

- 水平的关系 [J]. 中国骨质疏松杂志, 2017, 23(1):47-50.
- [18] Kahnert K, Alter P, Young D, et al. The revised GOLD 2017 COPD categorization in relation to comorbidities[J]. *Respir Med*, 2018, 1(134):79-85.
- [19] Papaioannou O, Karampitsakos T, Barbayianni I, et al. Metabolic Disorders in Chronic Lung Diseases[J]. *Front Med (Lausanne)*, 2018, 18(4): 246-247.
- [20] Williams KH, Burns K, Twigg SM. Differing clinical phenotype for higher alanine-aminotransferase (ALT) compared with high-risk NAFLD fibrosis score in type 2 diabetes mellitus[J]. *J Diabetes Complications*, 2018, 32(3): 321-324.
- [21] 熊雪松, 余显霞. 2 型糖尿病与骨质疏松症相关性研究进展 [J]. 中国骨质疏松杂志, 2017, 23(1): 130-135.
- [22] Fisceletti M, Biggin A, Bennetts B, et al. Novel variant in Sp7/Osx associated with recessive osteogenesis imperfecta with bone fragility and hearing impairment[J]. *Bone*, 2018, 31(110): 66-75.
- [23] Pernow Y, Shahrour R, Acharya S, et al. Aberrant tryptophan transport in cultured fibroblast from patients with Male Idiopathic Osteoporosis: An in vitro study[J]. *Bone Rep*, 2018, 3(8): 25-28.
- [24] Kaushal N, Vohora D, Jalali RK, et al. Raised serum uric acid is associated with higher bone mineral density in a cross-sectional study of a healthy Indian population[J]. *Ther Clin Risk Manag*, 2018, 5(14): 75-82.

(收稿: 2018-04-12 修回: 2018-11-15)

(责任编辑: 白人骁)

轴向载荷分担比指导外固定器动力化的临床应用

雍 炜¹, 曹海鲲¹, 赵远航¹, 马继海¹, 刘 钊², 张宁宁², 葛启航¹, 万春友³

摘要 目的: 探讨轴向载荷分担比用于胫腓骨骨干骨折术后指导外固定器轴向动力化促进骨折愈合的有效性。**方法:** 选取外固定器治疗的胫腓骨骨干骨折患者 100 例, 随机分为观察组 50 例, 对照组 50 例。观察组在轴向载荷分担比指导下行外固定器轴向动力化治疗, 对照组未行动力化, 随访比较两组的治疗效果。**结果:** 所有患者均获随访, 随访时间 4 ~ 12 个月, 平均 6.5 个月, 治疗期间所有患者均未出现外固定针断裂、松动及再骨折等并发症, 观察组 1 例骨搬移患者轴向载荷分担比 <5%, X 线片显示骨折断端有连续性骨痂通过, 拆除外固定器连接杆后发生移位, 恢复原数值行轴向加压再动力化, 现已愈合。观察组除外 1 例骨搬移患者, 其余 49 例患者外固定器固定时间为 [(24.4 ± 4.7) 周], 骨折临床愈合时间为 [(22.4 ± 4.7) 周], 与对照组 50 例患者外固定器固定时间 [(29.3 ± 5.6) 周], 骨折临床愈合时间 [(27.3 ± 5.6) 周] 比较, 显著减少 ($P < 0.05$)。**结论:** 外固定器轴向载荷分担比指导胫腓骨骨干骨折外固定术后轴向动力化可以加速骨折愈合, 但不适合骨搬移截骨端已硬化患者。

关键词: 胫腓骨骨干骨折; 外固定器; 载荷分担比; 动力化

中图分类号: R683.42 文献标识码: A 文章编号: 1007-6948(2019)01-0013-05

doi: 10.3969/j.issn.1007-6948.2019.01.003

Clinical Application of External Fixators Motorization Guided by Axial Load Sharing Ratio YONG Wei, CAO Hai-kun, ZHAO Yuan-hang, et al. *Graduate School of Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, Tianjin (300193), China*

Abstract: Objective To investigate the effectiveness of axial load shared in guiding the axial motorization of external fixators to promote fracture healing after the surgery of tibia and fibula diaphyseal fracture. **Methods** A total of 100 patients with tibia and fibula diaphyseal fractures treated with external fixator were randomly divided into observation group ($n=50$) and control group ($n=50$). The patients in observation group were treated with the external fixation axia dynamization under the guidance of axial load sharing ratio, while the patients in control group with no act. The follow-up comparison was compared between the two groups. **Results** All

patients were followed up for 4 to 12 months with an average of 6.5 months. During the treatment period, no complications such as fracture, loosening, and re-fracture of the external fixation needles occurred. In the observation group, the axial load of the patient

基金项目: 天津市卫生局科技基金资助项目 (13KG129)

1. 天津中医药大学研究生院 (天津 300193)

2. 天津医科大学研究生院 (天津 300070)

3. 天津医院肢体矫形外科 (天津 300211)

通信作者: 万春友, E-mail: wanchunyouxs@163.com

with bone removal was observed. With a sharing ratio of $< 5\%$, the X-ray showed that the broken ends of the fractures had a continuous poroma pass. After dismantling the external fixation connecting rods, they shifted. The original values were restored by axial compression and then motorized, and they have now healed. In the observation group, except for one patient with bone removal, the rest of the 49 patients had an external fixation time of (24.4 ± 4.7) weeks, and the clinical healing time of the fracture was (22.4 ± 4.7) weeks. In the control group, 50 patients had a fixed external fixation time of (29.3 ± 5.6) weeks, and clinical healing time of fracture was (27.3 ± 5.6) weeks ($P < 0.05$). **Conclusion** The axial load sharing ratio of external fixator guides axial motorization after external fixation of tibia and fibula diaphyseal fracture can accelerate fracture healing, but it is not suitable for bone removal of patients with hardened osteotomy end.

Key words: Tibia and fibula diaphyseal fracture; external fixator; load sharing ratio; motorization

胫腓骨骨干骨折临床多见,多由高能暴力所致,常合并严重的软组织损伤,伴发高感染率,常出现骨折延迟愈合,甚至不愈合^[1]。胫骨骨干解剖特点决定其血运差,由于其骨骼结构及功能的特殊性,导致骨折的愈合时间长^[2]。故缩短骨折愈合时间对减少患者的花费,尽快恢复患者的劳动能力具有积极的作用。外固定器具有创伤小、术后可调、手术时间短、弹性固定利于术后快速康复,在软组织条件差、畸形矫正等情况下越来越普遍地应用于临床^[3]。但外固定器占据空间大,给患者生活带来极大不便,同时固定时间越长,针道感染、针道松动、固定针断裂等风险越大^[4],且快节奏的生活要求加速骨折愈合。钢板内固定无动力化加速骨折愈合的优势。髓内钉虽可动力化加速骨折愈合,但需再次手术,外固定无需再次手术即可行轴向动力化。外固定器轴向载荷分担比在不增加患者经济压力及痛苦的情况下指导外固定器轴向动力化,可加速患者骨折的愈合进程。本课题组前期研究结果表明,当轴向载荷分担比为 $5\% \sim 10\%$ 时,去除轴向固定,患者扶拐活动 30 min 可促进骨折愈合^[5]。鉴于此,本研究在前期基础上再次改进,当轴向载荷分担比 $< 10\%$ 时行外固定器轴向动力化,已获得较好疗效。现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2017 年 2 月~2017 年 12 月于天津医院采用外固定器进行治疗的 100 例胫腓骨骨干骨折患者为研究对象,将 100 例患者随机分为观察组(在轴向载荷力学分担比指导下行外固定器轴向动力化)50 例和对照组(未动力化治疗组)50 例。观察组中,男性患者 45 例,女性患者 5 例,年龄 $14 \sim 77$ 岁,平均年龄 (43.2 ± 14.8) 岁。骨折至手术时间 $1 \sim 33 \text{ d}$,平均 $(9.5 \pm 5.9) \text{ d}$ 。

按照 AO/ASIF 分型: A1+B1 型 15 例, B2 型 4 例, A3+B3+C 型 21 例, A2 型 10 例; 闭合骨折 5 例(IC1 型 3 例, IC3 型 1 例, IC4 型 1 例), 开放骨折 45 例(Gustilo 分型: I 型: 13 例, II 型: 22 例, III A 型: 8 例, III B 型: 2 例)。致伤原因: 车祸致伤 33 例, 摔落致伤 10 例, 其他原因致伤 7 例。对照组中, 男性患者 42 例, 女性患者 8 例, 年龄 $16 \sim 78$ 岁, 平均年龄 (44.1 ± 15.2) 岁。骨折至手术时间 $1 \sim 36 \text{ d}$, 平均 $(9.0 \pm 5.6) \text{ d}$ 。按照 AO/ASIF 分型^[6]: A1+B1 型 16 例, B2 型 5 例, A3+B3+C 型 20 例, A2 型 9 例; 闭合骨折 6 例(IC1 型 4 例, IC3 型 1 例, IC4 型 1 例), 开放骨折 44 例(Gustilo 分型: I 型: 13 例, II 型: 23 例, III A 型: 7 例, III B 型: 1 例)。致伤原因: 车祸致伤 33 例, 摔落致伤 8 例, 其他原因致伤 9 例。将 2 组胫腓骨骨干骨折患者性别构成、平均年龄, 骨折至手术时间、AO/ASIF 分型、Gustilo 分型及致伤原因构成等方面进行比较, P 均 > 0.05 , 差异均无统计学意义, 因此认为两组患者之间具有可比性。

1.2 纳入标准 (1) 胫腓骨骨干骨折, 采用外固定支架治疗的患者; (2) 患者同意行轴向力学分担比测试, 并签署知情同意书; (3) 能配合医生完成轴向力学分担比测试; (4) 能配合完成临床随访观察。

1.3 排除标准 (1) 不符合纳入标准; (2) 合并严重内科疾病; (3) 不能独自站立; (4) 不配合功能锻炼。

1.4 治疗方法 对照组按照常规外固定治疗方法进行干预, 因腓骨断裂位置均较高, 均不行固定处理, 外固定器固定后, 将其进行静力性固定处理, 骨折达到临床愈合标准后, 松开外固定连接杆, 正常生活 2 周后复查, 骨折处无变形及查体无异常活动和纵向叩击痛则拆除外固定器, 若骨折处

发生形变或查体有异常活动及纵向叩击痛则恢复连接杆原刻度继续外固定治疗直至下次复查满足要求后拆除外固定，待针孔愈合后用夹板保护 3~4 周。观察组 X 线片示：骨折处有连续性骨痂形成，轴向载荷力学分担比测量 <10% 时行外固定器轴向动力化处理^[5]，当外固定器轴向载荷力学分担比 <5%，达到骨折临床愈合标准后，完全拆除外固定连接杆正常生活 2 周，骨折处无形变，无纵向叩击痛，拆除外固定器，针孔愈合后用夹板保护 3~4 周。

1.5 力学分担比测试方法 根据 AO 原则，在软骨痂形成末期，其产生的稳定性足以对抗短缩畸形，但骨折端的成角仍可发生^[6]，故在外固定后，经正侧位 X 线片复查，当骨折断端有连续性骨痂连接时，即可行外固定器轴向力学分担比测量^[7]。测试时将 3 个拉压力传感器（图 1）通过外固定环均等安装于小腿四周（图 2）^[8-9]，以红外线连接电脑并打开配套测试程序，勾选与拉压力测试头相对应的 3 个测试通道。患肢踩在重力秤上身体逐渐倾斜踩其自身体重的 40%、50%、60%，稳定后记录拉压传感器数值，此数值是三个拉压传感



图 1 拉压传感器、电源、红外线发射器



图 2 于外固定器骨折远近端连接拉压传感器

器压力的总和（图 3）。传感器连接过程中需保持远近端两个环的平行，以避免其他方向的力对传感器的影响，环不平行可用角度校正器校正，若为单臂等无环结构可在无张力条件下改为环结构再行测试。最后根据公式计算患者外固定器轴向载荷力学分担比，公式： $(\text{传感器总测试值} - \text{传感器初试值}) / \text{踩的重量 (kg)} \times 100\%$ ^[10]，将三次不同负重情况下的测量结果取平均值，即是外固定器所承受力学分担比。患者站立踩秤过程中尽量避免波动产生冲量以减少误差，站立踩秤时应使测试患肢与地面保持垂直以减少轴向骨痂刚度测量的误差，测量时允许患者扶助行器等保持平衡防止跌倒等意外发生。为减少误差，多次测量应保证每次测量均与第一次测量传感器连接方式一致。

1.6 动力化方法 在骨折间接愈合或二期愈合过程中，断端间的相对微动可以刺激骨痂形成，加速骨折的愈合^[11]。实验和临床观察显示，骨折端纵向微动产生的压力可以促进骨的生长^[12-13]，而骨折端在旋转和剪切应力下的微动对骨折愈合是不利的^[14-15]。故外固定器轴向动力化促进骨折愈合是安全有效的。

1.7 统计学方法 采用 IBM SPSS 19.0 统计学软件进行分析。两组间计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示，两组间计量资料正态性检验用 W 检验可知，两组间符合正态分布，两组间方差齐性检验用 F 检验可知，两组间方差齐，组间比较采用独立样本 t 检验， $\alpha = 0.05$ ，以 $P < 0.05$ 具有统计学意义。

2 结果

所有患者均获随访，随访时间 4~12 个月，平均 6.5 个月。治疗期间两组患者均未出现外固定针断裂、松动，骨折移位及再骨折等并发症。观察组

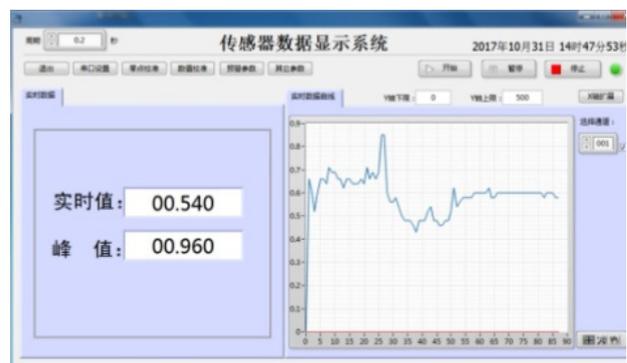


图 3 拉压传感器软件测试显示界面

除外 1 例骨搬运患者, 其余 49 例患者外固定术后 (15.9 ± 3.9) 周, 外固定轴向载荷分担比 $<10\%$, 轴向动力化外固定器 (6.5 ± 2.8) 周, 再次测试外固定器轴向载荷分担比 $<5\%$, 拆除外固定器连接杆, 正常生活 2 周后, 骨折处无形变、无纵向叩击痛后, 给予拆除外固定, 外固定器固定时间为 (24.4 ± 4.7) 周。对照组 50 例患者根据骨折临床愈合标准及医师经验拆除外固定器, 拆除前先拆除外固定器连接杆, 正常生活 2 周后, 骨折处无形变、无纵向叩击痛后, 再行拆除外固定器, 外固定器固定时间为 (29.3 ± 5.6) 周。观察组外固定器固定时间 (24.4 ± 4.7) 周较对照组使用时间 (29.3 ± 5.6) 周明显缩短, 差异具有统计学意义 ($t=4.70, P<0.05$)。两组患者在治疗期间针道感染、针道松动、固定针断裂、再骨折、足下垂、肌力减退等并发症无统计学差异 ($P>0.05$)。两组患者拆除外固定器后随访 8 周, 下肢完全负重, 恢复正常生活, 均无再骨折发生。1 例骨搬运患者第一

次测试结果 $<5\%$, 影像观察可见骨折断端连接 (图 4a, b), 在拆除外固定器连接杆观察期间, 拆除 1 d 后 X 线片复查显示: 骨折断端移位 (图 4c, d), 可能存在截骨端硬化影响轴向载荷力学分担比测量数值, 给予按拆除前数值恢复原骨折对位对线关系, Taylor 结构改为 Ilizarov 结构行轴向加压再动力化继续固定治疗, 现已基本愈合 (图 4e, f)。

3 讨论

随着高能量复杂创伤的日益增多以及外固定技术的逐渐成熟, 结合其具有微创、便于护理、不限制关节活动、可辅助关节早期功能锻炼等优点, 骨外固定器逐渐受到重视并成为创伤中心必备的骨科器械, 尤其是牵张成骨技术在肢体延长、关节矫形方便具有无可替代的作用^[16]。对于外固定器拆除问题, 我们遵循的原则是宁可晚拆 1 个月, 也不早拆 1 天^[17]。由于外固定器存在固定针松动与切割、针道炎性反应等不足之处, 再加上佩戴给患者带来诸多不便及心理压力, Terjesen 和

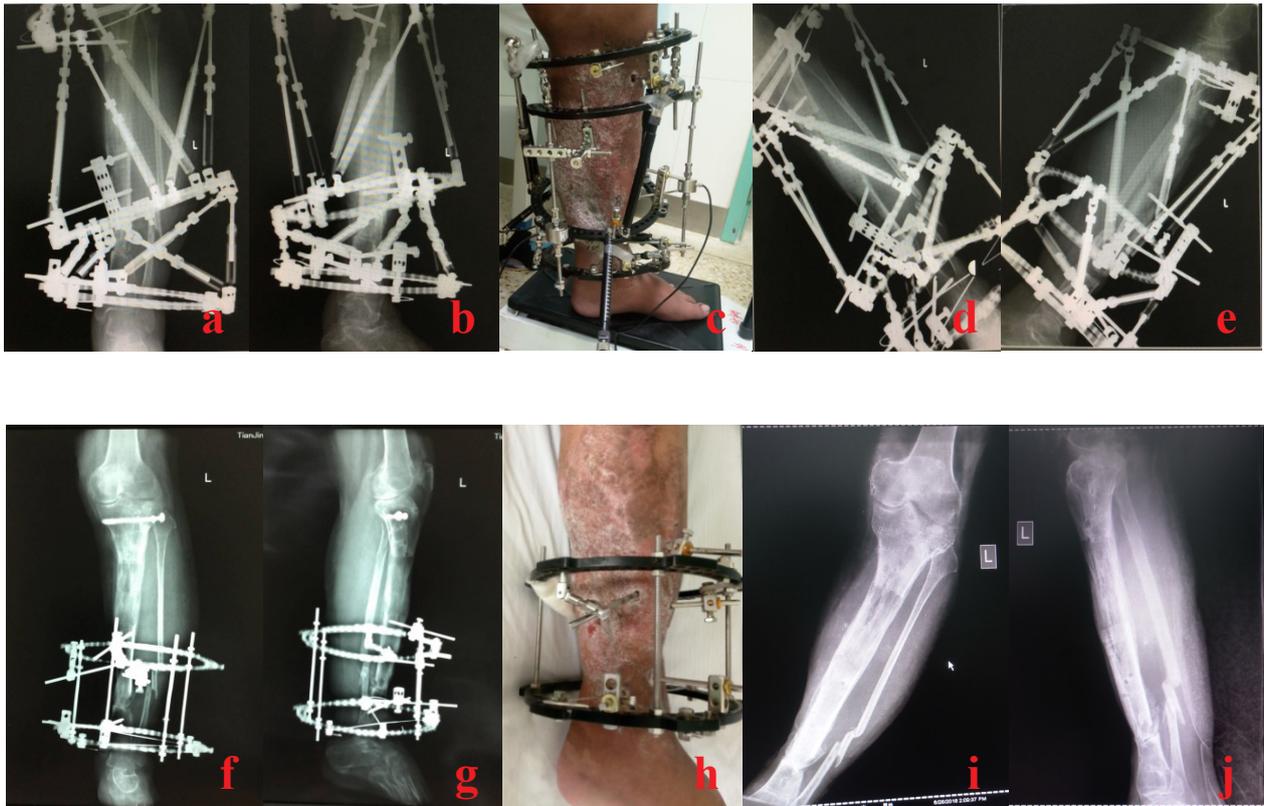


图 4 患者拆除小腿远端连接杆前 X 线片 (a, b); 患者准备行力学测试 (c); 患者拆除小腿远端连接杆 1 天后断端移位 X 线片 (d, e); 患者按原数值恢复骨折对位对线后, 拆除近端固定环, 远端 Taylor 结构改为 Ilizarov 结构轴向加压再动力化后 X 线片 (f, g); Taylor 结构改为 Ilizarov 结构图 (h); 愈合后取出内外固定 (i, j)

Benum^[18] 采用外固定器对兔胫骨截骨后骨折进行固定, 结果证实外固定器固定时间与应力遮挡作用成正比关系。因此, 外固定器的拆除不是越晚越好, 安全且尽可能早的拆除外固定器解除患者痛苦是临床医生面临的一个重要问题。目前, 医生通常根据患者临床表现及 X 线片判断外固定器的拆除时间, 但以上方法存在个人主观因素, 受个人临床经验影响很大, 拆除外固定器时间不是客观、量化的评判, 且骨折愈合后期不能得到轴向力学刺激, 导致外固定器拆除时间延长。因此, 轴向载荷分担比测量用于骨痂刚度的判定指导外固定器轴向动力化加速骨折愈合进程具有深远意义。轴向载荷分担比测量不增加患者痛苦及花费, 无需手术, 安全性高, 也无放射性暴露, 简单易操作, 是一种可以为外固定器动力化提供力学数据支持的方法。但测量过程中存在肌肉收缩对外固定器与骨骼轴向载荷力学分担比影响, 此影响将会产生较大误差, 文献中报道的坐立位测量^[8]也无法避免此影响, 这可能是导致此测量方法报道无后续研究报道的一个关键因素。目前, 我们团队为减少测量误差正进行测量方法的设计与改进。减少肌肉收缩对测量误差的影响, 可采用安装传感器于外固定环直接进行外固定器轴向载荷分担比测量, 但此方法需保证传感器连接杆与小腿骨干的平行, 西安红会医院乔峰团队设计的外固定器通过计算机先设计计算骨折复位数据再安装外固定器, 此外固定器可保证传感器连接杆与小腿骨干的平行, 运用此外固定器行力学分担比测量将极大的减少肌肉收缩产生的误差。为扩大分担比测量在外固定器类型中的使用范围, 可采用矫正远端固定环使其与小腿骨干垂直来保证测量的准确性, 但矫正过程繁琐不利于推广, 故设计一款万向矫正器以简化矫正过程是当务之急。若此矫正器设计出, 将可实现传感器在术中安装于外固定环, 术后可实现骨折愈合情况的动态监测, 将数字骨科推向新高度。

综上所述, 外固定器轴向载荷分担比力学测试指导外固定轴向动力化可以加速骨折愈合进程, 缩短骨折愈合时间, 尽快恢复骨骼的结构和功能。

参考文献:

[1] Mangukiya HJ, Mahajan NP, Pawar ED, et al. Functional and radiological outcome in management of compound tibia

diaphyseal fracture with AO monolateral fixator versus Limb reconstruction system[J]. *J Orthop*, 2018, 15(1):275-281.

- [2] Milenkovic S, Mitkovic M, & Mitkovic M. External fixation of segmental tibial shaft fractures[J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2018. doi: 10.1007/s00068-018-1041-5.
- [3] 秦泗河. 骨外固定技术的发展与创新[J]. *中医正骨*, 2012, 24(9):3-7.
- [4] 张弢, 孙振辉, 杜文君, 等. 骨外固定常见并发症的分析与处理[J]. *中华保健医学杂志*, 2008, 10(3):180-182.
- [5] 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.
- [6] Thomas P Rüedi, Richard E Buckley, Christopher G Moran. 骨折治疗的 AO 原则 [M]. 上海科学技术出版社, 2010. 102, 12.
- [7] 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.
- [8] Aarnes GT, Steen H, Kristiansen LP, et al. Optimum loading mode for axial stiffness testing in limb lengthening[J]. *J Orthop Res*, 2006, 24(3):348-354.
- [9] Aarnes GT, Steen H, Kristiansen LP, et al. Tissue response during monofocal and bifocal leg lengthening in patients[J]. *J Orthop Res*, 2002, 20(1):137-141.
- [10] Aarnes GT, 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.
- [11] 葛启航, 万春友, 刘亚北, 等. 胫腓骨开放骨 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(8):931-935.
- [12] Steiner M, Claes L, Ignatius A, et al. Numerical Simulation of Callus Healing for Optimization of Fracture Fixation Stiffness[J]. *PLoS One*, 2014, 9(7):e101370.
- [13] Yu X, Guo Y, Kang Q, et al. Effects and mechanisms of mechanical stress on secondary fracture healing[J]. *Front Biosci*, 2013, 18(3):1344-1348.
- [14] Steiner M, Claes L, Ignatius A, et al. Disadvantages of interfragmentary shear on fracture healing—mechanical insights through numerical simulation[J]. *J Orthop Res*, 2014, 32(7):865-872.
- [15] 徐振东, 刘曦明. 微动促进骨折愈合的机制及临床应用研究现状[J]. *创伤外科杂志*, 2017, 19(3):228-230+234.
- [16] 张锴, 柴益民, 秦泗河. 骨折穿针外固定[J]. 2015. 4-6.
- [17] 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, (12):1050-1056.
- [18] Terjesen T, Benum P. Stress-Protection After External Fixation on the Intact Rabbit Tibia[J]. *Acta Orthop Scand*, 1983, 54(4):648-54.

(收稿: 2018-07-03 修回: 2019-01-15)

(责任编辑: 李秀兰)