

Ilizarov 技术治疗先天性第四跖骨短小症：延长比例亚组分析

梁家畅, 管华, 冯恩辉, 陈谱, 黄伟明, 何剑波, 谢杰伟

<https://doi.org/10.12307/2025.821>

投稿日期: 2024-05-30

采用日期: 2024-07-20

修回日期: 2024-08-24

在线日期: 2024-09-12

中图分类号:

R459.9; R318; R683.42

文章编号:

2095-4344(2025)33-07217-06

文献标识码: B

文章快速阅读: Ilizarov 技术治疗先天性第四跖骨短小症的最佳延长比例

研究起点:

- 先天性第四跖骨短小症
- Ilizarov 外固定技术
- 外固定器
- 骨搬运技术
- 并发症
- 疗效分析
- 最佳延长比例

先天性第四跖骨短小症患者

Ilizarov 技术

研究
中心问题

骨搬运技术

并发症分析

临床疗效评估

延长比例亚组分析

文题释义:

Ilizarov 技术: 即牵张成骨技术, 就是将骨质切开, 保留软组织和血供, 采用特制的牵引装置固定骨骼两端, 应用张应力法则逐步施加拉力将骨段缓慢牵拉, 不断刺激机体组织, 激发人体组织再生潜能, 使截骨间隙形成新骨, 达到骨再生的目的。

先天性第四跖骨短小症: 是较为罕见的足部畸形, 由跖骨骨骺板过早闭合导致跖骨缩短引起, 最常见于第四跖骨, 当跖骨末端距正常 5 个跖骨头组成的抛物线弧大于 5 mm 时即可诊断。

摘要

背景: Ilizarov 技术治疗先天性第四跖骨短小症十分有效, 但仍有并发症, 目前对于第四跖骨延长最佳比例仍存在争议。

目的: 探讨 Ilizarov 技术治疗先天性第四跖骨短小症的临床疗效及最佳延长比例。

方法: 收集 2021 年 8 月至 2023 年 10 月在广东省中医院使用 Ilizarov 技术治疗先天性第四跖骨短小症患者的病历资料, 评估患者治疗前后美国矫形外科足踝协会评分、第四跖骨手术前后长度、术后并发症等情况; 并对延长长度比例进行亚组分析, 评估术式的最佳适用条件。

结果与结论: ①共纳入 16 例患者, 患者治疗前第四跖骨长度为(43.51±3.75) mm, 短缩长度为(12.53±2.82) mm, 治疗期间延长时间为(36.95±4.12) d, 带外固定支架时间为(102.30±32.74) d, 治疗后延长长度为(13.90±3.47) mm, 延长比例为(32.30±9.10)%; ②末次随访美国矫形外科足踝协会评分显著高于治疗前($t=0.763, P < 0.01$); ③主要术后并发症有骨不连、跖趾关节脱位、跖趾关节僵硬、第四跖骨延长过度, 所有患者无感染、趾端感觉异常; ④基于延长长度比例亚组分析显示, 延长长度比例≤35.36%组患者并发症发生率(17%)明显低于延长长度>35.36%组(100%)($t=14.008, P < 0.01$); 同时延长长度比例≤35.36%组患者术后美国矫形外科足踝协会评分(90.25±3.01)分高于延长长度比例>35.36%组(82.00±9.97)分($t=2.254, P=0.037$); ⑤提示 Ilizarov 技术治疗先天性第四跖骨短小症手术创伤小, 可显著改善患者足部畸形, 尤其适用于治疗延长长度比例不超过 35.36% 的患者, 并发症发生率低, 效果满意。

关键词: Ilizarov 技术; 第四跖骨短小症; 跖骨延长; 延长比例; 并发症; 骨科植入物

Ilizarov technique for treatment of congenital brachymetatarsia of the fourth: subgroup analysis of prolongation ratio

Liang Jiachang, Guan Hua, Feng Enhui, Chen Pu, Huang Weiming, He Jianbo, Xie Jiawei

Department of Foot and Ankle Trauma, Guangdong Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine, Guangzhou 510120, Guangdong Province, China
Liang Jiachang, MS, Physician, Department of Foot and Ankle Trauma, Guangdong Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine, Guangzhou 510120, Guangdong Province, China

Corresponding author: Xie Jiawei, MS, Associate chief physician, Department of Foot and Ankle Trauma, Guangdong Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine, Guangzhou 510120, Guangdong Province, China

Abstract

BACKGROUND: The Ilizarov technique is very effective in the treatment of congenital brachymetatarsia of the fourth, but there are still some complications. The optimal proportion of lengthening of the fourth metatarsal is still controversial.

OBJECTIVE: To explore the clinical efficacy of Ilizarov technique in the treatment of congenital brachymetatarsia of the fourth and the optimal lengthening ratio.

广东省中医院创伤足踝科, 广东省广州市 510120

第一作者: 梁家畅, 男, 1995 年生, 广东省阳江市人, 汉族, 2022 年广州中医药大学毕业, 硕士, 医师, 主要从事足踝骨科方面的研究。

通讯作者: 谢杰伟, 硕士, 副主任医师, 广东省中医院创伤足踝科, 广东省广州市 510120

<https://orcid.org/0009-0008-2752-9699> (梁家畅)

基金资助: 广东省中医院科学院技术研究院拔尖人才专项项目 (BJ2022YL13), 项目负责人: 谢杰伟; 广东省软科学研究计划项目 (2020A1414040031), 项目负责人: 谢杰伟

引用本文: 梁家畅, 管华, 冯恩辉, 陈谱, 黄伟明, 何剑波, 谢杰伟. Ilizarov 技术治疗先天性第四跖骨短小症: 延长比例亚组分析 [J]. 中国组织工程研究, 2025, 29(33):7217-7222.



METHODS: Medical records of patients with congenital brachymetatarsia of the fourth treated with Ilizarov technique in Guangdong Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine from August 2021 to October 2023 were collected. American Orthopaedic Foot and Ankle Society scores before and after the treatment, length of the fourth metatarsal before and after surgery, and postoperative complications were evaluated. The prolongation ratio was analyzed by subgroups to assess the best suitable length for the operative conditions.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) A total of 16 patients were included. The length of the fourth metatarsal before treatment was (43.51 ± 3.75) mm, and the shortening length was (12.53 ± 2.82) mm; the lengthening time during the treatment period was (36.95 ± 4.12) days, and the time with external fixation bracket was (102.30 ± 32.74) days, and the lengthening length after the treatment was (13.90 ± 3.47) mm, and the prolongation ratio was $(32.30\pm 9.10)\%$. (2) American Orthopaedic Foot and Ankle Society scores were significantly increased at the last follow-up compared with that before treatment ($t=0.763, P<0.01$). (3) The main postoperative complications were bone nonunion, metatarsophalangeal joint dislocation, metatarsophalangeal joint narrowing, and excessive lengthening of the fourth metatarsal. All patients were free of infection and abnormal sensation in the toe. (4) Subgroup analysis based on prolongation ratio showed that the rate of complications in patients in the prolongation ratio $\leq 35.36\%$ group (17%) was significantly lower than the prolongation ratio $> 35.36\%$ group (100%) ($t=14.008, P<0.01$). Meanwhile, the postoperative American Orthopaedic Foot and Ankle Society score of patients in the prolongation ratio $\leq 35.36\%$ group (90.25 ± 3.01) was higher than that of patients in the prolongation ratio $> 35.36\%$ group (82.00 ± 9.97) ($t=2.254, P=0.037$). (5) It is concluded that Ilizarov technique for the treatment of congenital brachymetatarsia of the fourth is less traumatic surgery, can significantly improve the foot deformity of patients, especially suitable for the treatment of patients whose prolongation ratio does not exceed 35.36%, with low complication rate and satisfactory results.

Key words: Ilizarov technique; brachymetatarsia of the fourth; metatarsal lengthening; prolongation ratio; complication; orthopedic implant

Funding: Guangdong Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine of Academy of Sciences Technology Research Talent of Special Project, No. BJ2022YL13 (to XJW); Soft Science Research Project in Guangdong Province, No. 2020A1414040031 (to XJW)

How to cite this article: LIANG JC, GUAN H, FENG EH, CHEN P, HUANG WM, HE JB, XIE JW. Ilizarov technique for treatment of congenital brachymetatarsia of the fourth: subgroup analysis of prolongation ratio. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2025;29(33):7217-7222.

0 引言 Introduction

先天性跖骨短小症是较为罕见的足部畸形，由跖骨骨骺板过早闭合导致跖骨缩短引起，最常见于第一和第四跖骨，当跖骨末端距正常 5 个跖骨头组成的抛物线弧大于 5 mm 时即可诊断^[1-4]。据文献报道先天性跖骨短小症的发病率为 0.02%–0.05%，并且以女性多见（女性/男性比例 25 : 1）^[5-6]。跖骨短小症最常见的症状是转移性跖骨痛、脚趾畸形、影响美观，患者通常因美容问题而寻求治疗^[7-8]。跖骨短小症的非手术治疗包括特定矫形器或定制鞋垫来改善跖骨头的舒适度^[9-10]，然而保守治疗的结果并不令人满意，因此，手术治疗是寻求满意的足部外观和功能结果的不二选择^[11-13]，最常见的外科手术包括一期截骨延长术和/或植骨术，或牵引成骨延长术即 Ilizarov 技术^[14-16]。Ilizarov 技术就是将骨质切断，保留软组织和血供，采用特制的牵引装置固定骨骼两端，应用张应力法则逐步施加拉力将骨段缓慢牵拉，不断刺激机体组织，激发人体组织再生潜能，使截骨间隙形成新骨，达到骨再生的目的。使用外固定支架牵张成骨是一种广泛使用的技术，特别是当需要延长大于 1 cm 时，虽然选择这种技术时治疗持续时间较长，需要患者的理解和耐心合作，但使用外固定支架较一期截骨延长术有以下优点：增加结构的稳定性，更大程度拉伸、更好地控制拉伸，更短的手术时间，不需要足背部广泛切开，术后足背瘢痕小，不需要骨移植（移植骨吸收风险大）及使用钢板内固定装置（避免二次手术取出内固定装置）^[16-20]。

目前对于 Ilizarov 技术治疗第四跖骨短小症延长长度比例存在争议，对并发症的预防未见报道，此次研究旨在报道广东省中医院创伤足踝科应用 Ilizarov 技术治疗先天性第四跖骨短小症的临床疗效、最佳延长比例及并发症预防相关经验。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 回顾性病例分析，结果分析采用 t 检验及卡方检验。

1.2 时间及地点 试验于 2021 年 8 月至 2023 年 10 月在广东省中医院大德路总院创伤足踝科完成。

1.3 对象

纳入标准：①通过 X 射线片确诊为单纯第四跖骨短小症（跖骨短缩大于 5 mm）；②既往未曾行跖骨延长术病史；③局部皮肤无感染；④依从性高。

排除标准：①非先天性第四跖骨短小症患者；②合并扁平足、高弓足等足踝部畸形患者；③严重心脑血管疾患的患者；④患有神经系统疾患的患者。

根据上述纳入及排除标准，此次研究纳入 2021 年 8 月至 2023 年 10 月采用 Ilizarov 技术治疗先天性第四跖骨短小症的患者 16 例，共 20 只足，其中男 1 例，女 15 例；年龄 (26.15 ± 3.60) 岁；12 例为单侧第四跖骨短小，4 例为双侧受累；第四跖骨短缩长度为 (12.53 ± 2.82) mm。此次研究已通过广东省中医院医学伦理委员会批准，患者对治疗方案均知情同意。

1.4 材料 术中所有病例均使用 Schanz 钢针及单臂一体骨科微型外固定支架，由天津市新中医疗器械有限公司生产，见表 1。

1.5 方法 麻醉成功后，患者取仰卧位，常规消毒、铺巾、上止血带。以患侧第四跖骨为中心，取一长约 2 cm 切口，切开皮肤、皮下组织，显露第四跖骨干部，以第四跖骨干中点为中心，从近端钻入 2 枚 2.0 mm×70 mm Schanz 钢针，从远端钻入 2 枚 2.0 mm×70 mm Schanz 钢针，安装长 65 mm 单臂一体骨科微型外固定支架，从第四跖骨中心处用 1.2 mm 克氏针环形钻孔后骨刀微创截骨，检查骨折处已完全截断，调整外固定牵引架，

表 1 | 植入物的材料学特征

Table 1 | Implant material characteristics

| 指标 | Schanz 金属骨针 | 单臂一体骨科微型外固定支架 |
|----------|---|---|
| 生产厂家 | 天津市新中医疗器械有限公司 | 天津市新中医疗器械有限公司 |
| 型号 | 螺纹刀刀型 | 手指、脚趾矫形型 |
| 批准号 | 国械注准 20143132267 | 津械注准 20192040063 号 |
| 性能结构 | 该产品采用符合 GB4234.1 标准中规定的 00Cr18Ni14Mo3 不锈钢材料制造。钢针规格：直径 2.0 mm，长度 70 mm | 产品主要是由针夹、延长接头、撑开架、偏心轴、环架、丝杠、连接器部件组成。不锈钢部件的耐腐蚀性能满足 YY/T0149 中“沸水试验法”b 级要求；铝合金部件进行阳极氧化处理，阳极氧化膜的耐蚀性应不低于 GB/8013.1-2007 中 II 级的规定 |
| 材质 | 不锈钢 | 铝合金 / 不锈钢 |
| 适应证 | 通过与外固定支架的配合，应用于骨折部位的体外固定复位及手部、足部矫形 | 通过与金属骨针的配合，应用于骨折部位的体外固定复位及手部、足部矫形 |
| 生物相容性 | 产品已经过生物相容性评价，符合相关标准，为非永久性植入物，术后 8-10 个月可取出植入物 | 产品已经过生物相容性评价，符合相关标准 |
| 产品标注的不良反 | ①松动或移位；②疼痛、感染；③折断 | 松动或移位 |

确保截骨完全脱离。从第四趾骨远端置入 1.2 mm 克氏针经过跖趾关节至第四跖骨远端；X 射线机透视下各螺纹针位置良好。冲洗各术口，术口均常规缝合关闭，各术口以纱布棉垫加压包扎。术毕，观察患者生命体征及趾端感觉血运情况。手术前后各使用一次头孢唑林钠 1 g+100 mL 生理盐水静脉滴注预防感染。术后第 1 天予术口清洁换药观察术口情况，并在疼痛耐受情况下指导患者穿着前足免负重鞋下地行走。术后 5-7 d 开始延长，外固定支架卡槽旋转 1 圈 360° 为延长 1 mm，嘱患者每隔 6 h 顺时针旋转 90° 延长 0.25 mm，一天延长 4 次共 1 mm。嘱患者每周复查足部正侧位 X 射线片，当足部外观满意及 X 射线片显示跖骨头恢复至正常位置时立即停止延长，门诊就诊拔出克氏针，并教导患者主被动按摩、活动第四跖趾关节增加关节活动度，防止第四跖趾关节僵硬。继续定期复查足部 X 射线片评估骨痂生长及骨化情况，待完全骨化后门诊拆除外固定支架，继续积极进行跖趾关节活动度康复训练。

1.6 主要观察指标 收集患者性别、年龄、患肢等一般信息资料，根据 X 射线片影像学资料测量患者治疗前后第四跖骨长度、延长长度等数据，记录患者延长时间、带外固定支架时间、随访时间、满意度及手术并发症等信息。

观察并评估患者治疗前后美国矫形外科足踝协会 (American Orthopedic Foot and Ankle Society, AOFAS) 评分。AOFAS 足踝量表总分为 100 分，根据病情和功能影响的严重程度，将不同项目进行评分，主要包括疼痛、功能和关节运动，其中疼痛方面的评分范围为 40 分，功能方面的评分范围为 50 分，关节运动方面的评分范围为 10 分。分数越高代表病情和功能越良好。

1.7 统计学分析 应用 SPSS 26.0 软件进行统计学分析，

组间计量资料经正态性检验及方差齐性检验，若数据符合正态分布且方差齐则选用独立样本 t 检验，若数据符合正态分布但方差不齐则选用独立样本 t' 检验，组内计量资料前后比较采用配对样本 t 检验。分类资料构成比的比较使用卡方检验，若总样本量 $n \geq 50$ 且 $T \geq 5$ ，采用 Pearson 卡方检验；若总样本量 $n \geq 50$ 且 $1 \leq T < 5$ ，用连续性校正的卡方进行检验；若总样本量 $n < 50$ 且 $T < 1$ 则用 Fisher's 检验。所有统计结果以 $P < 0.05$ (95% 置信区间) 为差异有显著性意义。文章统计学方法已经广东省中医院生物统计学专家审核。

2 结果 Results

2.1 参与者数量分析 纳入 Ilizarov 技术治疗第四跖骨短小症的患者 16 例 20 足，全部进入结果分析，无脱落现象。

2.2 试验流程图 见图 1。

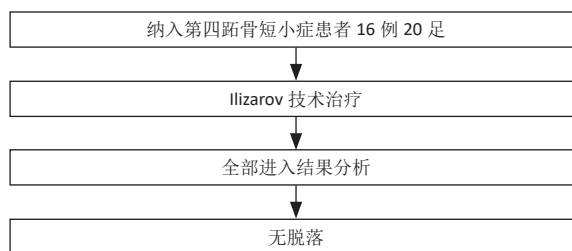


图 1 | 试验流程图

Figure 1 | Trial flow chart

2.3 临床与影像学结果 患者均获得随访，随访时间 (9.15±6.86) 个月 (4-26 个月)。患者术前第四跖骨长度为 (43.51±3.75) mm (35.32-50.18 mm)，第四跖骨短缩长度为 (12.53±2.82) mm (5.62-16.9 mm)，延长长度为 (13.90±3.47) mm (6.78-21.26 mm)，延长比例为 (32.30±9.10)%，延长时间为 (36.95±4.12) d (30-44 d)，带外固定支架时间 (102.30±32.74) d (67-164 d)。

AOFAS 评分从术前的 (71.40±5.66) 分提高到末次随访的 (85.30±8.838) 分，差异有显著性意义 ($t=0.763$, $P < 0.01$)。12 例患者均对延长手术表示满意，2 例患者骨不连翻修及 2 例患者跖趾关节脱位行翻修手术表示不满意。此外，延长时间与延长长度呈正相关 ($y=0.5508x-6.3972$, $R^2=0.4425$)，详见图 2。

2.4 并发症 2 例患者因使用电动摆锯截骨术后出现骨不连，通过骨移植+钢板内固定治疗来延长第四跖骨长度；1 例患者因延长力线欠佳出现第四跖趾关节脱位，返院第四跖趾关节成形手术，术后跖趾关节活动度减小；2 例患者出现轻度跖趾关节脱位，第四跖骨轻度外翻，患者对矫正外形较为满意；1 例患者因未定期门诊复诊导致跖骨延长过度；4 例患者出现跖趾关节间隙变窄，活动度减小，

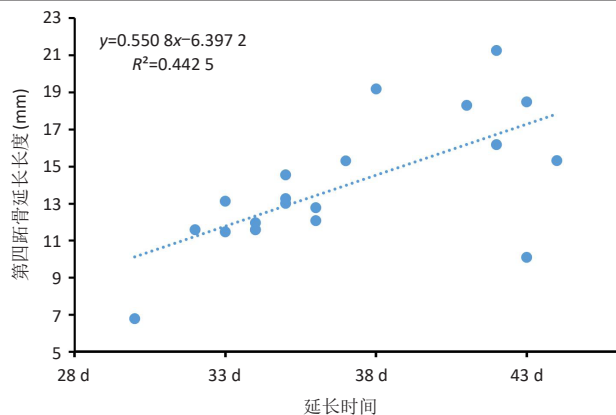


图2 | 第四跖骨短小症患者延长长度与延长时间的关系
Figure 2 | Relationship between prolongation length and prolongation time in patients with congenital brachymetatarsia of the fourth

这是影响 AOFAS 评分的主要因素。所有患者均未出现外固定装置松动、趾端血运感觉异常及针道感染现象，植入物生物相容性良好。详见表 2。

表 2 | 患者并发症发生率情况 (20 足)

| 并发症 | n/% |
|----------------|-------|
| 骨不连 | 2/10 |
| 跖趾关节脱位手术修复 | 1/5 |
| 跖趾关节轻度脱位 | 2/10 |
| 延长过度 | 1/5 |
| 跖趾关节间隙变窄，活动度减小 | 4/20 |
| 总并发症发生率 | 10/50 |

2.5 基于第四跖骨延长长度比例的亚组分析 对 20 只足的第四跖骨延长长度比例按照从高到低顺序排列，根据术后并发症情况依次进行卡方检验分析，当延长比例为 35.36% 这一界点时，延长长度比例 $\leq 35.36\%$ 组的并发症发生率 (17%) 较术后延长比例 $> 35.36\%$ 组 (100%) 低，且差异有显著性意义 ($t=14.008, P < 0.05$)，因此以延长比例小于 35.36% 为宜。

20 只足中 12 只足第四跖骨延长长度比例 $\leq 35.36\%$ ，延长长度为 (11.65 ± 2.77) mm；8 只足术后延长比例 $> 35.36\%$ ，延长长度为 (17.32 ± 2.35) mm，两组相比差异有显著性意义 ($t=-4.455, P < 0.01$)。两亚组患者在年龄、性别、跖骨长度方面差异无显著性意义 ($P > 0.05$)，具有可比性。术后延长长度比例 $\leq 35.36\%$ 组的术后 AOFAS 评分 (90.25 ± 3.01) 分高于术后延长比例 $> 35.36\%$ 组 (82.00 ± 9.97) 分，差异有显著性意义 ($t=2.254, P < 0.05$)。

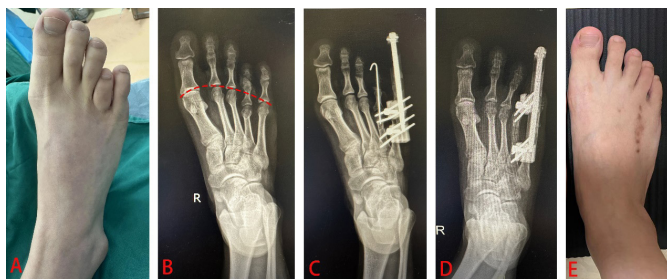
所以 Ilizarov 技术治疗先天性第四跖骨短小症手术可显著改善患者足部畸形，尤其适用于治疗延长长度比例不超过 35.36% 的患者，并发症发生率低，效果满意。详见表 3。

2.6 典型病例 见图 3。

表 3 | 基于第四跖骨延长长度比例的亚组分析
Table 3 | Subgroup analysis based on prolongation ratio of the fourth metatarsal bone

| 指标 | 延长比例 $\leq 35.36\%$ 组 (12 足) | 延长比例 $> 35.36\%$ 组 (8 足) | P 值 |
|---------------------------------|------------------------------|--------------------------|-------|
| 年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁) | 25.00 \pm 13.63 | 26.92 \pm 3.53 | 0.254 |
| 性别 (女/男, 足) | 11/1 | 8/0 | 0.402 |
| 跖骨长度 ($\bar{x} \pm s$, mm) | 43.10 \pm 4.71 | 43.79 \pm 3.17 | 0.702 |
| 跖骨短缩长度 ($\bar{x} \pm s$, mm) | 10.65 \pm 3.10 | 13.79 \pm 1.82 | 0.027 |
| 延长长度 ($\bar{x} \pm s$, mm) | 11.65 \pm 2.77 | 17.32 \pm 2.35 | 0.001 |
| 延长时间 ($\bar{x} \pm s$, d) | 34.50 \pm 3.85 | 38.58 \pm 3.55 | 0.031 |
| 术前 AOFAS 评分 ($\bar{x} \pm s$) | 75.88 \pm 3.31 | 68.42 \pm 4.91 | 0.056 |
| 术后 AOFAS 评分 ($\bar{x} \pm s$) | 90.25 \pm 3.01 | 82.00 \pm 9.97 | 0.037 |
| 并发症发生率 (n/%) | 2/17 | 8/100 | 0.005 |

表注：AOFAS 为美国矫形外科足踝协会。



图注：图 A 为术前外观照，可见右侧第四跖骨短小，足趾稍上翘；B 为术前 X 射线片，提示第四跖骨短缩 11.98 mm；C 为术后 X 射线片，显示安装外固定术后；D 为术后 2 个月 X 射线片，显示延长骨愈合良好；E 为术后外观照，可见 4 个 Schanz 针道瘢痕和中间截骨处瘢痕。

图 3 | 女性 26 岁右侧第四跖骨短小患者治疗前后相关图片
Figure 3 | Photos of a 26-year-old female patient with brachymetatarsia of the fourth on the right before and after treatment

3 讨论 Discussion

3.1 先天性第四跖骨短小症和结果分析 第四跖骨短小症是一种先天性罕见足部畸形，由于跖骨骨骺板过早闭合引起^[5]，会导致前足功能障碍和美容问题，尤其是对年轻女性影响大。目前先天性第四跖骨短小症病因尚未明确，可能与多种疾病有关，如唐氏综合征、甲状腺功能减退症、脊髓灰质炎、多发性骨骺发育不良、内分泌失调和特纳综合征等^[21-24]。从七八岁起即可出现第四跖骨短小，但建议骨骼生长完成后再进行手术治疗^[25-26]。对于需要延长超过 1 cm 的跖骨缺损，外固定延长技术已被证明是首选治疗方法^[23, 27]。LAMM^[7]报道了采用经皮外固定技术进行牵引成骨治疗短跖骨症，该技术强调了保持适当延长长度和延长角度的重要性，以确保恢复跖骨解剖位置。通过 Ilizarov 技术逐步牵引跖骨延长是一种安全、准确且可预测的方法^[28]。患者能够在外固定牵引骨骼的同时牵拉肌腱、神经和血管，并且不需要骨移植，因为牵引会使自然再生骨形成^[29-30]。研究证实，Ilizarov 技术可以恢复跖骨长度、脚趾位置、足部和脚趾功能，并改善美观^[9, 31-32]，通过恢复正常的跖骨抛物线以及恢复脚趾功能可以减轻疼痛^[33]。Ilizarov 技术逐步牵引跖骨延长治疗相关的并发症已有研究报道，包括过度延长、跖骨不愈合、延迟愈合、跖趾关节半脱位、跖趾关节僵硬、瘢痕、钉

道感染、畸形愈合、缩短、骨髓炎、脚趾挛缩，文献中未发现骨痂牵张导致跖骨坏死或趾缺失的病例^[34-35]。

JONES 等^[36]系统回顾报道了 457 例跖骨短小症手术患者的病历资料，99.3% 为先天性，平均年龄为 21.7 岁，女性占 93.2%，44.5% 为双侧受累；在外固定支架牵引组中 ($n=388$)，49 例 (12.62%) 有严重并发症，152 例 (39.18%) 有轻微并发症；外固定支架牵引组总体上并发症最多，其中跖趾关节僵硬、活动范围减小最常见。即使并发症发生率很高，外固定支架牵引确实比一期骨移植延长有优势：跖骨可以增加至更长的长度。此次研究中，患者术前 AOFAS 评分为 (71.40±5.66) 分，寻求治疗的首要原因是影响美观，并无患者出现转移性跖骨疼痛症状，这表明第四跖骨短小不改变足部的三点支撑力。此次研究中总体并发症为 50%，其中严重并发症为 15%，轻微并发症为 35%，并发症最多为跖趾关节间隙变窄，跖趾关节僵硬，这也是影响患者术后 AOFAS 评分的主要因素，与大样本系统综述结果相一致。患者第四跖骨平均延长 13.90 mm，均未出现一期大幅撑开延长导致患趾麻木甚或缺血坏死等神经、血管损伤情况，同时术口较为微创，外观更加被患者接受。KIM 等^[1]对比了第一跖骨和第四跖骨进行延长的病例结果，发现 41.3% 的延长比例是发生并发症的临界值。此次研究中延长比例不超过 35.36% 的患者并发症低并且满意度高，因此作者不建议为无症状患者进行超过 35.36% 的延长。

3.2 并发症及技术要点

3.2.1 骨不连 延长后的骨化期一般为 3-5 个月，会受到多种因素的影响，包括患者的年龄、内科疾病的情况、截骨的部位、延长的速度以及延长量等。最关键的是在跖骨截骨时要采用低能量截骨，高能量截骨会增加骨热坏死的风险，骨骼的热损伤可能会导致延迟愈合或者骨不连^[37]。此次研究有 2 例患者由于采用电动摆锯截骨导致骨不连，考虑热损伤引起。因此建议：①需用低能量工具截骨，尽量减少对骨膜和内膜的损伤；②每天延长长度应小于 1 mm，并可采用交替牵张压缩的手风琴式技术，这会刺激调控血管内皮细胞生长因子的生长而增加断端血液供应、促进骨愈合，同时该技术可激发骨形态结合蛋白分泌，诱导骨生长^[38]；③外固定的稳定性对于骨再生愈合至关重要，术中截骨端 4 根 Schanz 针必须通过双层皮质；④积极控制内科疾病，避免伤口感染。此次研究中 2 例骨不连患者通过异体骨移植 + 钢板内固定治疗来解决，获得了良好效果。

3.2.2 跖趾关节脱位 在跖骨延长过程中，跖趾关节半脱位或脱位并不罕见，若治疗前就存在软组织不平衡或关节适配性欠佳更容易出现跖趾关节脱位，在跖骨延长期间，跖趾半脱位或脱位通常发生在矢状面。关节脱位的最常

见原因是跖骨过度延长，此次研究显示延长超过 12.5 mm 跖趾关节脱位风险较大。过快的速度可能发生关节压力增高和屈伸肌力量的不平衡，而脱位延长过程中的速度可以根据患者的软组织松紧程度作适当调整，如果局部张力过高引起疼痛不适，就适当停止或减缓延长速度来改善症状。在长度合适后尽早拔去固定针进行关节功能的训练，降低关节僵硬的发生。此次研究中有 1 例跖趾关节脱位患者及 2 例半脱位患者，其中 1 例行跖趾关节成形术，术后跖趾关节力线良好。为减少跖趾关节脱位需要：①根据此次研究经验建议延长不超过 12.5 mm，每天延长长度不超过 1 mm；②用克氏针贯穿固定跖趾关节，对延长比例比较大者，推迟拔除钢针的时间，可有效防止脱位的发生；③跖骨延长方向对关节脱位影响巨大，由于延长的跖骨是三维方向的延长，不仅存在长度的增加，还有矢状面上的位移，所以 Schanz 钉的方向决定着延长后跖骨头的空间位置。当 Schanz 钉与骨干近端成锐角时，延长后的跖骨头上翘；而当 Schanz 钉与骨干远端成锐角时，延长后跖骨头下沉。为了保持延长后的跖骨头尽量不破坏前足横弓，在攻入 Schanz 钉时必须与跖骨长轴垂直，使跖骨延长能够保持整体向前平移。若出现严重跖趾关节脱位可行跖骨远端截骨矫形或跖趾关节成形手术恢复力线，轻度跖趾关节脱位可早期捆绑结合手法松懈及功能锻炼，均获得良好效果。

3.2.3 跖趾关节僵硬 跖趾关节僵硬是发病率最高的并发症^[14, 39]，持续的肌肉挛缩和延长过程中关节压力增加会导致僵硬，这是一种晚期并发症。同时当骨骼延长后，屈趾和伸趾肌腱并未等速延长，紧缩的肌腱回弹牵拉，使跖趾关节压缩，关节间隙变窄。此外，术中贯彻跖趾关节预防跖趾关节脱位的克氏针也会导致跖趾和趾间关节活动度减少。因此，当延长长度满意后，应尽早拔出固定的克氏针，鼓励早期下地活动；延长支架拆除后，采用理疗、按摩和水疗等综合手段康复，恢复关节活动度。目前国外针对此并发症采取跨越跖趾关节的外固定相结合，可最大程度地减少术后跖趾关节僵硬。因此在第四跖趾关节上放置一个铰接式牵引器的方式值得尝试。

3.2.4 过度延长 通过此组病例观察发生，延长跖骨过长会破坏足弓完整性，跖骨头着地会形成行走痛。关键是掌握延长的长度，合理的跖骨长度应该是第四跖骨头位于 5 个跖骨头形成的弧形抛物线上，长度过长只能等骨痂硬化后重新截除一段跖骨，恢复其正常长度。据作者观察，若在延长停止后的 3 d 内发现长度不合适都可以重新调整，此段时间内骨痂尚可被重新压缩或拉长。因此需嘱患者严格按照医嘱执行，延长期间每周复查足部 DR 片以评估跖骨长度^[40]。

3.3 结论 Ilizarov 技术治疗先天性第四跖骨短小症手术创伤小，可显著改善患者足部畸形，尤其适用于治疗延长长

度比例不超过 35.36% 的患者, 并发症发生率低, 效果满意。此次研究仍有不足之处: 由于先天性第四跖骨短小症发病率不高导致纳入病例数较少, 仍需进行大样本临床研究, 同时需不断完善手术技巧积累经验, 可以联合多中心进行进一步的合作研究。

作者贡献: 谢杰伟、梁家畅负责实验设计及论文书写, 梁家畅、陈谱、管华负责收集病例数据, 冯恩辉、黄伟明、何剑波负责统计分析。

利益冲突: 文章的全部作者声明, 在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

开放获取声明: 这是一篇开放获取文章, 根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享 4.0”条款, 在合理引用的情况下, 允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展, 同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献, 并为之建立索引, 用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

版权转让: 文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

出版规范: 该文章撰写遵守了《观察性临床研究报告指南》(STROBE 指南)。文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行 3 次文字和图表查重, 文章经小同行外审专家双盲审稿, 同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

4 参考文献 References

[1] KIM HT, LEE SH, YOO CI, et al. The management of brachymetatarsia. *J Bone Joint Surg.* *J Bone Joint Surg Br.* 2003;85(5):683-690.

[2] SCHIMIZZI A, BRAGE M. Brachymetatarsia. *Foot Ankle Clin.* 2004;9(3):555-570.

[3] LEE KB, PARK HW, CHUNG JY, et al. Comparison of the outcomes of distraction osteogenesis for first and fourth brachymetatarsia. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92(16):2709-2718.

[4] THOMAS MA, SIDDIQUI NA, MILLONIG KJ, et al. The Role of the Shortened Proximal Phalanx in the Setting of Brachymetatarsia. *J Foot Ankle Surg.* 2023;62(1):129-131.

[5] URANO Y, KOBAYASHI A. Bone-lengthening for shortness of the fourth toe. *J Bone Joint Surg Am.* 1978;60(1):91-93.

[6] SHECAIRA AP, FERNANDES RMP. Brachymetatarsia: One-stage Versus Two-Stage Procedures. *Foot Ankle Clin.* 2019;24(4):677-687.

[7] LAMM BM. Percutaneous distraction osteogenesis for treatment of brachymetatarsia. *J Foot Ankle Surg.* 2010;49(2):197-204.

[8] SIDDIQUI NA, MATEEN S, THOMAS MA, et al. Comparing Outcomes of Acute Versus Gradual Surgical Correction in Brachymetatarsia. *J Foot Ankle Surg.* 2024;63(2):281-285.

[9] FUSINI F, ALESSANDRO M, RAVA A, et al. Aetiology, diagnosis, and treatment of brachymetatarsia: a narrative review. *Musculoskelet Surg.* 2022;106(2):99-109.

[10] CORDOBA-FERNANDEZ A, VERA-GOMEZ ML. Literature Review on Brachymetatarsia. *Orthop Nurs.* 2018;37(5):292-302.

[11] SMOLLE E, SCHEIPL S, LEITHNER A, et al. Management of congenital fourth brachymetatarsia by additive autologous lengthening osteotomy (AALO): a case series. *Foot Ankle Int.* 2015;36(3):325-329.

[12] DESAI A, LIDDER S, R ARMITAGE A, et al. Brachymetatarsia of the fourth metatarsal, lengthening scarf osteotomy with bone graft. *Orthop Rev.* 2013;5(3):e21.

[13] HUNG WC, CHEN CH, LIN CH, et al. Subacute two stage metatarsal lengthening with gradual distraction for brachymetatarsia: A consecutive case series and literature review. *Foot Ankle Surg.* 2023;29(1):86-89.

[14] LEE KB, YANG HK, CHUNG JY, et al. How to avoid complications of distraction osteogenesis for first brachymetatarsia. *Acta Orthop.* 2009;80(2):220-225.

[15] LAMM BM, LAMM TB. Brachymetatarsia: A Classification for Surgical Treatment. *J Foot Ankle Surg.* 2023;62(1):132-149.

[16] 苏惠强, 王江波, 张勇, 等. 一期延长与渐进性延长治疗先天性跖骨短小症的疗效比较 [J]. *实用骨科杂志*, 2023,29(2):116-120.

[17] BARBIER D, NERETIN A, JOURNEAU P, et al. Gradual Metatarsal Lengthening by External Fixation: A New Classification of Complications and a Stable Technique to Minimize Severe Complications. *Foot Ankle Int.* 2015;36(11):1369-1377.

[18] LAMM BM, GOURDINE-SHAW MC. Problems, obstacles, and complications of metatarsal lengthening for the treatment of brachymetatarsia. *Clin Podiatr Med Surg.* 2010;27(4):561-582.

[19] 邓伟, 刘熹, 陈宇, 等. 微创截骨结合 Ilizarov 技术治疗先天性第 4 跖骨短小症 [J]. *中华骨与关节外科杂志*, 2021,14(6):533-537.

[20] WOO SH, BANG CY, AHN HC, et al. Anatomical reconstruction of the fourth brachymetatarsia with one-stage iliac bone and cartilage cap grafting. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2017;70(5):666-672.

[21] MUNUERA MARTIEZ PV, LAFUENTE SOTILOS G, DOMINGUEZ MALDONADO G, et al. Morphofunctional study of brachymetatarsia of the fourth metatarsal. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2004;94(4):347-352.

[22] LEE WC, SUH JS, MOON JS, et al. Treatment of brachymetatarsia of the first and fourth ray in adults. *Foot Ankle Int.* 2009;30(10):981-985.

[23] DAVIDSON RS. Metatarsal lengthening. *Foot Ankle Clin.* 2001;6(3):499-518.

[24] 杨小龙, 范柯君, 徐红军, 等. 3 例双侧先天性第 4 跖骨短小症家系分析 [J]. *临床骨科杂志*, 2023,26(3):456.

[25] JAGANI N, FAGIR M, DALAL N, et al. Metatarsal lengthening by distraction osteogenesis for brachymetatarsia in paediatric patients: is it safe and effective? *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2024;34(4):1839-1844.

[26] BARIK S, FARR S. Brachymetacarpia and brachymetatarsia: do we need to operate? *EFORT Open Rev.* 2021;6(1):15-23.

[27] FOX JS. Treatment of brachymetatarsia by the callus distraction method. *J Foot Ankle Surg.* 1998;37(5):391-395,447.

[28] CHOI IH, CHUNG MS, BAEK GH, et al. Metatarsal lengthening in congenital brachymetatarsia: one-stage lengthening versus lengthening by callotasis. *J Pediatr Orthop.* 1999;19(5):660-664.

[29] GILBODY J, NAYAGAM S. Lengthening of the first metatarsal through an arthrodesis site for treatment of brachymetatarsia: a case report. *J Foot Ankle Surg.* 2008;47(6):559-564.

[30] MAGNAN B, BRAGANTINI A, REGIS D, et al. Metatarsal lengthening by callotasis during the growth phase. *J Bone Joint Surg Br.* 1995;77(4):602-607.

[31] MACHADO FILHO A, COSTA GFO, FARIA AADS, et al. Treatment of Brachymetatarsia by Distraction Osteogenesis Using Monolateral External Fixator. *Rev Bras Ortop.* 2022;57(1):75-81.

[32] ARATA J, KUMAKIRI M, YAMASHITA T, et al. Nonincisional Osteotomy for Gradual Lengthening by Callus Distraction for Congenital Brachymetatarsia. *J Foot Ankle Surg.* 2021;60(6):1293-1296.

[33] KLAUSER HO. The Surgical Treatment of Brachymetatarsia. *Foot Ankle Clin.* 2021;26(4):685-704.

[34] ARCERI A, MAZZOTTI A, ZIELLI SO, et al. What's the evidence on surgical treatment for congenital brachymetatarsia: A systematic review and meta-analysis. *J Orthop.* 2024;49:107-116.

[35] HOSNY GA, AHMED AS. Distraction osteogenesis of fourth brachymetatarsia. *Foot Ankle Surg.* 2016;22(1):12-16.

[36] JONES MD, PINEGAR DM, RINCKER SA. Callus Distraction Versus Single-Stage Lengthening With Bone Graft for Treatment of Brachymetatarsia: A Systematic Review. *J Foot Ankle Surg.* 2015;54(5):927-931.

[37] 聂少波, 吴韬光, 郝明, 等. 基于迷你单臂外架的手风琴技术治疗先天性跖骨短小症的临床疗效 [J]. *武警医学*, 2022,33(5):395-398.

[38] WADA A, BENSARHEL H, TAKAMURA K, et al. Metatarsal lengthening by callus distraction for brachymetatarsia. *J Pediatr Orthop B.* 2004;13(3):206-210.

[39] 顾建明, 杜辉, 崔雅南, 等. 微创截骨单臂架骨延长术治疗先天性跖骨短小症 [J]. *骨科*, 2021,12(3):195-199.

[40] NERETIN AS, MENSCHCHIKOVA TI. Value of ultrasonography and radiography for the study of bone regeneration in lengthening of the fourth ray in brachymetatarsia. *Foot Ankle Surg.* 2021;27(4):432-438.

(责任编辑: LJY, GD, ZN, QY)