

## 骨痂力学测试在胫腓骨骨折支架外固定术后 骨折愈合评价中的应用价值

张涛<sup>1</sup>, 万春友<sup>1</sup>, 赵远航<sup>2</sup>, 姚辉<sup>1</sup>, 梅晓龙<sup>1</sup>, 李宏宙<sup>1</sup>, 张宁宁<sup>1</sup>, 刘钊<sup>1</sup>, 张伟业<sup>2</sup>

(1. 天津市天津医院, 天津 300211; 2. 天津中医药大学研究生院, 天津 301617)

**摘要** 目的:探讨骨痂力学测试在胫腓骨骨折支架外固定术后骨折愈合评价中的应用价值。方法:回顾性分析 74 例采用 Taylor 空间支架外固定治疗的胫腓骨骨折患者的病例资料,根据术后评价骨折愈合的方法不同将其分为骨痂力学测试组 38 例和传统方法组 36 例。骨痂力学测试组术后 12 周开始进行骨痂力学测试判断骨折愈合情况,每 4 周测试 1 次;传统方法组术后定期复查,根据骨折临床愈合标准、影像学检查结果及医师经验判断骨折愈合情况。比较 2 组患者带外固定支架时间及并发症发生情况。结果:2 组患者均获得随访,随访时间 7~12 个月,中位数 8 个月。骨痂力学测试组患者带外固定支架时间短于传统方法组  $[(175.30 \pm 5.60) \text{d}, (346.90 \pm 21.64) \text{d}, t = -8.670, P = 0.000]$ 。2 组患者均无骨折不愈合、再骨折等并发症发生。结论:在胫腓骨骨折支架外固定术后,应用骨痂力学测试评价骨折愈合情况,可以缩短患者佩戴外固定支架的时间,安全性好。

**关键词** 胫骨骨折;骨折愈合;外固定器;骨痂;力学测试

### Applied values of bony callus mechanical testing in evaluation of fracture healing after external fixation with Taylor spatial frame for treatment of tibiofibular fractures

ZHANG Tao<sup>1</sup>, WAN Chunyou<sup>1</sup>, ZHAO Yuanhang<sup>2</sup>, YAO Hui<sup>1</sup>, MEI Xiaolong<sup>1</sup>, LI Hongzhou<sup>1</sup>, ZHANG Ningning<sup>1</sup>, LIU Zhao<sup>1</sup>, ZHANG Weiye<sup>2</sup>

1. Tianjin Hospital, Tianjin 300211, China

2. Graduate college of Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin 301617, China

**ABSTRACT** **Objective:** To explore the applied values of bony callus mechanical testing in the evaluation of fracture healing after external fixation with Taylor spatial frame (TSF) for treatment of tibiofibular fractures. **Methods:** The medical records of 74 patients who received external fixation with TSF for treatment of tibiofibular fractures were analyzed retrospectively, and the patients were divided into bony callus mechanical testing group (38 cases) and conventional method group (36 cases) according to the postoperative fracture healing evaluation methods. The bony callus mechanical testing was performed on patients in bony callus mechanical testing group for evaluating fracture healing at 12 weeks after the surgery, and the bony callus mechanical testing was performed once 4 weeks. The periodic reexamination was performed on patients in conventional method group after the surgery, and the fracture healing was evaluated according to clinical fracture healing standard, imaging examination results and physicians' experience-based judgment. The TSF fixation time and complication incidences were compared between the 2 groups. **Results:** All patients in the 2 groups were followed up for 7~12 months with a median of 8 months. The TSF fixation time was shorter in bony callus mechanical testing group compared to conventional method group  $(175.30 \pm 5.60 \text{ vs } 346.90 \pm 21.64 \text{ days}, t = -8.670, P = 0.000)$ . No complications such as fracture nonunion and refracture were found in both of the 2 groups. **Conclusion:** Bony callus mechanical testing for evaluating fracture healing can shorten TSF fixation time after TSF external fixation for treatment of tibiofibular fractures, and it has high safety.

**Keywords** tibial fractures; fracture healing; external fixators; bony callus; mechanical test

胫腓骨因其特殊的解剖部位,是长管状骨中最常发生骨折的部位,又因胫骨全长的 1/3 位于皮下,故胫骨开放性骨折较其他长骨更为常见<sup>[1-2]</sup>。此类骨折常合并严重的软组织损伤,感染率高达 30%~

40%<sup>[1]</sup>,治疗起来较为棘手。随着外固定技术的发展,骨外固定术治疗开放性胫腓骨骨折越来越受到临床医师的青睐。该手术创伤小,可避免内固定物植入造成的切口感染、切口不愈合、异物反应及二次手术取出内固定物造成的损伤;不仅可有效维持肢体长度和骨折端稳定,而且对于解决开放性骨折的伤口处理

与骨折固定间的矛盾具有独特优势。但外固定器的体积较庞大,应用时间长,给患者术后康复及日常生活带来极大不便<sup>[3-4]</sup>。胫腓骨骨折外固定术后何时拆除外固定架,目前临床尚未达成一致意见。本研究探讨骨痂力学测试在胫腓骨骨折支架外固定术后骨折愈合评价中的应用价值,以期缩短患者佩戴外固定支架时间提供帮助。

## 1 临床资料

**1.1 一般资料** 纳入研究的患者共 74 例,均为 2016 年 7 月至 2018 年 7 月在天津市天津医院住院治疗的胫腓骨骨折患者。男 66 例,女 8 例。年龄 18 ~ 68 岁,中位数 50 岁。开放性骨折合并 Gustilo I 型软组织损伤 54 例,闭合性骨折合并张力性水泡 20 例。胫腓骨骨折按照 AO 分型<sup>[5]</sup>: A 型 36 例, B 型 28 例, C 型 10 例。伤后至手术时间 1 ~ 9 d,中位数 4 d。试验方案经医院医学伦理委员会审查通过。

**1.2 纳入标准** ①无严重神经、血管损伤;②采用 Taylor 空间支架外固定治疗;③年龄 18 ~ 70 岁;④病例资料完整。

**1.3 排除标准** ①合并严重心脑血管疾病及其他重要脏器疾病者;②合并糖尿病、皮肤病及骨肿瘤疾病者;③有精神病史及不能配合定期随访者;④ A3 型、B3 型胫腓骨骨折等稳定性骨折者(横形、楔形稳定骨折在复位后位置稳定,对轴向压力趋向稳定<sup>[4]</sup>,测试结果易出现误差);⑤低位腓骨骨折者(低位腓骨骨折不固定易造成踝关节骨关节炎<sup>[6]</sup>);

## 2 方法

**2.1 分组方法** 根据术后评价骨折愈合的方法不同

将符合要求的患者分为骨痂力学测试组和传统方法组。

**2.2 骨折愈合评价方法** 2 组患者均选用 Taylor 空间支架外固定治疗,均不固定腓骨骨折。术后第 2 天开始进行踝关节功能锻炼,避免医源性足下垂,在无深静脉血栓情况下患肢非负重行走,术后 4 ~ 6 周开始部分负重行走,术后 10 周开始完全负重行走。

**2.2.1 骨痂力学测试组** 术后 12 周开始进行骨痂力学测试判断骨折愈合情况,每 4 周测试 1 次,具体方法为:先松解外固定连接杆,观察断端有无异常活动,若存在异常活动时,不进行测试。在保证患者安全的情况下,将 3 枚安装有压力传感器的螺纹杆(图 1)连接于骨折断端两端的 Taylor 环上,注意使 3 枚传感器之间角度保持 100° ~ 130°(以 120° 为最佳,但临床应用时因固定针位置不固定,所以难以保证 3 枚传感器间夹角为 120°)、安装传感器的螺纹杆平行于胫骨干(图 2)。安装完成后,将患肢悬空,无负重状态下进行传感器调零工作。然后将患肢置于标准体重秤上,健肢置于与体重秤同等高度木制垫块,进行压力测试,测试结果为计算机读数与体重秤读数的比值。直至外固定器轴向载荷分担比 < 6.4% 时,开始进行模拟拆架(松解外固定,去除应力),增加每日锻炼时间。模拟拆架 2 周后复查 X 线片,待骨折断端无移位征象,局部无肿痛、畸形,拆除外固定支架。针孔愈合后,用夹板固定患肢 2 ~ 4 周。

**2.2.2 传统方法组** 术后定期复查,根据骨折临床愈合标准、影像学检查结果及医师经验判断骨折愈合情况,骨折达到临床愈合标准后拆除外固定支架,针

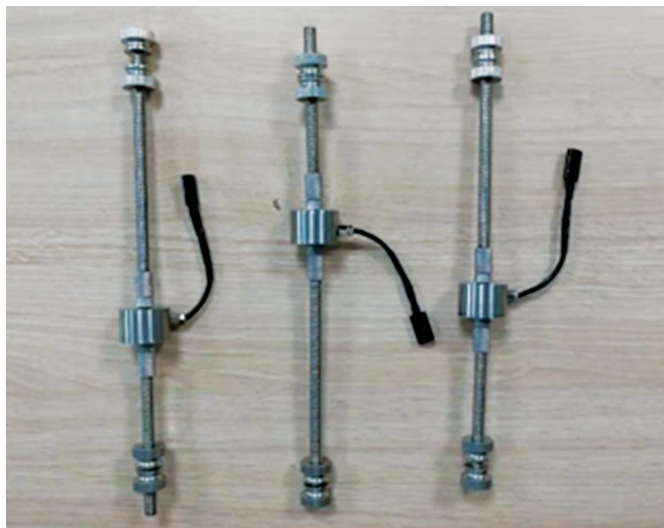


图1 压力传感器实物图

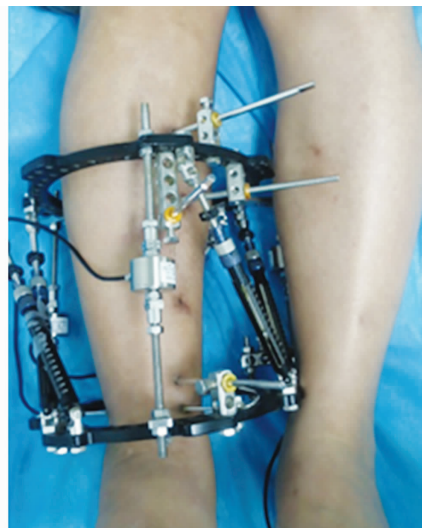


图2 压力传感器安装外观图

孔愈合后用夹板固定患肢 2~4 周。

**2.3 骨折愈合评价效果的对比方法** 比较 2 组患者带外固定支架时间及并发症发生情况。

**2.4 统计学方法** 采用 SPSS19.0 统计软件对所得数据进行统计学分析,2 组患者胫腓骨骨折 AO 分型、骨折类型的组间比较均采用  $\chi^2$  检验,性别的比较采用四格表校正  $\chi^2$  检验,年龄、手术时间及带外固定支架时间的组间比较均采用  $t$  检验,检验水准  $\alpha = 0.05$ 。

### 3 结果

骨痂力学测试组 38 例,传统方法组 36 例。2 组患者基线资料比较,组间差异无统计学意义,有可比性(表 1)。2 组患者均获得随访,随访时间 7~12 个月,中位数 8 个月。骨痂力学测试组患者带外固定支架时间短于传统方法组[(175.30 ± 5.60)d, (346.90 ± 21.64)d,  $t = -8.670$ ,  $P = 0.000$ ]。2 组患者均无骨折不愈合、再骨折等并发症发生。典型病例图片见图 3。

### 4 讨论

随着高能暴力导致的胫腓骨骨折的日益增多,科学正确地选择胫腓骨骨折的治疗方法是提高治愈率的重要前提。治疗胫腓骨骨折的方法较多,目前临床上主要有跟骨牵引、手法复位石膏外固定、切开复位内固定等。随着外固定技术的发展,骨外固定术越来越多地被应用于创伤骨科的治疗中。因外固定支架具有微创、便于护理、利于关节早期活动、可早期去除应力等优势而被广泛地应用于胫腓骨骨折治疗中<sup>[7-8]</sup>。Taylor 空间支架是在 Ilizarov 技术的基础上发展而来的新型外固定系统<sup>[9]</sup>。相对于 Ilizarov 支架而言,该支架具有更高的调节精度,更有助于骨折断端的精准复位和畸形矫正<sup>[10-12]</sup>;而相对于单臂外固定支架而言,该支架属于多边多平面固定系统,可以选择全针固定或半针固定,对骨折断端的固定及稳定效果更好,更适用于胫腓骨骨折的治疗<sup>[13]</sup>。

关于外固定支架的拆除问题,临床医生一直遵循宁可晚拆 1 个月,也不早拆 1 d 的原则<sup>[4,13-14]</sup>。这就无意识地延长了患者佩戴外固定的时间,加之外固定造成的针道切割等问题,给患者带来严重的心理压力,严重影响患者的生活质量<sup>[14]</sup>。Terjesen 等<sup>[15]</sup>研究证明,外固定的应力遮挡与佩戴时间呈正比,所以外固定支架不是佩戴时间越长越好。因此,胫腓骨骨折术后如何尽快拆除外固定支架已成为目前临床研究的重点之一。

临床上判断胫腓骨骨折外固定术后骨折是否愈合,多依靠医生的经验和影像学检查,而缺乏量化评价骨折愈合的标准,易造成外固定支架佩戴时间过长的的问题<sup>[7]</sup>。Dailey 等<sup>[16]</sup>通过低辐射量 CT 对胫腓骨进行三维重建,并且进行虚拟测试,以判断骨痂刚度;而 Lajevardi - Khosh 等<sup>[17]</sup>通过骨折患者与健康人的步态分析来判断骨折愈合程度。本团队前期在 Aarnes 等<sup>[18]</sup>建立的外固定架受力与整体载荷之比的数学模型的基础上,设计了一种骨痂力学强度测定方法:通过外固定与力学传感器、计算机相连接,利用公式  $G = K1 + K2 \dots$  ( $K1$  表示骨痂承担轴向载荷)计算得出骨痂所承担的载荷比(图 4),来达到量化骨折愈合程度的目的<sup>[3-4,7]</sup>。本团队前期课题研究结果为:当外固定器轴向载荷分担比 < 10% 时,骨痂强度达到正常松质骨水平<sup>[3]</sup>,此时骨痂可承担大部分载荷,为拆除外固定支架的安全时机。之后本团队又通过对 322 例患者进行力学测试后,将外固定器载荷分担比为 6.4% 设定为骨外固定安全拆除时机。Reich 等<sup>[19-20]</sup>通过对骨断端稳定环境与微动环境进行对比研究后发现,在轴向应力上予以骨断端一定量的刺激会加快骨痂的再生,而在进行骨痂强度力学测试的过程中,通过释放 Taylor 空间支架固定螺杆,加装与骨平行的传感器螺纹杆,不仅能去除外固定对骨折断端的应力遮挡,而且还能控制骨在轴向上进行微动,以促进骨断端的骨痂生成。

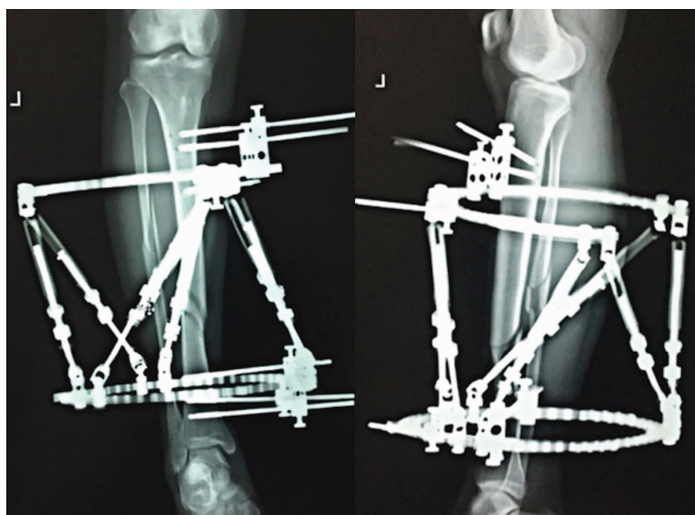
表 1 2 组胫腓骨骨折患者基线资料

组别	样本量 (例)	性别(例)		年龄 ( $\bar{x} \pm s$ , 岁)	胫腓骨骨折 AO 分型(例)			骨折类型(例)		手术时间 ( $\bar{x} \pm s$ , d)
		男	女		A 型	B 型	C 型	开放性骨折	闭合性骨折	
骨痂力学测试组	38	33	5	43.50 ± 14.26	16	15	7	30	8	5.42 ± 2.01
传统方法组	36	33	3	41.39 ± 13.31	20	13	3	24	12	5.36 ± 1.96
检验统计量		$\chi^2 = 0.086$		$t = 0.658$	$\chi^2 = 2.135$			$\chi^2 = 1.414$		$t = 0.105$
P 值		0.769		0.844	0.344			0.234		0.839

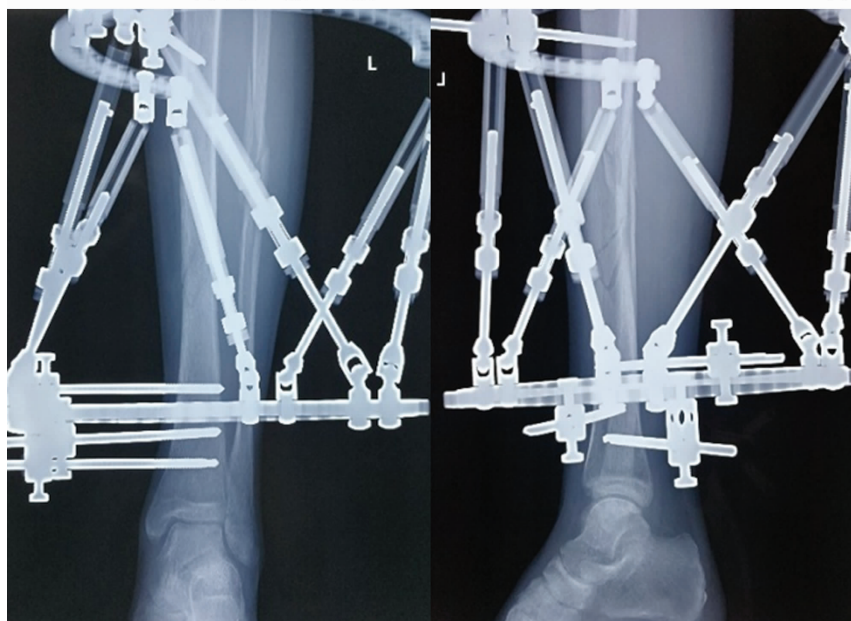




(1)术前正侧位X线片



(2)术后5 d正侧位X线片



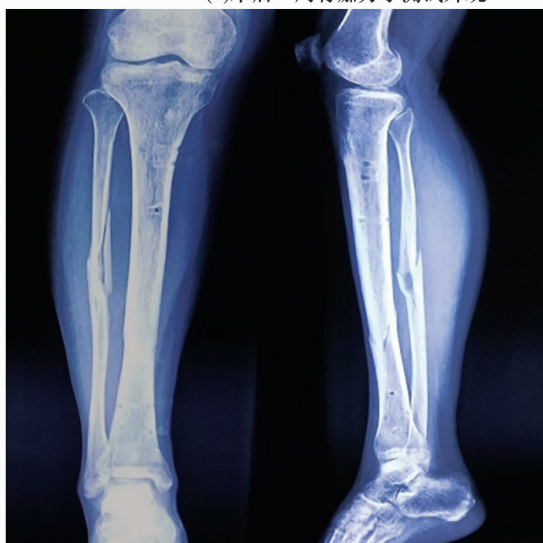
(3)术后12周正侧位X线片



(4)术后12周骨痂力学测试外观



(5)术后模拟拆架外观



(6)拆除外固定支架后正侧位X线片

图3 左侧胫腓骨骨折 Taylor 空间支架外固定手术前后图片

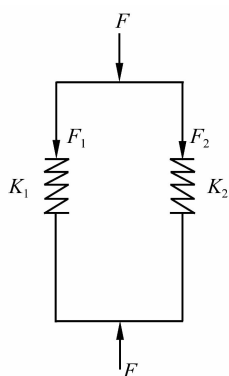


图 4 骨痂力学测试示意图

本研究结果提示,在胫腓骨骨折支架外固定术后,应用骨痂力学测试评价骨折愈合情况,可以缩短患者佩戴外固定支架的时间,安全性好。但本研究仍存在样本数量较少、缺乏更多数据的支持、患者随访时间短、对胫腓骨复杂骨折分析少等不足,需进一步研究证实。

## 5 参考文献

- [1] CANALE S T, BESTY J H. 坎贝尔骨科手术学[M]. 王岩,唐佩福,裴国献,等译. 11 版. 北京:人民军医出版社,2009:306.
- [2] 徐佳明,艾自胜,张长青. 胫腓骨骨折固定物与固定方式的研究进展[J]. 中国组织工程研究,2013,17(4):663-671.
- [3] 马继海,张涛,海碧霞,等. 骨外固定动力化治疗开放性胫腓骨骨折[J]. 中国修复重建外科杂志,2018,32(2):174-177.
- [4] 刘彦士,张弢,马信龙,等. 轴向载荷分担比例评价骨愈合刚度及其指导骨外固定器安全拆除时机[J]. 中华创伤骨科杂志,2016,18(12):1050-1056.
- [5] RÜEDI T P, BUCKLEY R E, MORAN C G. 骨折治疗的 AO 原则[M]. 危杰,刘璠,吴新宝,等译. 2 版. 上海:上海科学技术出版社,2010:53-65.
- [6] 郁耀平,陈大伟,俞光荣. Pilon 骨折中腓骨固定的研究[J]. 中国矫形外科杂志,2013,21(20):1330-1333.
- [7] 雍炜,曹海鲲,赵远航,等. 轴向载荷分担比指导外固定器动力化的临床应用[J]. 中国中西医结合外科杂志,2019,25(1):13-17.
- [8] 全先辉,万春友,刘磊,等. Taylor 空间支架外固定治疗胫腓骨开放性骨折[J]. 中医正骨,2015,27(10):30-31.
- [9] 王亚洲,徐佳,康庆林. Taylor 空间支架的临床应用进展[J]. 中国矫形外科杂志,2014,22(19):1773-1777.
- [10] KESHET D, EIDELMAN M. Clinical utility of the Taylor spatial frame for limb deformities [J]. Orthop Res Rev, 2017,9:51-61.
- [11] EIDELMAN M, CHEZAR A. Principles of deformity correction using the Taylor spatial frame [J]. Harefuah, 2005, 144(2):115-118.
- [12] 葛启航,万春友,邵醒,等. Taylor 空间支架结合计算机辅助闭合复位在胫腓骨骨折中的应用研究[J]. 中国修复重建外科杂志,2019,33(2):144-148.
- [13] 卢庆威,万春友,张弢,等. 轴向载荷力学测试在胫腓骨骨折术后外固定器拆除中的临床应用[J]. 中国修复重建外科杂志,2016,30(9):1085-1088.
- [14] EMARA K, FAROUK A, DIAB R. Ilizarov technique of lengthening and then nailing for height increase [J]. J Orthop Surg, 2011,19(2):204-208.
- [15] TERJESEN T, BENUM P. Stress - protection after external fixation on the intact rabbit tibia [J]. Acta orthop Scand, 1983,54(4):648-654.
- [16] DAILEY H L, SCHWARZENBERG P, DALY C J, et al. Virtual mechanical testing based on low - dose computed tomography scans for tibial fracture: a pilot study of prediction of time to union and comparison with subjective outcomes scoring [J]. J Bone Joint Surg Am, 2019, 101(13):1193-1202.
- [17] LAJEVARDI - KHOSH A, TRESCO B, STUART A, et al. Development of a step counting algorithm using the ambulatory tibia load analysis system for tibia fracture patients [J]. J Rehabil Assistive Technol Eng, 2018,5:205-234.
- [18] AARNES G T, STEEN H, LUDVIGSEN P, et al. In vivo assessment of regenerate axial stiffness in distraction osteogenesis [J]. J Orthop Res, 2005,23(2):494-498.
- [19] REICH K M, TANGL S, HEIMEL P, et al. Histomorphometric analysis of callus formation stimulated by axial dynamisation in a standardised ovine osteotomy model [J]. Biomed Res Int, 2019;4250940.
- [20] 葛启航,万春友,刘亚北,等. 胫腓骨开放骨折 Taylor 空间支架外固定术后轴向应力刺激对骨折愈合的影响研究[J]. 中国修复重建外科杂志,2017,31(8):931-935.

(收稿日期:2019-08-05 本文编辑:时红磊)