

· 临床研究 ·

手风琴技术促进骨搬运延长骨段骨质矿化的临床观察

邢浩¹, 张永红¹, 王栋¹, 殷海阳¹, 贺国宇¹, 秦泗河²

(1. 山西医科大学第二医院骨科, 山西 太原 030000; 2. 国家康复辅具研究中心附属医院骨科, 北京 100176)

【摘要】 目的: 探讨骨搬运治疗胫骨骨缺损时采用“手风琴”技术对延长骨段骨质矿化的影响。方法: 自 2017 年 5 月至 2019 年 10 月, 采用 Ilizarov 骨搬运技术治疗胫骨骨缺损患者 22 例, 在骨搬运结束后, 采用随机数字表法将 22 例患者随机分为两组。观察组 11 例, 男 9 例, 女 2 例; 年龄 20~60(42.6±13.3) 岁; 骨缺损长度 3~13(6.4±2.6) cm; 胫骨上段骨缺损 2 例, 中段 3 例, 下段 6 例; 采用“手风琴”技术操作 35 d。对照组 11 例, 男 10 例, 女 1 例; 年龄 41~60(51.6±6.4) 岁; 骨缺损长度 3.0~10.7(6.6±2.5) cm; 胫骨上段骨缺损 1 例, 中段 3 例, 下段 7 例; 采用锁定外固定架等待矿化。分别测量两组在骨搬运结束后即刻及结束后 35、65、95 d 延长骨段的羟基磷灰石(hydroxylapatite, HAP)含量, 比较两组患者的矿化时间及愈合时间, 并采用 Paley 评分标准评价骨缺损的治疗效果。结果: 22 例患者获得随访, 时间 18~36(27.0±6.3) 个月。骨缺损处伤口均在骨搬运过程中自然愈合, 无皮肤感染、皮肤坏死等伤口并发症发生。两组骨搬运结束后 35、65、95 d 延长骨段的 HAP 含量比较差异有统计学意义($P<0.05$)。两组矿化时间和愈合时间比较差异有统计学意义($P<0.05$)。采用 Paley 评价标准对骨缺损治疗结果进行评价: 观察组优 10 例, 良 1 例; 对照组优 9 例, 良 2 例; 两组比较差异无统计学意义($Z=-0.607, P=0.544$)。结论: “手风琴”技术与单纯锁定外架矿化对骨搬运结束后延长骨段愈合的疗效相当, 但“手风琴”技术能够明显加快 HAP 的增长速度, 缩短矿化时间及愈合时间。

【关键词】 胫骨; 羟基磷灰石类; Ilizarov 技术

中图分类号: R687.3

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2021.02.007

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Clinical observation of accordion technique in promoting bone transport and prolonging newborn bone mineralization XING Hao, ZHANG Yong-hong*, WANG Dong, YIN Hai-yang, HE Guo-yu, and QIN Si-he. * Department of Orthopaedics, the Second Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030000, Shanxi, China

ABSTRACT Objective: To analyze effect of accordion technique on bone mineralization of extended bone segment in treating tibial bone defect with bone transport. **Methods:** From May 2017 to October 2019, 22 patients with tibial bone defects were treated with Ilizarov bone-transport technique, and divided into two groups after bone-transport was completed, 11 patients in each group. In observation group, there were 9 males and 2 females aged from 20 to 60 years old with an average of (42.6±13.3) years old; the length of bone defect ranged from 3 to 13 cm with an average of (6.4±2.6) cm; 2 patients were suffered from upper tibial bone defects, 3 patients were middle and 6 patients were lower; patients were treated with accordion technique for 35 days. In control group, there were 10 males and 1 female aged from 41 to 60 years old with an average of (51.6±6.4) years old; the length of bone defect ranged from 3 to 10.7 cm with an average of (6.6±2.5) cm; 1 patient was suffered from upper tibial bone defects, 3 patients were middle and 7 patients were lower; patients were treated with lock external fixator to waiting bone mineralization. The content of hydroxyapatite (HAP) extended bone segment was measured after bone-transport completed immediately, 35, 65 and 95 days after bone-transport was completed, respectively, then the mineralization time and healing time were compared between two groups, and the therapeutic effect of bone defect was evaluated by using Paley scoring criteria. **Results:** Twenty-two patients were followed up from 18 to 36 months with an average of (27.0±6.3) months. The wounds on the bone defects healed spontaneously during bone transport, and there were no wound complications such as skin infection or skin necrosis occurred. There were statistical difference in the content of HAP of the extended bone segments at 35, 65 and 95 days after bone-transport between two groups ($P<0.05$). There were difference in mineralization time and healing time between two groups ($P<0.05$). According to Paley standard evaluation, 10 patients got excellent results, and 1 good in observation group;

基金项目: 山西省科技厅社会发展方面项目(编号: 201803D31126)

Fund program: Social Development Project of Science and Technology Department of Shanxi Province (No. 201803D31126)

通讯作者: 张永红 E-mail: yhzhy@139.com

Corresponding author: ZHANG Yong-hong E-mail: yhzhy@139.com

while 9 patients got excellent results, 2 good in control group; and there was no differences between two groups ($Z=-0.607, P=0.544$). **Conclusion:** Accordion technique and locking external fixator mineralization in prolonging bone segment healing after bone-transport have the equal clinical effect, while the accordion technique could significantly accelerate the growth rate of HAP and shorten the mineralization time and healing time.

KEYWORDS Tibia; Hydroxyapatites; Ilizarov technique

Ilizarov 骨搬运术是修复骨缺损的一种有效手段^[1-2],但延长骨段矿化速度慢的问题较为显著^[3]。有文献报道^[4-5],“手风琴”技术对延长骨段矿化有促进作用,但既往研究均采用愈合指数(骨愈合时间/骨缺损长度)作为定量指标评价骨矿化速度,临床医生评价骨愈合受主观因素干扰大,导致愈合指数的客观性和准确性不强。能谱 CT 物质分离技术可定量测定物质组成成分的浓度及含量,骨组织中主要无机成分是羟基磷灰石(hydroxylapatite, HAP),以 HAP(水)为基物质对测量 HAP 含量可以真实反应骨组织含量^[6]。因此,采用 HAP 指标评价骨质矿化,其准确性更优于愈合指数。自 2017 年 5 月至 2019 年 10 月采用骨搬运术治疗 22 例胫骨骨缺损患者,疗效满意,现报告如下。

1 资料与方法

1.1 病例选择

纳入标准:(1)Ilizarov 骨搬运术治疗的胫骨骨缺损。(2)骨缺损 ≥ 3 cm。(3)年龄 20~60 岁。(4)依从性好,愿意配合治疗者。排除标准:(1)骨搬运过程中感染复发。(2)患有精神性疾患或不配合治疗者。(3)并发严重内科疾病(如严重糖尿病、脉管炎)者。

1.2 临床资料

本组 22 例,在骨搬运结束后,采用随机数字表法分为观察组和对照组,每组 11 例。观察组 11 例,男 9 例,女 2 例;年龄 20~60(42.6 \pm 13.3)岁;骨缺损长度 3~13(6.4 \pm 2.6) cm;交通事故 4 例,摔伤 4 例,砸伤 3 例;胫骨上段骨缺损 2 例,中段 3 例,下段 6 例;采用“手风琴”技术操作。对照组 11 例,男 10 例,女 1 例;年龄 41~60(51.6 \pm 6.4)岁;骨缺损长度 3.0~10.7(6.6 \pm 2.5) cm;交通事故 6 例,摔伤 2 例,砸伤 3 例;胫骨上段骨缺损 1 例,中段 3 例,下段 7 例;采用锁定外固定架等待矿化。两组患者性别、年龄、

骨缺损长度、致伤原因、胫骨缺损部位等基线资料比较差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。见表 1。本研究经我院伦理委员会批准,所有患者签署知情同意书。

1.3 治疗方法

采用腰硬联合麻醉,患者取平卧位,消毒、铺巾。调整下肢力线及长度,将胫骨置于外固定架中心,外固定架选用 Ilizarov 五环构型骨搬运外固定架,骨缺损远、近端各置入 2 个环,其中靠近膝关节处为半环,其余为全环,搬运骨段上置入 1 个全环,每个环周围穿入 2 枚 2.0 mm 克氏针,穿针要从不同平面沿肌间隙穿入,避开血管、神经,搬运骨段上置入 2 枚 4.0 mm Schanz 螺钉,通过固定夹、螺栓、螺母等配件将克氏针、Schanz 螺钉与外固定架固定,再次确定下肢力线与长度后开始截骨。骨缺损在中下段者在胫骨结节下做 1 cm 长的切口,骨缺损在上段者在踝关节上方 4~6 cm 做 1 cm 长的切口,用微创截骨器行低能量横行截骨,C 形臂 X 线机透视截骨完全后,冲洗、缝合伤口。切口处留置皮条引流,敷料加压包扎,手术完毕。

1.3.1 观察组 术后第 12 天开始通过外固定架搬运环对搬运骨段进行缓慢牵拉,每天牵拉 1 mm,分 4~6 次完成,待搬运骨段搬运至对合端骨性接触后,实施“手风琴”操作:将延长骨段压缩 2 周一休息 1 周一将延长骨段牵开 2 周,调节速度与骨搬运速度相同,周期 35 d。对合端再次接触后,断端加压并锁定外固定架至骨愈合后拆除外架。

1.3.2 对照组 术后第 12 天开始通过外固定架搬运环对搬运骨段进行缓慢牵拉,同样以 1 mm/d,分 4~6 次速度进行调节,待搬运骨段搬运至对合端达到骨性接触后,断端加压并锁定外架等待矿化,此后继续佩戴外固定架并加强患肢负重、功能锻炼,待延

表 1 两组胫骨骨缺损患者术前一般情况比较

Tab.1 Comparison of preoperative general data of patients with tibial bone defect between two groups

组别	例数	性别(例)		年龄 ($\bar{x}\pm s$,岁)	骨缺损长度 ($\bar{x}\pm s$,cm)	致伤原因(例)			胫骨缺损部位(例)		
		男	女			交通事故	摔伤	砸伤	上段	中段	下段
观察组	11	9	2	42.6 \pm 13.3	6.4 \pm 2.6	4	4	3	2	3	6
对照组	11	10	1	51.6 \pm 6.4	6.6 \pm 2.5	6	2	3	1	3	7
检验值		$\chi^2=0.386$		$t=2.046$	$t=0.239$	$\chi^2=1.067$			$\chi^2=0.410$		
P 值		0.534		0.054	0.813	0.587			0.815		

长骨段矿化至愈合后拆除外固定架。

1.4 观察项目与方法

将延长骨段 HAP 含量作为定量指标评价骨矿化质量:患肢行能谱 CT 扫描,获得 HAP-水基物质图,以延长骨段上下缘及胫骨内外侧骨皮质延长线为边界,划定感兴趣区,并测量感兴趣区上缘至髁间嵴的距离,以保证每次划定相同感兴趣区(图 1),测量感兴趣区的 HAP 密度(mg/cm^3),与相应感兴趣区体积相乘得出成延长骨段 HAP 总含量(mg);记录患者矿化时间和愈合时间;采用 Paley 等^[7]骨搬移治疗骨缺损疗效评价系统对骨愈合结果进行评价:优,骨折 I 期愈合,无感染复发、肢体畸形 $<7^\circ$ 、肢体不等长 $<2.5\text{ cm}$;良,骨折愈合,加上其他 3 项中任意 2 项;差,骨折不愈合或再骨折。

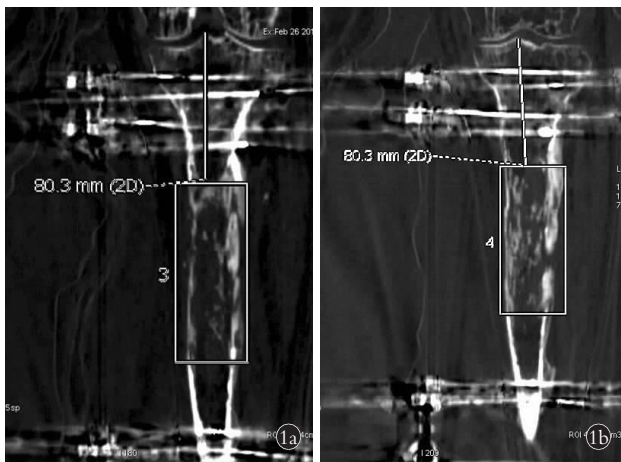


图 1 延长骨段 HAP 含量测量示意图 1a. 白色方框为首次测量时感兴趣区,包含延长骨段全部骨质,体积为 274 cm^3 ,白色直线为感兴趣区上缘至髁间嵴的距离,长度为 80.3 mm 1b. 白色方框为第 2 次测量时感兴趣区,体积为 274 cm^3 ,与首次相同,白色直线为感兴趣区上缘至髁间嵴的距离,长度为 80.3 mm ,与首次相同

Fig.1 Schematic diagram of HAP content measurement of extended bone segment 1a. The white box showed the region of interest for the first measurement, containing all the bone of the extended bone segment with the volume of 274 cm^3 . The white line showed the distance from upper edge of region of interest to intercondylar eminence, the length was 80.3 mm 1b. The white box showed the region of interest for the second measurement with a volume of 274 cm^3 , which was the same as the first measurement, and the white line showed the distance from the upper edge of the region of interest to the intercondylar ridge, the length was 80.3 mm , which is the same as the first measurement

1.5 统计学处理

采用 SPSS 25.0 软件进行统计学分析。定量资料采用均数 \pm 标准差($\bar{x}\pm s$)表示,两组间比较采用独立样本 t 检验;定性资料比较采用 χ^2 检验;Paley 评价等级资料比较采用秩和检验,采用重复测量的方差

分析比较两组间延长骨段 HAP 含量。检验水准 α 取双侧 0.05。

2 结果

2.1 术后一般情况比较

所有患者获得随访,时间 18~36(27.0 ± 6.3)个月。骨缺损处伤口均在骨搬移过程中自然愈合,无皮肤感染、坏死等伤口并发症。延长骨段及对合端均达到临床愈合标准,无骨不愈合、再骨折等并发症发生。观察组矿化时间、愈合时间分别为(321.4 ± 76.2)、(385.0 ± 85.7) d,对照组分别为(379.9 ± 35.4)、(446.0 ± 40.5) d;两组比较差异有统计学意义($P<0.05$)。见表 2。

表 2 两组胫骨骨缺损患者愈合时间和矿化时间比较 ($\bar{x}\pm s, \text{d}$)

Tab.2 Comparison of healing time and mineralization time of patients with tibial bone defect between two groups

组别	例数	矿化时间	愈合时间
观察组	11	321.4 ± 76.2	385.0 ± 85.7
对照组	11	379.9 ± 35.4	446.0 ± 40.5
t 值		2.307	2.134
P 值		0.032	0.045

2.2 矿化早期延长骨段矿化情况

采用重复测量的方差分析比较两组之间延长骨段矿化情况,数据不满足球形检验($\chi^2=78.935, P<0.001$),采用 Greenhouse 对其进行校正,其校正系数 $\epsilon=0.382, F$ 测量时间= $38.933, P<0.001$; 延长骨段的 HAP 含量存在时间效应,随着时间发展其含量显著升高,见图 2。 F 测量时间 \times 组别= $11.781, P=0.002$,存在时间-组别交互作用,进一步采用 t 检验进行单独效应分析。两组在骨搬移结束后即刻延长骨段的 HAP 含量比较差异无统计学意义($P>0.05$)。观察组骨搬移结束后 35、65、95 d 延长骨段的 HAP 含量与对照组比较差异有统计学意义($P<0.05$)。见表 3。

2.3 疗效评价结果

根据 Paley 评价标准,观察组优 10 例,良 1 例;对照组优 9 例,良 2 例;两组比较差异无统计学意义($Z=-0.607, P=0.544$)。典型病例见图 3-4。

3 讨论

3.1 “手风琴”技术对延长骨段矿化的影响

本研究结果显示在骨搬移结束后即刻,两组 HAP 含量比较差异无统计学意义。在骨搬移结束后 35 d,观察组完成“手风琴”技术操作,较对照组单纯矿化 35 d 时 HAP 含量明显更高,表明在骨搬移结束后,采用“手风琴”技术可以促进延长骨段矿化,加

表 3 两组胫骨骨缺损患者不同时间点牵张成骨区 HAP 累积量比较($\bar{x}\pm s$, mg)

Tab.3 Comparison of HAP accumulation at different time points of distraction osteogenesis between two groups of patients with tibial bone defect($\bar{x}\pm s$, mg)

组别	例数	骨搬移结束后即刻	骨搬移结束后 35 d	骨搬移结束后 65 d	骨搬移结束后 95 d
观察组	11	3 969.73±950.65	6 174.08±1 706.88	6 924.81±2 108.26	8 019.21±3 200.60
对照组	11	3 948.65±1 440.02	4 569.25±1 250.35	4 856.29±1 271.46	5 104.86±1 197.38
t 值		0.041	2.516	2.787	2.829
P 值		0.968	0.021	0.011	0.01

注:骨搬移结束后即刻、骨搬移结束 35 d、骨搬移结束后 65 d、骨搬移结束后 95 d 分别是观察组治疗前、治疗后即刻、治疗后 1 个月和治疗后 2 个月

Note:The time when bone transport has just been performed immediately, 35, 65 and 95 days after bone transport refers to different time points when accordion technique performed before, immediately, 1 and 2 months after the treatment of accordion technique in observation group respectively

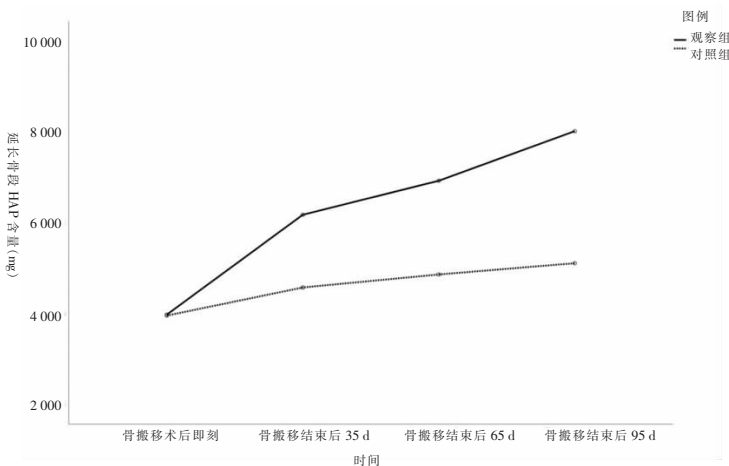


图 2 两组胫骨骨缺损患者不同时间点牵张成骨区 HAP 累积量比较
Fig.2 Comparison of HAP accumulation at different time points of distraction osteogenesis between two groups of patients with tibial bone defect

快 HAP 的增长速度;在骨搬移结束后 65、95 d,观察组 HAP 含量仍明显高于对照组,表明“手风琴”技术可以使延长骨段在矿化早期持续保持较快的矿化速度。HAP 含量增长的实质是延长骨段不断钙盐沉积的过程。笔者推断,“手风琴”技术的压缩与牵张刺激加快了这一进程,骨搬移结束后,压缩刺激使原本脆弱的软骨痂发生微骨折,软骨痂周围发生微血管损伤,微骨折可以重启软骨痂的骨折愈合机制,加快钙盐沉积,微血管损伤可以为软骨痂愈合提供丰富的血流信号^[8-10],加快愈合速度;当软骨痂愈合,转化为骨性骨痂后,钙盐成分相应增多,而牵张刺激又可以通过诱导成骨的作用进一步增加钙盐成分,HAP 含量也就明显升高。对照组单纯矿化的方法,由于缺少对延长骨段人为施加的应力刺激,软骨痂向骨性骨痂转化的自然进程没有被干预,只能保持较慢的钙盐沉积速度,需要的矿化时间和愈合时间也就更长。

3.2 两种治疗方法的优缺点

目前国内外多项研究肯定了“手风琴”技术的积

极作用,骨搬移结束后应用“手风琴”技术具有以下优势:(1)可以加快延长骨段矿化速度。“手风琴”操作可以通过机械力的转导促进延长骨段钙盐沉积,提高骨痂沉降率,矿化速度更快。(2)矿化时间与愈合时间更短。“手风琴”技术操作可以减少治疗时间,并一定程度上减少患者因带架时间过长引起的肌肉挛缩和关节僵硬。(3)损伤小,操作简单。观察组 11 例患者“手风琴”技术操作均由患者及家属在家中完成,且无须植骨,可避免二次手术导致的血运破坏、伤口感染等并发症。但也存在一些不足:(1)无公认的操作方案。“手风琴”技术虽然疗效肯定,但是具体操作方式尚未形成统一认识,本研究采取的操作方式为:将延长骨段压缩 2 周一休息 1 周一牵开 2 周至对合端再次汇合。(2)并发症较多。“手风琴”技术、“压缩-牵张”循环操作,导致长距离搬移出现的长骨轴向偏移、牵拉痛、钢针松动、针道炎性反应或感染等并发症较为普遍^[11]。

临床骨搬移结束后,多采取单纯锁定外架等待矿化,其优势有:(1)治疗费用低。患者在骨搬移结束后,即可锁定外架,不需要额外的治疗措施,复查间隔时间相对延长,患者花费明显减少。(2)治疗创伤小。锁定外架后,不再调节外架,患者只需加强负重及肢体功能锻炼,并进行日常针道护理,对机体无创伤,可减轻患者痛苦。(3)并发症少。可避免由搬移引起的长骨轴向偏移、皮肤牵拉痛、钢针松等并发症,同时由于锁定外架后钢针与针道周围活动度减小,针道感染的发生率也会降低。缺点是:(1)矿化速度慢。在骨搬移结束后,需要等待软骨痂自然矿化为骨性骨痂,矿化速度较慢,过程漫长。(2)治疗时间长。矿化时间与愈合时间久,会增加患者长时间佩戴外固定架引起的心理负担。

临床骨搬移结束后,多采取单纯锁定外架等待矿化,其优势有:(1)治疗费用低。患者在骨搬移结束后,即可锁定外架,不需要额外的治疗措施,复查间隔时间相对延长,患者花费明显减少。(2)治疗创伤小。锁定外架后,不再调节外架,患者只需加强负重及肢体功能锻炼,并进行日常针道护理,对机体无创伤,可减轻患者痛苦。(3)并发症少。可避免由搬移引起的长骨轴向偏移、皮肤牵拉痛、钢针松等并发症,同时由于锁定外架后钢针与针道周围活动度减小,针道感染的发生率也会降低。缺点是:(1)矿化速度慢。在骨搬移结束后,需要等待软骨痂自然矿化为骨性骨痂,矿化速度较慢,过程漫长。(2)治疗时间长。矿化时间与愈合时间久,会增加患者长时间佩戴外固定架引起的心理负担。



图 3 患者,男,46 岁,右胫腓骨开放性骨折,采用“手风琴”技术治疗 3a,3b. 术前正侧位 X 线片示右胫腓骨下段粉碎性骨折 3c,3d. 骨搬移术后第 2 天正侧位 X 线片示骨缺损约 8 cm 3e,3f. 骨搬移术后 6 个月正侧位 X 线片示成骨区骨质矿化良好 3g,3h. 骨搬移术后 12 个月正侧位 X 线片示外固定架已拆除,成骨区骨质密度与正常骨质相似,对合端愈合良好
Fig.3 A 46-year-old male patient with open fracture of right tibia and fibula was treated with accordion technique 3a,3b. Preoperative AP and lateral X-rays showed a comminuted fracture of the lower segment on the right tibia and fibula 3c,3d. On the second day after bone transport, AP and lateral X-rays showed a bone defect about 8 cm 3e,3f. At 6 months after bone transport, AP and lateral X-rays showed good bone mineralization in the osteogenic area 3g,3h. At 12 months after bone transport, AP and lateral X-rays showed the external fixator had been removed, and the bone density in the osteoblast area was similar to that of normal bone, and the docking site healed well

3.3 治疗体会及注意事项

“手风琴”技术的治疗体会及注意事项:(1)“手风琴”技术不仅可以用于矿化不良的患者,对于骨搬移过程中矿化良好的患者,也可以选择“手风琴”技术加速矿化,缩短治疗时间。(2)治疗前对患者及家属进行宣教,指导患者及家属正确调节外架和日常针道护理是影响治疗效果的重要因素。(3)“手风琴”技术是一种动态的治疗方法,在治疗过程中,要利用 X 线、彩色多普勒超声、能谱 CT 对搬移骨段的不同监测优势^[12-14],根据实时反馈结果及患者主观感受,制定个性化调节方案,避免因调节速度过快或过慢导致的矿化不良、牵拉痛等并发症。

单纯锁定外架矿化方法的治疗体会及注意事项:(1)患者复查次数相应减少,治疗时间长,要完善线上随访措施,并注意长期佩戴外固定架可能出现的各种并发症,及早干预。(2)要鼓励患者负重和行走锻炼,通过重力刺激加快延长骨段矿化,缩短带架时间。(3)预防拆除外架后发生再骨折,除临床上常使用的“三个皮质化”标准指导外架拆除时间外,还

可以使用能谱 CT 排查延长骨段应力薄弱点,并采取定量标准指导拆除外架时间,且在拆除外架后,患肢可佩戴护具保护 1~3 个月。

总之,两组 Paley 骨愈合评分上无明显差异,疗效相当。但“手风琴”技术相比单纯锁定外架矿化的方法,能够明显加快延长骨段矿化速度,缩短矿化时间及愈合时间,优势更多,提示 Ilizarov 骨搬移结束后对于延长骨段矿化,“手风琴”技术更值得推荐。本研究病例数较少,还需进一步研究,通过大样本数据得到更有信服力的研究结果。目前,“手风琴”技术的内在作用机制尚不明确,具体操作方案仍未形成统一认识,在实际临床治疗中术者应根据自身对不同方法的掌握程度及患者实际情况选择治疗方式。

参考文献

- [1] Fahad S, Habib AA, Awais MB, et al. Infected non-union of tibia treated with Ilizarov external fixator: our experience [J]. Malays Orthop J, 2019, 13(1): 36-41.
- [2] Bakhsh K, Atiq-Ur-Rehman, Zimri FK, et al. Presentation and management outcome of tibial infected non-union with Ilizarov technique [J]. Pak J Med Sci, 2019, 35(1): 136-140.
- [3] Kani KK, Porrino JA, Chew FS. External fixators: looking beyond

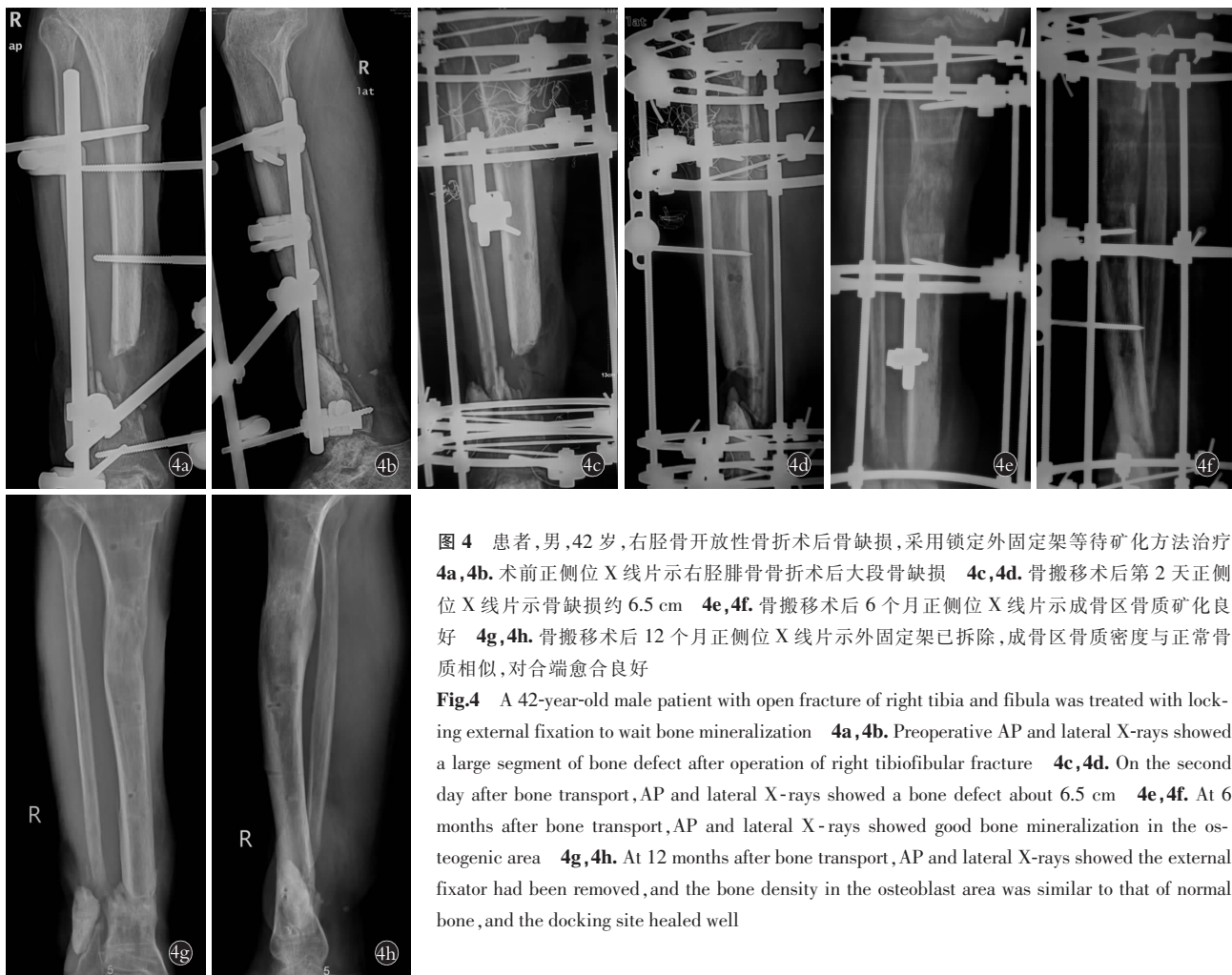


图 4 患者,男,42 岁,右胫骨开放性骨折术后骨缺损,采用锁定外固定架等待矿化方法治疗 4a,4b. 术前正侧位 X 线片示右胫腓骨骨折术后大段骨缺损 4c,4d. 骨搬运术后第 2 天正侧位 X 线片示骨缺损约 6.5 cm 4e,4f. 骨搬运术后 6 个月正侧位 X 线片示成骨区骨质矿化良好 4g,4h. 骨搬运术后 12 个月正侧位 X 线片示外固定架已拆除,成骨区骨质密度与正常骨质相似,对合端愈合良好

Fig.4 A 42-year-old male patient with open fracture of right tibia and fibula was treated with locking external fixation to wait bone mineralization 4a,4b. Preoperative AP and lateral X-rays showed a large segment of bone defect after operation of right tibiofibular fracture 4c,4d. On the second day after bone transport, AP and lateral X-rays showed a bone defect about 6.5 cm 4e,4f. At 6 months after bone transport, AP and lateral X-rays showed good bone mineralization in the osteogenic area 4g,4h. At 12 months after bone transport, AP and lateral X-rays showed the external fixator had been removed, and the bone density in the osteoblast area was similar to that of normal bone, and the docking site healed well

the hardware maze[J]. Skeletal Radiol, 2020, 49(3): 359-374.

[4] 彭瑞健,张永红,李晓辉,等. 手风琴技术用于骨搬运治疗胫骨骨缺损[J]. 中国骨伤, 2018, 31(9): 824-828. PENG RJ, ZHANG YH, LI XH, et al. Accordion operation for the bone transport in treating tibial bone defect[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2018, 31(9): 824-828. Chinese with abstract in English.

[5] Zhang Q, Zhang W, Zhang Z, et al. Accordion technique combined with minimally invasive percutaneous decortication for the treatment of bone non-union[J]. Injury, 2017, 48(10): 2270-2275.

[6] Li X, Li X, Li J, et al. The accuracy of bone mineral density measurement using dual-energy spectral CT and quantitative CT: a comparative phantom study[J]. Clin Radiol, 2020, 75(4): 9-15.

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

[8] 夏和桃,李刚. 现代骨外固定概念的生物学基础及应用原则[J]. 中华创伤骨科杂志, 2011, 13(10): 964-968. XIA HT, LI G. Biological basis and application principle of modern concept of external fixation[J]. Zhonghua Chuang Shang Gu Ke Za Zhi, 2011, 13(10): 964-968. Chinese.

[9] Jiang X, Zhang Y, Fan X, et al. The effects of hypoxia-inducible factor (HIF)-1 α protein on bone regeneration during distraction osteogenesis: an animal study[J]. Int J Oral Maxillofac Surg, 2016, 45(2): 267-272.

[10] 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): 1268-1276.

[11] Wen G, Zhou R, Wang Y, et al. Management of post-traumatic long bone defects: A comparative study based on long-term results[J]. Injury, 2019, 50(11): 2070-2074.

[12] Andrade N, Aggrawal N, Jadhav G, et al. To determine the efficacy of ultrasonography in the evaluation of bone fill at the regenerate site for mandibular distraction osteogenesis over clinical and radiographic assessment-An in vivo prospective study[J]. J Oral Biol Craniofac Res, 2018, 8(2): 89-93.

[13] Vidyadhara S, Rao SK. A novel approach to juxta-articular aggressive and recurrent giant cell tumours: resection arthrodesis using bone transport over an intramedullary nail[J]. Int Orthop, 2007, 31(2): 179-184.

[14] Tedeschi SK, Solomon DH, Yoshida K, et al. A prospective study of dual-energy CT scanning, US and X-ray in acute calcium pyrophosphate crystal arthritis[J]. Rheumatology (Oxford), 2020, 59(4): 900-903.

(收稿日期:2020-04-08 本文编辑:李宜)