

· 基础研究 ·

# 自制跟骨解剖钢板并易断螺栓系统固定跟骨骨折生物力学研究

陈占法, 李西成, 赵海涛, 张奉琪, 郭明珂, 张奇, 陈伟, 张英泽  
(河北医科大学第三医院创伤急救中心, 河北 石家庄 050051)

**【摘要】** 目的: 观察自制跟骨解剖钢板及易断螺栓系统的生物力学性能, 同时研究其固定跟骨骨折的有效性。方法: 将 16 具新鲜足标本随机分为试验组与对照组, 分别进行轴向加压损伤试验, 制成跟骨骨折模型, 并记录试验组标本的最大载荷及最大足弓位移。试验组标本采用自制钢板螺栓系统进行内固定, 对照组行传统 AO 钢板螺钉固定。完成固定后进行轴向加压试验, 测量并记录两组标本的最大载荷、足弓位移和跟骨增宽。结果: 试验组标本发生跟骨骨折时的最大载荷、足弓最大位移分别为(5 711.19±86.55) N 和(18.57±2.79) mm, 经自制钢板螺栓系统固定后的最大载荷及负荷 600 N 时的足弓位移、足弓最大位移、跟骨增宽分别为(7 866.74±181.58) N、(1.54±0.87) mm、(19.35±3.64) mm 和(0.54±0.37) mm。对照组跟骨骨折模型经 AO 钢板螺钉固定后, 测得最大载荷及负荷 600 N 时的足弓位移、跟骨增宽分别为(6 702.94±241.06) N、(3.31±1.07) mm 和(1.73±0.69) mm。试验组标本行内固定前、后进行比较, 最大载荷的差异具有统计学意义( $P<0.01$ ), 而最大足弓位移间差异无统计学意义( $P>0.05$ ); 固定后两组标本之间比较, 各参数间差异均具有统计学意义( $P<0.01$ )。结论: 跟骨骨折经自制内固定系统治疗后完全能达到正常足的生物力学性能, 并能维持足弓强大的载荷, 跟骨解剖钢板及易断螺栓系统的固定强度和效果均优于 AO 钢板螺钉内固定系统。

**【关键词】** 跟骨; 骨折; 内固定器; 生物力学

**Biomechanical study on the calcaneal fracture fixed by the self-designed calcaneal anatomical plate and pre-cut gudgeon** CHEN Zhan-fa, LI Xi-cheng, ZHAO Hai-tao, ZHANG Feng-qi, GUO ming-ke, ZHANG Qi, CHEN Wei, ZHANG Ying-ze. Department of Emergency Orthopaedics, the 3rd Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050051, Hebei, China

**ABSTRACT Objective:** To study the biomechanical properties of self-designed calcaneal anatomical plate and pre-cut gudgeon system and its efficacy for calcaneal fracture fixation. **Methods:** Sixteen fresh foot specimens were randomly divided into experimental group and the control group. Axial compressive load were applied to all specimens in order to create a calcaneal fracture model, and the maximum load and the maximum arch displacement of experimental group were recorded. In experimental group, self-designed intenal fixation system were utilized, while the AO plate internal fixation system were utilized in the control group. Axial compressive test were applied again to both groups, and the maximum load, the foot arch displacement and calcanus broadens were measured and recorded. **Results:** Comparison between before and after fixing the calcaneus fracture by self-designed internal fixation system in experimental group, the difference of the maximum load was significant ( $P<0.01$ ), but there was no significant difference ( $P>0.05$ ) of the maximum arch displacement. All parameters were significantly different ( $P<0.01$ ) between the experimental group and the control group. **Conclusion:** The fractured calcaneus will be able to regain normal foot biomechanical function after treated by self-designed internal fixation system, and able to support foot arch to bear great load. The self-designed internal fixation and pre-cut gudgeon system is considered to outperform the conventional AO internal fixation system with its better effectiveness and outcome in treating calcaneus fractures.

**Key words** Calcaneus; Fractures; Fracture fixators; Biomechanics

Zhongguo Gushang/China J Orthop & Trauma, 2009, 22(6):448-450 www.zggszz.com

跟骨骨折是临床上常见骨折之一, 致残率达 20% 以上<sup>[1]</sup>。

开放手术治疗跟骨骨折的方法虽被普遍接受, 但传统的切开复位、钢板内固定治疗此类骨折早期并发症较多, 骨折后期常常遗留足、踝部功能不良, 给家庭和社会造成极大负担。因此设计了跟骨解剖钢板及易断螺栓系统并对其固定跟骨骨折的

基金项目: 河北省科技攻关项目(编号: 05276403D-16)

通讯作者: 张英泽 E-mail: chenchanfa126@126.com

有效性进行生物力学研究。

## 1 材料与方

**1.1 试验材料** 选取 16 具带完整小腿的新鲜足标本,均来自因车祸或骨肉瘤截肢的中青年患者,男 11 例,女 5 例;年龄 18~53 岁,平均 33.6 岁。左足 7 具,右足 9 具。

**1.2 试验设备** CSS-44020 生物力学试验机、引申计(河北省骨科研究所),500 mA Siemens DR 摄片机、螺旋 CT(德国西门子公司),义齿基托树脂 I 型牙托粉,跟骨解剖钢板及易断螺栓内固定系统(衡水康达器械医疗有限公司),AO 钢板螺钉内固定系统,电钻(武汉创峰电动公司)。

**1.3 模型制备** 首先对每一具标本仔细解剖,保留踝关节、跟骨周围韧带的完整性,肉眼观察及 X 线证实标本无肿瘤、骨折、畸形变异,然后于踝上 20 cm 处水平锯断。将处理好的标本随机分试验组和对照组,每组 8 足。将两组足标本牢固固定在生物力学试验机上,上部采用“T”形夹具固定,足部固定在试验台上,确保加载中心在胫腓骨,进行轴向加压损伤测试,直至出现跟骨压缩骨折。记录试验组标本最大载荷及最大足弓下沉位移(矢高变化)。然后将距下关节的后外侧关节囊切开一小口,用一骨凿将后关节面由后外向前内劈开,再用一楔形物将骨折块撑开,使骨折块移位,跟骨增宽。之后对跟骨标本进行 X 线、冠状面 CT 扫描,确认骨折模型均为 Sanders II 型。

## 1.4 固定方式

**1.4.1 试验组模型** 制备好的 Sanders II 型跟骨骨折模型解剖复位后,采用跟腱旁纵向切开,将自制跟骨解剖钢板置于跟骨外侧。应用电钻钻孔,1 枚合适长度螺栓通过钢板固定于跟骨内侧的载距突上,2 枚合适长度螺栓通过钢板固定于跟骨结节上。将螺栓拧于跟骨内侧露出的螺栓上并加压拧紧,恢复跟骨宽度,应用 X 线评价及确认。

**1.4.2 对照组模型** 采用常规跟骨手术外侧“L”形切口,同样方法在直视下复位,克氏针临时固定。然后将 AO 钢板置于跟骨外侧,视骨折情况用 6~11 枚螺钉固定(临床上常用的螺钉数目),通过 X 线评价及确认。

**1.5 生物力学测试** 将两组固定后的标本牢固固定在生物力学试验机上,引申计固定在跟骨丘部内外侧,确保加载中心在胫腓骨,以 20 N/s 的速度垂直向下加载,至载荷达 600 N,记录足弓下沉位移(矢高变化)及跟骨增宽数据。最后测试内固定标本的最大载荷,于胫腓骨施加垂直载荷,直至试验机上显示内固定失效,记录数据为固定标本的最大载荷。

**1.6 统计学方法** 将试验中测得最大载荷、最大足弓位移、足弓位移、跟骨增宽数据以均数±标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示,采用 SPSS 13.0 统计学处理软件对试验数据进行 t 检验, $P<0.05$  为差异具有统计学意义。

## 2 结果

轴向加压损伤试验中,试验组标本内固定前、后最大载荷间比较差异具有统计学意义( $P<0.01$ ),而足弓最大位移间比较差异无统计学意义( $P>0.05$ ),见表 1。两组标本固定后,试验组与对照组在足弓位移、跟骨增宽及最大载荷等参数间比较差异均有统计学意义( $P<0.01$ ),见表 2。

轴向加压损伤试验中,随着载荷的加大,足弓变形基本呈

表 1 试验组标本内固定前、后生物力学测试比较( $\bar{x}\pm s$ )

Tab.1 Biomechanics data comparison between specimens before-fixation and after-fixation in experimental group( $\bar{x}\pm s$ )

试验组	标本数	最大载荷(N)	最大足弓位移(mm)
固定后	8	7 866.74±181.58	19.35±3.64
固定前	8	5 711.19±86.55*	18.57±2.79

注:固定前与固定后比较,\* $P<0.01$

Note: Before-fixation vs after-fixation, \* $P<0.01$

表 2 固定后试验组与对照组生物力学测试比较( $\bar{x}\pm s$ )

Tab.2 Biomechanics data comparison after fixation between experimental group and control group( $\bar{x}\pm s$ )

分组	标本数	最大载荷(N)	足弓位移(mm)	跟骨增宽(mm)
对照组	8	6 702.94±241.06	3.31±1.07	1.73±0.69
试验组	8	7 866.74±181.58*	1.54±0.87*	0.54±0.37*

注:试验组与对照组比较,\* $P<0.01$

Note: Experimental group vs control group, \* $P<0.01$

线性增加,增大到跟骨屈服载荷后呈非线性变化,随之发生骨折而破坏。表 1 数据显示,试验组模型经自制钢板螺栓系统固定后与新鲜足标本足弓最大位移间比较无显著差异;自制内固定系统固定后,加载由跟骨骨折接触面和钢板共同承载,承载能力随之增加。以后逐渐加大载荷,趋势与原始正常跟骨相一致,最大载荷间比较自制内固定系统明显高于新鲜足标本,说明采用我们自行设计的内固定系统治疗跟骨骨折行之有效,十分坚强。跟骨骨折经该系统固定后,能够恢复维持足弓正常形态结构,提高后足承载能力,符合足部生物力学特性。

以线性载荷 0~600 N 分级加载,加载速度为 20 N/s,由于不超过最大负载,足弓位移、跟骨宽度变化随着载荷的加大而增加,并呈线性变化规律。表 2 数据显示,模型固定后加载至 600 N 时,试验组与对照组足弓下沉位移、跟骨增加宽度间比较试验组明显小于对照组,说明自制钢板螺栓系统固定牢靠,维持跟骨宽度效果优良,间接说明不容易引起骨折块间的移位。最大载荷间比较试验组大于对照组,一方面说明自制系统固定强度优于 AO 钢板螺钉内固定系统;另一方面通过对内置器械破损程度的观测分析,发现器械设计的弊端,为器械改进提供客观依据。

通过对新鲜足标本固定前、后以及采用不同内置物固定的试验组和对照组进行轴向加压损伤试验,将所测数据进行对比分析,得出以下结论:①跟骨骨折经自制内固定系统固定后完全能达到正常足的生物力学性能要求,且能够维持足弓足够强大的承载能力。②在预防骨折移位方面,试验组固定的强度明显优于对照组。③在恢复并保持跟骨宽度方面,试验组固定的生物力学效果明显优于对照组。④在最大载荷方面,试验组固定的稳定性优于对照组。

## 3 讨论

跟骨是足部最大的跗骨,其复杂的几何形态和内部结构使之能在日常生活和工作中承受复杂的应力而不致造成疲劳损伤。但瞬间而强大的暴力造成的跟骨骨折,常因其损伤机制复杂多变使其治疗存有较大的争议<sup>[2-4]</sup>。跟骨骨折的治疗方

法众多,但目前对存有移位的关节内骨折采取手术疗法已达成共识。文献报道<sup>[5]</sup>距下后关节面无论在总面积还是总接触面积上均占距下关节面的 2/3 左右,距下关节后关节面在中立位负重 600 N 时传递的负荷占总传递负荷的 69.39%。可见,距下后关节面在承重方面起了关键性的作用。临床上也发现距下后关节面更易发生骨折和创伤性关节炎,因此跟骨骨折治疗的重点在于最大限度地恢复后距下关节的负重功能。

用于跟骨骨折的内固定器材很多,如“Y”形钢板、“H”形钢板、重建钢板、AO 钢板、可塑形钢板等。“H”形钢板可有效、稳定地固定外侧骨折块,“Y”形及“Y”+“H”形钢板主要用在体部骨块较大时。俞光荣等<sup>[6]</sup>设计应用可塑性钛钢板,可根据骨折特点任意裁剪,使用方便,均可提供较好的固定性能。但对 Sanders II 型及一些 III 型骨折来说,上述钢板外形偏大,置入或取出时,切口较大,软组织剥离较多,易造成皮肤、肌腱和神经的损伤,也很难有效地维持骨折复位后的跟骨宽度。对于严重粉碎骨折,AO 足踝专家组最近研制了交锁解剖钢板,固定效果可靠,即使对高度不稳定的骨折也无须植骨治疗<sup>[7-8]</sup>。但 Redfern 等<sup>[9]</sup>对锁定与非锁定钢板进行了生物力学对比研究,结果表明二者间差异无统计学意义。微型跟骨钢板的应用,明显降低术后肌腱、神经和皮肤的并发症,但只适用于简单的跟骨骨折。

根据跟骨解剖及生物力学特点,将自行设计的内固定系统通过微创手术技术置于重要结构较少的跟骨外侧,钢板外形与跟骨外侧形态基本吻合。系统可抬起、支撑后关节面,抵抗压缩应力,使塌陷、外膨的外侧壁基本解剖复位,对不同类型跟骨骨折均可达到坚实固定。钢板上设计有多枚螺栓孔,常规只用 3 个孔即可达到固定效果。应用自行设计的瞄准器将 1 枚螺栓通过钢板穿过内侧的载距突,另 2 枚螺栓经钢板

通过跟骨粗隆部,拧紧螺垫加压固定。螺栓将丘部撑起,恢复后关节面的平整,3 个内侧螺垫联合在一起可看作一块钢板,相当于应用双侧钢板进行加压固定,有益于恢复和维持跟骨宽度,符合跟骨生物力学特点。微创切口对周围组织损伤较小,可避免跟骨内侧重要结构的损伤。本研究中所有骨折模型均未涉及跟骰关节,若涉及跟骰关节,需用 1 枚螺钉通过钢板将跟骨和骰骨连同固定,同样能达到可靠的固定效果。

参考文献

- [1] 俞光荣. 跟骨骨折的手术治疗. 国外医学:骨科学分册,2001,22(4):226-229.
- [2] 廉凯,陈刚,吴维才,等. 组合式骨牵引治疗跟骨骨折的生物力学研究. 生物骨科材料与临床研究,2008,5(3):16-17.
- [3] 张坚平,张俊杰,孔丽萍,等. 跟骨关节内骨折手术治疗并发症原因分析及对策. 中国骨伤,2008,21(2):124-125.
- [4] Sanders R. Displaced intra-articular fractures of the calcaneus. J Bone Joint Surg Am,2000,82(2):225-250.
- [5] 汤荣光,盛为,戴冠戎. 距下关节接触特征及其临床意义. 中华骨科杂志,1999,19(8):484-491.
- [6] 俞光荣,梅炯,朱辉. 可塑性跟骨钛钢板的研制及其在跟骨骨折中的应用. 中华创伤杂志,2000,16(5):273-275.
- [7] 余剑清,洪安围,陈良信,等. 闭合撬拨加手法复位骨圆钉内固定治疗跟骨骨折. 中国骨伤,2008,21(2):144-145.
- [8] Rammelt S,Zwipp H. Calcaneus fractures:facts,controversies and recent developments. Injury,2004,35(5):443-461.
- [9] Redfern DJ,Oliveira ML,Campbell JJ,et al. A biomechanical comparison of locking and nonlocking plates for the fixation of calcaneal fractures. Foot Ankle Int,2006,27(3):196-201.

(收稿日期:2008-12-25 本文编辑:王玉蔓)

第七次全国中西医结合中青年学术研讨会暨福建中西医结合研究院 2009 年学术年会征文通知

兹定于 2009 年 11 月 27-29 日在福建省福州市召开第七次全国中西医结合中青年学术研讨会暨福建中西医结合研究院 2009 年学术年会,该会议由中国中西医结合学会青年工作委员会和福建中西医结合研究院主办。届时陈可冀院士、吴咸中院士等医药领域 6 位院士及相关专家到会,就中西医结合临床和科研思路与进展、中西医结合关键科学问题等进行大会报告。本次会议还将评选优秀论文进行大会发言,并由各位院士针对发言内容进行现场点评。现将征文事项通知如下。

1 征文内容

①中西医结合临床研究及基础研究的思路、方法与进展;②中西医结合各专科的实验研究和临床研究;③临床各科中西医结合治疗常见病、多发病、疑难病的经验总结及教训;④中西医结合的药理研究;⑤中西医结合人才的培养。

2 征文要求

①来稿免收审稿费,所投稿件须为尚未公开发表的论文。②论文要求主题明确,资料充分,数据可靠,论点鲜明。来稿请寄全文,要求 4 000 字以内,并附 400 字以内的中英文结构式摘要及关键词。稿件一律用 Word 文档标准 A4 版面,标题用 3 号宋体,作者及单位用小 4 号楷体字,摘要与关键词用小 5 号宋体字,正文用 5 号宋体字,页边距上 3 cm,下、左、右各 2.5 cm。③稿件须加盖单位公章,注明作者、单位、邮编,如属省部级以上课题者请注明。信封注明“中青年学术会议征文”字样,请自留底稿,来稿一律不退。④论文征集截止日:2009 年 9 月 30 日(以邮戳为准)。⑤经审评录用的论文将收入大会学术论文集,组委会将给论文作者邮寄会议通知,并在会议期间颁发论文证书,参加会议代表可获医学类继续教育学分 6 分。

3 联系方式

①联系人:姚魁武。②地址:北京市宣武区北线阁 5 号(邮编 100053)中国中医科学院广安门医院。③联系电话:010-88001241。传真:010-88001241。④E-mail:yaokuiwu@yahoo.com.cn。