

文章编号:1004-7220(2009)03-0200-04

## 点接触锁定加压接骨板固定骨质疏松粉碎性桡骨骨折的生物力学特性

熊雁<sup>1</sup>, 赵玉峰<sup>1</sup>, 王子明<sup>1</sup>, 杜全印<sup>1</sup>, 孙红振<sup>1</sup>, 吴思宇<sup>1</sup>, 陈卫军<sup>2</sup>, 王爱民<sup>1</sup>

(1. 第三军医大学大坪医院野战外科研究所 骨科, 重庆 400042; 2. 第三军医大学解剖教研室, 重庆市生物力学重点实验室, 重庆 400038)

**摘要:**目的 对比研究新型点接触锁定加压接骨板(point contact locking compression plate, PC-LCP)和动力加压接骨板(DCP)固定老年骨质疏松粉碎性桡骨骨折的生物力学特性。**方法** 选取12对老年骨质疏松性尸体桡骨制成横断骨折,骨折间隙为1 cm,模拟粉碎性骨折模型。每对随机选取,其中一根用PC-LCP固定,另一根用DCP固定。进行前后四点弯曲、内外四点弯曲及扭转实验,得到相应的弯曲刚度和扭转刚度。**结果** PC-LCP固定骨质疏松粉碎性桡骨骨折后的弯曲刚度及扭转刚度均高于DCP,但两者没有统计学差异( $P > 0.05$ )。**结论** 新型接骨板PC-LCP固定骨质疏松粉碎性桡骨骨折的生物力学特性优于DCP。

**关键词:** 接骨板; 点接触; 锁定加压; 生物力学; 骨折

中图分类号: R318.01 文献标志码: A

## Biomechanical research on new type point contact locking compression plate with osteoporotic comminuted radial fracture model

XIONG Yan<sup>1</sup>, ZHAO Yu-feng<sup>1</sup>, WANG Zi-ming<sup>1</sup>, DU Quan-yin<sup>1</sup>, SUN Hong-zhen<sup>1</sup>, WU Si-yu<sup>1</sup>, CHEN Wei-jun<sup>2</sup>, WANG Ai-ming<sup>1</sup>. (1. Department of Orthopaedics, Daping Hospital, Research Institute for Field Surgery, Third Military Medical University, Chongqing 400042, China; 2. Biomechanical Key Laboratory of Chongqing Department of Anatomy, Third Military Medical University, Chongqing 400038, China)

**Abstract: Objective** Biomechanical comparison between a new type of point contact locking compression plate and dynamical compression plate was made with an osteoporotic comminuted radial fracture model. **Method** Twelve pairs of aged osteoporotic cadaveric radial transverse fracture with 1 cm clearance were created to simulate comminuted fracture and each pair was fixed with PC-LCP, DCP, respectively. Then the anteroposterior four point bending, mediolateral four point bending and torsion tests was conducted to determine the bending and torsion compress stiffness of the PC-LCP and DCP. **Result** Both the bending and torsion stiffness of PC-LCP are higher than that of DCP, but there are no significant differences ( $P > 0.05$ ). **Conclusions** The new PC-LCP has a tendency to have higher bending and torsion stiffness when used to fix the osteoporotic comminuted radial fracture.

**Key words:** Bone plate; Point contact; Locking compression; Biomechanics; Frature

收稿日期:2008-11-28; 修回日期:2009-03-09

基金项目:重庆市科技攻关重大项目(CSTC,2006AA5014-1)

作者简介:熊雁(1980-),男,研究方向:骨创伤。

通讯作者:王爱民, Tel: (023)68757936, E-mail: trauma2@163.com

内固定接骨板治疗骨折已经有 100 多年的历史。早在 1895 年 Lane 第一次介绍了金属板可用于骨折内固定,之后由于腐蚀问题被弃用。至今为止,陆续出现了动力加压接骨板(dynamic compression plate, DCP)、有限接触动力加压接骨板(limited contact-dynamic compression plate, LC-DCP)、点式接触内固定(point contact fixator, PC-Fix)、锁定加压接骨板(locking compression plate, LCP)等内固定接骨板系统<sup>[1~3]</sup>。为了在不降低接骨板固定骨折的生物学稳定性的同时最大程度地减少与骨面的接触面积,我们在以往研制的点接触动力加压接骨板<sup>[4]</sup>(point contact-dynamic compression plate, PC-DCP)基础上,研制出一种新型点接触锁定加压接骨板(point contact-locking compression plate, PC-LCP),并结合点接触和锁定功能于一体<sup>[5]</sup>。随着人口老龄化,骨质疏松粉碎性骨折将越来越多。本文利用尸体桡骨骨折模型,对比研究 PC-LCP 和 DCP 固定骨质疏松粉碎性桡骨骨折的生物力学特性。

## 1 材料和方法

### 1.1 PC-LCP 板的设计

PC-LCP 设计集合了锁定、加压与点接触功能于一体。点接触结构为在接骨板螺孔部位两侧形成小台状结构,高 1.5 mm,底面为点状,螺孔帽与接骨板螺孔可行锁定,全长 92.0 mm,宽 10.0 mm,厚 2.0 mm。对称分布 8 个螺钉孔,其中最中间两个为动力加压孔,其余为锁定孔,螺钉为 3.5 mm 标准皮质骨螺钉。实验用接骨板、螺钉均为医用不锈钢制成,具有良好的生物学相容性。

### 1.2 试件准备和分组

12 对老年尸体桡骨由重庆医科大学解剖教研室提供,于 -20℃ 冰柜保存。对 12 对桡骨利用美国 Norland 公司的双能 X 线机进行扫描,测定骨密度值,每个标本的骨密度值均符合骨折疏松标准。在每对标本中随机选取一根用 8 孔 PC-LCP 固定,作为 PC-LCP 组,另一根用 8 孔 DCP 固定,作为 DCP 组。PC-LCP 组和 DCP 组平均骨密度值均为 0.68 g/cm<sup>2</sup>。选取每个标本的中点用摆锯锯断,做成 1 cm 间隙,模拟粉碎性骨折模型。PC-LCP 不预弯,DCP 预弯,然后用 3.5 mm 皮质骨螺钉中立位并将接骨板固定于桡骨桡侧面。所有接骨板螺钉均中立

位固定,其中 PC-LCP 两端 6 枚锁定螺钉均与接骨板螺孔呈锁定固定。固定后,骨折测试标本置于日本岛津万能力学测试机上(图 1),分别进行前后四点弯曲和内外四点弯曲实验,置于中国深圳生产的电子万能力学测试机上进行扭转实验。

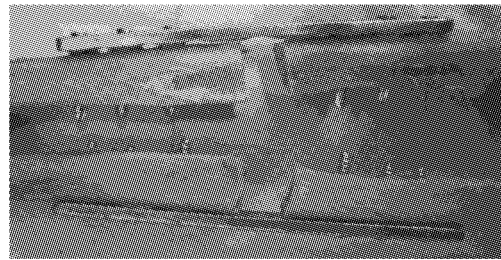


图 1 PC-LCP 及 DCP 固定骨质疏松粉碎性桡骨骨折模型

Fig.1 PC-LCP and DCP fixed the osteoporotic comminuted radial fracture model

### 1.3 生物力学测试

**1.3.1 前后四点弯曲** 两组标本进行前后四点弯曲实验,标本置于前后位置并加载,两加载点间距 10 cm,两支点间距离 20 cm。接骨板固定侧位于张力侧,在最大载荷 150 N 保护下,以 2.5 mm/s 匀速弯曲加载,在弹性变化范围内进行弯曲实验,同步记录试件应变值与弯曲挠度的关系。然后换算为加载力和固定试件的抗弯刚度。试件在四点弯曲过程中未破坏(见图 2)。

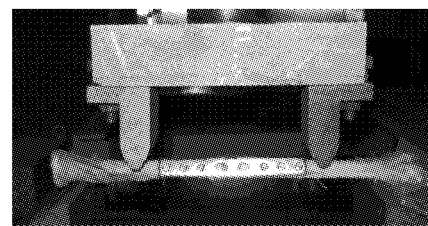


图 2 PC-LCP 接骨板系统固定桡骨干骨折前后四点弯曲实验

Fig.2 Anteroposterior four point bending test of radial shaft fracture fixed with the PC-LCP

**1.3.2 内外四点弯曲** 两组标本进行内外四点弯曲实验,标本置于内外位置并加载,两加载点间距 10 cm,两支点间距离 20 cm。接骨板固定侧位于张力侧,在最大载荷 150 N 的保护下,以 2.5 mm/s 匀速弯曲加载,在弹性变化范围内进行弯曲实验,同步记录试件应变值与弯曲挠度的关系。然后换算为加载力和固定试件的抗弯刚度。试件在四点弯曲过程

中未被破坏(见图3)。

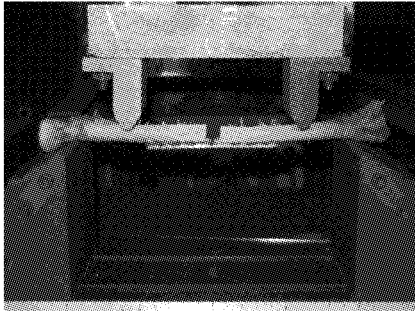


图3 PC-LCP 接骨板系统固定桡骨干骨折模型后内外四点弯曲实验  
Fig.3 Mediolateral four point bending test of radial shaft fracture fixed with the PC-LCP

**1.3.3 扭转实验** 两组标本进行扭转实验,标本两端固定并置于测试机下加载。接骨板固定侧位于张力侧,在最大 5 Nm 的扭距载荷保护下,以 5 (°)/s 匀速扭转加载,在弹性变化范围内进行扭转实验,同步记录试件内应变值与扭转角度的关系,然后换算为加载力和固定试件的抗扭刚度。试件在四点弯曲过程中未被破坏。

#### 1.4 统计分析

实验结果分别采用 SPSS13.0 统计软件包进行配对 *t* 检验分析,  $P < 0.05$  为有显著差异。

## 2 结果

### 2.1 前后四点弯曲

前后四点弯曲实验中,保持前后加载,最大载荷 150 N 下,在弹性变化范围内,固定标本卸载后试件无残余畸形。根据加载与变形关系绘出前后四点弯曲实验载荷与挠度关系图,计算出每个试件的前后四点弯曲抗弯刚度,比较 PC-LCP 组和 DCP 组前后四点弯曲的平均抗弯刚度。可见,PC-LCP 组的前后四点弯曲抗弯刚度大于 DCP 组,但两者差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ) (表 1)。

### 2.2 内外四点弯曲

内外四点弯曲实验中,保持前后加载,最大载荷 150 N 下,试件在弹性变化范围内,固定标本卸载后无残余畸形。根据加载与变形关系绘出内外四点弯曲实验载荷与挠度关系图,计算出每个试件的内外四点弯曲抗弯刚度,比较 PC-LCP 组和 DCP 组内外四点弯曲的平均抗弯刚度。可见,PC-LCP 组的内外

四点弯曲抗弯刚度大于 DCP 组,但两者差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ) (表 1)。

### 2.3 扭转实验

扭转实验中,在保持扭转加载,最大扭转角度 10° 下,试件在弹性变化范围内,固定标本卸载后无残余畸形。根据加载与变形关系,绘出扭转实验载荷与角度关系图,计算出每个试件的抗扭刚度,比较 PC-LCP 组和 DCP 组的平均抗扭刚度。可见,PC-LCP 组的抗扭刚度大于 DCP 组,但是两者差异仍无统计学意义 ( $P > 0.05$ ) (见表 1)。

表 1 PC-LCP 和 DCP 接骨板固定桡骨干骨折的生物力学比较 ( $\bar{x} \pm s$ )  
Tab.1 Biomechanical comparisons of PC-LCP and DCP plate fixed with radial fractures ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	前后四点弯曲 刚度 ( $N \cdot mm^{-1}$ )	内外四点弯曲 刚度 $N \cdot mm^{-1}$	扭转刚度/ [ ( $N \cdot m$ ) $\cdot$ ( $^\circ$ ) $^{-1}$ ]
PC-LCP	109.81 $\pm$ 30.53 *	91.02 $\pm$ 22.00 *	0.36 $\pm$ 0.08 *
DCP	95.68 $\pm$ 20.27	82.81 $\pm$ 41.04	0.31 $\pm$ 0.03

\* LC-DCP 组与 DCP 组比较,  $P$  值  $> 0.05$

## 3 讨论

随着 BO 生物学接骨概念的提出,骨折治疗原则从坚强内固定走向减少软组织受损、维持骨折对位对线、促进骨痂形成的相对稳定的生物学内固定。AO 系列接骨板螺丝钉坚强内固定的主要问题是板下的骨质疏松,骨板去除后可能再次骨折。究其原因有两个理论,第一个理论是应力遮挡效应引起力学性骨损失。然而,实验结果表明,用柔软的塑料骨板并不能改善骨损失的现象。因此,Perren 研究小组提出第二个理论,再次骨折的形成是由于广泛的骨与接骨板之间的接触影响皮质的血流灌注而导致骨皮质坏死。LC-DCP 的设计应遇而生,Perren 研究小组认为,板底的凹面设计可以减少骨板间近 50% 的接触,减少板对骨皮质血流的影响,从而减少皮质坏死和再次骨折的发生。但 Feld 等<sup>[6]</sup>测量了 DCP 和 LC-DCP 固定到尸骨后骨板间接触面积,发现骨板的设计对骨板间接触面积影响不明显。这和以上 Perren 的报道相矛盾。Jain 等<sup>[7]</sup>用激光多普勒测量了 DCP 和 LC-DCP 固定到犬的胫骨上骨皮质血流图,发现两组中骨皮质血流没有明显差异。此观点支持 Field 的研究结果。同时,在胫骨生物力学上两

组间也没有明显差异。因此 Jain 等<sup>[7]</sup>认为 LC-DCP 在骨折愈合或者是骨皮质血流灌注上没有明显优势。

我们在以往研究锥点式接触钢板<sup>[8]</sup> (CCPC-Fix)、点接触动力加压接骨板<sup>[9]</sup> (PC-DCP)基础上,基于生物学固定理念<sup>[10]</sup>设计的一种新型点接触接骨板 PC-LCP,并在减少接骨板与骨面接触面积的同时,加入了锁定及加压功能。设计特点为接骨板具有锁定功能及加压功能,使接骨板、骨与螺钉之间形成一个结构体,加压功能使骨折端的骨折块能更好地接触,以增加其稳定性。优势在于增加稳定性的同时,突出了保护骨皮质血运及减少接骨板与骨面间摩擦力的作用。

多个研究表明,骨密度和螺钉的把持力成线性关系,所以在骨质疏松粉碎性骨折中,骨皮质减少和松质骨而导致螺钉的把持力明显降低<sup>[11, 12]</sup>。传统 DCP 接骨板通过接骨板与骨面间紧密接触产生的力而转化为接骨板与螺钉之间的力<sup>[13]</sup>。而锁定接骨板通过螺钉共同锁定在骨折两端,其固定力量不是单一螺钉轴向的强度或者把持力,而是所有螺钉和接骨板的联合固定力量<sup>[14]</sup>。因此,单一螺钉很难拔出,除非多个相邻的螺钉一起拔出。这种生物力学特性增加了固定结构的稳定性,尤其对于骨质疏松性骨折、粉碎性骨折和高度不稳定的骨折<sup>[15, 16]</sup>。因此,在粉碎性骨折和骨质疏松性骨折中,锁定接骨板具有更强的稳定性。本研究证明,在骨质疏松粉碎性桡骨骨折模型中,PC-LCP 的生物力学特性优于 DCP 板。在前后四点弯曲、内外四点弯曲及扭转实验测试下,PC-LCP 固定桡骨骨折模型的抗弯刚度及抗扭刚度均大于 DCP。可见 PC-LCP 比 DCP 具有更加稳定且良好的生物力学特性。

随着人口老龄化进程,为了适应国内发展及临床的需求,我们研制了 PC-LCP。PC-LCP 能最大限度地减少了与骨面的接触面积,保护了板下皮质血运;同时,采用螺钉与接骨板锁定功能,使接骨板与骨面间的摩擦力转化为接骨板与螺钉间锁定作用力,增强了固定的稳定性,起到生物学固定的作用,本研究为 PC-LCP 应用于临床提供了一定的实验依据。

#### 参考文献:

- [1] Bagby GW, Janes JM. The effect of compression on the rate of fracture healing using a special plate [J]. *Am J Surg* 1958;95:761-771.
- [2] Perren SM. The concept of biological plating using the limited contact dynamic compression plate (LC-DCP). Scientific back-ground, design and application [J]. *Injury* 1991;22(Suppl1):1-41.
- [3] Frigg R. Locking Compression Plate (LCP). An osteosynthesis plate based on the Dynamic Compression Plate and the Point Contact Fixator(PC-Fix) [J]. *Injury* 2001;32(2 suppl):63-66.
- [4] Zhao YF, Li QH, Gu ZC, Wang AM. The biomechanics of point contact-dynamic compression plate and its effects on bone perfusion [J]. *Chin J Traumatol.* 2006, 9(3):161-167.
- [5] 邢叔星, 赵玉峰, 刘东北, 等. 新型点接触锁定加压接骨板的生物力学研究. *医用生物力学* [J], 2007, 22(3):1-3.
- [6] Field JR, Hearn TC, Caldwell CB. Bone plate fixation: an evaluation of interface contact area and force of the dynamic compression plate (DCP) and the limited contact-dynamic compression plate (LC-DCP) applied to cadaveric bone [J]. *J Orthop Trauma* 1997;11:368-373.
- [7] Jain R, Podworny N. A biomechanical evaluation of different plates for fixation of canine radial osteotomies [J]. *J Trauma.* 1998, 44(1): 193-197.
- [8] 吴雪辉, 李起鸿. 锥点式接触钢板内固定对局部皮质骨微循环影响的实验研究 [J]. *中华骨科杂志*, 2000, 20:137-141.
- [9] 赵玉峰, 李起鸿, 顾祖超, 等. 新型点状接触动力加压接骨板的研制(生物力学部分) [J]. *医用生物力学*, 2002, 17:59-61.
- [10] Gerber C, Mast JW, Ganz R. Biological internal fixation of fractures [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 1990, 109: 295-303.
- [11] Chapman JR, Harrington RM, Lee KM. Factors affecting the pullout strength of cancellous bone screws [J]. *J Biomech Eng*, 1996;118(3):391-398.
- [12] Giannoudis PV, Schneider E. Principles of fixation of osteoporotic fractures [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2006;88(10):1272-1278.
- [13] Borgeaud M, Cordey J, Leyraz PE, et al. Mechanical analysis of the bone to plate interface of the LC-DCP and of the PC-FIX on human femora [J]. *Injury*, 2000, 31(Suppl 3): C29-C36.
- [14] Cordey J, Borgeaud M, Perren SM. Force transfer between the plate and the bone: relative importance of the bending stiffness of the screws friction between plate and bone [J]. *Injury*, 2000;31(suppl 3):21-28.
- [15] Snow M, Thompson G, Turner PG. A mechanical comparison of the locking compression plate (LCP) and the low contact-dynamic compression plate (DCP) in an osteoporotic bone model [J]. *J Orthop Trauma*, 2008;22(2):121-125.
- [16] Egol KA, Kubiak EN, Fulkerson E, et al. Biomechanics of locked plates and screws [J]. *J Orthop Trauma*, 2004, 18:488-493.