

外固定器轴向载荷分担比测试在 Taylor 空间支架外固定治疗胫腓骨开放性骨折中的应用

张伟业¹, 万春友², 张涛², 王明杰², 刘钊², 张宁宁², 赵远航¹

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

摘要 **目的:**探讨外固定器轴向载荷分担比测试在 Taylor 空间支架外固定治疗胫腓骨开放性骨折中的应用价值。**方法:**胫腓骨开放性骨折患者 60 例,按照入组顺序随机分为力学测试组和常规方法组,每组 30 例。2 组患者均由同一组医师行 TSF 外固定手术治疗。力学测试组患者于术后 12 周 X 线片显示骨折端有连续性骨痂连接时,开始行外固定器轴向载荷分担比测试,每 2 周测试 1 次。当外固定器轴向载荷分担比为 5% ~ 10% 时,每日在非完全负重下松开 TSF 的 6 根连接杆上的各个关节,患者扶拐活动 30 min 给骨折断端加压,然后在完全负重下紧固 TSF 各关节。当外固定器轴向载荷分担比 < 5% 时,松开 TSF 各关节,在每日锻炼 30 min 的基础上适度增加锻炼时间,锻炼后不再紧固 TSF 各关节,即模拟拆架。模拟拆架 2 周后,外固定器轴向载荷分担比仍 < 5%、X 线片示骨折端无移位,且患者局部无疼痛、热、肿等表现时,拆除 TSF。常规方法组患者术后按照常规方法,根据骨折愈合时间、影像学检查结果以及临床医师经验评价骨折愈合程度,骨折达到临床愈合标准时拆除 TSF。记录 2 组患者的 TSF 固定时间、骨折愈合时间,随访观察并发症发生情况。**结果:**2 组患者均获随访,随访时间 4 ~ 13 个月,中位数 8 个月。力学测试组患肢轴向载荷分担比降至 5% ~ 10% 的时间为 (19.57 ± 1.95) 周、降至 5% 以下的时间为 (23.07 ± 2.26) 周,TSF 固定时间短于常规方法组 $[(24.67 \pm 1.42)$ 周, (33.47 ± 2.63) 周; $t = 15.851, P = 0.000$]。2 组患者骨折均愈合,力学测试组骨折愈合时间短于常规方法组 $[(20.90 \pm 2.48)$ 周, (31.2 ± 2.79) 周; $t = 14.869, P = 0.000$]。力学测试组术后发生针道感染 2 例、骨折延迟愈合 2 例(愈合时间分别为 30 周、32 周),常规方法组术后并发针道感染 3 例、骨折延迟愈合 4 例(愈合时间分别为 37 周、37 周、40 周、41 周),针道感染者均经换药等处理后针道愈合;均未发生外固定架松动、断裂及骨折移位、再骨折等并发症;2 组患者并发症发生率比较,差异无统计学意义($\chi^2 = 1.002, P = 0.317$)。**结论:**采用 TSF 外固定治疗胫腓骨开放性骨折,术后根据外固定器轴向载荷分担比的测试结果逐步拆除外固定架,可缩短 TSF 固定时间和骨折愈合时间,安全可靠。

关键词 胫骨骨折;骨折,开放性;骨折固定术;生物力学;Taylor 空间支架;轴向载荷

Application of axial load sharing ratio test on external fixator to the surgery of Taylor spatial frame external fixation for treatment of open tibiofibular fractures

ZHANG Weiye¹, WAN Chunyou², ZHANG Tao², WANG Mingjie², LIU Zhao², ZHANG Ningning², ZHAO Yuanhang¹

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

2. Tianjin Hospital, Tianjin 300211, China

ABSTRACT **Objective:** To explore the applied values of axial load sharing ratio test on external fixator in the surgery of Taylor spatial frame (TSF) external fixation for treatment of open tibiofibular fractures. **Methods:** Sixty patients with open tibiofibular fractures were selected and randomly divided into mechanical test group and conventional method group according to their enrolled sequence, 30 cases in each group. The surgeries of TSF external fixation were performed on patients in the 2 groups by the same group of surgeons. The axial load sharing ratio tests were performed on patients in mechanical test group when continuous bony callus were found at the broken ends on X-ray films at 12 weeks after the surgery. The tests were performed every other week. The joints on the 6 connecting rods of TSF were loosened every day under the premise of partial weight-bearing when the axial load sharing ratio reached 5% - 10%, and the patients were asked to walk with crutches for 30 minutes for compressing the broken ends, and then all joints of TSF were tightened under the premise of full weight-bearing. The joints on the 6 connecting rods of TSF were loosened when the axial load sharing ratio was < 5%, and the everyday exercise time was moderately increased. After the exercises, the joints of TSF were no longer tightened, in other words, the simulated removal of TSF was performed. After 2-week simulation, the TSF was removed when the axial load sharing ratio was < 5% and no displacement of broken ends on X-ray films and regional pain, heat and swelling were found. The TSFs were removed from patients in conventional method

group when the fracture healing reached the clinical healing standards according to fracture healing time, imaging examination results and experience of clinicians. The TSF fixation time and fracture healing time were recorded and compared between the 2 groups. The patients were followed up and the complication incidences were observed and compared between the 2 groups. **Results:** All patients in the 2 groups were followed up for 4–13 months with a median of 8 months. The axial load sharing ratio of TSF decreased to 5%–10% in 19.57 ± 1.95 weeks and decreased to <5% in 23.07 ± 2.26 weeks respectively in mechanical test group. The TSF fixation time was shorter in mechanical test group compared to conventional method group (24.67 ± 1.42 vs 33.47 ± 2.63 weeks, $t = 15.851$, $P = 0.000$). All fractures healed in the 2 groups, and the fracture healing time was shorter in mechanical test group compared to conventional method group (20.90 ± 2.48 vs 31.2 ± 2.79 weeks, $t = 14.869$, $P = 0.000$). The postoperative pin hole infection was found in 2 patients in mechanical test group and 3 patients in conventional method group, and the delayed union of fracture was found in 2 patients (the fracture healing time was 30 and 32 weeks respectively) in mechanical test group and 4 patients (the fracture healing time was 37, 37, 40 and 41 weeks respectively) in conventional method group. The pin hole healed after dressing change. No complications such as loosening or breakage of external fixators, fracture displacement and refracture were found in the 2 groups. There was no statistical difference in complication incidences between the 2 groups ($\chi^2 = 1.002$, $P = 0.317$). **Conclusion:** Gradual TSF removal under the guidance of axial load sharing ratio test on TSF can shorten TSF fixation time and fracture healing time in treatment of open tibiofibular fractures, and it is safe and reliable.

Keywords tibial fractures; fractures, open; fracture fixation; biomechanics; Taylor spatial frame; axial load

由于胫腓骨位置表浅且软组织覆盖薄弱, 遭受高能量暴力后易发生开放性骨折^[1]。因常合并严重的软组织损伤, 胫腓骨开放性骨折的感染率高达 40%, 常并发骨折延迟愈合或不愈合^[2-3]。较高的感染等并发症发生率, 给此类损伤的治疗带来了极大的挑战, 使切开复位内固定手术在临床上的应用受限^[4]。Taylor 空间支架 (Taylor spatial frame, TSF) 外固定治疗胫腓骨开放性骨折, 具有手术时间短、软组织损伤小、术中出血少和骨折复位精确、愈合速度快等优点^[5-6]。但佩戴 TSF 对患者生活质量影响较大, 佩戴时间过长容易发生外固定器松动、针道感染等并发症^[7]。及早拆除外固定器有利于避免这些并发症的发生, 但拆除时机目前主要依据患者临床症状、体征、影像学检查结果以及术后时间来综合判断, 尚无明确的量化指标。外固定器轴向载荷力学测试可以在患者平稳负重时分析外固定器及骨折端骨痂的载荷分担比, 给出具体量化数据以指导外固定器拆除时机的选择。雍炜等^[8]的研究表明当外固定器轴向载荷分担比 <10% 时, 去除轴向固定, 进行动力化骨外固定, 可有效促进骨折愈合。但目前关于 TSF 外固定治疗胫腓骨开放性骨折进行外固定器轴向载荷分担比力学测试的研究较少。2016 年 2 月至 2017 年 12 月, 笔者采用 TSF 外固定治疗胫腓骨开放性骨折患者 60 例, 术后分别采用轴向载荷分担比测试和常规方法决定外固定架拆除时机, 并对 2 种方法的临床疗效和安全性进行了比较, 现报告如下。

1 临床资料

1.1 一般资料 胫腓骨开放性骨折患者 60 例, 均为天津市天津医院住院患者。男 49 例, 女 11 例; 年龄 19~68 岁, 中位数 42 岁; 骨折 AO 分型^[9], A 型 15 例、B 型 31 例、C 型 14 例; 骨折 Gustilo 分型^[10], I 型 23 例、II 型 37 例。致伤原因: 交通事故伤 33 例, 坠落伤 17 例, 其他伤 10 例。骨折至手术时间 1~28 d, 中位数 9 d。本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年龄 >18 岁; ②单侧胫腓骨开放性骨折; ③Gustilo 分型 I 型或 II 型; ④对本研究方案知情同意, 并签署知情同意书。

1.3 排除标准 ①合并有严重的心脑血管疾病者; ②合并严重的肝肾功能障碍者; ③病理性骨折者; ④依从性差者。

2 方法

2.1 分组方法 共纳入胫腓骨开放性骨折患者 60 例, 按照入组顺序随机分为力学测试组和常规方法组, 每组 30 例。

2.2 手术方法 2 组患者均由同一组医师完成手术。采用蛛网膜下腔联合持续硬膜外阻滞麻醉, 患者仰卧位, 垫高患肢。在 C 形臂 X 线机透视下轴向牵引患肢, 纠正骨折端的短缩、成角和旋转移位。C 形臂 X 线机透视下确认骨折复位满意后, 分别在骨折远、近端各套入 1 个全环, 并在近端加 1 个 2/3 或 3/4 环, 在骨折两端距骨折线 ≥ 2 cm 处垂直于胫骨解剖

轴各交叉打入 2 枚全针或橄榄针,并根据骨折线长度选择合适的 TSF 连接杆。X 线透视下调整外固定支架,尽量达到骨折解剖复位。骨折粉碎严重、闭合复位困难者,在骨折处切开复位骨折后,用克氏针临时固定骨折块,使粉碎性骨折成为相对简单的骨折,最大限度地恢复胫腓骨干的管状形态^[11-12],然后 TSF 固定。皮肤缺损面积较大者,TSF 固定后行游离皮瓣移植,或行负压封闭引流,二期皮瓣移植。

2.3 术后处理

2.3.1 力学测试组 术后 12 周 X 线片示骨折端有连续性骨痂连接时,开始行外固定器轴向载荷分担比测试^[13],每 2 周测试 1 次。当患肢完全负重下外固定器轴向载荷分担比为 5% ~ 10% 时,每日进行 1 次动力化处理,即在非完全负重下去除轴向应力(松开 TSF 的 6 根连接杆上的关节),患者扶拐活动 30 min 给骨折断端加压,然后再在患肢完全负重下紧固 TSF 各关节。当患肢完全负重下外固定器轴向载荷分担比 < 5% 时,松解 TSF 各关节,在每日锻炼 30 min 的基础上适度增加锻炼时间,锻炼后不再紧固 TSF 各关节,即模拟拆架。模拟拆架 2 周后,患肢完全负重下外固定器轴向载荷分担比仍 < 5%、X 线片示骨折端无移位,且患者局部无疼痛、热、肿等表现时,拆除 TSF(上述标准中的任 1 项达不到者,继续模拟拆架下的锻炼和外固定器轴向载荷分担比测试,待完全达到上述标准时再拆除 TSF)。针孔愈合后夹板外固定保护 3 ~ 4 周。

2.3.2 常规方法组 术后按照常规方法,根据骨折愈合时间、影像学检查结果及临床医师经验评价骨折愈合程度,骨折达到临床愈合标准时拆除 TSF。

2.4 轴向载荷分担比测试方法 测试时将 6 个万向矫正器[图 1(1)]两两配对均匀安装在外固定环

上[图 1(2)],3 个拉压传感器[图 1(3)]通过外固定环安装于患肢小腿四周[图 1(4)],将传感器连接电脑并打开配套软件,勾选与传感器相对应的 3 个测试通道,记录 3 个拉压传感器的初始值。患肢踩在体重秤上分别施力至患者自身体重的 40%、50%、60%,记录患肢踩重值(体重秤显示值)和不同踩重时 3 个拉压传感器压力的总和(传感器总测试值)。根据公式外固定器轴向载荷分担比 = (传感器总测试值 - 传感器初始值)/患肢踩重值 × 100%^[14],计算患肢不同踩重时外固定器轴向载荷分担比,取 3 次结果的平均值。

2.5 疗效和安全性评价方法 记录 2 组患者的 TSF 固定时间、骨折愈合时间,随访观察并发症发生情况。

2.6 数据统计方法 采用 SPSS25.0 统计软件处理数据。2 组患者年龄、TSF 固定时间、骨折愈合时间的组间比较均采用 *t* 检验;性别、致伤原因、骨折分型、并发症发生率的组间比较均采用 χ^2 检验;检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

3 结果

3.1 分组结果 2 组患者基线资料比较,差异均无统计学意义,具有可比性(表 1)。

3.2 疗效和安全性评价结果 2 组患者均获随访,随访时间 4 ~ 13 个月,中位数 8 个月。力学测试组患者外固定器轴向载荷分担比降至 5% ~ 10% 的时间为 (19.57 ± 1.95) 周、降至 5% 以下的时间为 (23.07 ± 2.26) 周,TSF 固定时间短于常规方法组 [(24.67 ± 1.42) 周, (33.47 ± 2.63) 周; *t* = 15.851, *P* = 0.000]。2 组患者骨折均愈合,力学测试组骨折愈合时间亦短于常规方法组 [(20.90 ± 2.48) 周, (31.2 ± 2.79) 周; *t* = 14.869, *P* = 0.000]。力学测试组术后发生针道感染 2 例、骨折延迟愈合 2 例(愈合时间分别为 30 周、

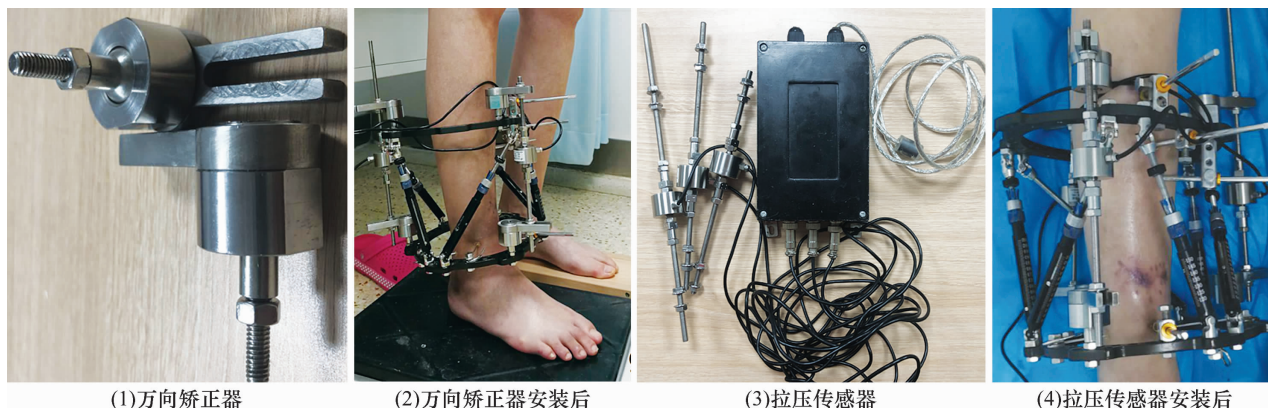


图 1 外固定器轴向载荷分担比测试图片

表 1 2 组开放性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)	致伤原因(例)			AO 分型(例)			Gustilo 分型(例)	
		男	女		交通事故	坠落	其他	A 型	B 型	C 型	I 型	II 型
力学测试组	30	25	5	43.03 ± 13.82	18	7	5	8	15	7	13	17
常规方法组	30	24	6	42.10 ± 14.46	15	10	5	7	16	7	10	20
检验统计量		$\chi^2 = 0.111$		$t = 0.311$	$\chi^2 = 0.802$			$\chi^2 = 0.099$			$\chi^2 = 0.635$	
P 值		0.739		0.747	0.670			0.952			0.426	

32 周), 常规方法组术后并发针道感染 3 例、骨折延迟愈合 4 例(愈合时间分别为 37 周、37 周、40 周、41 周), 针道感染者均经换药等处理后针道愈合; 均未发生外固定架松动、断裂及骨折移位、再骨折等并发症; 2 组患者并发症发生率比较, 差异无统计学意义($\chi^2 = 1.002, P = 0.317$)。典型病例图片见图 2。



患者, 男, 40 岁, 交通事故致右侧胫腓骨中下段开放性骨折

图 2 Taylor 空间支架外固定治疗胫腓骨开放性骨折手术前后双下肢全长 X 线片

4 讨 论

高能量损伤所致的胫腓骨开放性骨折多合并严重的软组织损伤, 开放创面污染十分严重, 若治疗不当极易出现创面感染、骨髓炎、骨折延迟愈合等并发症^[15]。严重的感染给胫腓骨骨折的治疗带来了很大的难度, 在一定程度上限制了传统切开复位钢板内固定的应用, 故临床上胫腓骨开放性骨折常选用外固定

架外固定治疗^[16]。

TSF 是对 Ilizarov 外固定系统的改良, 它由 2 个环和 6 根带刻度的可伸缩连接杆组成, 调节其中任何一个连接杆, TSF 的一个环可相对于另一个环改变空间位置, 即可进行冠状面、矢状面和轴向的移动和角度调整^[17]。由于可缩短手术时间、减少骨折端血运的破坏^[18], 且有利于骨折愈合及患肢功能恢复^[19], TSF 外固定在骨科领域有着广泛的应用^[20-21]。采用 TSF 治疗胫腓骨骨折是一种微创、经济、有效的治疗方式^[22-23]。胫腓骨骨折固定后易发生再骨折, 临床医生对拆除外固定的时间非常谨慎, 有“宁可多戴 1 个月也不早拆 1 天”的说法^[24]。对于 TSF 的拆除时机, 临床上也一直存在很大的争议。当外固定器的轴向载荷分担比 < 10% 时, 骨折端骨痂的刚度可达到正常松质骨水平, 此时骨痂的载荷分担比 > 90%^[25]。Aarnes 等^[14]提出应以外固定器轴向载荷分担比 < 10%, 为安全拆除外固定器的标准。本研究采用外固定器轴向载荷分担比 5% ~ 10% 时在非完全负重下去除轴向应力并给骨折断端加压、外固定器轴向载荷分担比 < 5% 时模拟拆架的方法, 逐步完成 TSF 的拆除, 该方法有以下优点: ①根据外固定器轴向载荷分担比测试结果, 调整外固定支架, 可促进骨折愈合, 缩短带架时间; ②量化骨痂强度, 有利于选择安全的拆架时机, 避免再骨折。外固定器轴向载荷分担比测试应用于 TSF 治疗胫腓骨开放性骨折注意事项: ①术后 X 线片显示骨折端有连续性骨痂连接时, 才能开始测试; ②测试仪器应安装规范, 尽量减小测试误差; ③传感器连接过程中需保持 TSF 远近端 2 个环的平行, 以避免其他方向的力对传感器的影响; ④测试中应适度踩重, 避免用力过大造成再骨折; ⑤测量时允许患者扶助行器等保持平衡, 以防止发生跌倒等意外。

本研究结果表明, 采用 TSF 外固定治疗胫腓骨开放性骨折, 术后根据外固定器轴向载荷分担比的测量结果逐步拆除外固定架, 可缩短 TSF 固定时间和骨折愈合时间, 安全可靠。

5 参考文献

- [1] PENN - BARWELL J G, BENNETT P M, FRIES C A, et al. Severe open tibial fractures in combat trauma: management and preliminary outcomes [J]. Bone Joint J, 2013, 95 - B(1) : 101 - 105.
- [2] MANGUKIYA H J, MAHAJAN N P, PAWAR E D, 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.
- [3] UZEL A P, LEMONNE F, CASOLI V. Tibial segmental bone defect reconstruction by Ilizarov type bone transport in an induced membrane [J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2010, 96(2) : 194 - 198.
- [4] YE D, XU Y, ZHANG H, et al. Effects of low - dose microwave on healing of fractures with titanium alloy internal fixation: an experimental study in a rabbit model [J]. PLoS One, 2013, 8(9) : e75756.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] LEE C K, CHUA Y P, SAW A. Antimicrobial gauze as a dressing reduces pin site infection: a randomized controlled trial [J]. Clin Orthop Relat Res, 2012, 470(2) : 610 - 615.
- [8] 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.
- [9] 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 - 62.
- [10] GUSTILO R B, MENDOZA R M, WILLIAMS N. Problems in the management of type III (severe) open fractures: a new classification of type III open fractures [J]. J Trauma, 1984, 24(8) : 742 - 746.
- [11] 万春友, 金鸿宾, 张金利, 等. 胫腓骨复杂骨折固定研究进展 [J]. 中国矫形外科杂志, 2009, 17(12) : 918 - 920.
- [12] SHARMA H, NUNN T. Conversion of open tibial III b to III a fractures using intentional temporary deformation and the Taylor Spatial Frame [J]. Strategies Trauma Limb Reconstr, 2013, 8(2) : 133 - 140.
- [13] 刘钊, 万春友, 张涛, 等. 轴向载荷分担比测试辅助 Taylor 空间支架治疗胫腓骨骨折的作用 [J]. 中华创伤杂志, 2019, 35(4) : 348 - 353.
- [14] 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.
- [15] 武富良, 柴占京, 李振龙. 3 种固定方法治疗开放性胫骨骨折 [J]. 中医正骨, 2015, 27(3) : 46 - 48.
- [16] REN T, DING L, XUE F, et al. Risk factors for surgical site infection of pilon fractures [J]. Clinics, 2015, 70(6) : 419 - 422.
- [17] HENDERSON D J, RUSHBROOK J L, HARWOOD P J, et al. What are the biomechanical properties of the taylor spatial frame? [J]. Clin Orthop Relat Res, 2017, 475(5) : 1472 - 1482.
- [18] 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.
- [19] 张宁宇, 万春友, 张涛, 等. Taylor 空间支架治疗胫腓骨中下段骨折疗效观察 [J]. 中国修复重建外科杂志, 2018, 32(8) : 1012 - 1017.
- [20] ZENIOS M. The use of the taylor spatial frame for the treatment of unstable tibial fractures in children [J]. J Orthop Trauma, 2013, 27(10) : 563 - 568.
- [21] MANNER H M, HUEBL M, RADLER C, et al. Accuracy of complex lower - limb deformity correction with external fixation: a comparison of the Taylor Spatial Frame with the Ilizarov ring fixator [J]. J Child Orthop, 2007, 1(1) : 55 - 61.
- [22] 张洪亮, 万春友, 张涛, 等. 转换 Taylor 空间支架治疗胫腓骨骨折单臂外固定术后对位不良 [J]. 中国矫形外科杂志, 2019, 27(14) : 1316 - 1320.
- [23] 曹海鲲, 万春友, 姚辉, 等. 计算机辅助 Taylor 空间支架治疗开放性胫腓骨骨折 [J]. 中国矫形外科杂志, 2019, 27(4) : 331 - 335.
- [24] 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.
- [25] 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.

(收稿日期: 2019-08-01 本文编辑: 杨雅)