

个体化可控性应力外固定技术在胫骨开放性骨折中的应用

衡德忠, 李静, 翟江波, 贾海丽, 周羿辰

(黄河三门峡医院创伤骨科, 河南 三门峡 472000)

【摘要】 目的: 研究个体化可控性应力外固定架在治疗胫骨开放性骨折时的临床疗效。方法: 2018 年 12 月至 2020 年 7 月收治 60 例胫骨开放性骨折患者, 男 35 例, 女 25 例; 年龄 23~58 岁; 病程 1.2~10.0 h。根据术后对骨折端应力刺激的大小将其分为 4 组, 其中包括无应力组(15 例)及不同应力刺激的 3 组(各组 15 例)。所有胫骨开放骨折患者行可控性应力外固定支架手术治疗, 术后 4 周, 应力组以患者体重为参考, 调节弹性外固定架向骨折端施加自身体重 1/6、2/6、3/6 的轴向应力。观察所有患者术后伤口愈合情况, 随访术后 4、6、8、10、12 周时骨折断端平扫 CT 图片, 计算每 10 个扫描平面骨痂面积的平均值, 比较各组间的差异。观察终末随访患者的骨折愈合情况, 并进行统计学分析。结果: 术后所有患者伤口愈合良好, 其中有 7 例 II 期行游离植皮及转移肌皮瓣手术。所有患者获得随访, 时间 12~24 个月, 平均 16.5 个月。终末随访结果显示应力组和无应力组的骨折愈合比较差异有统计学意义($P<0.05$)。给予骨折端轴向应力刺激后, 4、6、8、10、12 周对所有患者骨折断端行 CT 检查, 计算 10 个平扫平面骨痂面积的平均值分别为: 无应力组(0.275±0.092)、(0.383±0.051)、(0.412±0.048)、(0.472±0.019)、(0.548±0.036) mm², 应力组的骨痂长入面积值明显高于无应力组, 通过比较各组数据差异有统计学意义($P<0.05$)。结论: 采用可控性应力外固定技术治疗胫骨开放性骨折时, 4 周后根据患者自身体重调节弹性外固定架, 予骨折端施加一定的轴向应力, 有利于患者骨折的愈合, 可以降低开放性骨折延迟愈合或不愈合的发生率, 具有一定的应用价值。

【关键词】 外固定器; 胫骨骨折; 骨折, 开放性; 骨痂; 骨折, 不愈合

中图分类号: R641

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2021.10.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application of individualized controllable stress external fixation in open tibial fractures HENG De-zhong, LI Jing, ZHAI Jiang-bo, JIA Hai-li, and ZHOU Yi-chen. Department of Traumatology and Orthopaedics, Yellow River Sammenxia Hospital, Sammenxia 472000, Henan, China

ABSTRACT **Objective:** To study the clinical effect of individualized controllable stress external fixator in the treatment of open tibial fractures. **Methods:** From December 2018 to July 2020, 60 patients with open tibial fractures were treated, including 35 males and 25 females; The age ranged from 23 to 58 years; The course of disease was 1.2 to 10.0 h. According to the stress stimulation on the fracture end after operation, all patients were divided into 4 groups, including non stress group (15 cases) and 3 groups with different stress stimulation (15 cases in each group). All patients with open tibial fractures were treated with controllable stress external fixator. Four weeks after operation, the stress group adjusted the elastic external fixator to apply axial stress of 1/6, 2/6 and 3/6 of their own weight to the fracture end based on the patient's weight. The wound healing of all patients after operation was observed, the plain CT images of fracture ends at 4, 6, 8, 10 and 12 weeks after operation were followed up, the average value of callus area per 10 scanning planes was calculated, and the differences between the groups were compared. The fracture healing was observed and statistically analyzed. **Results:** The wounds of all patients healed well, of which 7 patients underwent secondary free skin grafting and transferred myocutaneous flap. All patients were followed up for 12 to 24 months, with an average of 16.5 months. The final follow-up results showed that the fracture healing of stress groups and non stress group had significant difference ($P<0.05$). After axial stress stimulation at the fracture end, CT examination was performed on the fracture end of all patients at 4, 6, 8, 10 and 12 weeks. The average values of callus area in 10 plain scanning planes were calculated as follows: no stress group (0.275±0.092) mm², (0.383±0.051) mm², (0.412±0.048) mm², (0.472±0.019) mm², (0.548±0.036) mm², the area of callus growth in the stress group was significantly higher than that in the non stress group. There was significant difference among these groups ($P<0.05$). **Conclusion:** When the controllable stress external fixation technique is used to treat open tibial fractures, the elastic external fixator is adjusted according to the patient's own

通讯作者: 周羿辰 E-mail: 537504020@qq.com

Corresponding author: Zhou Yi-Chen E-mail: 537504020@qq.com

weight after 4 weeks, and a certain axial stress is applied to the fracture end, which is conducive to the fracture healing of patients, and can reduce the incidence of delayed union or nonunion of open fractures, which has a certain application value.

KEYWORDS External fixators; Tibial fractures; Fractures, open; Bone, callus; Fractures, ununited

随着交通业及工业的发展,车祸、外伤导致的胫骨骨折在临床中非常常见,约占全身骨折的 9.45%,其中 24% 为开放性骨折。而膝、踝关节又是人体中重要、复杂的结构,所以促进胫骨开放性骨折快速恢复,及早进行功能锻炼,是保证患者功能恢复的重要内容^[1]。目前开放胫骨骨折的固定方式首选外固定架,随着外固定架技术的发展,目前的外固定技术既可以使骨折得到坚强的固定,同时又减少骨折断端骨膜及血运的破坏,无需钢板置入,进而避免加重污染,降低了伤口感染的风险,最终有利于骨折的愈合^[2]。所以对软组织损伤严重的开放胫骨骨折常采用外固定架进行固定。为弥补普通外架的不足,设计可控应力外架。笔者回顾性分析 2018 年 12 月至 2020 年 7 月诊治的胫骨开放性骨折患者 60 例,应用个体化可控性应力外固定技术治疗,在骨折端施加按自身体重计算出的不同的压应力,对比无应力对照组,研究该技术对骨折愈合的影响。

1 资料与方法

1.1 病例选择

纳入标准:经临床诊断为胫骨开放性骨折且软组织损伤 Gustilo 等^[3]分型Ⅲ型;AO 分型 A 型;未累及膝、踝关节面的骨折(自胫骨平台下 6 cm 至内踝上 5 cm 之间的范围);无手术禁忌且年龄 20~60 岁患者。排除标准:凝血功能异常或者是未经控制的重度感染患者;合并全身脏器重大疾病患者;未签署知情同意书者;合并影响骨折愈合疾病的患者;不能完成随访的患者。

1.2 一般资料

选择 2018 年 12 月至 2020 年 7 月的 60 例胫骨开放性骨折患者,分为对照组(未施加应力组)和试验组(施加 3 种不同应力组),试验组 45 例,对照组 15 例。对照组中男 11 例,女 4 例;年龄 25~54 岁;病程 1.2~10.0 h;骨折部位:胫骨中上段 4 例,中段 7 例,中下段 4 例;AO 分型^[4]:A1 型 5 例,A2 型 6 例,A3 型 4 例;骨折原因:车祸伤 8 例,高处坠落伤 3 例,重物砸伤 2 例,其他损伤 2 例。试验组中男 24 例,女 21 例;年龄 23~58 岁;病程 1.5~10.0 h;骨折部位:中上段 14 例,中段 20 例,中下段 11 例;AO 分型:A1 型 16 例,A2 型 19 例,A3 型 10 例;骨折原因:车祸伤 23 例,高处坠落伤 10 例,重物砸伤 7 例,其他损伤 5 例。4 组患者一般资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。本次研究已经取得本院伦理委员会审批同意(201801060032)且患者对此知情同意。4 组

患者均获随访,随访时间 12~24 个月,4 组患者随访时间差异无统计学意义($P>0.05$),见表 1。

1.3 方法

1.3.1 手术方式 所有患者入院后完善术前检查,明确诊断。急诊行手术治疗。外固定装置选择:应力调节装置来自河南科科生物科技有限公司,无菌骨牵引针、针-杆固定夹苏州爱得科技发展股份有限公司。所有患者取平卧位,在蛛网膜下腔麻醉下对开放伤口予以彻底清创,然后在 C 形臂 X 线透视下,对骨折断端进行手法整复,恢复对位对线。行骨折端透视见复位满意后于胫骨近端骨折线一定距离处平行穿入 2 枚骨圆针,在骨折断端以远处平行穿入 2 枚骨圆针,与可控性外固定架连接后,拧紧螺母将骨折固定牢靠。透视见骨圆针位置可。对于软组织损伤较轻的开放伤口,行 I 期缝合,伤口留置引流管;对于软组织损伤严重的开放伤口,清创后软组织缺损严重,局部负压封闭引流术覆盖,II 期行游离植皮、转移肌瓣或肌皮瓣手术。

1.3.2 术后处理 术后伤口隔天换药,3~5 d 后拆除引流管;保持患肢抬高,按常规标准积极进行镇痛、抗感染等治疗,并鼓励患者尽早进行康复练习等。术后 4 周,3 组试验组患者以体重为标准,调节弹性外固定架向骨折端施加自身体重的 1/6、2/6、3/6 倍轴向应力,对照组骨折端不给予应力。

1.4 观察项目与方法

1.4.1 影像学观察 分别于开始给予骨折端轴向应力刺激后 4、6、8、10、12 周行骨折端 CT 检查,观察对照组无应力刺激及试验组开始给予骨折端轴向应力刺激后 4、6、8、10、12 周时的骨折断端 CT 的平扫情况。计算每 10 个扫描平面骨痂面积的平均值,面积计算采用 Simpson 公式。

1.4.2 临床疗效评定 目前常用的骨不连诊断标准由 FDA 制定:即骨折 9 个月仍未愈合,并且已连续 9 个月没有任何愈合迹象^[5]。

1.4.3 随访观察 对所有患者进行随访,观察并记录患者伤口有无感染、外固定有无松动等并发症。

1.5 统计学处理

应用 SPSS 20.0 软件进行统计学处理,定量资料符合正态分布者用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,采用多样本均数比较的方差分析;单因素重复测量数据,各组间差别多重比较采用 SNK 检验;定性资料使用构成比[(n)%]表示,运用 χ^2 检验分析。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 骨痂长入情况

4 周后对胫骨骨折端进行 CT 平扫, 测量 10 个扫描平面骨痂面积的平均值, 对照组的平均值为 (0.275±0.092) mm², 试验各组的平均值 (0.303±0.086)、(0.294±0.045)、(0.311±0.058) mm², 未予应力刺激时, 对照组与试验 3 组间比较, 差异无统计学意义 ($P>0.05$); 6 周后骨痂面积的平均值, 对照组的平均值为 (0.383±0.051) mm², 试验组的平均值 (0.584±0.077)、(0.903±0.071)、(0.668±0.084) mm², 当给予一定应力刺激, 对照组与试验 3 组间比较, 差异有统计学意义 ($P<0.05$); 8 周后骨痂面积的平均值, 对照组的平均值为 (0.412±0.048) mm², 试验组的平均值 (0.612±0.039)、(0.967±0.033)、(0.691±0.075) mm², 对照组与试验 3 组间比较, 差异有统计学意义 ($P<0.05$); 10 周后骨痂面积的平均值, 对照组的平均值为 (0.472±0.019) mm², 试验组的平均值 (0.631±0.051)、(1.054±0.012)、(0.714±0.063) mm², 对照组与试验 3 组间比较, 差异有统计学意义 ($P<0.05$); 12 周后骨痂面积的平均值, 对照组的平均值为 (0.548±0.036) mm², 试验组的平均值 (0.671±0.069)、(1.124±0.081)、(0.761±0.082) mm², 各组间

比较差异有统计学意义 ($P<0.05$)。见表 2。

2.2 术后并发症

各组胫骨开放骨折患者伤口愈合良好; 骨折断端无感染、无骨髓炎形成; 外固定装置无松动及断裂, 膝、踝关节无僵硬等。

2.3 骨折愈合情况

各组患者均得到随访, 无失访者, 随访时间 12~24 个月, 平均 16.5 个月, 了解所有患者骨折的愈合情况。对照组发生骨折延迟愈合的患者有 3 例, 骨折不愈合的患者 2 例; 试验组发生骨折延迟愈合患者 2 例, 骨折不愈合患者 1 例; 两组间骨折愈合比较, 差异有统计学意义 ($\chi^2=6.667, P<0.05$), 见表 3。

3 讨论

3.1 胫骨开放骨折治疗方式的选择

胫骨开放骨折是临床中较常见的下肢骨折, 因为特殊的解剖结构, 胫骨前内侧缺少软组织覆盖, 当胫骨骨折时, 骨折端极易外漏, 一旦外漏及软组织损伤严重时, 往往就存在着较高的感染及骨折不愈合的风险, 如何安全有效的治疗胫骨开放骨折成为一个棘手的问题^[6]。Gustilo 等^[7]研究认为胫骨开放骨折后创面软组织覆盖和骨折端的牢固固定是治疗最关键的方面。过去研究认为: 胫骨开放骨折 6 h 之内进

表 1 各组胫骨开放性骨折患者的一般临床资料比较

Tab.1 Comparison of general clinical data of four groups of patients with open tibial fracture

组别	例数	性别(例)		年龄($\bar{x}\pm s$, 岁)	骨折 AO 分型(例)			病程($\bar{x}\pm s$, h)	随访时间($\bar{x}\pm s$, 月)
		男	女		A1 型	A2 型	A3 型		
对照组	15	11	4	37.58±1.26	5	6	4	6.22±1.55	16.50±0.75
1/6 体重应力	15	9	6	36.62±4.15	5	7	3	5.13±0.73	14.00±1.50
2/6 体重应力	15	8	7	39.23±1.37	5	6	4	7.17±2.32	17.50±2.00
3/6 体重应力	15	7	8	32.02±3.59	6	6	3	4.98±3.16	16.50±1.05
检验值		$\chi^2=2.400$		$F=0.262$	$\chi^2=1.253$			$F=1.491$	$F=0.992$
P 值		0.494		0.853	0.974			0.314	0.739

表 2 各组开放性骨折患者 4、6、8、10、12 周骨痂形成情况比较 ($\bar{x}\pm s$, mm²)

Tab.2 Comparison of callus formation in patients with open fracture in each group at 4, 6, 8, 10 and 12 weeks ($\bar{x}\pm s$, mm²)

组别	例数	4 周	6 周	8 周	10 周	12 周
对照组	15	0.275±0.092	0.383±0.051	0.412±0.048	0.472±0.019	0.548±0.036
1/6 体重应力	15	0.303±0.086 [#]	0.584±0.077 [#]	0.612±0.039 [#]	0.631±0.051 [#]	0.671±0.069 [#]
2/6 体重应力	15	0.294±0.045 ^{**}	0.903±0.071 ^{**}	0.967±0.033 ^{**}	1.054±0.012 ^{**}	1.124±0.081 ^{**}
3/6 体重应力	15	0.311±0.058 ^{**y}	0.668±0.084 ^{**y}	0.691±0.075 ^{**y}	0.714±0.063 ^{**y}	0.761±0.082 ^{**y}
F 值		57.126	63.072	74.038	101.137	113.469
P 值		0.149	0.000	0.000	0.000	0.000

注: [#] 与对照组比较, 除 4 周外其他周组间比较 $P<0.05$, ^{*} 与 1/6 体重应力组比较 $P<0.05$, ^y 与 2/6 体重应力组比较 $P<0.05$

Note: [#]Compared with the control group, comparison between groups in other weeks except 4 weeks $P<0.05$, ^{*} compared with the 1/6 body weight stress group, $P<0.05$, ^y compared with the 2/6 body weight stress group, $P<0.05$

表 3 两组开放性骨折患者骨折愈合率对比[例(%)]

Tab.3 Comparison of fracture healing rate between the two groups of patients with open fracture [cases (%)]

组别	例数	骨折延迟愈合例数	不愈合例数
对照组	15	3	2
试验组	45	2	1
χ^2 值		6.667	
P 值		0.010	

行伤口处理是治疗胫骨开放性骨折的黄金时间^[8-9]。但是最新研究表明^[10-12]:6 h 时之内彻底清创并没有明显降低术后感染的发生率,而且骨折部位的感染并没有随着超过 6 h 的时间延长而增加。Pollak 等^[13]的研究表明对 Gustilo III 型胫骨开放性骨折患者伤口彻底清创的时间与术后骨髓炎的发生率不存在必然联系,其最终预后如何与其受伤程度和治疗方式的选择密切相关。杨润功等^[14]的研究认为手术清创时间的迟早并不是决定 Gustilo III 型胫骨开放骨折感染的关键,而术前冲洗、彻底清创、早期使用抗生素、选择合适的骨折固定方式、保证足够的软组织覆盖是降低感染和良好愈合的必要条件。

目前针对胫骨骨折的固定方法主要包括:外固定架固定、钢板及髓内钉固定。当胫骨开放骨折软组织损伤严重时,使用钢板及髓内钉固定时会增加手术感染风险,手术失败率较高。Rohde 等^[15]及刘方刚等^[16]的研究认为髓内钉固定与外固定固定相比,骨折不愈合或深部组织感染的发生率明显增高。江敞等^[17]认为在治疗 III 型 B 胫骨开放骨折时不扩髓交锁髓内钉的效果优于单臂多功能外固定支架。但随着外固定支架材料及设计的发展,既可以为保证骨折的固定强度,同时又能避免钢板及髓钉等异物的置入,可以有效减少污染物的进一步扩散,最终降低软组织感染、骨髓炎以及骨折延迟愈合或不愈合等发生率。

3.2 应力与骨折愈合关系

骨折愈合与应力关系密切,董福慧等^[18]的动物实验表明:理想的骨折愈合与最佳的应力状态相适应,肌肉动力是应力适应的反馈调节因素,骨痂密度是应力适应的反馈结果。在骨折愈合过程中如果受到不利于骨折愈合的应力,如断端间的剪切应力或旋转应力,可以产生骨折端的不利活动,使来自髓腔、骨膜和周围软组织的新生血管的形成及相互之间的吻合过程受到影响,修复细胞的来源和演变变得迟缓,以致停止,这样就可能影响骨折修复的正常进行。而骨折端的纵向挤压力则可促进骨折的愈合^[19-21]。但是外固定支架术后患者骨折延迟愈合或

不愈合的发生率同样较高,这与骨折端应力环境有着密切的关系,普通外固定架往往不能加压或加压力度不明确。Streicher^[22]的研究表明在正确复位的基础上,利用机械力量,对骨折端加压,可使其紧密接触,缩短骨细胞爬行距离和时间,外固定支架的持续加压应力刺激可促进骨细胞增生,促进骨痂生长和骨化,从而保证骨折愈合的最佳生物力学环境。骨折发生时,骨缺损较大或骨折复位位置不佳,骨折断端间距离较大时,促进骨痂长入的潜力就会受到极大的限制,骨痂形成可能不充分。在这种情况下,“动力化”通过使骨折间隙并拢增加其刚度,让骨折愈合。研究表明骨痂形成过程中,当提供一定应力刺激时骨痂才会形成,当给予的应力过小时骨痂无法形成。当骨折端固定过于坚硬时,会产生应变的环境,造成骨折端硬化,此时可能会出现延迟愈合或骨折不愈合。目前还有许多外国学者观察到对骨折断端施以低频周期性载荷,可以防止骨质疏松,促进新骨形成,有利于骨折愈合^[23]。

3.3 小结

本文通过对 60 例胫骨开放骨折患者的研究,可以看出给予一定轴向应力刺激时骨痂形成的速度快于未给予刺激的患者,但当给予的轴向应力刺激过大时,反而会减慢骨痂的形成。所以胫骨开放骨折选择可控性外固定架固定时,4 周后给予自身体重 2/6 的轴向应力时,骨折愈合的速度明显增快。本研究的不足之处:应力刺激未进行继续细分,得出的骨折最佳愈合应力参数参考价值有限。

参考文献

- [1] 张炯,李卫斌. 中医正骨结合半环多功能外固定架零切开治疗胫骨远端骨折的临床疗效[J]. 辽宁医学杂志,2019,33(4):18-21.
ZHANG J,LI WB. Clinical effect of traditional Chinese medicine orthopedics combined with half-ring multifunctional external fixator zero incision in the treatment of distal tibial fractures[J]. Liao Ning Yi Xue Za Zhi,2019,33(4):18-21. Chinese.
- [2] 朱金荣,陆春. 高能胫骨干开放性骨折的治疗进展[J]. 中国医学工程,2017,25(2):15-18.
ZHU JR,LU C. Progress in the treatment of high-energy open fractures of the tibial shaft[J]. Zhongguo Yi Xue Gong Cheng,2017,25(2):15-18. Chinese.
- [3] Gustilo RB,Anderson JT. Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones:retrospective and prospective analyses[J]. J Bone Joint Surg Am,1976,58:453-458.
- [4] Alexander Joeris,Nicolas Lutz,Andrea Blumenthal,et al. AO Pediatric Comprehensive Classification of Long Bone Fractures (PCCF) [J]. Acta Orthop,2017,88(2):129-132.
- [5] Rodriguez-Merchan EC,Forriol F. Nonunion:general principles and experimental data[J]. Clin Orthop Relat Res,2004,(419):4-12.
- [6] 刘熹,岑石强,项舟,等. 开放性胫骨骨折外支架二期更换为内

- 固定的安全性研究[J]. 中国修复重建外科杂志, 2017, 31(6): 665-669.
- LIU X, CEN SQ, XIANG Z, et al. The safety study of the second phase replacement of the external stent to internal fixation for open tibial fractures[J]. Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi, 2017, 31(6): 665-669. Chinese.
- [7] Gustilo RB, Gruniger RP, Davis T. Classification of type III (severe) open fractures relative to treatment and results[J]. Orthopaedics, 1987, 10(12): 1781.
- [8] Kindsfater K, Jonassen EA. Osteomyelitis in grade II and III open-tibia fractures with late debridement[J]. J Orthop Trauma, 1995, 9(2): 121-127.
- [9] Kreder HJ, Armstrong P. A review of open tibia fractures in-children [J]. J Pediatr Orthop, 1995, 15(4): 482-488.
- [10] Harley BJ, Beaupre LA, Jones CA, et al. The effect of time to definitive treatment on the rate of nonunion and infection in open-fractures[J]. J Orthop Trauma, 2002, 16(7): 484-490.
- [11] Singh J, Rambani R, Hashim Z, et al. The relationship between time-to surgical debridement and incidence of infection in grade III open-fractures[J]. Strategies Trauma Limb Reconstr, 2012, 7(1): 33-37.
- [12] Crowley DJ, Kanakaris NK, Giannoudis PV. Irrigation of the wounds-in open fractures[J]. J Bone Joint Surg Br, 2007, 89(5): 580-585.
- [13] Pollak AN, Jones AL, Castillo RC, et al. The relationship between-time to surgical debridement and incidence of infection after open-high-energy lower extremity trauma[J]. J Bone Joint Surg Am, 2010, 92(1): 7-15.
- [14] 杨润功, 张宇鹏, 侯树勋, 等. Gustilo III 型胫骨干开放性骨折的治疗与临床分析[J]. 中华创伤骨科杂志, 2010, 12(9): 824-829.
- YANG RG, ZAHNG YP, HOU SX, et al. Treatment and clinical analysis of Gustilo III type tibial shaft open fracture[J]. Zhonghua Chuang Shang Gu Ke Za Zhi, 2010, 12(9): 824-829. Chinese.
- [15] Rohde C, Greives MR, Cetrulo C, et al. Gustilo grade IIIB tibial-fractures requiring microvascular free flaps: external fixation versus-intramedullary rod fixation[J]. Ann Plast Surg, 2007, 59(1): 14-17.
- [16] 刘方刚, 陈步俊, 李桓毅, 等. 小腿严重开放性骨折伴软组织缺损的治[J]. 中华创伤骨科杂志, 2009, 11(10): 940-942.
- LIU FG, CHEN BJ, LI HY, et al. Treatment of severe open fracture of lower leg with soft tissue defect[J]. Zhonghua Chuang Shang Gu Ke Za Zhi, 2009, 11(10): 940-942. Chinese.
- [17] 江敞, 唐明杰. 胫骨开放骨折不扩髓交锁髓内钉与外固定支架治疗比较[J]. 中国骨伤, 2000, 13(1): 14-15.
- JIANG C, TANG MJ. Comparison of open tibial fractures treated with non reamed interlocking intramedullary nail and external fixation[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2000, 13(1): 14-15. Chinese.
- [18] 董福慧, 关继超, 赵勇, 等. 骨折愈合的应力适应性研究[J]. 中国骨伤, 2001, 14(1): 14-15.
- DONG FH, GUAN JC, ZHAO Y, et al. Study on stress adaptability of fracture healing[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2001, 14(1): 14-15. Chinese.
- [19] Einhorn TA. The cell and molecular biology of fracture healing[J]. Clin Orthop Relat Res, 1998, 355(suppl): 7-21.
- [20] Marsh D. Concepts of fracture union, delayed union, and nonunion [J]. Clin Orthop Relat Res, 1998, 355(suppl): 22-30.
- [21] Claes LE, Heigele CA, Neidlinger-Wilke C. Effects of mechanical factors on the fracture healing process[J]. Clin Orthop Relat Res, 1998, 355(suppl): 132-147.
- [22] Streicher G. Distal tibial fractures[J]. Unfallchirurg, 2008, 111(11): 905-918.
- [23] Schaden W, Fischer A, Sailler A. Extracorporeal shock wave therapy of nonunion or delayed osseous union[J]. Clin Orthop, 2001, (387): 90-94.

(收稿日期: 2020-12-20 本文编辑: 王玉蔓)