

· 论 著 ·

# 空心螺钉治疗锁骨骨折的生物力学研究

孙军战,王光辉,吴成如,高 升

[摘要] 目的 检测直径 6.5 mm 空心螺钉固定锁骨骨折的生物力学性能,并与钢板螺钉内固定方法进行比较,为临床应用提供依据。方法 采集 10 个成人锁骨标本,行中外 1/3 处锁骨横形骨折模型,随机分二组,分别采用空心螺钉和钢板螺钉内固定,测试各组的三点弯曲应变及轴向挤压效应。结果 轴向挤压实验:载荷 1571 N 时,钢板固定组螺钉发生松动,在载荷 2470.13 N 时钢板固定失败,而锁骨空心螺钉固定失败载荷为 3034.99 N,两者相差明显。三点弯曲实验:无论钢板组的正向(270.29 ~ 254.38 N)或负向加压负荷(425.85 ~ 443.76 N)结果均远远小于空心螺钉组(1017.16 ~ 1103.39 N)。结论 直径 6.5 mm 空心螺钉治疗锁骨骨折从生物力学上来看,在抗轴向负荷及三点弯曲负荷上均优于目前常规使用的钢板螺钉。

[关键词] 锁骨骨折;空心螺钉;生物力学

[中图分类号] R683.41 [文献标志码] A doi:10.3969/j.issn.1672-271X.2014.05.011

## Biomechanical study on clavicular fracture for cannulated screw

SUN Jun-zhan, WANG Guang-hui, WU Cheng-ru, GAO Sheng. Department of Orthopaedics, 105 Hospital of PLA, Hefei, Anhui 230031, China

[Abstract] Objective To evaluate the biomechanical characteristics of cannulated screw with 6.5 mm diameter for treatment of clavicular fracture and compare the effect with steel plate internal fixation. Methods Ten adult clavicles were prepared models for the middle and lateral fractures and divided into two groups randomly. Two groups were fixed with cannulated screw and steel plate. The biomechanical test was performed and the stress was analyzed. Results Axial compression test: In the load 1571.18 N, steel plate fixation group screw loose. In the load 2470.13 N, the fixation was failure. And fixation group with 6.5 mm diameter cannulated screw was failure in the load of 3034.99 N. There was significantly different between two groups. Three point bending test: Either forward or reverse pressure load results in steel group(270.29 – 254.38 N; 425.85 – 443.76 N) were far less than the cannulated screw group(1017.16 – 1103.39 N). Conclusion Biomechanical study on clavicular fracture for 6.5 mm diameter cannulated screw shows: Either on the axial load and three point bending load in cannulated screw is superior to steel plate.

[Key words] clavicle fracture; cannulated screw; biomechanical

锁骨骨折是临床常见的创伤,约占全身骨折的 5.98%<sup>[1]</sup>。目前其内固定方法很多,主要是以钢板固定为代表的髓外固定和以克氏针为代表的髓内固定两大方式。各种内固定方法均有其手术方式缺陷及由此引发的相关并发症的报道<sup>[2]</sup>,我们对目前常规的锁骨手术方式进行改良,采用直径 6.5 mm 空心螺钉进行锁骨髓内固定,取得了满意的临床效果<sup>[3]</sup>,对采用的 6.5 mm 空心螺钉进行了体外生物力学测试,并与钢板进行了比较。

### 1 材料与方法

1.1 材料 国产“S”型锁骨钛钢板,直径 6.5 mm 空心钛合金螺钉(内径 2.6 mm,螺纹间距 3 mm,螺纹长度 18 mm);骨水泥为 Palacos MV + G(德国);MTS 公司生产的 MTS809 力学实验机(美国),最大载荷 100 kN(中国科学技术大学工程力学实验室提供);数据

处理软件 OriginPro;安徽医科大学解剖实验室提供的 10 根尸体锁骨骨骼标本。

1.2 实验设计及模型制作 随机分成钢板(PS)组 6 根及空心螺钉(CS)组 4 根,摆锯横行截断锁骨中外 1/3 处,骨折后分别为空心螺钉及钢板螺钉固定。锁骨两端均用骨水泥包裹固定呈接触平台,见图 1。分别进行三点弯曲负荷及轴向挤压负荷测试,其中钢板三点弯曲载荷分为正载荷(中点载荷方向自上向下)及负载荷测试(中点载荷自下向上),轴向挤压负荷测试为从锁骨两端沿中轴线加压。加载速度 1.4 mm/min,数据采集速率 100 次/s,数据实时传送采集,OriginPro 软件处理并生成载荷曲线。

### 2 结果

2.1 各组实验数据 所有负荷测试均以发生固定失败或内植物明显开始变形为结束标志,见表 1、表 2。载荷实验数据结果经 OriginPro 处理软件处理生成载荷曲线。

作者单位: 230031 安徽合肥,解放军 105 医院骨科  
通讯作者: 王光辉, E-mail: gssjz105@163.com



a:空心钉轴向挤压实验;b:钢板轴向挤压实验

图1 锁骨力学实验模型

表1 两组三点弯曲负荷(N)

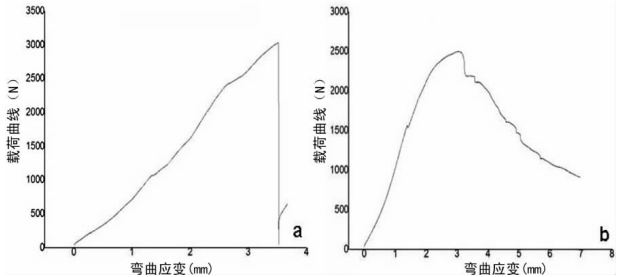
组别	序号	载荷	载荷
钢板固定组	1	270.29(正向)	
	2	254.38(正向)	
	1a		443.76(负向)
	2a		425.85(负向)
空心螺钉固定组	1	1017.16	
	2	1103.39	

表2 两组轴向挤压负荷(N)

组别	序号	松动载荷	极限载荷
钢板固定组	1	1571.18	2470.13
	2	1453.66	2411.73
空心螺钉固定组	1	无	3034.99
	2	无	2987.42

**2.2 轴向挤压负荷实验** 空心螺钉固定失效载荷在3034.99 N 弯曲应变3.52 mm 载荷点左右。测试过程中载荷曲线平稳上升,中间分别在1000 N 及2300 N 载荷点发生细微搏动,主要是考虑为空心螺钉远近端膨大部在载荷情况下对髓腔内松质骨的压

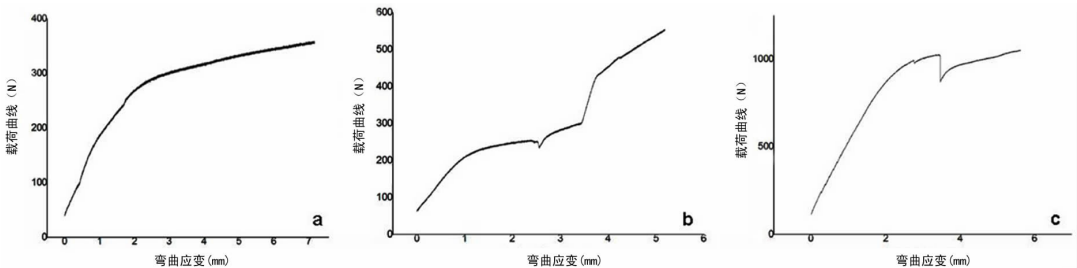
缩导致,但未对整体曲线的走势发生明显影响。在3034.99 N 载荷点螺钉近端破出锁骨固定失败,载荷瞬间丢失,见图2a。钢板固定失效在2470.13 N 弯曲应变3.13 mm 载荷点左右,但曲线在平稳上升阶段中在1571.18 N 弯曲应变1.39 mm 记录点左右发生了变化,为持续施加载荷时靠近骨折端的一枚螺钉发生松动钉道出现了微骨折导致,见图2b,与罗轶等<sup>[4]</sup>测定的钢板螺钉固定载荷(1348 ± 121) N 结果相近。对比可见空心螺钉在对抗锁骨所受的轴向载荷强度上大大强于钢板。



a:空心螺钉组;b:钢板组

图2 两组轴向挤压载荷曲线

**2.3 三点弯曲载荷实验** 与空心螺钉髓内固定方式不同,钢板属于髓外单边固定方式,故我们采用了相反方向不同载荷施加模式,正向为载荷中心施加于钢板,负向为对侧,分别测试。钢板三点正向弯曲实验,施加着力点为钢板中央,载荷达270.29 N 弯曲应变2.01 mm 载荷点左右后,由于主要为钢板发生变形,位移增加同时,上升曲线平缓,见图3a;钢板三点负向弯曲,载荷开始作用于骨折端钢板对侧骨质,在250 N 左右对侧接触骨质发生破坏及压缩后,再由钢板及锁骨骨折端共同承受,载荷上升至550 N 弯曲应变4.37 mm,见图3b。空心螺钉组三点弯曲测试,表明载荷上升平稳达1017.16 N 弯曲应变3.47 mm 载荷点左右时,空心螺钉对锁骨的位置固定失败,载荷降至886.08 N,载荷发生部分下降后大部分由空心螺钉承受,故又缓慢上升,见图3c。



a:钢板组正向;b:钢板组负向;c:空心螺钉组

图3 两组三点弯曲载荷曲线

### 3 讨 论

**3.1 空心螺钉应用于锁骨骨折的基础** 锁骨骨折好发于锁骨中外 1/3<sup>[5]</sup>, 最近一项 Meta 分析提出<sup>[6]</sup>: 手术治疗成人锁骨中段骨折较非手术治疗存在优势。骨科界对于移位性锁骨中段骨折的治疗理念已经转为支持手术内固定治疗, 但是仍不明确哪种固定方法更具有优势<sup>[7]</sup>, 但常规钢板与克氏针固定方式均存在较多的令人不满意方面。空心螺钉在临床采用广泛, 较弹性矩形钉, 螺纹针, 双头加压螺钉<sup>[8]</sup>等更易获得且费用低廉。有实验表明<sup>[9]</sup> 3.5 ~ 4.5 mm 空心螺钉固定的锁骨三点弯曲强度测量及弯曲刚度测量结果与正常锁骨相似。髓内钉直径增加 > 2 mm, 即能明显增加结构稳定性和结构刚度<sup>[10]</sup>, 我们设计了采用直径 6.5 mm 空心螺钉微创行锁骨骨折固定, 在实际临床上获得了满意的效果<sup>[11]</sup>。

**3.2 空心螺钉及钢板的生物力学实验设计及测试结果** 只设计三点弯曲实验及轴向挤压实验的原因: 引起骨折的因素绝大多数为肩部受到直接暴力, 仅 6% 的锁骨骨折由摔倒时因手部撑地而上传的暴力引起。两种受力方式均为锁骨受到轴向加压导致。作为一种新锁骨内固定材料的应用需要检测在轴向挤压状态下的力学结果。锁骨由于受上肢重量与颈阔肌、胸锁乳突肌的相反牵引, 在术后内固定物的抗折弯能力需要足够。抗扭转实验之所以没有采用, 主要是考虑在离体条件下无法复制重建喙锁韧带、关节囊韧带等对“S”型锁骨扭转测试的影响。Harnroongroj 等<sup>[12]</sup> 实验亦证明了这点。

**3.3 实验数据及所绘制曲线** 在轴向挤压测试中, 空心螺钉的负荷极限远远超出了钢板 (3034.99 N 对 2470.13 N), 且在加载过程中极其稳定, 而钢板在加载过程中 (1571.18 N) 及发生了螺钉松动, 空心螺钉在对抗锁骨所受的轴向载荷强度上大大强于钢板。三点弯曲测试中, 钢板固定组无论正向 (270.29

N) 及负向 (443.76 N) 上均远远低于空心螺钉组 (1017.16 N)。

上述实验得出: 直径 6.5 mm 空心螺钉治疗锁骨骨折从生物力学上来看, 在抗轴向负荷及三点弯曲负荷上均优于目前常规使用的钢板。结合在实际临床观察的效果, 6.5 mm 空心螺钉作为锁骨骨折治疗的内植物具有良好的力学效果。

### 【参考文献】

- [1] 王亦聰. 骨与关节损伤 [M]. 3 版, . 北京: 人民卫生出版社, 2003:496.
- [2] 成本强, 邓海棠, 陈友明, 等. 不同内固定方法治疗锁骨骨折疗效分析 [J]. 中华创伤骨科杂志, 2005, 7(4):383-384.
- [3] 孙军战, 郑国海, 赵克义. 微创空心螺钉髓内固定治疗锁骨骨折 [J]. 中华骨科杂志, 2013, 33(7):695-700.
- [4] 罗 轶, 彭永岳, 张晓峰, 等. 锁骨交锁髓内钉的生物力学研究 [J]. 中国医生进修杂志, 2012, 35(14):1-4.
- [5] Postacchini F, Gumina S, De Santis P, et al. Epidemiology of clavicle fracture [J]. J Shoulder Elbow Surg, 2002, 11(5):452-456.
- [6] 王琳珏, 马宝通, 李恩琪. 成人锁骨中段骨折手术治疗与非手术治疗的 Meta 分析 [J]. 中华骨科杂志, 2011, 31(4):311-315.
- [7] Alves K, Jupiter J. Clavicle fractures: plate versus intramedullary fixation [J]. Shoulder Elbow Surg, 2014, 15(2):55-59.
- [8] Proubasta IR, Itarte JP, Lamas CG, et al. Midshaft clavicular non-unions treated with the Herbert cannulated bone screw [J]. J Orthop Surg (Hong Kong), 2004, 12(1):71-75.
- [9] 张 栋, 陈海涛, 沈茂荣. 实验性锁骨骨折两种内固定方法的生物力学性能比较 [J]. 广西医科大学学报, 2008, 25(2):197-199.
- [10] Gustilo RB, Kyle RF, Templemu D, et al. Fracture and dislocation [M]. Mosby, 1993:37.
- [11] 孙军战, 王光辉, 郑国海, 等. 野战条件下锁骨骨折新式手术方式的研究 [J]. 东南国防医药, 2014, 16(1):34-36.
- [12] Harnroongroj T, Tantikul C, Keatkor S. The clavicular fracture: a biomechanical study of the mechanism of clavicular fracture and modes of the fracture [J]. J Med Assoc Thai, 2000, 83(6):663-667.

(收稿日期:2014-07-01; 修回日期:2014-08-16)

(本文编辑:黄攸生; 英文编辑:王建东)