

· 临床研究 ·

胫骨骨搬运后再骨折的临床观察

张彦龙¹, 刘士波², 王泳³, 吴天昊³, 桑睿政³, 董健伟³, 李鹏飞³, 吴希瑞³, 彭阿钦³

(1. 河北医科大学第一医院创伤中心, 河北 石家庄 050000; 2. 承德医学院附属医院手足外科, 河北 承德 067000; 3. 河北医科大学第三医院创伤急救中心 河北省骨科研究所 河北省骨科生物力学重点实验室, 河北 石家庄 050051)

【摘要】 目的: 基于采用 Ilizarov 骨搬运技术治疗胫骨骨缺损后发生再骨折的 19 例患者的临床资料, 总结分析该类患者的临床特点及治疗效果。方法: 回顾性分析 2010 年 8 月至 2020 年 1 月应用 Ilizarov 骨搬运技术治疗后发生再骨折的 19 例胫骨感染性骨缺损患者的临床资料, 其中男 18 例, 女 1 例; 年龄 15~66(37.7±13.0) 岁。再骨折致伤原因: 摔伤 4 例, 砸伤 1 例, 撞伤 1 例, 无明显外伤史 13 例。再骨折发生的时间: 2 例外固定架尚未拆除时, 发生同侧股骨远端骨折; 其余 17 例最短 1 d, 最长 30 个月。再骨折部位: 再生区 8 例, 对接点 9 例, 同侧股骨干 2 例。按笔者新提出的改良 Simpson 分型进行再骨折分类, 再骨折治疗方法包括石膏托固定、牵引或外固定架固定。采用 Ilizarov 方法研究与应用学会 (Association for the Study and Application of the Method of Ilizarov, ASAMI) 标准进行骨愈合与功能评价。结果: 所有患者获得随访, 时间 9~17(12.3±3.2) 个月。按改良 Simpson 分型: I a 型 3 例, I b 型 1 例, I c 型 3 例, II 型 1 例, III 型 9 例, V 型 2 例。所有再骨折愈合, 无一例发生感染。保守治疗 6 例, 骨折愈合时间分别为 3、5、3、2、2、2 个月, 其中 1 例发生成角约 20° 的畸形愈合。手术治疗 13 例, 骨折愈合时间为 2~6(4.4±1.4) 个月。按 ASAMI 评分标准: 骨愈合均为优。功能结果优 6 例, 良 13 例, 其主要原因为踝关节或膝关节僵直。结论: 新的改良 Simpson 分型与骨搬运后再骨折的临床实际类型更为贴切, 对临床治疗方式的选择有一定的指导意义, 外固定架治疗再骨折是一个简单、有效的方法。

【关键词】 胫骨骨折; 骨髓炎; 骨搬运; 再骨折

中图分类号: R683.42

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2022.10.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Clinical therapeutic strategies of refracture after bone transport for tibial bone defect ZHANG Yan-long, LIU Shi-bo, WANG Yong, WU Tian-hao, SANG Rui-zheng, DONG Jian-wei, LI Peng-fei, WU Xi-rui, and PENG A-qin*. *Center of Trauma and Emergency, Orthopedic Research Institute of Hebei Province, Hebei Provincial Key Laboratory of Orthopedic Biomechanics, the Third Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050051, Hebei, China

ABSTRACT Objective: To explore the clinical therapeutic strategies of refracture after Ilizarov bone transport technique in the treatment of tibial bone defect. **Methods:** A retrospective study was performed on 19 patients with infected tibial bone defect treated by Ilizarov bone transport technique and then refracture from August 2010 to January 2020, including 18 males and 1 female with an average age of (37.7±13.0) years old ranging from 15 to 66 years old. Cause of injury involved falling injury in 4 cases, crashing injury 1 case, crushing injury in 1 case and without obvious injury history in 13 cases. The ipsilateral distal femoral fracture in 2 cases occurred before the external fixator of tibia was removed, and the other 17 cases had a minimum of 1 day and a maximum of 30 months after the external fixator had been removed. The site of refracture was at regenerative zone in 8 cases, at docking site in 9 cases, at ipsilateral femoral shaft in 2 cases. According to the modified Simpson classification proposed by the author, the refracture was classified. The treatment of refracture include plaster splint, traction or external fixation. Bone healing and function were evaluated according to the standards of the Association for the Study and Application of the Method of Ilizarov (ASAMI). **Results:** All patients were followed up, and the duration ranged from 9 to 17 months with an average of (12.3±3.2) months. According to the modified Simpson classification, there were 3 cases of type I a, 1 case of type I b, 3 cases of type I c, 1 case of type II, 9 cases of type III and 2 cases of type V. All the refractures healed without infection or malunion. The fracture healing time of conservative treatment for 6 cases were 3, 5, 3, 2, 2, 2 months respectively; and the healing time of fracture treated by surgery for 13 cases was 2 to 6 months, with an average of (4.4±1.4) months. According to ASAMI evaluation criteria, bony results showed all patients obtained excellent results, and functional results showed

基金项目: 河北省重点研发计划项目(编号: 20377744D)

Fund program: Key Research and Development Program of Hebei Province (No.20377744D)

通讯作者: 彭阿钦 E-mail: pengaqin@126.com

Corresponding author: PENG A-qin E-mail: pengaqin@126.com

6 patients got excellent results, 13 good because of ankle or knee stiffness. **Conclusion:** The modified Simpson classification could contain most clinical types of refracture after bone transport, and the external fixation is a simple and effective method for refracture.

KEYWORDS Tibial fractures; Osteomyelitis; Bone transport; Refracture

近 30 年来, 应用 Ilizarov 骨搬移技术修复重建骨缺损逐渐盛行, 成为治疗骨缺损的“金标准”。虽然 Ilizarov 骨搬移技术在治疗感染性骨缺损方面取得了良好的疗效, 但骨搬移相关的并发症的报道也逐渐增多, 主要包括针道感染、对接点不愈合、关节僵直、再骨折等^[1-4]。尤其当骨缺损 ≥ 6 cm 时, 上述并发症发生率更高^[3-5]。既往文献报道, 骨搬移后再骨折的发生率为 3.82%~9.7%^[1,4]。相关报道均零星出现在病例系列研究中, 很少有专门关于骨搬移后再骨折的报道^[6-7]。对再骨折的分型 and 治疗方法也无统一标准。为此, 笔者对 2010 年 8 月至 2020 年 1 月应用 Ilizarov 技术进行骨搬移后发生再骨折的 19 例胫骨感染性骨缺损患者的临床资料进行回顾性分析, 现报告如下。

1 临床资料

1.1 病例选择

纳入标准: (1) 开放性骨折或骨感染导致的胫骨骨缺损。 (2) Ilizarov 骨搬移技术治疗。 (3) 治疗过程中或拆除外固定架后出现再骨折。 (4) 临床资料完整。 排除标准: (1) 患有严重影响手术治疗效果及预后的心肺脑疾病。 (2) 依从性差, 不配合治疗。 (3) 失访病例。

1.2 一般资料

本组 19 例, 男 18 例, 女 1 例; 年龄 15~66(37.7 \pm 13.0) 岁; 左侧 15 例, 右侧 4 例; 骨缺损部位位于胫骨上段 11 例, 中段 5 例, 下段 3 例; 原始骨缺损长度为 4.0~20.0(9.2 \pm 4.5)cm。骨搬移方式: 单平面截骨骨搬移 6 例, 双平面 10 例, 三平面 3 例。外固定架佩戴时间为 7.0~30.0 个月。再骨折致伤原因: 摔伤 4 例, 砸伤 1 例, 撞伤 1 例, 无明显外伤史 13 例。再骨折

发生时间: 2 例外固定架尚未拆除时, 发生同侧股骨远端骨折; 其余 17 例最短 1 d, 最长 30 个月。再骨折部位: 再生区 8 例, 对接点 9 例, 同侧股骨干 2 例。按笔者提出的改良 Simpson 再骨折分型(图 1): I a 型 3 例, I b 型 1 例, I c 型 3 例, II 型 1 例, III 型 9 例, V 型 2 例。患者均签署知情同意书。本研究获河北医科大学第三医院医学伦理委员会批准(编号: K2020-041-1)。

2 治疗方法

根据再骨折发生致伤原因、部位、类型及年龄, 选择保守治疗(石膏托固定、骨牵引), 或手术治疗(外固定架或接骨板固定、植骨或不植骨)。对于 I c 型骨折(应力骨折), 均采用保守治疗。对于 III 型骨折(对接点骨折), 无明显外伤史者, 大部分采取外固定架和植骨治疗; 有明显外伤史者, 大部分只需单纯外固定架。对于 V 型骨折(跨关节骨折), 儿童患者可采用骨牵引治疗, 成人应采用接骨板固定。其余类型(I a 型和 I b 型), 采用外固定或保守治疗。具体治疗方法见表 1。

3 结果

3.1 临床疗效评价

术后每个月复查 X 线片至骨折愈合, 评估骨折愈合情况, 骨折愈合后将石膏托、牵引或外固定架拆除。外固定针与皮肤结合部位保持干燥清洁, 每 2~3 d 换药 1 次, 若出现针道感染, 给予相对应处理。记录再骨折愈合时间。末次随访时, 采用 Ilizarov 方法研究与应用学会(Association for the Study and Application of the Method of Ilizarov, ASAMI)标准进行骨愈合和功能结果评价^[5,8-10]。骨愈合评价标准依据骨端愈合情况、有无感染、有无畸形、肢体是否不等长, 分

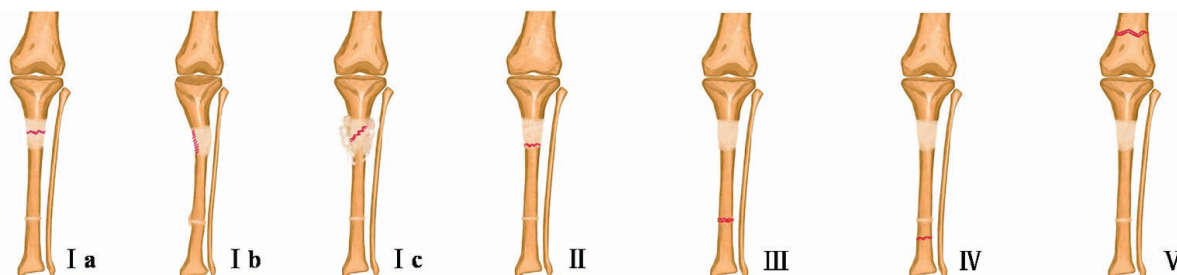


图 1 改良 Simpson 再骨折分型及示意图。I a 型: 经再生区的骨折; I b 型: 再生区弯曲骨折; I c 型: 再生区应力骨折; II 型: 再生区和原骨质连接部骨折; III 型: 对接点骨折; IV 型: 经钉道的骨折; V 型: 跨关节骨折

Fig.1 Modified Simpson's refracture classification and schematic diagram. Type I a: Refracture within regeneration area; Type I b: Collapsed refracture at the regeneration area; Type I c: Stress fracture at the regeneration area; Type II: Refracture at the junction between the original bone and the regenerate; Type III: Refracture at the Docking site; Type IV: Refracture through screw tracks; Type V: Trans-articular refracture

表 1 胫骨骨搬运术后再骨折 19 例患者分型、治疗方法及临床疗效

Tab.1 The 19 patients with refracture after bone transport of classification, treatment and effectiveness

分型	例数	致伤原因	治疗方法	ASAMI 功能评分
I a 型	3	WOI	2E, 1C	2 优, 1 良
I b 型	1	WOI	C	良
I c 型	3	WOI	C	良
II 型	1	WOI	E+G	良
III 型	9	5WOI	1E, 4 E+G	2 优, 3 良
			3E, 1 E+G	1 优, 3 良
IV 型	0			
V 型	2	FI	1C, 1P	1 优, 1 良

备注: E=外固定架固定术, C=保守治疗, G=自体髂骨移植术, P=接骨板内固定; FI=摔伤, CaI=砸伤, CrI=撞伤, WOI=无明显外伤史, 是指日常活动造成的骨折, 如行走、下蹲、抬腿。5WOI 表示 5 例无明显外伤史, 其他类同

Note: E indicates external fixation. C indicates conservative treatment. G indicates outologous iliac crest bone graft. P indicates internal fixation with bone plate. FI indicates falling injury. CaI indicates crashing injury. CrI indicates crushing injury. WOI indicates no obvious injury history, refers to fractures caused by daily activities, such as walking, squatting, and leg raising. 5WOI indicated that 5 cases had no obvious trauma history, and the others were similar

为优、良、可、差。其中优, 骨端愈合, 无感染, 成角畸形 $<7^\circ$, 肢体不等长 $<2.5\text{ cm}$; 良, 骨端愈合, 和满足以上后 3 项中任意 2 项; 可, 骨端愈合, 和满足以上后 3 项中任意 1 项; 差, 不愈合或再骨折, 或愈合但以上后 3 项都不能满足。功能结果评估根据疼痛、跛行、邻近关节运动范围、交感神经营养不良及恢复日常生活和工作, 分为优、良、可、差。其中优, 恢复术前主动运动, 无跛行, 关节僵硬(膝或踝伸、屈活动度丢失 $<15^\circ$), 无交感神经营养不良, 无或轻度疼痛; 良, 恢复大部分术前主动运动, 和存在其他 4 项并发症中任意 1~2 项; 可, 恢复部分术前主动运动, 和存在其他 4 项并发症中任意 3~4 项; 差, 不能恢复到术前主动运动(失业或不能回到日常生活); 失败, 截肢。典型病例见图 2-5。

3.2 治疗结果

所有患者获得随访, 时间 9~17(12.3±3.2)个月。所有患者骨折愈合, 无一例发生感染。保守治疗

6 例, 骨折愈合时间分别为 3、5、3、2、2、2 个月, 其中 1 例发生成角约 20° 的畸形愈合。手术治疗 13 例, 其中通过外固定架固定 12 例(其中包含 1 例外置接骨板固定), 接骨板内固定 1 例。外固定架固定的患者中 6 例行自体髂骨移植。手术治疗的患者骨折愈合时间 2~6(4.4±1.4)个月。末次随访时, 按 ASAMI 评分标准: 骨愈合均为优。功能结果优 6 例, 良 13 例, 主要原因为踝关节或膝关节僵直。并发症: 4 例针道感染, 经局部换药及口服抗生素, 感染消失, 无一例需要更换外固定针; 保守治疗的 6 例中 1 例出现胫后静脉血栓, 经皮下注射低分子肝素钠治疗, 1 周后血栓消失。

4 讨论

4.1 骨搬运后再骨折的流行病学

骨搬运后再骨折并不多见, 它延长了治疗时间, 给患者带来了额外的经济和心理负担。尽管采取了很多措施, 如低能量截骨、手风琴技术、对接点加压和植骨以及分阶段拆除外固定架^[11-14]等, 但再骨折仍然难以完全避免^[7, 15]。据文献报道, 再骨折发生率为 3.82%~9.7%^[1, 4], 平均 4%~5%^[1, 3-4]。笔者近 13 年应用 Ilizarov 骨搬运技术治疗的 480 例中, 19 例发生再骨折, 发生率 3.96%, 与文献报道的发生率相似。

再骨折可发生在外固定架拆除后的数天至数月^[7], 最长可达外固定架拆除后 1 年^[16]。本组 19 例中 4 例发生在外固定架拆除后 2~7 d。11 例在 1~6 个月, 最长为 2.5 年。拆除外固定架后早期发生的再骨折可能和拆除外固定架过早有关, 术后 2.5 年



图 2 患者, 男, 58 岁, 右侧胫骨骨搬运后再骨折。右胫骨近端骨缺损 13 cm, 行双平面截骨逆向骨搬运 **2a**。术后 10 个月, 正侧位 X 线片示对接点愈合, 但近端再生区矿化不良 **2b**。拆除外固定架后 6 个月, 近端再生区发生弯曲骨折(箭头所示), 按改良 Simpson 分型为 I b 型 **2c**。外观显示胫骨内翻畸形

Fig.2 A 58-year-old male patient with with refracture of the right tibia after bone transport for tibial. The bone defect of right proximal tibia was 13 cm, reverse bone transport was performed by double plane osteotomy **2a**. The AP and lateral X-rays showed the docking point healed 10 months after operation, but the proximal regenerative area was poorly mineralized **2b**. Six months after the removal of the external fixator, a bending fracture (arrow mark) occurred in the proximal regenerative area. According to the modified Simpson's classification, the fracture was type I b **2c**. The appearance of the tibia showed varus deformity



图 3 患者,男,41 岁 右胫骨骨髓炎伴骨不连,行骨搬运术后再骨折 **3a.** 清创后骨缺损 13 cm,行双平面截骨相向骨搬运 **3b.** 术后 14 个月,再生区皮质化良好,对接点愈合,拆除外固定架 **3c.** 去架后 6 个月,抬腿时对接点发生再骨折,按改良 Simpson 分型为 III 型 **3d.** 行外固定架固定和植骨 **3e.** 拆除外固定架后 2 个月复查 X 线片 **3f.** 患者能正常行走,踝关节背伸略受限

Fig.3 A 41-year-old male with right tibial osteomyelitis combined with nonunion, and refracture of the right tibia after bone transport for tibial **3a.** After debridement, the bone defect was 13 cm and the bone was removed by double-plane osteotomy **3b.** The regeneration area was corialized well and the docking point healed at 14 months after operation. The external fixator was removed **3c.** Six months after the removal of the external fixator, a refracture occurred at the docking point during leg raising. According to the modified Simpson's classification, the fracture was classified as type III **3d.** External fixation and bone graft were performed **3e.** Two months after removal of external fixator **3f.** The patient was able to walk normally and the ankle dorsiflexion was slightly limited

发生的再骨折明显与患肢废用性骨质疏松有关。所以为防止再骨折发生,笔者建议在拆除外固定架后,继续应用支具保护 3~4 个月。

4.2 骨搬运后再骨折的临床分型

Simpson^[6]基于骨折发生的部位,将再骨折分为 4 种类型: I 型,骨折发生在再生区; II 型,发生在再生区和正常骨干交界处; III 型,发生在正常骨干的钉道处; IV 型,远位骨折。由于该分型是通过 180 例单纯骨延长患者中 17 例发生再骨折的临床类型而总结出来的,并没有包含对接点部位的再骨折,而该类型临床较常见。在本研究中占 47%,所以传统的 Simpson 再骨折分型不适用于对骨搬运术后发生的再骨折进行分型。在 Simpson 分型的基础上,笔者提出的改良 Simpson 再骨折分型能很好地描述包括骨搬运后所有类型的再骨折,不仅增加了关于对接点再骨折的描述,还增加了再生区应力骨折这一类型。本组 3 例应力骨折发生在拆除外固定架后 2~3 个月,患者骨折处有轻度疼痛和肿胀,X 线片显示再生区出现斜行骨折线,同时其周围有骨痂形成。该 3 例患者都有 10°~



图 4 患者,男,27 岁,左侧胫骨骨搬运后再骨折 **4a.** 左胫骨近端外伤后感染性骨缺损 10 cm **4b.** 行远端双平面截骨逆向骨搬运,对接点行半开放植骨,骨搬运后 11 个月,对接点愈合牢固,再生区皮质化良好,拆除外固定架 **4c.** 去架后 2 个月,远端再生区发生应力骨折(箭头所示),按改良 Simpson 分型为 I c 型,行保守治疗 **4d.** 再骨折后 11 个月随访骨折愈合良好 **4e.** 踝关节轻度僵直

Fig.4 A 27-year-old male with refracture of the left tibia after bone transport for tibial **4a.** The infective bone defect of the left proximal tibia was 10 cm **4b.** The distal double-plane osteotomy and semi-open bone grafting were performed. At 11 months after bone transport, the docking point healed well and the regeneration area was corialized. The external fixator was removed **4c.** Two months after removal of external fixator, stress fracture occurred in distal regenerative area (arrow mark). According to modified Simpson classification, the fracture was classified as type I c. Conservative treatment was performed **4d.** The fracture healed well after 11 months follow-up **4e.** Mild stiffness of the ankle



图 5 患者,男,32 岁,右侧胫骨骨搬移后再骨折 5a. 右胫骨开放性骨折,多次清创后胫骨上段骨缺损 13 cm,骨缺损处骨水泥填塞 5b. 行近端向下,远端向上三平面截骨骨搬移 5c. 佩戴外固定架 17 个月,再生区皮质化及对接点愈合良好,拆除外固定架 5d. 拆除外固定架后 4 d,抬腿时右小腿突然疼痛,X 线片显示中段再生区再骨折(箭头所示) 5e. 局部放大影像,按改良 Simpson 分型为 I a 型 5f. 行外固定架固定,2 个月后再骨折愈合

Fig.5 A 32-year-old male patient with refracture of the right tibia after bone transport for tibial 5a. The bone defect of upper tibia was 13 cm after multiple debridement 5b. The proximal and distal three-plane osteotomies were performed 5c. After wearing the external fixator for 17 months, the regeneration area was corticalized and the docking point healed well, and the external fixator was removed 5d. At 4 days after the removal of the external fixator, the right calf suddenly became painful during the leg raising, and the X-ray showed a refracture of the middle regenerative area (arrow mark) 5e. According to the modified Simpson classification, the fracture type was I a 5f. External fixator was used and the fracture healed 2 months later

15°的马蹄足畸形和明显的踝关节僵直,笔者认为这和应力骨折的发生有明显的内在关系。IV型骨折通常发生在单边外固定架的针道处,由于笔者常应用环形外固定架进行骨搬移,固定针直径为 2.5 mm 克氏针,所以本组无一例发生IV型再骨折,但对于采用单边外固定架进行骨搬移的患者,这种骨折在理论上是会发生的^[6]。

4.3 骨搬移后再骨折的治疗策略

骨搬移后再骨折的治疗并无统一的方法,既可以采取保守治疗,也可以手术治疗^[6,14]。Hosny 等^[7]对 23 例再骨折全部采用石膏固定,其中 3 例骨折端有 1 cm 的间隙,最终愈合率为 82%,愈合时间 4~12 个月,3 例发生患肢深静脉血栓,4 例有>10°的成角,认为再骨折发生的部位是一个生物活性较活跃区域,

可当做新鲜骨折处理。本组 19 例患者中,除 6 例行保守治疗外,其余 13 例皆行手术治疗,其中 1 例(V型)股骨骨折行接骨板内固定,其余皆行外固定架或外置钢板固定。发生在对接点的 9 例(III型)骨折中,4 例有明显外伤史,如砸伤或摔伤,按新鲜骨折对待,都行复位和外固定架固定,其中只有 1 例断端接触面积较少,进行了自体髂骨移植。另外 5 例的对接点皆在日常活动时发生骨折,如行走、抬腿和下蹲,因此,将它们视为陈旧骨折,在外固定架固定的同时都进行了断端植骨。此 9 例骨折全部愈合,愈合时间 3~6 个月,较 Hosny 等^[7]报道的保守治疗愈合时间明显缩短,且无一例出现畸形愈合和骨不连接。发生在再生区经手术治疗的 3 例(2 例 I a 型,1 例 II 型)都进行了外固定架固定,其中 1 例 II 型患者由于再生区矿化不良,同时进行了植骨。

胫骨外伤后骨缺损而行骨搬移的患者,往往皮肤条件差,很难行钢板固定。拆除外固定架后再应用髓内钉固定,最大的担忧是发生感染,发生率为 0%~43.8%^[17]。Lai 等^[17]应用髓内钉治疗 27 例骨搬移后对接点不连接或再生区再骨折的患者,尽管对感染的钉道进行彻底清创,并用庆大霉素溶液冲洗,术后全身应用抗生素,且将更换髓内钉的固定时间推迟 3.4(0~15)周,仍有 2 例(7.4%)发生深部感染;另外,还发现 9 例延长区再骨折应用髓内钉固定后,平均短缩 0.7 cm,最大 2.5 cm。用外固定架或外置钢板治疗的 12 例患者中,无一例发生感染和肢体短缩,所以笔者认为外固定架治疗再骨折是一个简单、有效的方法。

总之,首次提出了骨搬移后再骨折的临床分型,根据既往文献及自身经验详细总结了再骨折的发病率、发生时间及治疗方法。本研究也存在一定的局限性:为回顾性研究,未设立对照组;病例数较少;还需进一步前瞻性对照研究,通过多中心大样本数据以获得更为准确的研究结果。

参考文献

- [1] Yin P, Ji Q, Li T, et al. A systematic review and meta-analysis of ilizarov methods in the treatment of infected nonunion of tibia and femur[J]. PLoS One, 2015, 10(11): e0141973.
- [2] Liu Y, Yushan M, Liu Z, et al. Complications of bone transport technique using the Ilizarov method in the lower extremity: a retrospective analysis of 282 consecutive cases over 10 years[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2020, 21(1): 354.
- [3] Aktuglu K, Erol K, Vahabi A. Ilizarov bone transport and treatment of critical-sized tibial bone defects: a narrative review[J]. J Orthop

- Traumatol, 2019, 20(1):22.
- [4] Papakostidis C, Bhandari M, Giannoudis PV. Distraction osteogenesis in the treatment of long bone defects of the lower limbs: effectiveness, complications and clinical results; a systematic review and meta-analysis[J]. Bone Joint J, 2013, 95-B(12):1673-1680.
- [5] 张彦龙, 彭阿钦, 吴希瑞. 双平面截骨骨搬运治疗胫骨大段感染性骨缺损[J]. 中华创伤杂志, 2016, 32(7):638-644.
ZHANG YL, PENG AQ, WU XR. Double-level bone transport for treatment of massive post-infectious tibial bone defects[J]. Zhonghua Chuang Shang Za Zhi, 2016, 32(7):638-644. Chinese.
- [6] Simpson AH, Kenwright J. Fracture after distraction osteogenesis[J]. J Bone Joint Surg Br, 2000, 82(5):659-665.
- [7] Hosny GA, Singer MS, Hussein MA, et al. Refracture after Ilizarov fixation of infected ununited tibial fractures-an analysis of eight hundred and twelve cases[J]. Int Orthop, 2021, 45(8):2141-2147.
- [8] Dendrinou GK, Kontos S, Lyritis E. Use of the Ilizarov technique for treatment of non-union of the tibia associated with infection[J]. J Bone Joint Surg Am, 1995, 77(6):835-846.
- [9] Song HR, Cho SH, Koo KH, et al. Tibial bone defects treated by internal bone transport using the Ilizarov method[J]. Int Orthop, 1998, 22(5):293-297.
- [10] Chaddha M, Gulati D, Singh AP, et al. Management of massive posttraumatic bone defects in the lower limb with the Ilizarov technique[J]. Acta Orthop Belg, 2010, 76(6):811-820.
- [11] Ilizarov GA. The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues; Part II. The influence of the rate and frequency of distraction[J]. Clin Orthop Relat Res, 1989, (239):263-285.
- [12] 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.
- [13] Kinik H, Kalem M. Ilizarov segmental bone transport of infected tibial nonunions requiring extensive debridement with an average distraction length of 9,5 centimetres. Is it safe[J]. Injury, 2021, 52(8):2425-2433.
- [14] McNally M, Ferguson J, Kugan R, et al. Ilizarov treatment protocols in the management of infected nonunion of the tibia[J]. J Orthop Trauma, 2017, 31(Suppl 5):S47-S54.
- [15] 刘亦杨, 林炳远, 黄凯, 等. 骨搬运技术治疗慢性骨髓炎伴骨缺损并发症的研究进展[J]. 中国骨伤, 2020, 33(3):288-292.
LIU YY, LIN BY, HANG K, et al. Progress on complications of chronic osteomyelitis with bone defect treated by bone transportation[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2020, 33(3):288-292. Chinese with abstract in English.
- [16] Marais LC, Ferreira N. Bone transport through an induced membrane in the management of tibial bone defects resulting from chronic osteomyelitis[J]. Strategies Trauma Limb Reconstr, 2015, 10(1):27-33.
- [17] Lai KA, Lin CJ, Chen JH. Application of locked intramedullary nails in the treatment of complications after distraction osteogenesis[J]. J Bone Joint Surg Br, 2002, 84(8):1145-1149.

(收稿日期:2022-09-09 本文编辑:朱嘉)