

Ilizarov 技术治疗胫骨骨缺损的优势及改进策略

贺国宇¹, 张永红², 王 栋² (¹山西医科大学, 山西省太原市 030001; ²山西医科大学第二医院骨科, 山西省太原市 030001)

DOI:10.3969/j.issn.2095-4344.2752

ORCID: 0000-0003-3985-1091(贺国宇)

文章快速阅读:

文章亮点一

- (1)目的特点: 从 Ilizarov 技术治疗胫骨骨缺损的优势、不足、改进措施三方面进行总结。
- (2)技术方法特点: 应用 PubMed、CNKI、万方数据库收集 Ilizarov 技术治疗胫骨骨缺损的文献。
- (3)结果特点: 较全面的总结近几年 Ilizarov 技术治疗胫骨骨缺损的优势、不足及改进策略的最新进展。
- (4)可指导他人的特点: 近年来可应用超声、能谱 CT 检查及时调节 Ilizarov 治疗方案, 并可在治疗中加用手风琴技术, 从而减少搬移区骨痂矿化不良及对合端愈合困难等并发症的发生。

背景:

Ilizarov 技术广泛应用于胫骨骨缺损的治疗。

优势:

- (1)治疗大段骨缺损;
- (2)治疗合并软组织损伤、感染及畸形的骨缺损。

常见并发症:

- (1)针道感染;
- (2)搬移区新骨矿化不良;
- (3)对合端愈合困难等。

改进方向:

- (1)搬移技术的改进;
- (2)新的消毒剂的应用;
- (3)手风琴技术;
- (4)辅助检查超声及能谱 CT 的应用。

贺国宇, 男, 1993 年生, 山西省孟县人, 汉族, 山西医科大学在读硕士, 主要从事外固定与肢体矫形重建方面的研究。

通讯作者: 张永红, 博士, 主任医师, 山西医科大学第二医院骨科, 山西省太原市 030001

文献标识码:A

投稿日期: 2019-12-06

送审日期: 2019-12-11

采用日期: 2020-01-22

在线日期: 2020-04-15



文题释义:

骨搬移技术: 将 Ilizarov 环形外固定架与胫腓骨坚强固定后, 在胫骨骨缺损的远端或近端截骨, 形成滑移骨段; 按照既定速率牵拉滑移骨段, 向骨残端靠近, 逐步填充骨缺损区; 在牵拉应力的作用下, 机体再生信号系统被激活, 新生骨痂逐渐产生、增多、聚集、矿化、塑性, 填补搬移区, 最终治愈骨缺损。

手风琴技术: 基于牵拉组织再生技术衍生出的手风琴技术, 改变了原有的单纯的牵拉应力, 在此基础上引入压缩应力, 使断端受到交替性的牵拉-压缩应力刺激, 从而刺激新骨及血管再生, 以期达到断端骨愈合的目的。

摘要

背景: Ilizarov 技术治疗胫骨骨缺损方面优势明显, 可用于治疗各种类型的胫骨骨缺损, 但该技术仍存在诸多不足, 亟待解决。

目的: 就 Ilizarov 技术治疗胫骨骨缺损的优势、不足及改进策略进行综述。

方法: 第一作者应用计算机检索 1971 至 2019 年 PubMed、CNKI 及万方数据库, 以“bone defect, bone transport, accordion maneuver, ultrasonography, energy spectrum CT, pin site infection”为英文检索词, 以“胫骨骨缺损, 骨搬移技术, 手风琴技术, 超声, 能谱 CT, 针道感染”为中文检索词, 最终纳入符合标准的文献 57 篇, 并以此对 Ilizarov 技术治疗胫骨骨缺损的优势、不足及改进策略作一综述。

结果与结论: ①Ilizarov 技术治疗胫骨大段骨缺损、合并软组织损伤、感染及畸形的胫骨骨缺损方面优势明显; ②对于骨搬移技术的并发症, 如针道感染、搬移区新骨矿化不良、对合端愈合困难等问题, 可采用新的消毒剂、手风琴技术并结合彩色多普勒超声及能谱 CT 等辅助检查来解决, 从而降低并发症的发生率; ③仍需改善现有的治疗技术或选择新的方法来进一步减少并发症的发生。

关键词:

Ilizarov 技术; 胫骨骨缺损; 骨搬移技术; 手风琴技术; 超声; 能谱 CT; 针道感染; 对合端

中图分类号: R459.9; R318; R687

基金资助:

山西省社会发展基金(201803D31126), 项目负责人: 张永红

Advantages and improvement strategies of Ilizarov technique in the treatment of tibial bone defect

He Guoyu¹, Zhang Yonghong², Wang Dong² (¹Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, Shanxi Province, China; ²Department of Orthopedics, Second Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, Shanxi Province, China)

Abstract

BACKGROUND: Ilizarov technique has obvious advantages in the treatment of tibial bone defect and can be

He Guoyu, Master candidate, Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, Shanxi Province, China

Corresponding author: Zhang Yonghong, MD, Chief physician, Department of Orthopedics, Second Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, Shanxi Province, China

used to treat various types of tibial bone defect. However, there are still many shortcomings in this technology, which need to be solved urgently.

OBJECTIVE: To review the advantages, shortcomings and improvement strategies of Ilizarov technique in the treatment of tibia bone defect.

METHODS: PubMed, CNKI and Wanfang databases from 1971 to 2019 were retrieved with the key words of "bone defect, bone transport, accordion maneuver, ultrasonography, energy spectrum CT, pin site infection" in English and Chinese, respectively. Totally 57 eligible articles were included to systematically summarize the advantages, shortcomings and improvement strategies of Ilizarov technique in the treatment of tibia bone defect.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) Ilizarov technology has obvious advantages in the treatment of the tibia bone defect, combined with soft tissue injury, infection and deformity of the tibia bone defect. (2) New disinfectants, accordion technology, color Doppler ultrasound and energy spectrum CT are effective treatment methods for complications of bone transport technology, such as pin site infection, poor mineralization of new bone in the transfer area, and difficulty in healing at the docking site. These methods can reduce the incidence of complications. (3) It is still necessary to improve the existing treatment techniques or choose new methods to further reduce the incidence of complications.

Key words: Ilizarov; bone defect; bone transport; accordion maneuver; ultrasonography; energy spectrum CT; pin site infection; docking site
Funding: the Social Development Funding of Shanxi Province, No. 201803D31126 (to ZYH).

0 引言 Introduction

近年来随着高能量损伤导致的四肢开放骨折频发,骨缺损的发病率也逐渐增多,而胫骨因其特殊的解剖特点^[1],胫骨骨缺损的发病率较其他四肢长骨骨缺损更高,且因胫骨周围软组织薄弱,若出现损伤,极易合并感染,因此其治疗难度大,周期长,并发症多,给患者带来了极大的经济及心理负担,严重影响患者的生活质量。骨搬运技术在治疗胫骨骨缺损尤其是复杂类型的胫骨骨缺损方面具有独特的优势,目前已被广泛应用于临床,并取得了显著的疗效。尽管如此,由于该技术存在外固定架自身笨重、佩戴外架时间长、并发症的发生率高、手术次数多、治疗周期长等缺点,导致患者的心理负担重,阻碍了该技术的进一步推广。近几年,随着新技术的应用及治疗过程中辅助检查的不断完善,该技术的许多不足被逐渐纠正,这使得Ilizarov技术重新站在了新的制高点,并更好的服务于临床。因此文章就近年来Ilizarov技术治疗胫骨骨缺损的最新研究进展作一综述,从而为Ilizarov技术的进一步改进、完善提供帮助。

1 资料和方法 Data and methods

1.1 资料来源 第一作者应用计算机检索PubMed、CNKI及万方数据库中1971至2019年关于Ilizarov技术治疗胫骨骨缺损的文献。以“bone defect, bone transport, accordion maneuver, ultrasonography, energy spectrum CT, pin site infection”为英文检索词,以“胫骨骨缺损,骨搬运技术,手风琴技术,超声,能谱CT,针道感染”为中文检索词,应用摘要检索进行检索,最终选用中英文文献共57篇。

1.2 入选标准

纳入标准: ①文章所述内容需与Ilizarov技术治疗胫骨骨缺损的优势、并发症及最新改进措施相关的文献; ②文章具有原创性及科学性。

排除标准: ①与课题内容不一致的文献; ②内容较陈旧、结论重复性文章。

1.3 质量评估 计算机共检索到500余篇文献,其中中文

文献422篇。阅读标题与摘要进行初筛,排除无关文献,粗略阅读文章后排除水平较低、内容重复的文献,最后共纳入57篇文献进行归纳综述。其中包含了关于Ilizarov技术及手风琴技术的基础性研究,这些研究阐述了Ilizarov技术牵拉成骨的机制、超声条件下骨愈合趋势及并发症、骨搬运牵拉速度、手风琴技术具体操作方案等。文献检索流程图见图1。

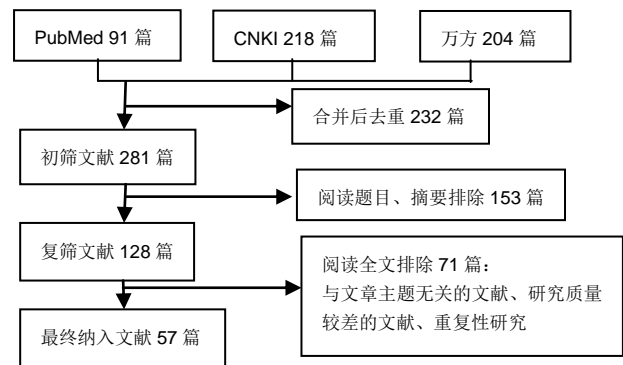


图1 文献检索流程图

2 结果 Results

2.1 胫骨骨缺损的治疗现状 骨缺损是指由创伤、肿瘤、感染、骨不连及先天畸形等引起的骨丢失,并导致骨、关节甚至周围软组织发生继发性病理改变,继而出现肢体功能障碍^[2]。根据骨缺损的病因、长度、波及范围等诸多因素,胫骨骨缺损可按照四度十分法进行分型^[2]。不同类型的胫骨骨缺损,可对应不同的治疗方法,如骨缺损范围较小且未合并软组织损伤时,可采用自体或异体骨移植;骨缺损范围较大且合并软组织损伤时,可用带血管的腓骨移植、Ilizarov骨搬运技术及膜诱导技术;若骨缺损合并感染,则Ilizarov技术可做为首选的治疗方式,因为Ilizarov外固定架可为胫骨提供坚强固定,从而能最大限度的切除感染骨段,彻底治愈感染,而又不影响患者的功能锻炼。

2.2 骨搬运技术的应用现状

2.2.1 骨搬运技术的原理 Ilizarov技术是指由前苏联骨科医生Gavrril A Ilizarov发明的环形外固定架及发现的牵拉成骨现象^[3],又称之为牵拉组织再生技术。其原

理为根据张力-应力法则, 给予活体组织持续、稳定、缓慢的牵拉应力刺激, 激活机体再生信号系统, 促进骨、血管及软组织的再生^[4-6]。目前该技术的大体操作为: 将 Ilizarov 环形外固定架与胫腓骨坚强固定后, 在胫骨骨缺损的远端或近端应用微创截骨器低能量截骨, 形成滑移骨段; 经过 7-12 d 的潜伏期后, 开始按照 1 mm/d 的调节速率牵拉滑移骨段, 向骨残端靠近, 逐步填充骨缺损区; 而在牵拉应力的作用下, 机体再生信号系统被激活, 新生骨痂逐渐产生、增多、聚集、矿化、塑性, 填补搬移区, 最终治愈骨缺损。

2.2.2 骨搬移技术的优势 Ilizarov 技术在治疗胫骨骨缺损方面优势明显。Ilizarov 技术属于微创技术, 无需过度剥离组织, 对局部的血运及软组织损伤程度轻; 环形外固定架稳定性好, 可消除肢体各个方向的扭转、剪切应力, 同时可提供轴向应力, 利于骨痂的生成, 减少骨不愈合的发生; 患者可早期负重活动及功能锻炼, 改善关节活动度, 防止关节进一步僵直^[7]; 对于各种复杂类型的胫骨骨缺损, 如大段骨缺损, 合并软组织损伤及感染的骨缺损, 合并复杂畸形的骨缺损, 也可作为其他治疗方式失败后的补救治疗措施^[8], 降低截肢率。

Ilizarov 技术可用于治疗各种缺损范围的胫骨骨缺损, 但常用于胫骨缺损 6 cm 以上者, 特别是当骨缺损范围达 10 cm 以上, Ilizarov 技术可作为较好的选择方式^[9-11]。邱鹏^[12]应用 Ilizarov 技术治疗 18 例胫骨大段骨缺损患者, 平均缺损长度 (6.53±1.79) cm, 随访 1.5 年后, 18 例患者的胫骨骨缺损全部恢复, 根据 Paley 骨折愈合评分标准: 12 例愈合为优, 5 例为良, 1 例为可。SEN 等^[13]对 17 例胫骨大段骨缺损患者应用 Ilizarov 技术治疗, 疗效确切。相对于其他治疗方式, 该技术治疗大段骨缺损只需牵拉滑移骨段即可促进新骨形成, 无需植骨、手术创伤小、且可纠正下肢短缩、成角等畸形^[14], 恢复下肢长度及力线, 减少了后遗症的发生。

对于合并软组织损伤及感染的胫骨骨缺损, Ilizarov 技术可先去除感染坏死的骨及软组织, 再联合应用抗生素骨水泥有效控制骨缺损区的感染^[15], 待感染完全控制后再行截骨骨搬移, 从而在无菌微环境中促进骨与软组织的再生, 逐渐修复损伤。历孟等^[16]应用 Ilizarov 技术治疗了 8 例感染性胫骨骨缺损合并软组织缺损, 去除外架后 5 个月后疗效根据 Asami 评价标准评定, 优 6 例, 良 2 例。有学者应用 Ilizarov 技术加敏感抗生素治疗下肢大段感染性骨缺损 60 例, 除 13 例关节僵硬、1 例合并髓内翻外, 全部达到骨愈合标准, 炎症全部消除, 感染无复发^[17]。该技术较传统的治疗方式感染控制好、复发率低、手术次数少、截肢风险低、疗效高。

2.2.3 骨搬移技术的不足 尽管骨搬移技术在治疗胫骨骨缺损方面疗效显著, 但由于该技术存在外固定架自身笨重、佩戴外架时间长、并发症的发生率高(如针道感

染、胫骨对位对线不良、搬移区骨痂矿化不良、拆架后搬移区新生骨变形及再次骨折、对合端愈合困难、关节畸形、活动受限等)、手术次数多、治疗周期长等缺点, 导致患者的心理负担加重、生活质量下降, 制约 Ilizarov 技术的进一步推广应用。其中搬移区骨痂矿化不良、对合端愈合困难是最常见、最重要的制约因素, 决定着骨搬移治疗周期的长短^[18], 是最终骨搬移成功与否的关键, 急待解决。

2.3 骨搬移技术的改进策略 近年来, 随着骨搬移技术的改进、新技术的应用及外固定架调整过程中客观指标(辅助检查如彩色多普勒超声、能谱 CT)的不断完善, 骨搬移技术的不足逐步得到改善, 这为骨搬移技术的进一步临床推广提供了极大的帮助。

2.3.1 骨搬移技术的改进

(1)骨搬移方式的改进: 目前的骨搬移方式可分为单向骨搬移、双段骨搬移、腓骨横向骨搬移、骨短缩-延长治疗等方式。单向骨搬移通常于胫骨近端或远端干骺端截骨, 并以 1 mm/d 的速度向缺损区移动, 逐步填充骨缺损。该方式是目前临床最常用的治疗胫骨骨缺损的方式, 是已被证实的有效的治疗方式。双段骨搬移采用了双段截骨的方式进行搬移, 可分为 3 种截骨方式, 若缺损区为胫骨中段, 则可采用胫骨近端及远端干骺端双段截骨, 若缺损区位于胫骨近端, 则可采用胫骨远端骨块双段截骨, 若缺损位于胫骨远端则可于胫骨近端双段截骨^[19]。该方式可使搬移速度翻倍, 达到 1.5-2.0 cm/d, 明显缩短了搬移时间, 使搬移区尽快愈合; 但该方式可导致骨不愈合及搬移区骨痂矿化不良的发生。腓骨横向骨搬移是截取较缺损区范围长 2.0-3.0 cm 的腓骨, 以 1 mm/d 的速度横向牵拉腓骨至胫骨骨缺损, 以求腓骨胫骨化^[20]。该方式可用于胫骨缺损区两端残留的骨段过短或表面的软组织条件差的胫骨骨缺损, 但该方式具有腓骨的支撑力有限、稳定性不足及易出现胫骨畸形等缺点。骨短缩-延长治疗是先将肢体短缩以填补骨缺损区, 再行胫骨延长术; 该方式将采用桥接骨与软组织而非重建的方法治疗骨缺损, 更易于创面的修复、降低对合端不愈合的发生率, 但同时导致邻近关节的活动度受限、胫骨畸形、足下垂畸形等并发症的发生^[21]。

因此, 对于一般的胫骨骨缺损可采用单向骨搬移治疗; 对于骨缺损范围较小时, 可采用胫骨短缩-延长术; 对于缺损范围大时, 可采用双段骨搬移; 若胫骨缺损区两端残留的骨段过短或表面的软组织条件差, 可采用腓骨横向骨搬移。

(2)外固定架构型的改进: 环形外固定架是临床常用的外固定架, 具有稳定性好, 可消除扭转、剪切应力, 同时可提供轴向应力等优点, 但同时存在外观笨重、不利于护理等缺点。单臂外固定架较环架更简单、便捷, 但存在稳定性差、容易出现轴线偏移、抗扭转及剪切力

差等缺点。Taylor空间支架较外固定架具有轻便、固定牢靠、可利用计算机辅助来矫正各种畸形等优点,但该架价格昂贵,会加重患者的经济负担。若患者经济条件允许可选择Taylor外固定架固定,若条件受限,可选择环形外固定架固定。

2.3.2 针道感染护理的现状和改进 Ilizarov外固定架是通过穿针的方式与患肢固定,其针道破坏了皮肤及深部软组织的完整性,导致机体内部与外界相通,细菌容易经针道入侵机体,从而引发感染。针道感染是外固定术后最常见的并发症^[22],国外报道针道感染的发病率为10%-100%^[23-27]。ANTOCI等^[28]对安装不同外固定架(Ilizarov环形外固定架、单臂外固定架和组合式外固定架)的88例患者进行骨延长手术,研究发现针道感染的发生率为96.6%。SCHALAMONA等^[29]在其研究中对30例发生骨折的患者应用外固定架进行治疗,结果发现针道感染的发生率为52%。

对于针道感染的预防,常规护理方法为用体积分数70%的酒精棉签消毒针道及周围皮肤,但此方法的有效性并不高。有研究者认为碘伏是一种安全有效的消毒剂,渗透强、稳定性好^[30],所以每天0.5%碘伏涂擦针道及周围皮肤来预防针道感染^[31],但碘伏的浓度不易控制,且消毒后易在针道口形成膜状物,阻碍分泌物流出,从而形成新的感染^[32]。

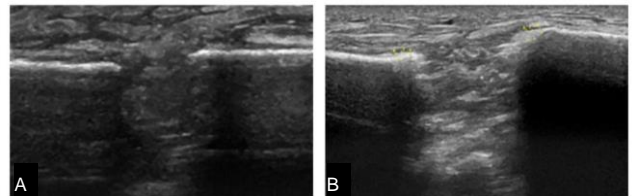
近年来,经过对比多种消毒剂的消毒效果,目前认为葡萄糖酸氯己定醇是一种更优的选择。葡萄糖酸氯己定醇消毒剂由1.8%-2.2%的葡萄糖酸氯己定和63%-77%的乙醇构成,是一种长效消毒剂,具有杀菌强、皮肤刺激性小、作用迅速等特点^[33]。其杀菌机制为:葡萄糖酸氯己定是一种阳离子表面活性剂,可以破坏细菌胞膜的渗透屏障,使细菌胞浆渗漏或变性,达到杀菌效果^[34];乙醇在此起促进和协同作用,能快速杀灭细菌繁殖体,此外乙醇还具有长期抑菌作用。因此,目前来说葡萄糖酸氯己定醇可以作为一种优先考虑的护理试剂,用于降低针道感染率。

2.3.3 搬移区新骨矿化不良的治疗现状及改进 在胫骨远端或近端截骨后,形成滑移骨段,按1 mm/d牵拉速率牵拉滑移骨段向骨缺损区移动时,机体的再生信号系统被激活,骨组织不断再生、聚集、矿化、塑形,最终充满搬移区。但因截骨方式、滑移骨段骨膜损伤程度、外固定架的稳定程度、患者的全身疾病、负重锻炼情况等存在差异,同样的调节方式下骨组织的再生速率也不同。为加快搬移区的新骨矿化速度,降低矿化不良的发生率,术中可应用微创截骨器低能量截骨,减少截骨位置热烧伤,并注意尽量减少对骨膜的损伤,减少血运的破坏;术后应定期检查外固定架的稳定性,鼓励患者负重行走,功能锻炼。

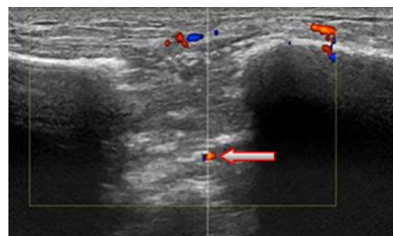
此外,在术后调节中,应根据患者的个体情况,制

定个性化治疗方案,而方案的制定则需要客观指标来支撑。因X射线检查在牵拉早期不能及时反映新骨的再生情况,所以需引入新的检测手段。近年来随着彩色多普勒超声及能谱CT的不断应用,新骨形成的早期阶段也能得到及时监测,根据超声及CT的反馈结果,可及时调节治疗方案,预防新骨矿化不良的发生。

超声监测搬移区的骨痂矿化: 随着超声科肌骨超声的不断发展,彩色多普勒超声逐渐被应用于骨科疾病的诊断。超声技术是利用超声探头发射一定强度的超声波,同时接收遇到不同阻抗和衰减的组织后反射回来的不同强度的声波而成像的^[35]。超声虽不能穿透高密度的皮质骨,但对于新生骨痂来说,密度较低,声波可穿透并能观察搬移区内部的情况。因此超声可用于监测搬移区骨痂的生长矿化,见图2。超声下观察骨痂生长矿化一般要经历纤维骨痂、点状骨性骨痂、片状骨性骨痂、线状骨性骨痂等几个阶段^[36-37];上述阶段是连续的变化过程,随着牵拉时间的延长,骨痂的形态由散在点状逐渐聚集、塑形,密度也逐渐升高。此外,超声还具有独特的优势,可以观察到搬移区骨痂矿化过程中的血流信号,见图3,进而发现血流信号的变化趋势,而血流的强弱直接影响骨痂的生长速度。另有文献报道超声发现部分患者在牵拉过程中搬移区出现囊泡,且周围骨痂生长缓慢^[37-38],超声监测下及时发现抽出淡黄色液体后,骨痂逐渐填充囊泡区^[39],说明囊泡抑制骨痂的生长矿化,见图4。至于囊泡出现的原因是否与牵拉速率有关仍有待进一步研究。



图注:图A为骨搬移术后3周搬移区的骨痂,可见纤维骨痂及少量点状骨痂;B为骨搬移术后6周搬移区的骨痂,可见片状骨痂
图2 胫骨前侧的超声纵向扫描声像图



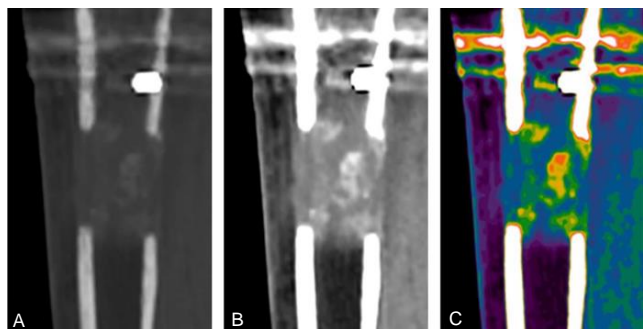
图注:图中箭头的标示为血流信号
图3 胫骨搬移区的血流图



图注:搬移区内可见0.87 cm×0.83 cm的无回声囊泡,其内骨痂矿化不良
图4 胫骨搬移区的声像图

因此在早期监测方面, 超声优势明显。在一定时间内定期观察搬移区内骨痂的生长矿化趋势、血流信号的变化趋势及是否有并发症的发生, 可以预测骨痂矿化速度的走向, 并及时的调整搬移速率或采取相应的措施治疗并发症, 从而避免骨痂矿化不良的发生。但因超声探头大小及频率的限制, 超声对患肢的皮肤条件及外固定架的构型要求高, 若探头放置部位出现皮肤破损或因外固定架阻挡, 超声观察的内容将受到影响。此外, 在骨痂矿化后期, 骨痂的密度逐渐升高, 超声波大部被阻挡, 当密度达到正常密度的45%时, 超声已不能穿透骨痂^[40], 之后超声的应用将极大受到限制。

CT监测搬移区的骨痂矿化: 近年来能谱CT被用于评价搬移区的成骨质量。其原理是: 利用能谱CT中的单能量成像提高组织的密度分辨率, 利用能谱曲线鉴别物质、分析物质的同源性, 利用物质分离技术可定量测定物质组成成分的浓度及含量^[41]。能谱CT不仅可早期监测骨痂的形态、密度、数量, 预测骨痂矿化的走向, 见图5, 从而及时的更改搬移速率, 还可通过定量测定羟基磷灰石的含量来间接反映新生骨的骨密度, 以此评价搬移区的成骨质量, 为外固定架的最终拆架时间提供客观指标^[42], 避免拆除外架后搬移区新骨变形及再骨折的发生。此外能谱CT的监测不受患肢皮肤条件影响, 弥补了超声监测的不足。但CT存在辐射强、费用高、监测时间间隔大、外固定架条件下金属伪影重, 对骨痂矿化的及时性及准确性不及超声。因此二者相互配合后, 监测结果对骨搬移调节方案的改进更有利。



图注: 图 A-C 均可见搬移区内骨痂生长
图5 骨搬移术后6周胫骨CT下的骨窗(A)、软组织窗(B)及伪彩图(C)

若经过彩色多普勒超声及能谱CT的监测, 调节外固定架牵拉速率后, 搬移区的骨痂矿化仍较慢, 则可在牵拉的基础上应用手风琴技术, 该技术也可加快骨痂的生长矿化^[43-44], 减少骨痂矿化不良的发生。此外, 物理治疗(如脉冲电磁场、低频超声波)、生长因子的应用(骨形态发生蛋白、转化生长因子 β 、胰岛素样生长因子1)、组织工程技术(骨髓的基质干细胞)等方法也可作为辅助手段促进搬移区新骨的形成^[45]。

2.3.4 对合端的骨愈合困难的治疗现状及改进 胫骨骨搬移完成后, 滑移骨段与骨残端接触, 形成对合端。对

合端的延迟愈合甚至不愈合是较为常见的并发症^[46-47], 发生率较高。MORA等^[48]报道对合端不愈合的发生率为10%, CHARALAMBOUS等^[49]报道不愈合率为50%。对合端愈合困难的原因较多, 患者的全身疾病、对合端软组织的嵌顿、对合端对位对线不良、低毒性感染、血运不良等因素均可导致愈合困难的发生^[50-51]。对合端愈合时间的长短在一定程度上决定骨搬移治疗周期的长短^[46], 因此解决此问题对于Ilizarov技术的临床推广有很大帮助。目前的治疗主要方法包括切开手术治疗、手风琴技术及生物物理方法(高压氧、冲击波等)。

手术治疗主要为去除嵌顿于断端的软组织、瘢痕组织及硬化骨, 植入自体或异体骨, 促进对合端愈合。骨皮质剥脱也是一种已被证实有效的治疗方法^[52], 该方法将对合端的皮质骨剥离成小骨片, 但不破坏小骨片与骨膜、肌肉原有的附着, 相当于带血管的自体骨移植, 造成微骨折也可重启骨愈合, 从而加快对合端的骨愈合。上述方法虽能有效促进骨愈合, 但由于大多数患者对合端的软组织条件较差, 一旦切开, 对合端感染及切口不愈合的风险会增加, 同时增加了手术次数, 加重患者的负担, 因此该方法并不作为首选的治疗方式。

生物物理方法如高压氧疗法、低频率冲击波、电磁场刺激、基因治疗等虽为非侵入性治疗方式, 但其对骨愈合系统的激活作用有限, 无法作为单一治疗手段应用于治疗中, 仅可作为辅助性治疗手段。

基于牵拉组织再生技术衍生出的手风琴技术, 改变了原有的单纯的牵拉应力, 在此基础上引入压缩应力, 使对合端受到交替性的牵拉-压缩应力刺激, 以期达到对合端骨愈合的目的。该方法是一种非手术、无需植骨、治疗过程可控的、能一定程度矫正对合端对位对线异常的方法, 是一种有效的、首选的治疗对合端愈合困难的方法。卢炎君等^[53]应用手风琴技术治疗11例胫骨骨折不愈合患者, 11例均达到了骨愈合标准。其大体的机制为: 通过对对合端施加压缩应力, 对合端的瘢痕组织坏死, 形成局部无菌性炎症^[54], 继而释放各种炎性递质和骨生长因子募集骨祖细胞^[55], 激活骨愈合系统; 之后将压缩应力转变为牵拉应力, 不断促进骨痂的再生及矿化, 此过程类似于骨搬移过程; 交替性压缩-牵拉可以重复上述过程, 而使骨痂不断累积最终达到骨愈合。但由于目前手风琴技术的具体操作方案尚未形成共识, 临床医师只能根据经验制定调节方案, 导致手风琴技术治疗对合端不愈合的成功率在文献中报道不一。GIOTAKIS等^[47]报道, 5例仅用“手风琴技术”治疗骨不愈合, 2例成功。HATZOKOS等^[56]报道应用“手风琴技术”治疗8例骨折不愈合患者, 其中6例达到了骨性愈合。MADHUSUDHAN等^[11]报道在2例胫骨不愈合病例中, 应用“手风琴技术”获得了成功的骨愈合。ZHANG等^[57]应用断端切新+皮质剥脱+“手风琴技术”治疗20例骨折

不愈合患者,其中19例获得了骨性愈合。为提高手风琴技术治疗的有效性,选择出最佳操作方案,应选择客观指标作为参照,这一点作者认为可参照彩色多普勒超声、能谱CT对骨搬移技术的反馈作用,但最终的结果仍需下一步研究。

2.3.5 其他不足的治疗 在搬移过程中因负重锻炼不佳等原因出现的踝关节活动受限、足趾下垂、马蹄足等畸形,可通过加强功能锻炼或安置足环、固定足趾,逐步矫正。滑移骨段在搬移过程中因调节不当,出现骨段偏移,当与骨残端接触后会出现对位对线不良,此并发症可调节固定滑移骨段的螺纹针纠正骨块轴线;若仍难以纠正,则需手术条件下复位。通过观察大量的安置小腿五环构型的环形外固定架患者,作者发现大部分患者与近端半环连接的克氏针的内侧针道会出现疼痛,且伴有不同程度的膝关节活动受限;作者认为可能克氏针贯穿胫腓骨,导致肌肉收缩时出现疼痛,但目前尚无研究证实这一点。

此外,对于佩戴外固定架的患者,因其疾病本身的难治性、佩戴外架的长期性及多次手术带来的创伤,患者的心理负担极大、生活质量偏低,极易使患者在治疗过程中的依从性变差,导致治疗周期延长,继而进一步阻碍治疗。因此应加强对患者的教育,增加与患者的沟通,使患者消除心理障碍,积极配合治疗,从而缩短治疗周期,尽快治愈疾病。

3 总结 Summary

综上所述,Ilizarov 技术因其突出的优势被临床广泛应用,对于胫骨骨缺损,特别大段骨缺损、合并软组织损伤、感染及畸形的骨缺损,Ilizarov 技术可被优先考虑使用。但是其缺点的不断出现,导致其治疗受到局限,随着新技术及辅助检查的应用,缺点逐步得到改善。骨搬移方式的选择可根据具体的缺损范围、软组织的损伤程度决定;外固定架构型的选择可根据患者的经济条件决定;外固定架针道的护理可选用葡萄糖酸氯己定醇消毒剂,杀菌效果好、皮肤刺激性小、作用迅速;搬移区新骨矿化不良可通过彩色多普勒超声及能谱 CT 的反馈结果,及时调整搬移速率,也可利用手风琴技术加快骨愈合;对合端的愈合困难可优先考虑手风琴技术,当对合端的微环境改善后,再加用生物物理理疗治疗,若仍未愈合,可考虑采用手术治疗;早期功能锻炼也是减少并发症的有效方法,需格外注意。但目前仍有一些并发症需寻找新的解决办法,如外固定架近端的针道疼痛。在今后的研究中,手风琴技术的具体操作方案及机制研究可作为一大重点,同时也需研究新的方法以进一步降低并发症的发生,从而完善 Ilizarov 技术,使其在临床工作中应用中更加规范、标准。另外,需加强与患者的沟通,减轻患者的心理负担,使患者能以向上

的心态来治疗疾病,有利于患者的康复。

作者贡献: 第一、三作者和通讯作者为研究设计者,第一作者收集资料及成文,通讯作者及第三作者审校。

经费支持: 该文章接受了“山西省社会发展基金(201803D31126)”资助。所有作者声明,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。

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。

写作指南: 该研究遵守《系统综述和荟萃分析报告规范》(PRISMA指南)。

文章查重: 文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行3次查重。

文章外审: 文章经小同行外审专家双盲外审,同行评议认为文章符合期刊发稿宗旨。

文章版权: 文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

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。

4 参考文献 References

- [1] 王天胜,滕寿发,刘鹏,等. PolyoAx 锁定钢板用于胫骨多段骨折32例疗效观察[J]. 创伤与急危重病医学, 2015, 3(2): 78-79.
- [2] 臧谋圣, 王成琪. 四肢长骨骨缺损的临床分型及意义[J]. 中国矫形外科杂志, 2015, 23(3): 246-249.
- [3] 刘培亭, 王振军, 臧建成. Ilizarov 技术与骨科自然重建理念的哲学视野[J]. 医学与哲学(B), 2015, 36(8): 14-16.
- [4] ILIZAROV GA. Basic principles of transosseous compression and distraction osteosynthesis. Ortop Travmatol Protez. 1971; 32(11): 7-15.
- [5] 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. Clin Orthop Relat Res. 1989;(238): 249-281.
- [6] 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.
- [7] 李敏, 陈国奋, 王健, 等. 长骨节段性缺损修复重建的理论及应用进展[J]. 中国组织工程研究, 2013, 17(43): 7624-7629.
- [8] PAPA KOSTIDIS C, BHANDARI M, GIANN OUDIS 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. Bone Joint J. 2013; 95-B(12): 1673-1680.
- [9] RIGAL S, MERLOZ P, LE NEN D, et al. French Society of Orthopaedic Surgery and Traumatology (SoFCOT). Bone transport techniques in posttraumatic bone defects. Orthop Traumatol Surg Res. 2012; 98(1): 103-108.
- [10] SEN C, KOCAOGLU M, ERALP L, et al. Bifocal compression-distraction in the acute treatment of grade III open tibia fractures with bone and soft-tissue loss: a report of 24 cases. J Orthop Trauma. 2004; 18(3): 150-157.
- [11] MADHUSUDHAN TR, RAMESH B, MANJUNATH K, et al. Outcomes of Ilizarov ring fixation in recalcitrant infected tibial non-unions -a prospective study. J Trauma Manag Outcomes. 2008; 2(1): 6.
- [12] 邱鹏. Ilizarov 技术治疗胫骨大段骨缺损临床疗效观察[D]. 昆明: 昆明医科大学, 2017.

- [13] SEN C, ERALP L, GUNES T, et al. An alternative method for the treatment of nonunion of the tibia with bone loss. *J Bone Joint Surg Br.* 2006;88(6):783-789.
- [14] 吴其常, 张志刚, 卞传华, 等. 应用 Ilizarov 技术治疗下肢复杂畸形[J]. *中国矫形外科杂志*, 2002, 10(11):24-25.
- [15] 张贵春, 郑润泉, 邹林, 等. 抗生素骨水泥联合 Ilizarov 技术在长骨感染性骨缺损治疗中的应用[J]. *实用骨科杂志*, 2019, 25(1):25-28+54.
- [16] 厉孟, 甄平, 蓝旭, 等. Ilizarov 技术同期治疗感染性胫骨大段缺损并小腿软组织缺损[J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2017, 32(2):156-159.
- [17] 张超, 李文波, 孙英杰, 等. 感染性骨缺损的手术治疗现状[J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2017, 32(10):1116-1118.
- [18] 梁斌, 张镨. 骨搬运并发症对接点不愈合的研究与进展[J]. *中国组织工程研究*, 2018, 22(8):1275-1280.
- [19] 张树立, 张勇, 王景彦, 等. 应用 Ilizarov 双段骨搬运技术治疗大段胫骨骨缺损[J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2018, 26(10):60-62.
- [20] 张群, 唐佩福, 陶笙, 等. 腓骨横向搬运治疗胫骨大段骨缺损[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2011, 13(6):513-516.
- [21] 殷渠东, 孙振中, 顾三军, 等. 骨搬运与骨短缩-延长治疗胫骨骨缺损合并软组织缺损的疗效比较[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2014, 28(7):818-822.
- [22] 谢鑑辉. 儿童骨外固定器针道护理与预防针道感染的研究进展[J]. *中华现代护理杂志*, 2010, 16(32):3963-3965.
- [23] PARAMESWARAN AD, ROBERTS CS, SELIGSON D. Pin track infection with contemporary external fixation: how much of a problem? *J Orthop Trauma.* 2003;17(7): 503-507.
- [24] SHTARKER H, DAVID R, STOLERO J, et al. Treatment of open tibial fractures with primary suture and Ilizarov fixation. *Clin Orthop Relat Res.* 1997;335:268-274.
- [25] HOSNY G, FADEL M. Ilizarov external fixator for open fractures of the tibial shaft. *Int Orthop.* 2003;27(5): 303-306.
- [26] DE JONG ME, DE BERARDINO MT, BROOKS DE, et al. Antimicrobial efficacy of external fixator pins coated with a lipid stabilized hydroxyapatite/chlorhexidine complex to prevent pin track infection in a goat model. *J Orthop Trauma.* 2001;50(6): 1008-1014.
- [27] MARSH DR, SHAH S, ELLIOTT J, et al. The Ilizarov method in nonunion, malunion and infection of fractures. *J Bone Joint Surg Br.* 1997;79(2): 273-279.
- [28] ANTOCI V, ONO CM, ANTOCI V JR, et al. Pin-Tract infection during limb lengthening using external fixation. *Am J Orthop.* 2008; 37(9): 150-154.
- [29] SCHALAMON J, PETNEHAZY T, AINOEDHOFER H, et al. Pin tract infection with external fixation of pediatric fractures. *J Pediatr Surg.* 2007;42(9): 1584-1587.
- [30] TIMMS A, VINCENT M, SANTY-TOMLINSON J, et al. A fresh consensus for pin site care in the UK. *Int J Orthop Trauma Nurs.* 2013.
- [31] 蒋小平, 蒋林峻, 胡洪青, 等. Ilizarov 外固定架治疗大龄儿童僵硬型马蹄内翻足的护理[J]. *护士进修杂志*, 2013, 28(10):899-901.
- [32] 谢鑑辉, 易银芝, 张妮, 等. 泡沫型皮肤消毒剂用于外固定器针道消毒效果观察[J]. *护理学杂志*, 2009, 24(24):65-66.
- [33] 郭秀娟. Ilizarov 术后不同消毒剂预防针道感染效果的实验研究[D]. 太原:山西医科大学, 2018.
- [34] OZTURKEMEN Y, KARAMEHMETOGLU M, KARADENIZ H, AZBOY I, CANIKLIOGLU M. Acute treatment of segmental tibial fractures with the Ilizarov method. *Injury.* 2009;40(3): 321-326.
- [35] 梁强, 张镨. 牵拉成骨过程中并发症及截骨端骨痂血运情况:多普勒超声监测可行[J]. *中国组织工程研究*, 2015, 19(20):3226-3230.
- [36] POPOSKA A, ATANASOV N, DZOLEVA-TOLEVSKA R. Use of ultrasonography in evaluation of new bone formation in patients treated by the method of Ilizarov. *Prilozi.* 2012;33(1):199-208.
- [37] 张宇. 探究超声在骨延长过程中的监测价值[D]. 太原:山西医科大学, 2017.
- [38] 陈雪峰, 赵卫东, 张永红, 等. 对比能谱 CT 与超声监测骨搬运过程的价值[J]. *中国医学影像技术*, 2019, 35(4):586-591.
- [39] YOUNG JW, KOSTRUBIAK IS, RESNIK CS, et al. Sonographic evaluation of bone production at the distraction site in Ilizarov limb-lengthening procedures. *AJR Am J Roentgenol.* 1990;154(1): 125-128.
- [40] EYRES KS, BELL MJ, KANIS JA. Methods of assessing new bone formation during limb lengthening. Ultrasonography, dual energy X-ray absorptiometry and radiography compared. *J Bone Joint Surg Br.* 1993;75(3):358-364.
- [41] 任庆国, 滑炎卿, 李剑颖. CT 能谱成像的基本原理及临床应用[J]. *国际医学放射学杂志*, 2011, 34(6):559-563.
- [42] 陈雪峰. CT 能谱技术在评价骨搬运术后成骨质量中的应用研究及临床意义[D]. 太原:山西医科大学, 2019.
- [43] 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. *Adv Orthop.* 2015; 2015:912790.
- [44] 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.
- [45] 倪明, 张艺, 李刚, 王岩. 促进牵拉成骨矿化过程的基础研究进展[J]. *中国卫生产业*, 2011, 8(Z1):119-121.
- [46] ROBINSON PM, PAPANNA M, YOUNIS F, et al. Arthroscopic debridement of docking site in Ilizarov bone transport. *Ann R Coll Surg Engl.* 2010;92(5):437-438.
- [47] GIOTAKIS N, NARAYAN B, NAYAGAM S. Distraction osteogenesis and nonunion of the docking site: is there an ideal treatment option? *Injury.* 2007;38 Suppl 1: S100-107.
- [48] MORA R, MACCABRUNI A, BERTANI B, et al. Revision of 120 tibial infected non-unions with bone and soft tissue loss treated with epidermato-fascial osteoplasty according to Umriarov. *Injury.* 2014;45(2):383-387.
- [49] CHARALAMBOUS CP, WILKES RA. Bone grafting of the un-united docking site in bone transport: description of a percutaneous approach. *Ann R Coll Surg Engl.* 2008;90(7):613.
- [50] LOWENBERG DW, FEIBEL RJ, LOUIE KW, et al. Combined muscle flap and Ilizarov reconstruction for bone and soft tissue defects. *Clin Orthop Relat Res.* 1996;(332):37-51.
- [51] MAGADUM MP, BASAVARAJ YADAV CM, PHANEESHA MS, et al. Acute compression and lengthening by the Ilizarov technique for infected nonunion of the tibia with large bone defects. *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2006;14(3):273-279.
- [52] MOGHADDAM MH, VAHEDI E. Effect of decortications on union rate of tibial plating. *Orthopedics.* 2015;38(3):e213-216.
- [53] 卢炎君, 张永红, 王栋, 等. 手风琴技术治疗胫骨骨折延迟愈合或不愈合[J]. *中华骨科杂志*, 2019, 39(1):30-35.
- [54] 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-1 α /vascular endothelial growth factor system. *J Orthop Res.* 2006;24(4): 653-663.
- [55] BOULETREAU PJ, WARREN SM, SPECTOR JA, et al. Factors in the fracture microenvironment induce primary osteoblast angiogenic cytokine production. *Plast Reconstr Surg.* 2002;110(1): 139-148.
- [56] HATZOKO I, STAVRIDIS S, IOSIFIDOU E, et al. Autologous bone marrow grafting combined with demineralized bone matrix improve consolidation of docking site after distraction osteogenesis. *J Bone Joint Surg (Am).* 2011;93(7):671-678.
- [57] ZHANG Q, ZHANG W, ZHANG Z, et al. Accordion technique combined with minimally invasive percutaneous decortication for the treatment of bone non-union. *Injury.* 2017;48(10): 2270-2275.