

手风琴技术用于骨搬运治疗胫骨骨缺损

彭瑞健, 张永红, 李晓辉, 石华南, 卢炎君, 杨奇
(山西医科大学第二医院骨科, 山西 太原 030000)

【摘要】 目的: 分析 Ilizarov 技术治疗胫骨大段骨缺损时加用“手风琴技术”的临床治疗效果。方法: 2014 年 1 月至 2016 年 6 月采用 Ilizarov 骨搬运技术治疗胫骨大段骨缺损患者 22 例, 男 19 例, 女 3 例; 年龄 23~60 岁, 平均 44.04 岁; 骨搬运前骨缺损长度 5~11 cm, 平均 7.68 cm; 14 例交通事故, 3 例摔伤, 4 例砸伤, 1 例高处跌落; 左侧 6 例、右侧 16 例。分成两组, 手风琴组搬移结束后实施手风琴技术 11 例, 对照组搬移结束后外架锁定等待矿化 11 例。两组患者均获得随访, 随访时间 18~36 个月, 平均 27.9 个月。两组患者性别、年龄、骨缺损的长度比较, 差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。分析愈合时间、愈合指数等指标, 并采用 Paley 等方法评价骨愈合和患肢功能恢复的治疗效果。结果: 两组 X 线评价均达到骨性愈合; 手风琴组: 骨愈合时间 (365 ± 91) d, 愈合指数 (46.2 ± 3.5) d/cm; 对照组: 愈合时间 (435 ± 108) d, 愈合指数 (57.8 ± 3.5) d/cm; 两组骨愈合时间比较, 差异无统计学意义 ($t=1.648$; $P=0.115$); 两组骨愈合指数比较, 差异有统计学意义 ($t=7.754$, $P=0.000$)。末次随访时依据 Paley 评价标准评价疗效: 实验组优 9 例, 良 2 例; 对照组优 8 例, 良 3 例; 两组比较差异无统计学意义 ($Z=-0.479$, $P=0.619$)。并发症: 钉道感染: 手风琴组 9 例, 对照组 10 例; 局部牵拉痛: 手风琴组 2 例, 对照组 1 例; 轴向偏移 $>10^\circ$: 手风琴组 4 例, 对照组 3 例; 骨缺损汇合端对位差: 手风琴组 3 例; 对照组 2 例; 两组并发症比较差异无统计学意义 ($P>0.05$)。结论: Ilizarov 骨搬运技术治疗胫骨骨缺损时加用“手风琴技术”操作后可缩短治疗时间和矿化时间, 提高愈合指数。

【关键词】 伊利扎罗夫技术; 胫骨骨折; 骨缺损

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2018.09.009

Accordion operation for the bone transport in treating tibial bone defect PENG Rui-jian, ZHANG Yong-hong, LI Xiaohui, SHI Hua-nan, LU Yan-jun, and YANG Qi. Department of Orthopaedics, Shanxi Medical University, Taiyuan 030000, Shanxi, China

ABSTRACT Objective: To discuss clinical outcomes of accordion operation for the Ilizarov technique in treating tibial bone defects. **Methods:** From January 2014 to June 2016, 22 patients with tibial bone defects were treated by Ilizarov bone-transport technique, including 19 males and 3 females with an average age of 44.04 years old ranging from 23 to 60 years old; the length of the bone defects before the bone transport was 5 to 11 cm with an average 7.68 cm; Cause of injury involved traffic accidents in 14 cases, fall injury in 3, smashing injury in 4, high drop injury in 1; 6 cases were on the left and 16 cases were on the right. The patients were divided into two groups: 11 cases in accordion group were treated by "accordion operation" after bone transport was completed; 11 cases in control group were treated by the external fixator locked waiting for bone consolidation after bone transport was completed. All patients were followed up for 18 to 36 months with an average time of 27.9 months. There was no statistical significance between two groups, such as sex, age, length of bone defect ($P>0.05$). Analysis of healing time, healing index and other indicators, and Paley's criterion was used to evaluate the healing effect of bone healing and function recovery of the limb. **Results:** The result of X-ray evaluation was all patients achieved bone healing. In accordion group, the bone healing time was (365 ± 91) days, the bone healing index was (46.2 ± 3.5) d/cm; in control group, the bone healing time was (435 ± 108) days, the bone healing index was (57.8 ± 3.5) d/cm. There was no statistical significance in the bone healing time between the two groups ($t=1.648$, $P=0.115$); There was statistical significance in the bone healing index between the two groups ($t=7.754$, $P=0.000$). At the final follow-up, according to Paley's criterion, the result in accordion group was excellent in 9 cases, good in 2 cases; in control group, excellent in 8 cases, good in 3 cases. Score was not statistically significant ($z=-0.479$, $P=0.619$). Complications involved nail infection (9 cases in accordion group, 10 cases in control group); local traction pain (2 cases in accordion group, 1 case in control group); axial malalignment $>10^\circ$ (4 cases in accordion group, 3 cases in control group); location difference of the junction of bone defects (3 cases in accordion group, 2 cases in control group); Com-

基金项目: 山西省回国留学人员科研资助项目(编号: 2015-104)

Fund program: Research Project Supported by Shanxi Scholarship Council of China (No. 2015-104)

通讯作者: 张永红 E-mail: 252006344@qq.com

Corresponding author: ZHANG Yong-hong E-mail: 252006344@qq.com

plications were not statistically significant ($P>0.05$). **Conclusion:** Accordion operation for the Ilizarov technique in treating tibial bone defects can shorten the treatment time and consolidation time, and improve the healing index.

KEYWORDS Ilizarov technique; Tibial fractures; Bone defect

Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2018, 31(9): 824-828 www.zggszz.com

传统骨科医师治疗骨缺损时多采用植骨内固定术,但对于大段骨缺损植骨术不能很好地解决,疾病给患者、家庭和社会带来了沉重的负担。现采用牵拉成骨技术(DO)可以很好地满足大段骨缺损的治疗,伴随也出现了一些相关的问题,如治疗周期长、成骨质量差、针道感染等。临床医师试图寻找一种方法,可以相对缩减治疗时间、加速新生骨的矿化、提升成骨质量。现有用于改善组织牵拉后成骨质量的方法,如全身或局部施用药物诱导加速骨的形成,但是由于临床监管控制,高的成本和不确定治疗效果,大多数难以应用于临床环境^[1]。“手风琴技术”是从 Ilizarov 技术中衍生出的用于交替压缩—牵拉的微创治疗方法,被证明可加速骨愈合并防止延迟愈合或不愈合^[2-3],在骨形成的过程中,轴向微动促进成骨和早期骨愈合^[4-5],同时患肢的重量、轴向压缩和外固定架装置能施加轴向压缩力,可以潜在地加速牵拉成骨中新生骨的矿化^[6-9]。我院自 2014 年 1 月至 2016 年 6 月对 22 例患者实施 Ilizarov 骨搬运技术治疗胫骨骨缺损,报告如下。

1 资料与方法

1.1 病例选择

纳入标准:(1)Ilizarov 技术治疗的胫骨骨缺损;(2)骨缺损 ≥ 5 cm;(3)年龄 20~60 岁;(4)依从性好愿意配合治疗者。排除标准:(1)患有精神性疾病或不配合治疗者;(2)预计存活 < 6 年者;(3)并发可能影响手术效果的内科疾病者。

1.2 一般资料

2014 年 1 月至 2016 年 6 月采用 Ilizarov 骨搬运技术治疗胫骨骨缺损患者 22 例分成两组,手风琴组 11 例:骨搬运结束后实施“手风琴技术”操作;对照组 11 例:骨搬运结束后外架锁定等待矿化。接受骨搬运手术治疗前患肢已行 1~5 次手术治疗,平均 2.8 次。入院前的骨损伤部位固定材料为钛板者 13 例,组合外固定架者 9 例。手风琴组:男 10 例,女 1 例;年龄 28~60 岁;骨搬运前骨缺损长度 6~11 cm;交通事故 6 例,摔伤 3 例,砸伤 2 例;左侧 3 例,右侧 8 例;胫骨上段骨缺损 1 例,中段 3 例,下段 7 例。对照组:男 9 例,女 2 例;年龄 23~60 岁;骨搬运前骨缺损长度 5~10 cm;交通事故 8 例,高处跌落 1 例,砸伤 2 例;左侧 3 例,右侧 8 例;胫骨上段骨缺损 1 例,中段 4 例,下段 6 例。两组患者性别、年龄、骨缺损部位、搬运前测得骨缺损长度等基线资料比较,差异均

无统计学意义($P>0.05$),具有可比性(见表 1)。

表 1 两组 Ilizarov 骨搬运技术治疗胫骨骨缺损患者术前一般资料比较

Tab.1 Comparison of preoperative general data of two groups of Ilizarov bone transport technique for the treatment of tibial bone defects

组别	例数	性别(例)		年龄 ($\bar{x}\pm s$, 岁)	骨缺损长度 ($\bar{x}\pm s$, cm)
		男	女		
手风琴组	11	10	1	43.7 \pm 10.0	7.9 \pm 1.9
对照组	11	9	2	41.7 \pm 10.3	7.4 \pm 1.4
检验值	-	$\chi^2=0.385$		$t=0.842$	$t=0.623$
P 值	-	0.534		0.464	0.204

1.3 手术方法

患肢装有组合外固定架的患者术前预先拆除外固定架。麻醉下常规消毒、铺单。患肢安置 Ilizarov 环形骨搬运外固定架,胫骨外固定架为远近段各 2 环,中间 1 环固定搬运骨段的 5 环构型。已并发马蹄足畸形者加装矫形足环构型。骨缺损在中下段者在胫骨结节下做 1 cm 长的切口,骨缺损于上段者在胫骨中段做 1 cm 长的切口,行微创的闭合的横行的截骨后关闭小切口。有钛板固定者拆除钛板,扩创,彻底切除伤口内感染的骨段和坏死、感染的组织,大量生理盐水(约 10 L)缓慢冲洗创口。术中判断感染严重者,抗生素骨水泥制成直径 6~10 mm 的小珠,并穿成链珠,填塞于骨缺损处的断端间;术中判断轻者,纱布填塞骨缺损处的断端间,部分闭合创口。

1.4 术后处理

术后第 2 天指导患者训练下肢肌肉力量及邻近关节的主被动活动。术后第 1 周指导患者下地站立,患肢由部分负重到全负重逐渐增加运动量。术后 4~7 d 出院。于病房教会患者及家属搬运技术,术后第 15 天起时通过外固定支架缓慢搬运,速度为每天延长 1 mm,分 4~6 次完成。每天用乙醇或生理盐水棉签擦拭针道口 4 次防感染。定期拍摄患肢 X 线片观察明确新生骨组织情况及搬运骨段对位对线情况。骨搬运时,定期门诊逐渐取出纱布或抗生素骨水泥链珠。对照组:搬运骨段搬运至骨缺损远端汇合后,加压后锁定外架并继续配戴外固定支架至骨愈合后拆除。手风琴组:搬运骨段搬运至骨缺损远端汇合后,实施“手风琴技术”操作(先压缩 1/2 的原骨

缺损长度—后牵拉搬移至骨缺损远近端汇合),速度与原骨搬运速度相同,“手风琴技术”操作完毕后于端汇合处加压锁定外架并继续佩戴外固定支架至骨愈合。骨搬运结束后定期复查 X 线片,评估搬运新生骨矿化及汇合处骨愈合的情况,骨愈合后换药室拆除环形外固定架,佩戴防护行走支具 1~3 个月,避免再骨折发生。患者在骨缺损骨段搬运未汇合时或手风琴技术操作未完成时,每 1~2 周门诊复查 1 次,以后每月门诊复查 1 次,同时留存随访结果。随访记录内容包括术后并发症、记录 X 线片上骨段搬运的对位对线情况、肢体的力线以及骨缺损汇合端及新生骨愈合情况;根据患者患肢功能、创口愈合情况,指导患者康复训练和治疗;根据患者具体情况,调整骨搬运方案。

1.5 观察项目与方法

观察术后并发症发生情况,如针道感染、牵拉痛、骨段在搬运过程中出现轴向偏移、血管或神经损伤、针道松动、足下垂畸形等;通过 X 线片评价骨缺损端愈合及新生骨矿化情况。记录患者骨愈合时间,并计算愈合指数(愈合指数=骨愈合时间/骨缺损长度;单位:d/cm)。

1.6 疗效评价方法

根据 Paley 等^[10]感染性骨缺损评价标准评估骨愈合情况:优,骨折愈合,无复发感染、局部畸形 $<7^\circ$ 、肢体等长 $<2.5\text{ cm}$;良:骨折愈合,以及复发感染、局部畸形 $<7^\circ$ 、肢体不等长 $<2.5\text{ cm}$,三者中发生任意 1 个;可,骨折愈合,以及复发感染、局部畸形 $<7^\circ$ 、肢体不等长 $<2.5\text{ cm}$,三者中发生任意 2 个;差:骨折未愈合或再骨折。

1.7 统计学处理

采取 SPSS 19.0 统计软件进行分析处理,定量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用独立样本 *t* 检验;定数资料比较采用 χ^2 检验,并发症比较采用 Fisher 精确检验,等级资料比较应用秩和检验。检验的水准 α 取双侧 0.05。

2 结果

2.1 一般随访结果

22 例病例均通过网络平台和门诊平台得到了满意的随访和治疗指导;随访时间 18~36 个月,平均 27.9 个月。骨缺损处创口或创面均未植皮或移植,搬运过程中自然愈合;创口闭合愈合时间:手风琴组 40~130 d,平均 72.3 d;对照组 40~110 d,平均 70.9 d。两组骨搬运新生骨组织及骨缺损汇合端生长良好, X 线评价达到骨性愈合,两组骨愈合时间和愈合指数结果见表 2,两组骨愈合时间比较差异无统计学意义($t=1.648, P=0.115$);两组骨愈合指数比较差异

有统计学意义($t=7.754, P=0.000$)。

表 2 两组 Ilizarov 骨搬运技术治疗胫骨骨缺损患者术后愈合时间和愈合指数比较

Tab.2 Comparison of preoperative general data of two groups of Ilizarov bone transport technique in the treatment of tibial bone defects

组别	例数	骨愈合时间($\bar{x}\pm s, d$)	骨愈合指数($\bar{x}\pm s, d/cm$)
手风琴组	11	365±91	46.2±3.5
对照组	11	435±108	57.8±3.5
<i>t</i> 值	-	1.648	7.754
<i>P</i> 值	-	0.115	0.000

未发生血管或神经损伤及明显的针道松动、足下垂畸形。针道炎性反应或感染 19 例(手风琴组 9 例,对照组 10 例),经对症处理均治愈;骨段搬运过程中局部出现牵拉痛 3 例(手风琴组 2 例,对照组 1 例),予以调整外固定架后症状消失;搬运的骨段在移动过程中出现轴向偏移 $>10^\circ$ 7 例(对照组 3 例,手风琴组 4 例),经外固定架调整后得到矫正。骨缺损汇合端对位差者,汇合处行清理加自体髂部松质骨植骨术,手风琴组 3 例植骨后愈合,对照组 2 例植骨后愈合。两组并发症比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。见表 3。

表 3 两组 Ilizarov 骨搬运技术治疗胫骨骨缺损患者并发症情况比较(例)

Tab.3 Comparison of complications of two groups of Ilizarov bone transport in treating tibial bone defects(case)

组别	例数	针道反应或感染	局部牵拉痛	搬运骨段力线问题	汇合端对位差
手风琴组	11	9	2	4	3
对照组	11	10	1	3	2
Fisher <i>P</i> 值	-	0.393	0.393	0.319	0.345

2.2 疗效评价结果

末次随访时依据 Paley 评价标准:手风琴组,优 9 例,良 2 例;对照组,优 8 例,良 3 例;两组骨缺损修复和骨愈合的疗效比较,差异无统计学意义($Z=-0.479, P=0.619$)。典型病例见图 1、2。

3 讨论

3.1 Ilizarov 技术和手风琴技术的进展

随着交通和现代化工业的快速发展,开放性骨折发生率越来越高,伴随而来的骨折术后皮肤软组织坏死、大段骨缺损、骨外露、骨感染患者也逐渐增多^[11-12]。研究表明开放性骨折后的深层感染率为

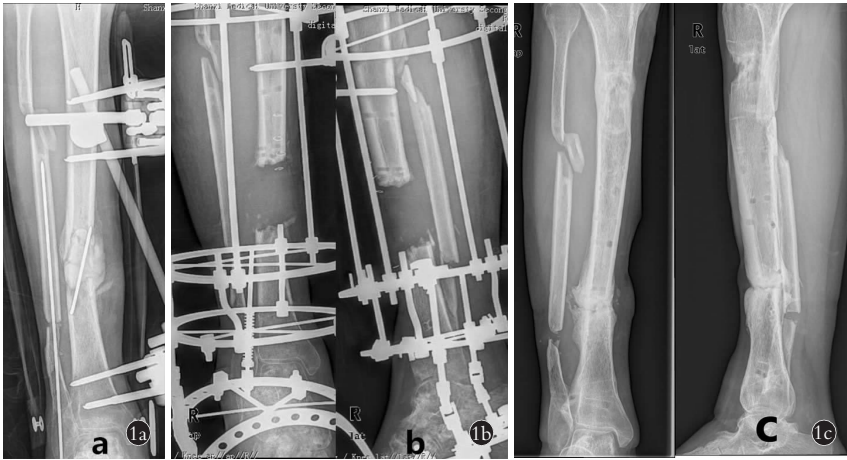


图 1 患者,男,34 岁,交通事故伤致右胫腓骨开放性骨折,对照组 **1a.** 术前正位 X 线片骨折术后骨缺损 **1b.** 骨段搬运术后第 2 天正侧位 X 线片术后骨缺损 5.0 cm **1c.** 骨段搬运术后 12 个月正侧位 X 线片外固定架拆除,骨延长区与骨断端愈合良好

Fig.1 A 34-year-old patient with open fracture of right tibia and fibula caused by traffic accident **1a.** AP X-ray showed bone defect after fracture operation **1b.** AP and lateral X-rays on the second day after bone-transport showed bone defect of 5.0 cm **1c.** AP and lateral X-rays at 12 months after bone-transport showed external fixator removal, bone extension area and bone fracture healing well



图 2 患者,女,35 岁,交通事故伤致左胫腓骨开放性骨折,手风琴组 **2a.** 术前正位 X 线片骨折术后骨缺损 **2b.** 骨段搬运术后第 2 天正侧位 X 线片术后骨缺损 6.0 cm **2c.** 骨段搬运术后 13 个月正侧位 X 线片外固定架拆除,骨延长区与骨断端愈合良好

Fig.2 A 35-year-old female patient with open fracture of left tibia and fibula caused by traffic accident **2a.** AP X-ray showed bone defect after fracture operation **2b.** AP and lateral X-rays on the second day after bone-transport showed postoperative bone defect of 6.0 cm **2c.** AP and lateral X-rays at 13 months after bone-transport showed external fixator removal, bone extension area and bone fracture healing well

2%~50%,开放性骨折容易发生于下肢尤其是胫骨,因而胫骨成为了骨髓炎、骨缺损最常发病部位^[13]。彻底切除感染的骨段和感染变性的瘢痕组织是治愈骨髓炎的关键,Ilizarov 骨搬运技术可满意修复大段骨缺损。牵拉成骨或牵拉成组织技术的应用,在骨段搬运的过程中区域内愈合作用的信号系统被激活,使微循环、皮肤组织、肌肉组织、神经组织等均再生

跃,明显提高抗感染能力^[14-15],骨髓炎、骨缺损、皮肤软组织缺损得以恢复治愈。前苏联 Ilizarov 教授于 20 世纪 50 年代发现了张力-应力法则,即控制牵拉的张应力,骨与软组织可再生,又称为组织牵拉再生技术。该技术在国内外已成功应用于骨感染、骨缺损、缺血性疾病、肢体畸形等各种骨科疑难疾病的治疗^[2-3,16-17]。“手风琴技术”是一种非侵入性和非药物性的方法,通过机械力的转导加速骨矿化的;因此,使用这种交替的压缩-牵拉方案可能改善临床环境中在牵拉成骨期间发生的成骨质量差的情况^[18-19]。根据张力-应力原理,骨组织再生主要依赖于骨祖细胞的有效性和活化,局部血管形成和机械力刺激^[2,7,20];骨骼结构和强度可以通过机械负荷来改善;例如,“手风琴技术”,已被证明在临床试验中促进骨愈合^[9,21]。也有研究证实,手风琴技术可以通过刺激局部血管生成来加速骨的矿化^[22]。Ilizarov 技术及牵拉成骨可以治疗大段骨缺损已被国内外证实,“手风琴技术”国内外虽然报告了积极的结果,但是“手风琴技术”起作用的机制及内在原理、具体操作、使用的范围还没有得到确切证实和肯定。在随访治疗时,以“医生围着患者转,方法根据病情选”的治疗理念^[23],消灭各种并发症于萌芽时期。治疗过程中,全部患者出现不同程度的针道反应或感染,对症处理后治愈;由于搬移骨段的人为偏差,致搬运骨

段的偏移,经外固定架调整后得到矫正。

3.2 Ilizarov 技术和手风琴技术治疗骨缺损的展望

长期的研究表明 Ilizarov 骨搬运技术治疗感染性胫骨骨缺损时效果确切、可靠,同时相对减少了手术次数,并减轻了患者的生理和心理痛苦,减轻了患者的经济压力。结合相关文献的报道,可进一步肯定 Ilizarov 骨搬运技术及“手风琴技术”的效果。该实验

研究将继续进行,通过大样本数据获得更为令人信服的研究结果。多种的并发症发生使此技术表现的不够理想,表现为搬移治疗周期越长,越容易发生不同的并发症。因此,如何减少搬移时间、缩减治疗周围、提高矿化能力、提高成骨能力、减少并发症是目前亟待进一步研究解决的问题。

参考文献

[1] Hong P, Boyd D, Beyea SD, et al. Enhancement of bone consolidation in mandibular distraction osteogenesis: a contemporary review of experimental studies involving adjuvant therapies[J]. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2013, 66(7): 883-895.

[2] Ilizarov GA. The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues. Part I. The influence of stability of fixation and soft-tissue preservation[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1989, (238): 249-281.

[3] Ilizarov GA. Clinical application of the tension-stress effect for limb lengthening[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1990, (250): 8-26.

[4] Makhdom AM, Hamdy RC. The role of growth factors on acceleration of bone regeneration during distraction osteogenesis[J]. *Tissue Eng Part B Rev*, 2013, 19(5): 442-453.

[5] Xu J, Jia YC, Kang QL, et al. Management of hypertrophic nonunion with failure of internal fixation by distraction osteogenesis[J]. *Injury*, 2015, 46(10): 2030-2035.

[6] Claes L, Augat P, Schorlemmer S, et al. Temporary distraction and compression of a diaphyseal osteotomy accelerates bone healing[J]. *J Orthop Res*, 2008, 26(6): 772-777.

[7] Mofid MM, Inoue N, Atabey A, et al. Callus stimulation in distraction osteogenesis[J]. *Plast Reconstr Surg*, 2002, 109(5): 1621-1629.

[8] Mori S, Akagi M, Kikuyama A, et al. Axial shortening during distraction osteogenesis leads to enhanced bone formation in a rabbit model through the HIF-1alpha/vascular endothelial growth factor system[J]. *J Orthop Res*, 2006, 24(4): 653-663.

[9] Robling AG, Hinant FM, Burr DB, et al. Improved bone structure and strength after long-term mechanical loading is greatest if loading is separated into short bouts[J]. *J Bone Miner Res*, 2002, 17(8): 1545-1554.

[10] Paley D, Catagni MA, Argnani F, et al. Ilizarov treatment of tibia nonunions with bone loss[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1989, (241): 146-165.

[11] 马翔宇, 王东. 开放性骨折修复: 创面感染、植入物选择及预后评价[J]. *中国组织工程研究*, 2015, 19(26): 4258-4264.

MA XY, WANG D. Open fracture repair: wound infection, implant selection and evaluation of prognosis[J]. *Zhongguo Zu Zhi Gong Cheng Yan Jiu*, 2015, 19(26): 4258-4264. Chinese.

[12] 肖樵苏, 张先文, 叶俊武, 等. 应用骨搬运术同期治疗合并难治性软组织缺损的胫骨大段骨缺损[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2016, 30(8): 961-965.

XIAO QS, ZHANG XW, YE JW, et al. Simultaneous repair of tibia

bone defect and refractory soft tissue defect by bone transport technique[J]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*, 2016, 30(8): 961-965. Chinese.

[13] 黄金亮, 唐辉, 徐永清. 骨髓炎流行病学[J]. *国际骨科学杂志*, 2011, 32(02): 94-95.

HUANG JL, TANG H, XU YQ. Epidemiological study on osteomyelitis[J]. *Guo Ji Gu Ke Xue Za Zhi*, 2011, 32(2): 94-95. Chinese.

[14] Vukašinovic Z, Spasovski D, Vucetic C, et al. Infected tibial nonunions-treatment by the Ilizarov method: multicentric study[J]. *Srp Arh Celok Lek*, 2012, 140(1-2): 65-70.

[15] 张永红, 秦泗河, 王栋, 等. 骨搬运治疗胫骨慢性骨髓炎是否需要加用抗生素骨水泥[J]. *中国矫形外科杂志*, 2017, 25(4): 331-335.

ZHANG YH, QIN SH, WANG D, et al. Bone transport for treatment of chronic tibia osteomyelitis: is antibiotics bone cement necessary[J]. *Zhongguo Jiao Xing Wai Ke Za Zhi*, 2017, 25(4): 331-335. Chinese.

[16] 秦泗河. Ilizarov 技术概述[J]. *中华骨科杂志*, 2006, 36(9): 642-645.

QIN SH. Ilizarov technology summarize[J]. *Zhonghua Gu Ke Za Zhi*, 2006, 36(9): 642-645. Chinese.

[17] 臧建成, 秦泗河. 从 Wolff 定律和 Ilizarov 张力-应力法则到骨科自然重建理念[J]. *中国骨伤*, 2013, 26(4): 287-290.

ZANG JC, QIN SH. From Wolff law, Ilizarov technology to natural reconstruction theory[J]. *Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma*, 2013, 26(4): 287-290. Chinese.

[18] Hatzokos I, Stavridis SI, Iosifidou E, et al. Autologous bone marrow grafting combined with demineralized bone matrix improves consolidation of docking site after distraction osteogenesis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2011, 93(7): 671-678.

[19] Simpson AH, Kenwright J. Fracture after distraction osteogenesis[J]. *J Bone Joint Surg Br*, 2000, 82(5): 659-665.

[20] Lee DY, Cho TJ, Lee HR, et al. Distraction osteogenesis induces endothelial progenitor cell mobilization without inflammatory response in man[J]. *Bone*, 2010, 46(3): 673-679.

[21] Makhdom AM, Cartaleanu AS, Rendon JS, et al. The accordion maneuver: a noninvasive strategy for absent or delayed callus formation in cases of limb lengthening[J]. *Adv Orthop*, 2015, 2015: 912790.

[22] XU J, SUN Y, WU T, et al. Enhancement of bone regeneration with the accordion technique via HIF-1 α /VEGF activation in a rat distraction osteogenesis model[J]. *J Tissue Eng Regen Med*, 2018, 12(2): e1268-1276.

[23] 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.

QIN SH. Development and innovation of bone external fixation technology[J]. *Zhong Yi Zheng Gu*, 2012, 24(9): 3-7. Chinese.

(收稿日期: 2018-03-20 本文编辑: 王玉蔓)