

# 胫骨横向骨搬运技术治疗 516 例糖尿病足的经验总结



花奇凯<sup>1</sup>, 秦泗河<sup>2</sup>, 邝晓聪<sup>3</sup>, 陈炎<sup>1</sup>, 曲龙<sup>4</sup>, 赵劲民<sup>1,5</sup>

1. 广西医科大学第一附属医院骨关节科(南宁 530021)
2. 国家康复辅具研究中心附属康复医院矫形外科(北京 100176)
3. 广西医科大学基础医学院病理生理教研室(南宁 530021)
4. 中国航天科工集团七三一医院骨科(北京 100000)
5. 广西医科大学再生医学中心(南宁 530021)



花奇凯, 广西医科大学第一附属医院主任医师, 博士生导师。国际肢体延长与重建学会中国部委员、日本创外固定骨延长学会会员、中国中西医结合学会骨搬运治疗糖尿病足专业委员会主任委员、中国医师协会骨科医师分会中国骨搬运糖尿病足学组副组长、广西医师协会骨外固定专业委员会主任委员。创新性运用胫骨横向骨搬运治疗重度糖尿病足, 2015 年在《广西医科大学学报》发表首篇此方面文章, 推动了该技术在国内的发展。2019 年在《Clinical Orthopaedics and Related Research》发表首篇此方面英文文章, 向世界提出了糖尿病足治疗的中国原创方案。



赵劲民, 广西医科大学校长, 广西壮族自治区党委委员, 二级教授、主任医师、博士生导师。享受国务院政府特殊津贴专家。广西组织器官修复与重建创新团队的负责人、中国医师协会骨科医师分会副会长、中国医师协会住院医师规范化培训骨科专业委员会副主任委员、亚太重建显微外科联盟中国部副主席、广西医师协会会长、广西医学会骨科学分会主任委员, 《中华显微外科杂志》编委会顾问、《中华骨与关节外科杂志》常务编委。

**【摘要】** 2000 年, 我国曲龙医师首次成功采用胫骨横向骨搬运(tibial transverse transport, TTT)技术治疗血管闭塞性脉管炎。受此启发, 自 2013 年广西医科大学第一附属医院花奇凯教授团队将该技术用于治疗糖尿病足, 至今已累计治疗 500 余例患者, 取得良好疗效, 保肢率达 96.1%。在此期间, 团队对 TTT 技术进行了一系列改良, 总结了糖尿病足 TTT 技术综合分型法及对应治疗方案; 通过影像学、组织学以及基础研究, 初步探讨了 TTT 技术治疗糖尿病足的作用机制。现对团队治疗经验及研究成果进行回顾性总结分析, 以期为该技术在临床的广泛应用提供参考。

**【关键词】** 胫骨横向骨搬运技术; 糖尿病足; 治疗经验

## Treatment experiences of 516 cases of diabetic foot treated with tibial transverse transport

HUA Qikai<sup>1</sup>, QIN Sihe<sup>2</sup>, KUANG Xiaocong<sup>3</sup>, CHEN Yan<sup>1</sup>, QU Long<sup>4</sup>, ZHAO Jinmin<sup>1,5</sup>

1. Department of Bone and Joint Surgery, the First Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning Guangxi, 530021, P.R.China
2. Department of Orthopedics, Rehabilitation Hospital of the National Research Center for Rehabilitation Technical Aids, Beijing, 100176, P.R.China

DOI: 10.7507/1002-1892.202003099

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(81601930); 广西壮族自治区自然科学基金资助项目(2016GXNSFBA380009、2017GXNSFAA198293、2017GXNSFAA198318); 广西壮族自治区医疗卫生重点学科资助项目(S2017032)

通信作者: 赵劲民, Email: zhaojinmin@126.com



3. Department of Physiopathology, Preclinical School of Guangxi Medical University, Nanning Guangxi, 530021, P.R.China

4. Department of Orthopedic Surgery, Aerospace 731 Hospital, Beijing, 100000, P.R.China

5. Center of Regenerative Medicine, Guangxi Medical University, Nanning Guangxi, 530021, P.R.China

Corresponding author: ZHAO Jinmin, Email: zhaojinmin@126.com

**【Abstract】** Tibial transverse transport (TTT) was firstly applied to treat thromboangiitis obliterans successfully by Professor QU Long in China in 2000. Based on this, the team of Professor HUA Qikai in the First Affiliated Hospital of Guangxi Medical University applied this technique to treat diabetic foot since 2013, and until now, more than 500 patients underwent this treatment with excellent effectiveness including a salvage rate as high as 96.1%. Our team also improved this technique in many aspects, and developed a TTT-based classification system and treatment for diabetic foot. We also explored the underlying mechanism of TTT treatment using imaging, histology, and other basic research methods. To further promote the application of this technique in clinic, we reported the findings from our cases and reviewed our previous findings in this study.

**【Key words】** Tibial transverse transport; diabetic foot; treatment experience

**Foundation items:** National Natural Science Foundation of China (81601930); Natural Science Foundation of Guangxi Zhuang Autonomous Region (2016GXNSFBA380009, 2017GXNSFAA198293, 2017GXNSFAA198318); Guangxi Zhuang Autonomous Region Medical and Health Key Disciplines Funding Project (S2017032)

1989年, Ilizarov 医生通过总结大量临床和动物实验研究数据提出了“张力-应力法则”, 以及在此法则基础上发展的一个有效的组织再生临床方案<sup>[1]</sup>。之后, 国内外许多医生应用张力-应力法则治愈了大量常规技术不能治疗的骨科疑难病例<sup>[2]</sup>。在此期间, Ilizarov 在运用张力-应力法则再生骨骼的过程中观察到血管再生现象, 提示该法则亦可用于治疗缺血性疾病, 但一直未进行临床应用研究。直至2000年我国曲龙医师首次基于张力-应力法则采用胫骨横向骨搬运(tibial transverse transport, TTT)技术成功治疗血管闭塞性脉管炎, 经过长期临床积累, 在治疗血管闭塞性脉管炎方面取得了良好疗效<sup>[3]</sup>。受此启发, 2013年广西医科大学第一附属医院骨关节科花奇凯教授团队将 TTT 技术用于治疗糖尿病足<sup>[4]</sup>, 至今已累计治疗 500 余例患者, 取得了良好疗效。通过多年临床实践, 本团队对 TTT 技术进行了不断改良, 对治疗糖尿病足的临床经验和现象进行了初步总结, 提出了相关治疗分型和“召唤效应”的临床现象。现将相关经验体会进行总结, 以期为进一步推广 TTT 技术治疗糖尿病足以及后续研究提供参考。

## 1 TTT 技术治疗糖尿病足方案的改良

TTT 技术治疗糖尿病足初期即获得较好临床疗效, 但由于皮肤切口(12~15 cm)及制备的骨窗(10 cm×2 cm)均较大<sup>[5]</sup>, 可能发生切口感染甚至皮瓣坏死和骨折等相关并发症。此外, 骨块向外迁移 21 mm 后需在骨块与胫骨愈合后才能拆除外固定器, 一般需耗时 3 个月。长期佩戴外固定支架会影

响患者生活质量, 并且愈合后会形成骨隆起外形, 影响患者对疗效的满意度。因此, 本团队对 TTT 技术治疗糖尿病足的方案进行改良。首先, 运用“手风琴”原理将骨窗向外搬移后再反向搬移, 使骨窗复位, 可避免骨隆起外形; 其次, 将骨窗面积缩减至 5.0 cm×1.5 cm, 并且将骨窗部位确定在胫骨近段; 最后, 运用微创截骨技术将皮肤切口控制在 3 cm 长左右, 避免皮肤切口坏死及骨折的发生, 外固定搬移装置亦可在术后 1 个月时拆除。

具体治疗方案: 不上止血带, 肢体神经阻滞麻醉后消毒铺巾, 在胫骨中上段内侧面作一长约 3 cm 的弧形切口。分离组织至骨膜浅面(不切开骨膜), 确定胫骨横向骨搬运截骨范围(长 5.0 cm、宽 1.5 cm), 以微创 4 连孔截骨器为导向, 用 2.5 mm 钻头在预设骨窗范围内以间隔 2 cm 连续打孔, 拧入 1 枚 4 mm 不锈钢半针以搬移骨块; 然后用骨刀沿钻孔撬动搬移骨块, 使骨窗能上下移动, 注意勿损伤髓腔内骨髓。在距骨窗近、远端约 2 cm 的胫骨上各拧入 1 枚 5 mm 外固定不锈钢半针(穿透两层皮质), 组合安装骨搬运装置并牢固固定, 缝合皮下组织及皮肤(图 1)。对病情较稳定患者, 可在骨搬运术同时行患足清创, 术后行敞开引流或封闭式负压引流; 病情较重不耐受骨搬运术者, 可先行患足清创术并充分引流, 待全身感染毒血症状缓解后再行骨搬运术。术后第 3 天开始调节外固定支架进行骨搬运, 首先以 1 mm/d 速度向外搬移骨块, 分 3 次完成; 2 周后以相同速度向回搬移; 2 周后骨块复位即可拆除外固定支架, 横向搬移共耗时 4 周。

## 2 TTT 技术治疗糖尿病足临床经验

### 2.1 临床资料

2013 年 12 月—2019 年 10 月, 广西医科大学第一附属医院骨关节科采用 TTT 技术治疗 516 例糖尿病足患者。男 257 例, 女 259 例; 年龄 41~93 岁, 平均 68.4 岁。均为 2 型糖尿病患者。糖尿病足病程 0.6~2.4 年, 平均 1.5 年。Wagner 分级: 2 级 16 例, 3 级 244 例, 4 级 217 例, 5 级 39 例。

患者随访时间 7~72 个月, 平均 32 个月。经 TTT 技术治疗后保肢率达 96.1% (496/516); 其中 136 例随访达 2 年, 其溃疡愈合率为 96.3% (131/136), 截肢率为 2.9% (4/136), 溃疡复发率为 2.9% (4/136)、再发率为 1.5% (2/136)。患者溃疡愈合后基本无疼痛, 可用患侧行走。治疗后 3 个月足部血流速率由术前 ( $8\pm 2.4$ ) mL/(100 g·min) 增加至 ( $24\pm 5$ ) mL/(100 g·min) ( $P=0.004$ ); 血流量由 ( $1.3\pm 0.33$ ) mL/

100 g 增加至 ( $2.5\pm 0.29$ ) mL/100 g ( $P=0.030$ )<sup>[6]</sup>。患者详细临床资料见表 1, 典型病例见图 2、3。

### 2.2 糖尿病足 TTT 综合分型法及治疗方案

为了能简便、正确运用 TTT 技术, 本团队在临床治疗基础上总结归纳了糖尿病足 TTT 综合分型法, 并针对每种类型提出了对应的治疗方案。见表 2。

### 2.3 TTT 技术治疗糖尿病足的禁忌证及适应证

禁忌证: ① 合并精神异常不能配合治疗者; ② 股浅动脉和/或腘动脉栓塞者, 或影像学检查提示下肢血管堵塞, 且血管外科治疗无效患者; ③ 近期发生心、脑血管意外不宜麻醉者。

适应证: 所有已实施或预计经典糖尿病足治疗方案疗效欠佳或无效, 甚至加重的患者, 均可考虑以 TTT 技术为主的治疗方案。

## 3 TTT 技术临床基础研究

### 3.1 影像学研究



图 1 TTT 技术手术示意图 a. 术前设计手术切口; b. 骨窗制作完成后拧入 2 枚半针; c. 缝合切口并植入 2 枚固定针、安装骨搬移装置

Fig.1 The procedure of TTT a. The preoperative planning showed the position of the incision; b. After tibial cortex osteotomy, 2 pins were inserted into the cortex; c. The incision was sutured and 2 another pins were inserted into the tibia to stabilize the external frame

表 1 不同 Wagner 分级糖尿病足患者临床资料

Tab.1 Clinical data of diabetic foot patients with different Wagner grades

项目 Item	2 级 Grading 2	3 级 Grading 3	4 级 Grading 4	5 级 Grading 5	合计 Total
性别					
男	9	127	103	18	257
女	7	117	114	21	259
年龄 (岁)					
≤60	3	40	25	4	72
60~70	7	111	121	16	255
≥70	6	93	71	19	189
并发症					
搬移区切口感染或皮肤坏死	0	2	3	2	7
胫骨骨折	0	3	3	0	6
急性动脉栓塞	0	1	0	1	2
预后					
保肢	16	241	210	29	496
截肢	0	3	7	10	20
复发	0	6	4	1	11
再发	1	4	5	3	13
死亡	0	3	2	2	7



图2 患者,男,49岁,Wagner 4级糖尿病足合并糖尿病肾病尿毒症 a.术前创面;b、c.彻底清除坏死组织后创面;d.骨搬移后8周创面持续生长愈合,肉芽健康;e、f.骨搬移后1年外观

**Fig.2** A 49-year-old male patient with diabetic foot (Wagner 4) and uremia a. Wound appearance before operation; b, c. The wounds after debridement; d. The wound was much narrower and the granulation tissue was healthy at 8 weeks after TTT; e, f. The wound completely closed at 1 year after TTT



图3 患者,男,74岁,Wagner 4级糖尿病足合并脓毒血症 a、b.清理坏死组织后大段骨外露;c.骨搬移后10周肉芽组织已完成跟骨覆盖;d、e.骨搬移后1年创面愈合

**Fig.3** A 74-year-old male patient with diabetic foot (Wagner 4) and sepsis a, b. The wound with bone exposure after debridement; c. The granulation tissue completely covered the exposed calcaneus at 10 weeks after TTT; d, e. The wound completely healed at 1 year after TTT

表2 糖尿病足 TTT 综合分型法及对应治疗方案

Tab.2 Classification system of diabetic foot based on TTT and the corresponding treatment protocol

类型 Type	临床特点 Clinical characteristics	治疗方案 Treatment
I 型	干性坏疽,临床上无感染,无主干动脉堵塞	清创+TTT 技术
II 型	合并感染的溃疡、湿性坏疽	清创、换药+静脉滴注抗生素+支持治疗+TTT 技术
III 型	合并1个或多个器官损害或衰竭的糖尿病足	强调联合内科治疗,在改善心、肾等脏器功能基础上,运用 TTT 技术治疗
IV 型	合并主干动脉堵塞的糖尿病足(糖尿病足+动脉硬化闭塞症)	联合血管外科疏通闭塞的中动脉+TTT 技术

为探讨 TTT 技术对糖尿病足足底组织血供的影响,本团队前期进行了临床研究<sup>[7]</sup>。以 2015 年 12 月—2017 年 2 月收治的 12 例糖尿病足患者作为研究对象,根据治疗方法不同分为骨搬移侧以及对侧(不进行骨搬移),于治疗前及治疗后 2 个月行 CT 动脉造影,观测患者足底血管血流值。结果显示 TTT 技术可以提高糖尿病足患者足底组织灌注,治疗后足部血流速率由  $(9.83 \pm 5.45) \text{ mL}/(100 \text{ g} \cdot \text{min})$  增加至  $(37.60 \pm 39.84) \text{ mL}/(100 \text{ g} \cdot \text{min})$ ,差异有统计学意义 ( $P=0.004$ ),说明骨搬移治疗后足部血运改善明显。

### 3.2 组织学研究

为探讨 TTT 技术治疗糖尿病足的机制,本团队前期进行了组织学研究。我们对患者溃疡愈合过程进行全程观察<sup>[8]</sup>;同时于治疗前及治疗后 1 个月取创面边缘组织,采用 HE 染色观察创面组织形态、免疫组织化学染色观察 Ki-67、CD31 和 VEGF 表达情况<sup>[9]</sup>。HE 染色结果显示治疗前创面边缘组织表皮结构不完整,坏死结构较多。治疗后 1 个月创面边缘组织可见完整表皮结构,分为角质层、颗粒层、棘层和基底层;真皮层结缔组织中有血管及胶原纤维,纤维结构少见。免疫组织化学染色结果

显示治疗前后创面边缘组织表皮均有大量炎性细胞浸润,治疗后 1 个月创面边缘组织中 Ki-67、CD31 和 VEGF 染色阳性细胞面积百分比均高于治疗前。研究结果证实 TTT 技术是以组织再生的形式治愈糖尿病足溃疡。

### 3.3 基础研究

TTT 技术截骨及骨搬运均在小腿中上段,但是最终治愈了糖尿病足创面,本团队将这一在远离坏疽、溃疡、感染病灶的小腿上手术却治愈足部顽症的现象,称为“召唤现象”,并针对该现象发生机制进行了初步基础研究。研究结果显示,“召唤现象”发生机制可能为横向骨搬运刺激机体产生的相关因子激发了干细胞趋化归巢效应,在血液循环以及身体机能改善条件下<sup>[10]</sup>,慢性不愈合创面形成炎性平衡<sup>[11]</sup>及组织再生,最终使糖尿病足创面愈合。

## 4 总结及展望

通过 6 年多的临床实践,本团队积累了 500 余例 TTT 技术治疗糖尿病足病例及经验,对 TTT 技术进行了一系列改良,进一步提升了治疗效果;并针对糖尿病足患者,总结了 TTT 综合分型法及对应治疗方案,为临床应用 TTT 技术治疗此类患者提供了有益参考。除临床经验总结外,本团队还通过影像学、组织学以及基础研究,初步探讨 TTT 技术治疗糖尿病足的作用机制。

在国内诸多同道的共同努力下,TTT 技术已在多家医院开展,均获得了良好效果,使患者受益。未来,在这个方向我们还有很多工作需要完成。第一,TTT 技术虽然已相对成熟,手术操作简便、微创、并发症少且效果确切,但是仍有进一步改良的潜力;骨搬运外固定支架构型亦有向轻量化、智能化、更好生物相容性改进的要求。第二,TTT 技术治疗糖尿病足难愈性创面的疗效肯定,并经临床研究明确该结果是以组织再生形式完成,但仍然需要大量、全方位、多角度科研活动去探究现象背后的本质,从而为再生医学的进步、发展作出贡献。

作者贡献:花奇凯负责整体治疗方案的构思、设计、实施,

观点形成,文章撰写;秦泗河指导治疗方案的实施、帮助开展工作;邝晓聪共同实施治疗方案,探讨观点、分析资料;陈炎协助治疗方案的实施,收集、整理、分析资料,文章校对;曲龙指导治疗方案的形成,探讨及帮助观点形成;赵劲民指导方案的构思、实施,形成观点,文章审核。  
**利益冲突:**所有作者声明,在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

**机构伦理问题:**研究方案经广西医科大学第一附属医院医学伦理委员会批准[2013 快速伦理第(010)号]。

### 参考文献

- 1 Ilizarov GA. The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues: Part II. The influence of the rate and frequency of distraction. *Clin Orthop Relat Res*, 1989, (239): 263-285.
- 2 秦泗河. Ilizarov 技术概述. *中华骨科杂志*, 2006, 26(9): 642-645.
- 3 曲龙, 王爱林, 汤福刚. 胫骨横向搬运血管再生术治疗血栓闭塞性脉管炎. *中华医学杂志*, 2001, 81(10): 622-624.
- 4 洗呈, 赵劲民, 苏伟, 等. 胫骨横向骨搬运微循环再生技术治疗糖尿病足的临床疗效观察. *广西医科大学学报*, 2015, 32(4): 605-607.
- 5 花奇凯, 秦泗河, 赵良军, 等. Ilizarov 技术胫骨横向骨搬运术治疗糖尿病足. *中国矫形外科杂志*, 2017, 25(4): 303-307.
- 6 Chen Y, Kuang XC, Zhou J, et al. Proximal tibial cortex transverse distraction facilitating healing and limb salvage in severe and recalcitrant diabetic foot ulcers. *Clin Orthop Relat Res*, 2020, 478(4): 836-851.
- 7 Zeng Z, Dong Y, Hua QK, et al. Computed tomography perfusion study evaluating the curative effect of tibial transverse transport in patients with severe diabetic foot. *Journal of Orthopaedic Translation*, 2019, 19: 133-142.
- 8 何立环, 陈炎, 邝晓聪, 等. 重度糖尿病足胫骨横向骨搬运术后创面愈合规律分析. *中医正骨*, 2019, 31(10): 70-73.
- 9 连浩宇, 花奇凯, 陈炎, 等. 重度糖尿病足胫骨横向骨搬运术后创面愈合方式及机制研究. *中医正骨*, 2019, 31(12): 15-19.
- 10 镇普祥, 陈炎, 高伟, 等. 应用 Ilizarov 技术胫骨横向骨搬运术治疗合并全身性炎症反应综合征的重度糖尿病足. *中国修复重建外科杂志*, 2018, 31(10): 1261-1266.
- 11 高伟, 林震迅, 镇普祥, 等. 胫骨横向骨搬运后巨噬细胞促进重度糖尿病足创面的愈合. *中国组织工程研究杂志*, 2018, 22(36): 5811-5815.

收稿日期: 2020-03-16 修回日期: 2020-05-27

本文编辑: 刘丹