specimens were established with 16 adult male corpses of antiseptic treatment and randomly divided into four groups, then the acetabular transverse fractures internal fixation models were respectively designed: group A (anterior column reconstruction plate), group B (anterior column locking plate), group C (pelvic margin reconstruction plate) and group D (pelvic margin locking plate). By vertical loading of continuous increased grading on four types of fracture internal fixation models, the horizontal displacement, longitudinal displacement and shear stiffness of 800 N were measured, and the stabilities of four internal fixation methods were compared. **Results** Horizontal displacement and longitudinal displacement presented linear changes with the increase of the loads in four groups. Under the loads of 600 N to 1 200 N, there were significant differences in horizontal displacement and longitudinal displacement between group A with group C and D, between group B with group C and D, as well as between group C with group D by pairwise comparisons (all $P < 0.05$), but there was no significant difference in them between group A and B (all $P > 0.05$). Under the load of 800 N, there was no significant difference in shear stiffness between group A and B ($P > 0.05$), while there were significant differences among the other groups by pairwise comparisons (all $P < 0.05$). **Conclusions** The effect of the pelvic margin plate internal fixation is superior to the anterior column plate internal fixation, and the stability of pelvic margin locking plate is higher than that of pelvic margin reconstruction plate, while there was no significant difference in the stabilities between anterior column locking plate and anterior column reconstruction plate.

Key words: Acetabulum; Transverse fracture; Internal fixation; Anterior column reconstruction plate; Anterior column

locking plate; Pelvic margin reconstruction plate; Pelvic margin locking plate; Biomechanics

近年随着高能量剪切应力形式损伤的日益增多,髋臼横行骨折尤为常见,在髋臼骨折中的发病率约占 20%,所以寻找其理想内固定方式十分迫切。目前诸多学者对髋臼横行骨折进行探究^[1-3],但都通过在耻骨上支的上缘沿弓状线放置接骨板以恢复正常的头臼关系和使髋臼关节面平整,而前柱形状不规则,周围解剖结构复杂,术中需要对接骨板进行多次折弯,所以青年医师通过髂腹股沟入路治疗髋臼横行骨折较为困难。目前对髋臼横行骨折前柱不同部位进行内固定的生物力学研究报道较少,本研究采用成人防腐半骨盆标本,制作髋臼横行骨折模型,予以髋臼前柱四种不同内固定方法,分别为 A 组:前柱重建接骨板, B 组:前柱锁定接骨板, C 组:骨盆缘下重建接骨板, D 组:骨盆缘下锁定接骨板,对其进行生物力学稳定性比较,旨在探索髋臼横行骨折前柱内固定的最佳位置,为临床手术治疗提供生物力学依据。

1 材料与方 法

1.1 仪器与材料 BOSE Electroforce 3520-AT 生物力学试验机(BOSE Corporation,河北省骨科研究所提供),Osteocore 3 双能 X 射线骨密度测量仪(Medil-eink 公司,河北省骨科研究所提供),KG-101 光栅位移传感器(帝尔公司,德国),内固定器械(常州市康辉医疗器械有限公司),成人男性骨盆标本(华北理工大学解剖学教研室提供)。

1.2 标本的制备 取福尔马林溶液处理的成年男性尸体 16 具,自第 3、4 腰椎交界处及双大腿中上 1/3 横断尸体,得全骨盆标本 8 个。剔除标本上附着的软组织如肌肉、韧带、关节囊等,保留骨膜后用肉眼观察及 X 线摄片均证实无结核、肿瘤、骨折等病变及解剖学变异。用 Osteocore 3 双能 X 射线骨密度测量仪进行骨密度测量,排除骨质疏松症^[4]。再将骨盆从骶

髌关节和耻骨联合处分成左右两半,获半骨盆标本 16 个。

1.3 骨折模型的制备 将骨盆标本置于中立位,即耻骨联合与两侧的髌前上棘的连线均垂直于地面,双侧髌前上棘连线平行于地面,然后在髋臼负重区关节面中央画一条水平线,用线锯沿此线锯开^[5](图 1)。最后在坐骨结节处沿水平面、冠状面和矢状面各钻入 1 枚 2.0 mm 克氏针,代表站立位三维坐标平面。

1.4 标本分组及内固定骨折模型 将 16 具半骨盆标本随机分成四组, A 组:前柱重建接骨板, B 组:前柱锁定接骨板(A、B 组见图 2); C 组:骨盆缘下重建接骨板, D 组:骨盆缘下锁定接骨板(C、D 组见图 3)。A、B 组均模拟在髂腹股沟入下将 10 孔接骨板沿弓状线放置, C、D 组均模拟在改良 Stoppa 入路下将 8 孔接骨板沿真骨盆缘放置,所有接骨板均以 5 枚螺钉内固定。再将内固定骨折模型置于单足倒立体位放于包埋盒中^[6],以坐骨结节处的 3 枚克氏针所代表的三维坐标系为参照,调整髋关节来模拟正常人髋关节内收 15°,内旋 10°^[7]。最后将混合好的 II 型义齿基托集合物倒入包埋盒中固定标本,待其坚硬后放在力学试验机上进行加载。

1.5 力学测试方法 将传动杆与股骨干断端连接,股骨头放入倒置的髋臼内进行垂直加载(图 4)。以 10 牛顿/秒(N/s)加载速度、最大载荷为 200 N 进行预加载处理 3 次,来消除标本的松弛、蠕变等影响。再以相同的加载速度用连续递增的方式进行加载,加载过程中用光栅位移传感器测量骨折的水平位移、纵向位移。记录加载至 600~1 200 N 时各骨折模型的水平位移、纵向位移,每个标本重复加载 3 次取其均值,以控制整体实验精度。并将负载下髋臼骨折线移位 >3.00 mm 作为内固定失效标准^[8]。

1.6 数据采集及统计分析 记录四组标本的水平位

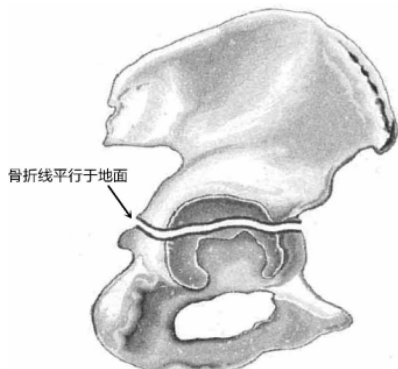


图 1 横行骨折线示意图



图 2 前柱重建或锁定接骨板(A、B 组)内固定模式图

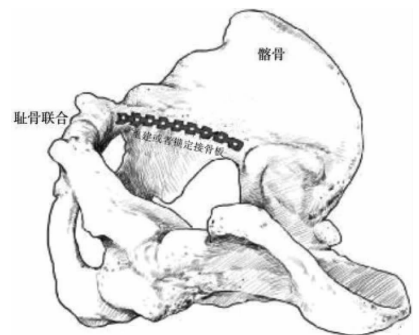
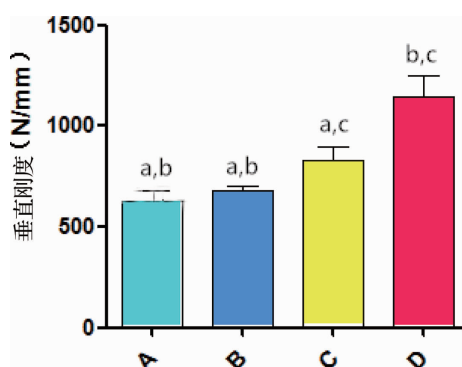


图 3 骨盆缘下重建或锁定接骨板(C、D 组)内固定模式图



图 4 模拟倒立位加载



注:与 D 组比较,^a $P < 0.05$;与 C 组比较,^b $P < 0.05$;与 B 组比较,^c $P < 0.05$ 。

图 5 800 N 时 4 组剪切刚度条形图

移、纵向位移,并计算出 800 N 载荷下的剪切刚度。所获数据采用 SPSS 16.0 软件进行分析。所有数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用单因素方差分析,若有统计学意义,则采用 SNK- q 检验进行两两比较。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般情况 传动杆与股骨干连接紧密,未出现松动,各组内固定螺钉无拔出或折断,接骨板无裂纹,所有标本未有新骨折线。

2.2 载荷与位移的关系 在连续逐级加载中,A、B、C、D 四组的水平位移和纵向位移均随着载荷的增加而呈线性变化。且在 1 200 N 时,A、B、C、D 四组的水平位移均 < 3.00 mm,未达到失效标准。在 600 ~ 1 200 N 时,经 SNK- q 检验,水平位移、纵向位移在 A 组与 C、D 组,B 组与 C、D 组,C 组与 D 组间两两比较差异均有统计学意义(P 均 < 0.05),A 组与 B 组的差异无统计学意义(P 均 > 0.05)。见表 1、2。

表 1 不同载荷 - 髌臼方形区水平位移 (mm, $\bar{x} \pm s$)

组别	600N	800N	1000N	1200N
A	0.78 ± 0.53 ^{ab}	0.92 ± 0.08 ^{ab}	1.08 ± 0.04 ^{ab}	1.35 ± 0.07 ^{ab}
B	0.80 ± 0.10 ^{ab}	0.88 ± 0.10 ^{ab}	1.00 ± 0.08 ^{ab}	1.30 ± 0.05 ^{ab}
C	0.41 ± 0.09 ^{ac}	0.54 ± 0.08 ^{ac}	0.71 ± 0.33 ^{ac}	0.93 ± 0.13 ^{ac}
D	0.27 ± 0.06 ^{bc}	0.40 ± 0.07 ^{bc}	0.58 ± 0.06 ^{bc}	0.79 ± 0.37 ^{bc}

注:与 D 组比较,^a $P < 0.05$;与 C 组比较,^b $P < 0.05$;与 B 组比较,^c $P < 0.05$ 。

表 2 不同载荷 - 髌臼方形区纵向位移 (mm, $\bar{x} \pm s$)

组别	600N	800N	1000N	1200N
A	1.08 ± 0.08 ^{ab}	1.20 ± 0.06 ^{ab}	1.70 ± 0.07 ^{ab}	1.99 ± 0.09 ^{ab}
B	1.06 ± 0.07 ^{ab}	1.17 ± 0.06 ^{ab}	1.65 ± 0.08 ^{ab}	1.84 ± 0.09 ^{ab}
C	0.68 ± 0.13 ^{ac}	0.94 ± 0.10 ^{ac}	1.19 ± 0.18 ^{ac}	1.41 ± 0.20 ^{ac}
D	0.47 ± 0.09 ^{bc}	0.72 ± 0.14 ^{bc}	0.91 ± 0.13 ^{bc}	1.04 ± 0.08 ^{bc}

注:与 D 组比较,^a $P < 0.05$;与 C 组比较,^b $P < 0.05$;与 B 组比较,^c $P < 0.05$ 。

2.3 剪切刚度 剪切刚度是指在载荷下的髌臼抗形变能力,剪切刚度越大,则髌臼稳定性越高。计算公式为 $EF = P/\Delta L$ (EF 为剪切刚度, P 为载荷, ΔL 为形变位移)。从图 5 可以看出,D 组刚度最高,A 组稳定性最差。经 SNK- q 检验,剪切刚度在 A 组与 C、D 组,B 组与 C、D 组,C 组与 D 组间差异均存在统计学意义(P 均 < 0.05),A 组与 B 组的差异无统计学意义($P > 0.05$)。

3 讨论

Letournel 将髌臼划分为前柱、后柱。髌臼的前柱也称为髌耻柱,包括髌骨翼前部、髌臼的前下 1/3、髌脊前部、下方的耻骨及真骨盆入口的前缘,由此可看出耻骨上支属于前柱的一部分。而耻骨上支又可分为三缘及三面:上缘锐薄,为耻骨梳,耻骨梳向后移行为弓状线,向前终于耻骨结节,前缘称为闭孔脊,下缘围成闭孔。前面呈三角形,后面光滑构成真骨盆缘,下面存在闭孔沟,供闭孔动静脉通过。耻骨上支的后面较为平滑,且接骨板塑形后能够很好地贴服于半弧形的真骨盆缘。Sagi 等^[9] 将改良 Stoppa 入路手术治疗髌臼骨折称为前柱骨盆缘内固定髌臼骨折,并认为疗效满意度达到 92%。同时研究表明前柱单接骨板内固定稳定性高于后柱单接骨板,前者的强度约为后者的 2 倍左右^[10-11]。而看似细长的前柱,其强度可大于粗壮的后柱,这与其骨小梁分布及特殊的解剖学外形有关^[11]。所以我们选择以前柱为研究对象,沿着耻骨上支的弓状线和耻骨后面的真骨盆上缘放置接骨板,试图探究髌臼横行骨折四种内固定的生物力学稳定性。

改良 Stoppa 入路可选择在下腹中线切口,能够直视下将前柱进行解剖复位而稳定横行骨折,不需要显露股动静脉、髌腰肌、股神经以及精索或子宫圆韧

带等重要解剖结构,同时可保护“死亡冠”动脉,手术操作相对简单。而锁定接骨板的广泛应用又在粉碎性及骨质疏松的骨折患者收到很好的疗效,依靠其角稳定性可抗拔出,且允许髌臼周围进行单皮质固定。相反,髌腹股沟入路下对髌臼前柱及耻骨上支骨折进行内固定,接骨板沿着前柱上缘骨盆界线放置时,因其不规则、有髌耻隆起等,对接骨板塑形的要求较高,不但需要前后预弯还要进行侧方预弯及旋转预弯,同时前柱紧邻重要血管神经,内固定时螺钉易误入关节等,可造成严重并发症^[12],因此手术操作复杂且时间较长。实验中作者将前柱接骨板放置于耻骨上支的上缘,沿着弓状线止于髌髌关节前方,而骨盆缘下接骨板则沿着耻骨上支的后面始于髌髌关节止于耻骨联合放置。从实验结果我们可以看出,骨盆缘下接骨板内固定优于前柱内固定处理髌臼横行骨折,我们分析这可能是由于构成真骨盆缘的耻骨上支向后延伸与后柱的内侧面汇合,此处骨小梁较为致密,内固定后对前后柱都有一定的把持力,从而增加了力学稳定性。而骨盆缘下锁定接骨板由于存在角稳定性,所以稳定性高于骨盆缘下重建接骨板。前柱锁定接骨板与前柱重建接骨板位移及 800 N 时的剪切刚度无统计学差异,但在图 3 可看出锁定接骨板的强度仍有一定的优势,这与 Khajavi 等^[13]的研究一致。

本实验表明,在站立位下,髌臼横行骨折内固定中,骨盆缘下接骨板内固定的稳定性优于前柱接骨板内固定,本研究能够为前柱不同部位的最佳内固定位置提供一定的参考依据,但也存在一些局限性,样本量较少,所以有待进一步进行临床研究。

参考文献

[1] Mehin R, Jones B, Zhu Q, et al. A biomechanical study of conventional acetabular internal fracture fixation versus locking plate fixation

[J]. *Can J Surg*, 2009, 52(3): 221 - 228.

- [2] Shazar N, Brumback RJ, Novak VP, et al. Biomechanical evaluation of transverse acetabular fracture fixation [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1998(352): 215 - 222.
- [3] Sen RK, Tripathy SK, Aggarwal S, et al. Comminuted quadrilateral plate fracture fixation through the iliofemoral approach [J]. *Injury*, 2013, 44(2): 266 - 273.
- [4] 程晓光, 刘忠厚. 国际临床骨密度学会共识文件(2005 年版) [J]. *中国骨质疏松杂志*, 2006, 12(2): 205 - 209.
- [5] 宋朝晖. 髌臼骨折对髌关节生物力学行为的影响及相关研究 [D]. 石家庄: 河北医科大学, 2004.
- [6] Olson SA, Kadmas MW, Hernandez JD, et al. Augmentation of posterior wall acetabular fracture fixation using calcium-phosphate cement: a biomechanical analysis [J]. *J Orthop Trauma*, 2007, 21(9): 608 - 616.
- [7] 吴啸波, 张奇, 郭明珂, 等. 髌臼后柱骨折不同方式钢板内固定的稳定性研究 [J]. *第三军医大学学报*, 2010, 32(7): 665 - 668.
- [8] Bray TJ, Esser M, Fulkerson L. Osteotomy of the trochanterin open reduction and internal fixation of acetabular fractures [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1987, 69(5): 711 - 717.
- [9] Sagi HC, Afhari A, Dziadosz D. The anterior intra-pelvic (modified rivers-stoppa) approach for fixation of acetabular fractures [J]. *J Orthop Trauma*, 2010, 24(5): 263 - 270.
- [10] 王庆贤, 张英泽, 潘进社, 等. 髌臼横断骨折前路及后路钢板内固定的生物力学研究 [J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2001, 16(4): 292 - 293.
- [11] Harnroongroj T. The role of the anterior column of the acetabulum of pelvic stability: a biomechanical study [J]. *Injury*, 1998, 29(4): 293 - 296.
- [12] Gettys FK, Russell GV, Karunakar MA. Open treatment of pelvic and acetabular fractures [J]. *Orthop Clin North Am*, 2011, 42(1): 69 - 83.
- [13] Khajavi K, Lee AT, Lindsey DP, et al. Single column locking plate fixation is inadequate in two column acetabular fractures. A biomechanical analysis [J]. *J Orthop Surg Res*, 2010, 5: 30.

收稿日期: 2015 - 11 - 15 修回日期: 2015 - 12 - 02 编辑: 王国品