

文章编号:1004-7220(2013)06-0636-06

# 三种不同内固定方式对肱骨大结节骨折稳定性的影响

章 伟<sup>1</sup>, 陈云丰<sup>2</sup>, 宋文奇<sup>2</sup>, 张 闻<sup>2</sup>, 曾浪清<sup>2</sup>, 刘燕洁<sup>2</sup>

(1. 苏州大学医学部 临床医学系, 江苏 苏州 215123; 2. 上海交通大学附属第六人民医院 骨科, 上海 200233)

**摘要:** **目的** 对单纯肱骨大结节骨折的3种不同内固定方式(螺钉、张力带、肱骨大结节锁定钢板)进行生物力学测试,比较其稳定性,为临床肱骨大结节骨折内固定物的选择提供生物力学依据。**方法** 取18具保留肩袖肌的新鲜冰冻成人肱骨尸体标本,建立肱骨大结节骨折模型后,随机编号分为3组,分别采用螺钉、张力带及肱骨大结节锁定钢板技术固定大结节骨折块,牵拉冈上肌,测试力-位移曲线,记录2组参数:大结节移位5 mm时力的大小(load to 5 mm yield point, LtYP)及失效负荷(load to failure, LtF)。**结果** 3组标本(螺钉组、张力带组、肱骨大结节锁定钢板组)在大结节移位5 mm时力的大小分别为(377 ± 86)、(499 ± 90)、(793 ± 52) N,3组标本间LtYP差异有统计学意义( $P < 0.01$ );两两比较,锁定钢板组LtYP远大于螺钉组(本研究中仅3例在内固定失效前位移达到5 mm),差异有统计学意义( $P < 0.01$ ),锁定钢板组LtYP相比张力带组差异有统计学意义( $P < 0.01$ ),张力带组LtYP相对螺钉组表现出明显的统计学意义( $P < 0.01$ )。3组标本失效负荷分别为(744 ± 112)、(908 ± 93)、(979 ± 143) N,3组标本间LtF差异有统计学意义( $P < 0.01$ );锁定钢板组LtF相对螺钉组具有明显的统计学意义( $P < 0.01$ ),张力带组LtF相对螺钉组有统计学意义( $P < 0.01$ ),但锁定钢板组LtF与张力带组之间无明显统计学差异( $P > 0.05$ )。**结论** 肱骨大结节锁定钢板组相对螺钉组及张力带组表现出明显的生物力学优势,锁定钢板将为临床治疗单纯肱骨大结节骨折提供新的、更好的选择。

**关键词:** 骨折; 肱骨大结节; 内固定; 力学测试

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

## Effect of three different fixation techniques on stability of greater tuberosity fractures of humerus

ZHANG Wei<sup>1</sup>, CHEN Yun-feng<sup>2</sup>, SONG Wen-qi<sup>2</sup>, ZHANG Wen<sup>2</sup>, ZENG Lang-qing<sup>2</sup>, LIU Yan-jie<sup>2</sup> (1. Department of Clinical Medicine, Medical College of Soochow University, Suzhou 215123, Jiangsu, China; 2. Department of Orthopaedics, the Sixth People's Hospital, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200233, China)

**Abstract:** **Objective** To compare the stability of greater tuberosity fractures of humerus treated by three different fixation techniques (screws, tension band, locking plate, respectively) through biomechanical testing, so as to provide the biomechanics basis for choosing a better fixation in the clinical treatment for greater tuberosity fractures of humerus. **Methods** Standardized fracture models of the greater tuberosity from 18 fresh-frozen proximal humeri with intact rotator cuffs were created. The specimens were randomly assigned to 3 groups and treated by screws, tension band and locking plates, respectively. An increasing force was applied to the supraspinatus tendon. The force-displacement curve and two parameters: LtYP (Load to 5 mm yield point) and LtF (load to failure) were recorded. **Results** LtYP from the screw group, tension band group and locking plate group was (377 ± 86), (499 ± 90), (793 ± 52) N, respectively, with significant differences among the three groups ( $P < 0.01$ ). Significant differences were also found between the groups as locking plate group (only 3 cases in locking plate group reached to 5 mm displacement before LtF in this study) and screw group, locking plate group and tension

收稿日期:2012-10-16; 修回日期:2012-12-24

通信作者:陈云丰, 副主任医师, 硕士研究生导师, E-mail: drchenyf@yahoo.cn。

band group, tension band group and screw group ( $P < 0.01$ ). LtF of screw group, tension band group and locking plate group was ( $744 \pm 112$ ), ( $908 \pm 93$ ), ( $979 \pm 143$ ) N, respectively, showing significant differences among them, and which were also found between locking plate group and screw group, tension band group and screw group ( $P < 0.01$ ), but no significant differences were found between locking plate group and tension band group ( $P > 0.05$ ). **Conclusions** Locking plates show more obvious biomechanical stability than screws and tension band, which provides a new and better choice for treatment of isolated greater tuberosity fractures of humerus.

**Key words:** Fracture; Greater tuberosity of humerus; Internal fixation; Mechanical testing

单纯肱骨大结节骨折约占肱骨近端骨折的20%;在盂肱关节脱位患者中,单纯大结节骨折发生率约为10%~30%<sup>[1]</sup>。一般认为,95%的肱骨大结节骨折属于无移位或仅有微小移位的骨折,可采用非手术治疗<sup>[2]</sup>,然而对移位的肱骨大结节骨折采用保守治疗则常常造成患者肩关节功能不良<sup>[1]</sup>。目前众多学者认为,即使5 mm的后上方移位就将导致明显的肩峰下撞击症状,且多数学者主张对移位大于5 mm的骨折应该考虑行手术治疗<sup>[1,3,4]</sup>,目前常用治疗有移位的单纯大结节骨折的方法有:①螺钉固定;②张力带固定;③缝线固定。然而当肱骨大结节骨折为粉碎性,采用上述方法将骨折复位和保持骨折块的良好位置较为困难<sup>[5]</sup>。基于此,本课题组通过对肩关节尸体标本进行解剖结构研究,设计出新的专门用于固定肱骨大结节的微型锁定钢板。由于目前对于肱骨大结节锁定钢板与上述内固定方式的强度缺少生物力学研究,本文旨在通过建立标准的肱骨大结节骨折尸体骨模型,比较螺钉、张力带、肱骨大结节锁定钢板三者固定肱骨大结节骨折中的生物力学稳定性,从而为临床肱骨大结节骨折内植物的选择提供生物力学依据。

## 1 对象与方法

### 1.1 实验对象

18具保留肩袖肌的成人新鲜冰冻尸体肩关节(由复旦大学上海医学院提供)。年龄在25~65岁的男性遗体捐献者,平均年龄45岁;经摄X线片及肉眼观察,所有标本无肩关节外伤史及手术史;无肩袖肌损伤及肩关节慢性疾病史;无腋窝区及肱骨近端原发性肿瘤或转移性肿瘤史。尸体标本的存放和解冻:新鲜冰冻保留肩袖肌的尸体标本(-20℃保存),使用前室温下水槽中解冻10 h。解冻好的标本用经生理盐水浸泡过的纱布包裹,以防止干燥。

对尸体标本逐一登记并标号,随机分为3组。3组标本肱骨近端(肱骨头最高点至肱骨干远端约5 cm包括肱骨头、大小结节、外科颈及近端肱骨干)使用双能X线骨密度仪(Hologic QDR2000,美国)进行骨密度测量。所有标本保留冈上肌在大结节止点处及以上3 cm、去除余肩袖肌。肱骨远端予以切除,保留的肱骨干长度约为10 cm。标本远端管状夹具包埋固定,包埋深度约为8 cm。标记出肱骨大结节大体轮廓(见图1(a)、(b)):牵开冈上肌肌腱,用摆锯沿肱骨解剖颈、结节间沟外侧缘、绕肱骨大结节基底部(小圆肌止点,距大结节顶点下方约3 cm处)继而延伸至后外侧方向切割大结节(约与肱骨冠状面成60°角),建立肱骨大结节骨折模型(见图1(c))。

### 1.2 3种不同肱骨大结节骨折的内固定方法

按照随机分组的结果,对每组标本采用相应的固定方式(见图2)。其中螺钉组固定方式参考文献[6],张力带组固定参考文献[7]。

(1) 螺钉组(厦门大博颖精医疗器械有限公司提供):复位大结节骨折块后,平行植入2枚直径6.5 mm松质骨螺钉(带垫圈),螺钉的长度应抵至对侧软骨下骨,而不应穿透对侧软骨。

(2) 张力带组:大结节骨折块复位后,予两根2.0克氏针临时固定,在距离冈上肌止点中心正下方、骨折线以远1.0 cm处肱骨骨干皮质上钻孔,用0.8 mm不锈钢张力带钢丝穿过此孔后向对侧交叉形成“8”字,然后绕冈上肌肌腱止点内后方固定。

(3) 肱骨大结节锁定钢板组(厦门大博颖精医疗器械有限公司提供):复位大结节骨折,将钢板放置于大结节顶点下约3 mm处,伏贴良好(见图2(c)),经钢板的缝合孔打入一枚2.0 mm克氏针临时固定,先经结合孔打入一枚3.5 mm松质骨螺钉,然后近远端依次锁定螺钉固定(近端锁定孔均为2.7 mm;远端锁定孔均为3.5 mm)。



图1 肱骨大结节大体轮廓及骨折模型

Fig. 1 The outline and fracture models of the greater tuberosity of the humerus (a) Marking the outline of the greater tuberosity of the humerus, (b) Model of the greater tuberosity fractures of the humerus



图2 3组标本内固定方式

Fig. 2 Three different fixation techniques (a) Fixed by screws, (b) Fixed by tension band, (c) Fixed by micro-locking plate

### 1.3 生物力学测试

**1.3.1 夹具固定** 将固定好的骨折模型以肱骨干为直线的 $0^\circ$ 外展位置于生物力学测试台(德国Zwick/Roell公司)的夹具(上海大学生物力学实验室提供)中并固定。实验标本固定、包埋材料:义齿基托树脂(上海二医张江生物材料有限公司)。

**1.3.2 实验测试数据参数** ①大结节移位5 mm时力的大小(load to 5 mm yield point, LtYP)。②失效负荷:(load to failure, LtF)代表最大的牵张力,失效定义为加载负荷的突然减少或力-位移曲线的中断而导致的完全结构破坏(包括固定物失效及新发骨折)。

**1.3.3 实验实施** 如图3所示,分别在肱骨大结节骨折块及肱骨骨干上做标记点,以记录大结节骨折块相对位移情况。将固定好的骨折模型以肱骨干为直线的 $0^\circ$ 外展位,模拟肩关节的正常外展运动,线性增加水平方向的牵拉力。实验开始前每个标本先施加一个50 N的预负荷,设定加载速率为5 mm/min,电脑软件记录单位时间-载荷,高速摄像机同步

记录时间-位移。再通过软件分析记录力-位移曲线。并记录每一例标本的失效方式。

### 1.4 统计学处理

采用SAS 11.0统计学软件对所得数据进行处理,计量资料用均数 $\pm$ 标准差表示。3组之间计量资料比较均满足正态分布,采用单因素方差分析(one-way ANOVA),进一步两两比较采用SNK法。设 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 3组标本年龄比较

3组标本平均年龄分别为:螺钉组( $46 \pm 16$ )岁、张力带组( $51 \pm 12$ )岁、锁定钢板组( $48 \pm 14$ )岁。3组标本年龄差异无统计学意义( $F = 0.31, P > 0.05$ )。

### 2.2 3组标本骨密度比较

3组标本的骨密度分别为:螺钉组( $0.527 \pm 0.057$ ) g/cm<sup>2</sup>、张力带组( $0.557 \pm 0.047$ ) g/cm<sup>2</sup>、锁定钢板组( $0.544 \pm 0.040$ ) g/cm<sup>2</sup>。3组标本骨密度差异无统计学意义( $F = 0.77, P > 0.05$ )。



图3 生物力学测试(白色箭头表示0°外展位的加载点的方向)

Fig.3 Biomechanical testing (a) Screw group, (b) Tension band group, (c) Locking plate group

### 2.3 在大结节移位 5 mm (LtYP) 时力的相关参数

如图4所示,3组标本 LtYP 分别为:螺钉组(377 ± 86) N、张力带组(499 ± 90) N、锁定钢板组(793 ± 52) N,锁定钢板组 > 张力带组 > 螺钉组。3组标本间 LtYP 差异有统计学意义( $F = 99.14, P < 0.01$ ),进一步两两比较。锁定钢板组(本研究中仅3例在内固定失效前位移达到5 mm)远大于螺钉组,差异有统计学意义( $F = 197.67, P < 0.01$ );锁定钢板组相比张力带组也有明显的统计学意义( $F = 99.15, P < 0.01$ );张力带组相对螺钉组也表现出明显的统计学意义( $F = 25.24, P < 0.01$ )。

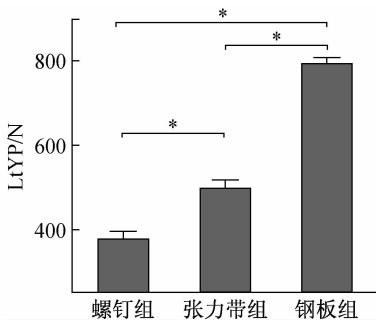


图4 3组标本在大结节骨折块移位5 mm 时牵拉力的大小 (\* $P < 0.05$ )

Fig.4 Load to 5 mm yield point (LtYP) of three groups

### 2.4 失效负荷及失败方式

**2.4.1 内固定失效负荷 (LtF)** 如图5所示,3组标本 LtF 分别为:螺钉组(744 ± 112) N、张力带组(908 ± 93) N、钢板组(979 ± 143) N。3组标本间 LtF 差异有统计学意义( $F = 13.74, P < 0.01$ ),进一步两两比较。锁定钢板组相对螺钉固定组具有明显的统计学意义( $F = 22.93, P < 0.01$ );张力带相对螺钉组也有统计学意义( $F = 17.99, P = 0.01$ );但锁定

钢板组与张力带组之间无明显统计学差异( $F = 0.30, P > 0.05$ )。

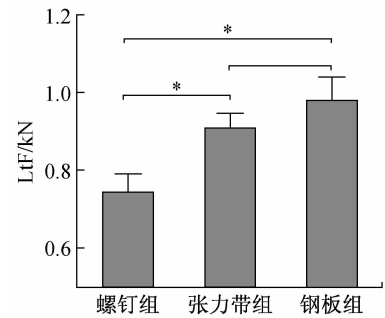


图5 3组标本的失效负荷 (\* $P < 0.05$ )

Fig.5 Load to failure (LtF) of three groups

**2.4.2 内固定失败方式** ①螺钉组:5例表现为两螺钉水平面肱骨头骨折,1例表现为螺钉连同肱骨大结节骨折块的一起拔出;②张力带组:所有标本均表现为肱骨外科颈骨折;③锁定钢板组:3例表现为肱骨外科颈骨折,剩余3例均表现为肱骨解剖颈骨折。

## 3 讨论

### 3.1 肱骨大结节骨折畸形愈合对肩关节功能影响

肱骨大结节骨折属于肱骨近端骨折 Neer 分型的两部分骨折,移位 ≥ 1 cm 或成角 ≥ 45° 被定义为移位骨折。当大结节移位超过 5 mm 时,为防止肩关节活动障碍,需进行手术治疗<sup>[8]</sup>。肱骨大、小结节骨折块的延迟愈合、畸形愈合,甚至不愈合,最终将损害肩袖功能,产生诸如肩部活动受限、疼痛等并发症,造成肩关节功能障碍<sup>[9-10]</sup>。大结节解剖愈合 Constant 评分明显大于畸形愈合者<sup>[4,11]</sup>。Philippe

等<sup>[12]</sup>在一项针对锁定钢板在肱骨近端骨折并发症的研究中发现,肱骨大结节骨折畸形愈合的患者,其最终 Constant 评分明显低于大结节骨折无不良愈合者,且其差异有统计学意义。即使轻度的上方移位就可以引起肩峰下撞击的发生<sup>[13]</sup>,故当大结节骨折移位可能影响肩部活动时,推荐手术治疗<sup>[3]</sup>。

### 3.2 肱骨大结节骨折内固定方式的选择

手术治疗肱骨大结节骨折时,螺钉固定、张力带固定、缝线固定作为常用的固定方式,在临床中已被广泛应用,然而各自却有不同的优势及局限性。对于不同手术入路和内固定方式的选择,应根据患者和骨折的特点决定<sup>[8]</sup>。陈强等<sup>[14]</sup>应用足部 X 形 AO 锁定钢板治疗单纯肱骨大结节骨折获得满意疗效,术后 CMS 评分优良率达到 94.7%,亦取得良好的术后随访结果。单纯螺钉固定可以经皮植入,手术创伤小,但是螺钉固定可能导致骨折块的进一步粉碎,而加用垫圈则加大肩峰下撞击发生的可能<sup>[4,15-16]</sup>。张力带钢丝固定具有把张力转化为动力的特点,在生物力学测试中表现出很好的力学稳定性;用于治疗肱骨大结节骨折时,该方法固定强度大,但有可能造成医源性肱骨外科颈骨折<sup>[6]</sup>,且张力带钢丝绕冈上肌肌腱止点的后方,弹性的腱性组织虽然在很大程度上避免了张力带钢丝的切割,但长期强大的牵拉力是否对冈上肌肌腱造成损伤,目前尚无相关报道。缝线固定目前临床应用广泛,该方法通过将骨折块固定在骨-肌腱联合处,可减少金属反应,无需二次取出,长期的随访研究发现大结节骨折缝合治疗后临床结果令人满意<sup>[17]</sup>。Lin 等<sup>[18]</sup>比较缝线锚钉固定和螺钉固定在单纯肱骨大结节骨折尸体标本上的生物力学特性,结果显示缝线锚钉固定较螺钉固定强。但若肱骨大结节骨折为粉碎性,缝线缝合则可能会进一步降低骨折块间的稳定性<sup>[5]</sup>,难以维持骨折块的位置。Braunstein 等<sup>[6]</sup>生物力学测试表明,缝线固定生物力学稳定性远低于螺钉组和张力带组,统计学结果差异明显。因此,生物力学稳定性差将势必影响患者术后早期功能锻炼。

### 3.3 肱骨大结节骨折内固定方式的生物力学研究

近年来生物力学测试广泛应用于骨折内固定的研究<sup>[19]</sup>。本研究中双螺钉固定组失效大多表现为平螺钉平面肱骨头骨折,这可能与螺钉植入过程中对肱骨头骨折破坏有关;仅 1 例表现为螺钉连同骨

折块的一起拔出,考虑与本例标本螺钉固定效果差,导致螺钉把持力降低所致,实验测得数据也表明本例标本在 LiYP 及 LiF 均表现最低。张力带固定组失效均表现为肱骨外科颈的新发骨折,而非张力带本身的失败说明张力带固定本身的强度超过标本骨质的强度。张力不断转化为对对侧骨质的压力,随着牵拉力的加大,当固定物本身的强度超过标本本身的强度,导致肱骨皮-松质骨交界处的肱骨外科颈骨折。针对锁定钢板组失效,3 例表现为肱骨解剖颈骨折的标本在失效前均测试到 LiYP,而剩下 3 例表现为肱骨外科颈骨折的标本在失效负荷前移位均未达到 5 mm,而直接表现为因新发骨折而引起的内固定失效。3 例外科颈骨折标本,考虑其与张力带失效模式相同;3 例表现为解剖颈骨折标本,考虑大结节骨折块上移引起肱骨头处剪切应力集中而致。

### 3.4 新型肱骨大结节锁定钢板的优势及临床应用价值

肱骨大结节微型锁定钢板是陈云丰等<sup>[20]</sup>基于对 40 例肩部尸体标本的解剖学研究,通过对肱骨近端神经血管及大结节上宽、下宽,肱骨大结节高度等参数的测量,设计出专用于肱骨大结节骨折;且通过在实际运用中与肱骨大结节伏贴性好,角度固定螺钉可以避免应力集中在某一骨-螺钉界面,而使应力分布更为均匀<sup>[21]</sup>。锁定钢板组 3 例移位达到 5 mm 的标本 LiYP 与 LiF 之间差距不大,在力-位移曲线中表现为达到 LiYP 后不久即出现 LiF;LiYP 及 LiF 远大于双螺钉固定组;LiYP 亦远大于张力带组,虽然失效负荷间两者无统计学差异,但两者的失效模式表明两者的固定强度均超过骨质本身,而并不能说明两种固定方式本身的强度差异;并且大结节骨折块移位超过 5 mm 作为影响肩关节活动及考虑手术治疗的重要指标,而应当作为临床应用中最重要的参数<sup>[6]</sup>,故锁定钢板生物力学稳定性亦明显高于张力带固定。在肱骨近端的骨折患者中,超过 70% 的患者年龄在 60 岁以上<sup>[22]</sup>,且骨质疏松是该年龄段发病的关键因素<sup>[23]</sup>。因此,由于钢板的锁定设计,理论上可以不与骨膜接触,从而达到相对稳定并在最大程度上保护血运,使骨折迅速发生骨愈合<sup>[24]</sup>。微型锁定钢板在此类及大结节粉碎性骨折的患者应用中可能更具优势,将在临床中运用更加广泛。

## 4 结语

本研究中肱骨大结节锁定钢板生物力学稳定性明显高于螺钉固定及张力带固定。对肱骨大结节骨折块为粉碎性或为骨质疏松患者而言,锁定钢板具有解剖塑形良好、锁定设计、兼有缝合孔等优势,使得临床应用更加实用及方便。肱骨大结节锁定钢板将为临床肱骨大结节骨折的治疗提供新的、更好的选择。

## 参考文献:

- [1] Gruson KI, Ruchelsman DE, Tejwani NC. Isolated tuberosity fractures of the proximal humeral: Current concepts [J]. *Injury*, 2008, 39(3): 284-298.
- [2] Williams GR, Wong KL. Two-part and three-part fractures: Open reduction and internal fixation versus closed reduction and percutaneous pinning [J]. *Orthop Clin North Am*, 2000, 31(1): 1-21.
- [3] Platzer P, Thalhammer G, Oberleitner G, et al. Displaced fractures of the greater tuberosity: A comparison of operative and nonoperative treatment [J]. *J Trauma*, 2008, 65(4): 843-848.
- [4] Dimakopoulos P, Panagopoulos A, Kasimatis G. Transosseous suture fixation of proximal humeral fractures [J]. *J Bone Jt Surg Am*, 2007, 89(8): 1700-1709.
- [5] Schöffl V, Popp D, Strecker W. A simple and effective implant for displaced fractures of the greater tuberosity: The "Bamberg" plate [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2011, 131(4): 509-512.
- [6] Braunstein V, Wiedemann E, Plitz W, et al. Operative treatment of greater tuberosity fractures of the humerus-A biomechanical analysis [J]. *Clin Biomech*, 2007, 22(6): 652-657.
- [7] Mattyasovszky SG, Burkhart KJ, Ahlers C, et al. Isolated fractures of the greater tuberosity of the proximal humerus: A long-term retrospective study of 30 patients [J]. *Acta Orthop*, 2011, 82(6): 714-720.
- [8] Yin B, Moen TC, Thompson SA, et al. Operative treatment of isolated greater tuberosity fractures: Retrospective review of clinical and functional outcomes [J]. *Orthopedics*, 2012, 35(6): e807-e804.
- [9] Smith AM, Mardones RM, Sperling JW, et al. Early complications of operatively treated proximal humeral fractures [J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2007, 16(1): 14-24.
- [10] Thanasis C, Kontakis G, Angoules A, et al. Treatment of proximal humerus fractures with locking plates: A systematic review [J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2009, 18(6): 837-844.
- [11] Park TS, Choi IY, Kim YH, et al. A new suggestion for the treatment of minimally displaced fractures of the greater tuberosity of the proximal humerus [J]. *Bull Hosp Joint Dis*, 1997, 56(3): 171-176.
- [12] Clavert P, Adam P, Bevort A, et al. Pitfalls and complications with locking plate for proximal humerus fracture [J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2010, 19(4): 489-494.
- [13] Green A, Izzi J Jr. Isolated fractures of the greater tuberosity of the proximal humerus [J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2003, 12(6): 641-649.
- [14] 陈强, 陆义安, 陈云丰, 等. 足部 X 形 AO 锁定钢板治疗肱骨大结节骨折 [J]. *国际骨科学杂志*, 2012, 33(1): 31-33.
- [15] Niall DM, O'Mahony J, McElwain JP. Plating of humeral shaft fractures-has the pendulum swung back [J]. *Injury*, 2004, 35(6): 580-586.
- [16] Scheibel M, Lichtenberg S, Habermeyer P. Reversed arthroscopic subacromial decompression for massive rotator cuff tears [J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2004, 13(3): 272-278.
- [17] Park MC, Mivrti AM, Roth NS, et al. Two-part and three-part fractures of the proximal humerus treated with suture fixation [J]. *Orthop Trauma*, 2003, 17(5): 319-325.
- [18] Lin CL, Hong CK, Jou IM, et al. Suture anchor versus screw fixation for greater tuberosity fractures of the humerus—A biomechanical study [J]. *Inc J Orthop Res*, 2012, 30(3): 423-428.
- [19] 丁志宏, 张岩, 王铭春, 等. LISS 钢板治疗股骨远端骨折的生物力学研究 [J]. *医用生物力学*, 2009, 24(2): 143-147.
- [20] Ding ZH, Zhang Y, Wang MC, et al. Biomechanical evaluation of the less invasive stabilization system used to treat distal femur fractures [J]. *J Med Biomech*, 2009, 24(2): 143-147.
- [21] 陈云丰, 朱乃峰, 张睿, 等. 肱骨近端骨折手术安全区的解剖学研究及临床意义 [J]. *中国临床解剖学杂志*, 2011, 29(2): 168-170.
- [22] Garden MJ, Helfet DL, Lorch DG. Has locked plating completely replaced conventional plating [J]. *Am J Orthop*, 2004, 33(9): 439-446.
- [23] Lanting B, MacDermid J, Drosdowech D, et al. Proximal humerus fractures: A systematic review of treatment modalities [J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2008, 17(1): 42-52.
- [24] Siwach R, Singh R, Rohilla RK, et al. Internal fixation of proximal humeral fractures with locking proximal humeral plate (LPHP) in elderly patients with osteoporosis [J]. *J Orthop Trauma*, 2008, 9(3): 149-153.
- [25] Perren SM. Evolution of the internal fixation of long bone fractures. The scientific basis of biological internal fixation: Choosing a new balance between stability and biology [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2002, 84(8): 1093-1110.