

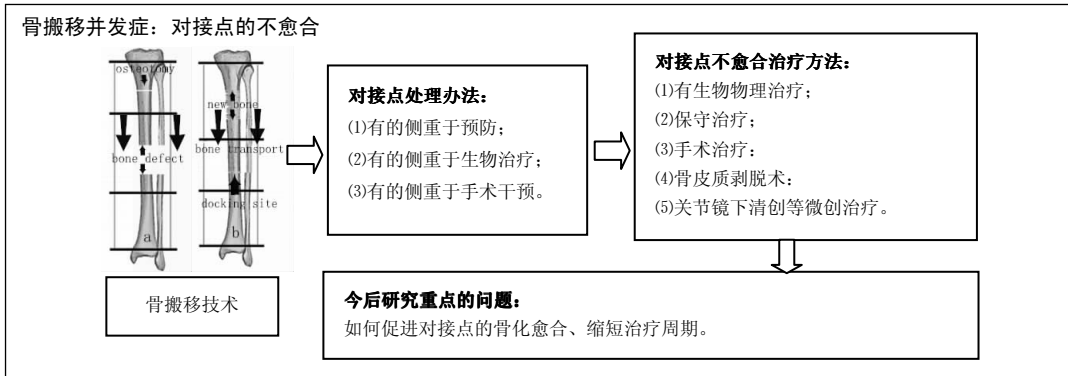
骨搬移并发症对接点不愈合的研究与进展

梁 斌, 张 锴(滨州医学院附属医院创伤骨科, 山东省滨州市 256600)

DOI:10.3969/j.issn.2095-4344.0148

ORCID: 0000-0002-1902-4470(梁斌)

文章快速阅读:



梁斌, 男, 1990年生, 山东省嘉祥县人, 汉族, 滨州医学院在读硕士, 主要从事创伤骨科方面的研究。

通讯作者: 张锴, 教授, 主任医师, 硕士生导师, 滨州医学院附属医院创伤骨科, 山东省滨州市 256600

中图分类号:R318

文献标识码:A

稿件接受: 2017-10-26



文题释义:

骨搬移技术: 应用 Ilizarov 外固定技术治疗骨髓炎、骨肿瘤和开放性骨折所致的长骨大段骨缺损, 首先通过外固定装置给予骨骼确切的稳定性, 取骨缺损上下端的一段活骨, 利用外固定架上的可移动装置, 按照既定的方向和频率、合适的速度牵伸截取的活骨, 重新激发骨组织的再生潜能, 逐渐填补骨缺损, 完成肢体的重建与修复。

对接点: 在应用骨搬移技术治疗骨缺损时, 当搬移骨与对应骨的残端会聚时, 所形成的区域即为对接点。

摘要

背景: Ilizarov 骨搬移技术是治疗长骨大段骨缺损的有效方法, 但对接点的不愈合是骨搬移治疗过程中最常见的并发症。

目的: 就 Ilizarov 骨搬移技术对接点的研究现状及临床治疗作一综述。

方法: 应用计算机检索 CNKI 和 PubMed 数据库中关于对接点、截骨端、骨缺损及骨搬移相关的文章, 在标题和摘要中以“对接点, 骨搬移, 骨缺损, Ilizarov”或“docking site, bone transport, bone defects, Ilizarov”为检索词进行检索。最终选择 44 篇重要文献进行综述。

结果与结论: 对接点的愈合周期被认为是决定骨搬移治疗周期长短的关键。针对对接点的愈合困难, 各临床医师有不同的侧重处理办法, 有的侧重于预防, 有的侧重于生物治疗, 有的侧重于手术干预。目前治疗对接点不愈合的方法有生物物理治疗、保守治疗和手术治疗。骨皮质剥脱术、关节镜下清创等微创治疗方式的出现, 为对接点不愈合的治疗提供了更多的选择。而如何促进对接点的骨化愈合、缩短治疗周期是进一步研究的重点问题。

关键词:

骨搬移; 对接点; 伊里扎洛夫; 骨缺损; 组织构建; 骨不愈合

主题词:

骨移植; 骨折; 骨折愈合; 组织工程

Complications associated with bone transport: a literature review of nonunion at the docking site

Liang Bin, Zhang Kai (Department of Traumatic Orthopedics, Binzhou Medical University Hospital, Binzhou 256600, Shandong Province, China)

Liang Bin, Master candidate, Department of Traumatic Orthopedics, Binzhou Medical University Hospital, Binzhou 256600, Shandong Province, China

Abstract

BACKGROUND: Bone transport is a powerful tool described by Ilizarov, which is an excellent biological method for the correction of large bone defects. But complications specifically associated with bone transport including delayed union or nonunion at the docking site occur frequently.

OBJECTIVE: To analyze the research status and clinical treatments of the delayed union or nonunion at the docking site in bone transport using Ilizarov method.

METHODS: A computer-based search of CNKI and PubMed databases was performed for the articles related to the docking site, osteotomy, bone defects and bone transport with the keywords of “docking site, bone transport, bone defects, Ilizarov” in English and Chinese, respectively. Finally, 44 eligible articles were included to review.

Corresponding author: Zhang Kai, Professor, Chief physician, Master's supervisor, Department of Traumatic Orthopedics, Binzhou Medical University Hospital, Binzhou 256600, Shandong Province, China

RESULTS AND CONCLUSION: Docking sites are the result of a classic bone transport technique for dealing with bone loss. Union may prove to be the rate-limiting step of this surgical procedure. About the delayed union or nonunion at the docking site, different clinicians have different foci, some clinicians focus on prevention, some focus on the biological treatment, and some focus on surgical intervention. The emergence of decortications and debridement under arthroscopy provides a new treatment strategy for the delayed union or nonunion at the docking site. How to promote the healing at the docking site and shorten treatment course still needs a further investigation.

Subject headings: Bone Transplantation; Fractures, Bone; Fracture Healing; Tissue Engineering

0 引言 Introduction

由骨髓炎、骨肿瘤和开放性骨折所致的长骨大段骨缺损, 如治疗不当, 将严重影响患者的生活质量和劳动能力。为恢复肢体长度、矫正肢体畸形, 骨科医师必须在控制感染、防止肿瘤复发与避免增大骨缺损之间找出平衡点, 因此, 如何重建肢体的连续性和恢复患肢功能成为骨科医师面临的挑战。对于各种原因引起的长骨大段骨缺损, 应用Ilizarov骨搬运技术, 能有效避免内固定所引起的感染等并发症, 同时还能有效恢复肢体长度。许多学者对应用骨搬运技术治疗长骨大段骨缺损在基础理论上和临床实践上进行了大量研究, 并取得了良好的临床疗效。但是, 经典的骨搬运技术治疗骨缺损同样存在对接点愈合困难这一治疗难点, 文章即对对接点不愈合的研究现状及临床治疗作一综述。

1 资料和方法 Data and methods

1.1 资料来源 由第一作者应用计算机检索PubMed和CNKI数据库中1989年1月至2016年4月关于对接点不愈合相关的文章, 检索词为“对接点; 伊里扎洛夫; 骨搬运; 骨缺损; 骨不愈合”进行中英文检索。

1.2 检索方法

1.2.1 纳入标准 ①所述内容与对接点不愈合原因及治疗方法密切相关的文献; ②具有原创性和科学性, 论点和论据可靠的文章。

1.2.2 排除标准 ①与课题内容不符的研究; ②内容陈旧、结论重复性文章。

1.2.3 质量评估 计算机共检索到103篇文献, 其中英文文献75篇, 中文文献28篇, 阅读标题与摘要进行初筛, 排除研究目的与本文无关及内容重复的文献, 最后共纳入44篇文献进行归纳综述。

2 结果 Results

2.1 骨搬运技术概述 长骨大段骨缺损的传统治疗方法主要包括截肢、骨移植、带血管蒂腓骨移植等。截肢是治疗严重肢体损伤的有效方法, 但截肢后患者会面临部分肢体功能的缺失, 幻肢痛等一系列问题。而且截肢与保肢的手术指征也存在着争议, 从保肢的观点上看, 截肢是治疗长骨骨缺损的最终治疗方法^[1-2]。骨移植联合髓内钉或钢板内固定是治疗长骨骨缺损的经典方法, 骨移植虽可填补长骨大段骨缺损, 但不易纠正患肢肢体的短缩, 且这种方法受很多因素的限制。例如, 大量自体骨的来源问题, 骨折固定难度较大, 内固定产生的应力遮

挡使骨愈合周期延长, 且去除内固定物后易发生再骨折等^[1, 3-4]。带血管蒂腓骨移植是重建长骨骨缺损的有效的治疗方法, 吻合血管的腓骨移植因具有丰富的血供, 因此具有较强的成骨能力, 但切除部分腓骨后会影响到踝关节的稳定性, 易造成供骨肢体的疼痛, 而且对骨科医师要求较高的显微外科技术^[1]。大量的临床研究和动物实验发现Ilizarov骨搬运技术是治疗长骨骨缺损的有效方法^[5]。

骨搬运技术是前苏联骨科医师伊里扎洛夫教授创造的最为独特的骨缺损治疗方法, 经过多年对牵拉成骨的基础实验研究和对外固定装置的改进, 骨搬运技术除可治疗严重的开放性骨折外, 还可治疗严重的骨折并发症, 如肢体的短缩和关节的挛缩畸形等。骨搬运首先是通过外固定装置给予骨骼确切的稳定性, 取骨缺损上下端的一段活骨, 利用外固定架上的可移动装置, 按照既定的方向和频率、合适的速度牵伸截取的活骨, 重新激发骨组织的再生潜能, 逐渐填补骨缺损, 完成肢体的重建与修复^[6-7]。

Ilizarov骨搬运技术的基本原理是应用张力-应力法则(Law of tension-stress, LTS), 给生长中的组织缓慢牵伸产生一定的张力, 可刺激某些组织的再生和活跃生长, 其生长方式同胎儿组织一致, 均为相同的细胞分裂, 通过对活性组织的牵拉来重新激发骨组织的再生潜能, 以最小的软组织损伤来恢复患肢正常的功能, 挽救了许多濒临截肢的肢体, 为治疗长骨大段骨缺损提供了一种全新的治疗方法。骨搬运手术操作步骤简单, 手术时间短、安全性高, 另外外固定装置组合方便, 力学稳定性稳定可靠, 有助于搬运骨按照既定的方向牵张, 搬运到预期的部位。骨搬运技术在修补长骨大段骨缺损的同时, 也可同期延长局部软组织, 可最大程度的恢复患肢的功能。目前已成为治疗长骨骨缺损最具潜力的手段之一。与传统的骨缺损治疗手段相比, 骨搬运技术可同时修复骨与软组织缺损, 明显减少了手术次数, 能够提高临床治疗效果, 改善了患者的生活质量^[8]。

Ilizarov骨搬运技术虽然可成功填补长骨骨缺损, 挽救了许多濒临截肢的肢体, 但在骨搬运过程中同样存在较为棘手的问题, 如对接点愈合困难、搬运骨发生偏移、延长骨长度的丢失、钉道感染、松动及折断和长期佩带外固定装置所造成的患肢疼痛等一系列问题。而对接点的愈合困难是骨搬运治疗骨缺损中最常见的并发症^[9], 对接点的骨化愈合时间被认为是决定骨搬运治疗周期长短的关键, 如何获得对接点的牢固愈合目前亟须解决的

问题。

2.2 对接点的概述 对接点源于经典的骨搬运技术治疗骨缺损。在治疗过程中首先应用外固定装置给予患肢骨骼确切的稳定性,取骨缺损上下端的一段活骨,通过外固定架上的可移动装置,按照既定的方向和频率、合适的速度牵伸截取的活骨,逐渐填补骨缺损,当搬运骨与对应骨的残端会聚时,所形成的区域即为对接点^[10-14]。对接点的骨化愈合时间被认为是决定骨搬运治疗周期长短的关键。骨搬运技术治疗骨缺损过程中主要有两种骨形成方式,截骨后牵伸所形成的新生骨区称为“牵拉性骨再生”,搬运骨填补骨缺损达对接点时的骨形成方式称为“引导性再生”或出现“哈尔滨现象”^[15]。

对接点因其难愈合而被骨科医师所熟知,但是关于对接点的组织形态学描述的文献报道罕见。查找相关文献后发现Green等^[16]在研究人体搬运骨时首先对接点进行了简单的组织形态学描述,但是缺乏对接点的显微组织学检查。Giotakis等^[11]在研究中发现当搬运骨达对接点时,首先在对接点处形成血肿,后逐渐被纤维软骨组织所替代。对接点骨化愈合的成骨方式主要为软骨内成骨,但对接点处软骨组织升高的趋势却不恒定^[12]。对接点的组织形态学检查可直接了解对接点处的骨化愈合过程,但目前仍缺乏对人体对接点处系统的组织学研究。

Ilizarov骨搬运技术治疗长骨大段骨缺损的有效方法,但治疗过程中同样存在对接点不愈合的治疗难点。受限于地域不同、样本量的大小、随访时间的长短以及个体差异,不同学者对接点不愈合发生率的报道也不同^[2-3, 17-18, 20-22](见表1)。Mora等^[17]在应用Ilizarov骨搬运技术治疗长骨骨缺损时,发现对接点不愈合的发生率约10%,而Charalambous等^[22-24]则认为对接点的不愈合率约为50%,治疗对接点不愈合的方法主要为清创植骨术。虽然清创植骨术是治疗对接点不愈合的有效方法,但却存在着增加治疗时间和医疗费用等缺点。如何获得对接点的牢固愈合和缩短治疗时间是目前治疗对接点不愈合亟须解决的问题。

2.3 对接点不愈合的原因及预防 对接点的愈合是一个十分复杂的生物学过程,不同于胚胎骨发育及骨折修复过程,目前的生物学机制尚未完全阐明。不同的年龄、是否合并基础疾病、吸烟、患者的依从性和主观能动性等诸多因素对接点的愈合都有影响。但软组织的嵌入和搬运骨的偏移致使对接点两端骨对合不良,是造成对接点不愈合的最常见原因^[25-26]。Magadam等^[26]认为没有规范的手术操作、外固定装置安装不当,也是造成对接点不愈合的常见因素。也有学者研究认为截骨的位置和方法、牵张的速度和频率以及搬运骨在软组织袖内无压力的刺激下长距离搬运,致使对接点两端骨发生不同程度的吸收,不能有效的加压,也是造成对接点不愈合

的因素^[27]。

众所周知最好的治疗是预防。如何促进对接点以更快的速度骨化愈合,预防对接点不愈合等并发症的发生,一些专家学者进行了大量临床实验研究。研究认为定时术后X射线复查可及时观察截骨延长区新生骨痂的生长状况以及搬运骨是否偏于长骨轴线,对纠正搬运骨的偏移具有重要价值。研究证实术者丰富的经验和患者良好的依从性可明显减少骨搬运并发症的发生^[19]。Karargyris等^[19, 28]认为对接点处加压是促进对接点的愈合有效方法。当搬运骨达对接点时,继续以既定的方向和速度向远端牵伸三四天,即对接点处进行加压,可有效的促进对接点的愈合。有研究联合应用骨搬运和髓内钉技术治疗长骨骨缺损,认为内外结合既可维持患肢的长度和稳定性,减少外固定装置的佩带时间,还可增加临近关节的活动度,避免搬运骨的轴向偏移^[4, 29-31]。内外结合方法的应用为治疗长骨大段非感染性骨缺损提供了一种新的方法和理念。Somanchi等^[28, 32-33]应用骨搬运联合封闭负压引流技术(vacuum assisted closure, VAC)治疗慢性骨髓炎所致的骨与软组织缺损,认为封闭负压引流技术既可改善局部血供、减轻局部组织的水肿,还可促进肉芽组织的生长,避免与外界的交叉感染,有效的促进对接点的骨性愈合。Giotakis等^[11]认为短缩延长术可有效避免对接点不愈合的发生,感染坏死组织的整段切除可在局部制造一个新鲜的骨折微环境,机体会分泌各种生长因子来启动骨愈合过程。但是一期骨短缩时有时会出现血管危象等棘手问题,应马上恢复肢体长度,待局部组织炎症反应减轻后再行短缩。一些学者建议使用泰勒外固定支架(taylor spatial frame, TSF)行骨搬运技术治疗骨缺损,因为泰勒外固定支架可通过电脑软件设计调整参数,在三维空间准确有效的矫正搬运骨在软组织通道内的偏移,增大对接点两端骨的接触面积,减少对接点不愈合的发生^[9]。

2.4 对接点不愈合的治疗 随着Ilizarov骨搬运技术治疗长骨大段骨缺损的广泛应用,对骨搬运并发症对接点不愈合的处理也变得熟悉起来。积极主动的治疗对接点不愈合,可缩短治疗时间,减轻患者的痛苦。目前治疗对接点不愈合的方法有生物物理治疗、保守治疗和手术治疗。见图1。

2.4.1 生物物理治疗 生物物理学方法均为非侵入性治疗,使用方便,并发症少,治疗费用低廉且无手术并发症,临床应用亦较为广泛。其主要有高压氧、电磁刺激、振动冲击波治疗等。

2.4.2 保守治疗 对接点不愈合的保守治疗操作简便、创伤小,是治疗对接点难愈合的有效方法。加压法是治疗对接点不愈合的最常用的方法,即按照既定的方向以每周2次,每次0.25 mm,连续3个月的方法对接点处加压^[2, 11, 34]。柴明祥等^[35]认为物理加压和部分负重生理

表 1 Ilizarov 骨搬移技术治疗骨缺损时对接点不愈合的报道

作者	发表时间	患者数量(n)	部位	骨缺损的平均长度(cm)	骨缺损治疗方式	对接点不愈合数量(n)	软组织的嵌顿(n)	搬移骨的轴向偏移(n)	清创植骨术(n)
Mora R ^[17]	2014	119	胫骨	9.5	环形外固定器 下骨搬移	11	14	/	11
Bumbasirević M ^[18]	2010	30	胫骨	6.9	环形外固定器 下骨搬移	1	8	4	1
Krishnan A ^[3]	2006	11	股骨	/	环形外固定器 下骨搬移	1	/	5	1
Abdel-Aal AM ^[19]	2006	15	胫骨	10.6	环形外固定器 下骨搬移	2	/	1	2
Erler K ^[20]	2005	9	股骨+ 胫骨+尺骨	14	单边外固定器 下骨搬移+环 形外固定器下 骨搬移	2	1	1	2
Maini L ^[2]	2000	15	股骨+胫骨	7	环形外固定器 下骨搬移	3	3	3	3
Song HR ^[21]	1998	27	胫骨	8.3	环形外固定器 下骨搬移	25	3	5	25

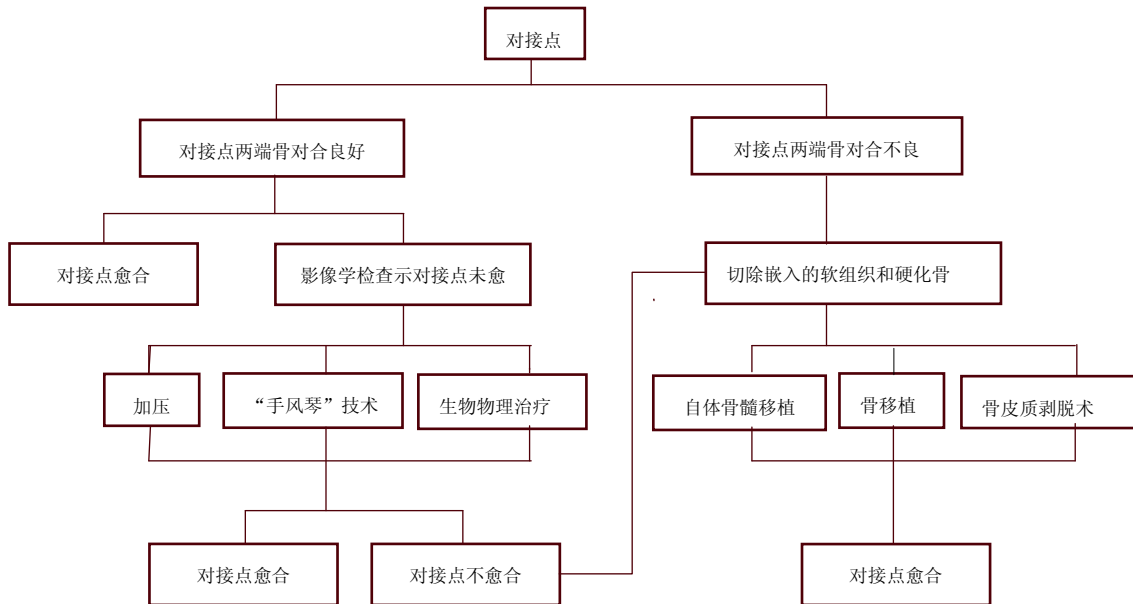


图 1 Ilizarov 骨搬移技术对接点治疗流程图

加压, 可通过肌肉增加局部血液供应量, 可有效促进对接点骨化愈合。对接点处加压既可使嵌入的软组织发生缺血坏死, 还可增加对接点处两端骨组织的接触面积。但是应用此种方法受很多因素的限制, 对接点处皮肤和皮下组织的嵌入是使用加压法的禁忌证, 而且在骨搬移过程中, 搬移骨经常发生偏移, 造成对接点处对接不良, 尽管用恒定的速度将对接点处加压, 但不能完全将嵌入的软组织移除。

“手风琴技术”(交替牵拉、压缩的方法)是治疗对接点不愈合的另一种常用保守治疗方法。即先以1 mm/d的速度牵伸延长对接点, 逐渐达10 mm, 然后再以相同的速度压缩返回原位, 对接点的骨端逐渐加压接触^[11, 36]。但应用手风琴技术会加重患者的痛苦且延长治

疗周期。

2.4.3 手术治疗 保守治疗对接点不愈合3个月后, 对接点处仍达不到骨性愈合, 可行切开手术治疗^[25]。手术治疗是目前处理对接点不愈合最直接、最有效的治疗方法。一些学者认为对接点的不愈合是由于搬移骨的偏移、软组织的嵌入, 造成局部软组织纤维瘢痕化、缺血。因而, 对对接点周围缺血软组织、硬化骨的切除, 暴露新鲜皮质骨, 能为对接点的愈合创造良好的局部微环境。但大部分患者对接点处局部软组织条件较差, 对接点的局部切开植骨增加了患肢感染的风险和切口不愈合的概率, 手术治疗对术者和患者均是挑战。Hatzokos等^[20, 36]认为在对接点处注入自体骨髓和去矿化的骨基质可刺激机体释放更多的成骨活性物质, 从而

加速对接点的骨化愈合。Robinson等^[9]应用关节镜将对接点处清创,手术简单、微创、安全、有效,避免了软组织的再干扰,增加骨髓干细胞在对接点处的浓度,是治疗对接点不愈合的有效方法。Giotakis等^[11, 37-39]认为骨皮质剥脱术也可促进对接点的愈合。骨皮质剥脱术不破坏剥离的小骨片与骨膜、肌肉等固有组织附着,相当于带血管的骨移植,皮质剥脱相当于在对接点处形成多个微型骨折,重新启动了骨愈合过程,可有效加速对接点的愈合。

对接点不愈合的在治疗时争论最多的是对接点的植骨问题。很多学者对处理对接点不愈合是否植骨提出了自己的观点。Robinson等^[9, 11, 40-41]认为如果对接点两端接触面积较大并能够加压,加压即可促进对接点达到骨性愈合,而且对接点的切开植骨可破坏局部软组织的血运。但另有一些学者却持反对意见,因为植骨增加了对接点处钙的沉积,促进原始骨痂的重建,起到了爬行替代作用。研究认为植骨是治疗对接点不愈合的金钥匙^[11, 42-44],植入骨可发挥骨诱导和骨传导的作用,加速血管和新骨的形成,还可缩短治疗周期,减轻患者因佩带外固定装置带来的痛苦。

此外,应用外源性骨生长刺激因子如骨形态发生蛋白,虽可刺激新骨生成和骨折的愈合,但能否促进对接点的愈合尚需进一步的研究。

3 小结 Conclusions

综上所述,Ilizarov骨搬运技术是治疗长骨大段骨缺损的有效方法,但在治疗过程中仍存在着对接点不愈合等一系列并发症。当对接点处无软组织嵌顿且两端骨接触面积较大时,可先行加压、“手风琴技术”等保守治疗,若对接点保守治疗3个月,对接点处仍达不到骨性愈合,则可以考虑手术治疗。随着骨科医师对对接点愈合机制理解得不断加深,骨皮质剥脱术、关节镜下清创等微创治疗方式的出现,为对接点不愈合的治疗提供了更多的选择。而在今后的研究中如何促进对接点的骨化愈合、缩短治疗周期是研究的重点问题。在对接点不愈合治疗中,是否植骨,是否需要手术切开治疗仍存在争议,这就要求医生在临床治疗中要遵循个体化原则,根据患者具体情况选取最佳合理的治疗方案。

作者贡献: 第一作者梁斌负责文献检索、筛选、分析、总结文献,构思并完成综述写作,通讯作者张锴教授负责审核、修改文章。

经费支持: 该文章没有接受任何经费支持。

利益冲突: 所有作者共同认可文章无相关利益冲突。

伦理问题: 文章的撰写与编辑修改后文章遵守了《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CNKI反剽窃文献检测系统进行3次查重。

文章外审: 文章经国内小同行外审专家双盲外审,符合本刊发稿

宗旨。

作者声明: 第一作者对研究和撰写的论文中出现的不端行为承担责任。论文中涉及的原始图片、数据(包括计算机数据库)记录及样本已按照有关规定保存、分享和销毁,可接受核查。

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3.0”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] DeCoster TA, Gehlert RJ, Mikola EA, et al. Management of posttraumatic segmental bone defects. J Am Acad Orthop Surg. 2004;12(1):28-38.
- [2] Maini L, Chadha M, Vishwanath J, et al. The Ilizarov method in infected nonunion of fractures. Injury. 2000;31(7):509-517.
- [3] Krishnan A, Pamecha C, Patwa JJ. Modified Ilizarov technique for infected nonunion of the femur: the principle of distraction-compression osteogenesis. J Orthop Surg (Hong Kong). 2006;14(3):265-272.
- [4] Lin CC, Chen CM, Chiu FY, et al. Staged protocol for the treatment of chronic tibial shaft osteomyelitis with Ilizarov's technique followed by the application of intramedullary locked nail. Orthopedics. 2012;35(12):e1769-1774.
- [5] Thirumal M, Shong HK. Bone transport in the management of fractures of the tibia. Med J Malaysia. 2001;56(1):44-52.
- [6] 秦泗河. 读《骨搬运治疗骨缺损与骨不连》有感[J]. 中国矫形外科杂志 2009, 17(24):1919-1920.
- [7] 秦泗河, 孙磊. Ilizarov技术在矫形外科的应用进展[J]. 中国矫形外科杂志, 2002, 9(3): 295-298.
- [8] 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. PloS one. 2015;10(11): e0141973.
- [9] 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.
- [10] Peng J, Min L, Xiang Z, et al. Ilizarov bone transport combined with antibiotic cement spacer for infected tibial nonunion. Int J Clin Exp Med. 2015;8(6):10058-10065.
- [11] Giotakis N, Narayan B, Nayagam S. Distraction osteogenesis and nonunion of the docking site: is there an ideal treatment option? Injury. 2007;38 Suppl1:S100-107.
- [12] Garcia FL, Picado CH, Garcia SB. Histology of the regenerate and docking site in bone transport. Arch Orthop Trauma Surg. 2009;129(4):549-558.
- [13] Tresley J, Schoenleber SJ, Singer AD, et al. "Ilizarov" external fixation: what the radiologist needs to know. Skeletal Radiol. 2015;44(2):179-195.
- [14] DeCoster TA, Simpson AH, Wood M. Biologic model of bone transport distraction osteogenesis and vascular response. J Orthop Res. 1999;17(2):238-45.
- [15] 曲龙, 施京辉, 刘黎亮, 等. 骨搬运法治疗骨感染、骨缺损及软组织缺损[J]. 中华外科杂志, 2004, 42(23):1469.
- [16] Green SA, Jackson JM, Wall DM, et al. Management of segmental defects by the Ilizarov intercalary bone transport method. Clin Orthop Relat Res. 1992;(280): 136-142.

- [17] Mora R, Maccabruni A, Bertani B, et al. Revision of 120 tibial infected non-unions with bone and soft tissue loss treated with epidermato-fascialosteoplasty according to Umiharov. *Injury*. 2014;45(2):383-387.
- [18] Bumbasirević M, Tomić S, Lesić A, et al. War-related infected tibial nonunion with bone and soft-tissue loss treated with bone transport using the Ilizarov method. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2010;130(6):739-749.
- [19] Abdel-Aal AM. Ilizarov bone transport for massive tibial bone defects. *Orthopedics*. 2006;29(1):70-74.
- [20] Erler K, Yildiz C, Baykal B, et al. Reconstruction of defects following bone tumor resections by distraction osteogenesis. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2005;125(3):177-183.
- [21] Song HR, Cho SH, Koo KH, et al. Tibial bone defects treated by internal bone transport using the Ilizarov method. *Int Orthop*. 1998;22(5):293-297.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] Tokizaki T, Abe S, Tateishi A, et al. Distraction osteogenesis for knee arthrodesis in infected tumor prostheses. *Clin Orthop Relat Res*. 2004;(424):166-172.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] Tsuchiya H, Sakurakichi K, Yamashiro T. Bone transport with frozen devitalized bone: an experimental study using rabbits and a clinical application. *J Orthop Sci*. 2004;9(6):619-24.
- [28] Karargyris O, Polyzois VD, Karabinas P, et al. Papineau debridement, Ilizarov bone transport, and negative-pressure wound closure for septic bone defects of the tibia. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2014;24(6):1013-1017.
- [29] Paley D, Catagni MA, Argnani F, et al. Ilizarov treatment of tibial nonunions with bone loss. *Clin Orthop Relat Res*. 1989;(241):146-165.
- [30] 徐永清, 朱跃良, 范新宇, 等. 二处截骨骨搬运治疗胫骨干大段感染性骨缺损合并软组织缺损的再认识[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2015, 17(10):850-853.
- [31] Gulabi D, Erdem M, Cecen GS, et al. Ilizarov fixator combined with an intramedullary nail for tibial nonunions with bone loss: is it effective? *Clin Orthop Relat Res*. 2014;472(12):3892-3901.
- [32] Somanchi BV, Khan S. Vacuum-assisted wound closure (VAC) with simultaneous bone transport in the leg: a technical note. *Acta Orthop Belg*. 2008;74(4):538-541.
- [33] Stannard JP, Robinson JT, Anderson ER. Negative pressure wound therapy to treat hematomas and surgical incisions following high-energy trauma. *J Trauma*. 2006;60(6):1301-1306.
- [34] Lovisetti G, Sala F, Miller AN, et al. Clinical reliability of closed techniques and comparison with open strategies to achieve union at the docking site. *Int Orthop*. 2012;36(4):817-825.
- [35] 柴明祥, 臧建成, 吴天昊, 等. 胫骨骨搬运后对合端不愈合的原因与治疗[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2013, 15(10):840-844.
- [36] Hatzokos I, Stavridis SI, Iosifidou E, et al. Autologous bone marrow grafting combined with demineralized bone matrix improves consolidation of docking site after distraction osteogenesis. *J Bone Joint Surg Am*. 2011;93(7):671-678.
- [37] Moghaddam MH, Vahedi E. Effect of decortications on union rate of tibial plating. *Orthopedics*. 2015;38(3):e213-216.
- [38] Tall M, Bonkougou D, Sawadogo M, et al. Bone and Joint Trauma Study Group (GETRAUM). Treatment of nonunion in neglected long bone shaft fractures by osteoperiosteal decortication. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2014;100(6 Suppl):S299-303.
- [39] 陶大为, 王志刚, 张 镨. 骨皮质剥脱与其他固定方式联用修复骨不连: 是否需植骨及内置物的处理[J]. *中国组织工程研究*, 2015, 19(31):5079-5084.
- [40] Kucukkaya M, Kabukcuoglu Y, Tezer M, et al. Management of childhood chronic tibial osteomyelitis with the Ilizarov method. *J Pediatr Orthop*. 2002;22(5):632-637.
- [41] Cattaneo R, Catagni M, Johnson EE. The treatment of infected nonunions and segmental defects of the tibia by the methods of Ilizarov. *Clin Orthop Relat Res*. 1992;(280):143-152.
- [42] Lovisetti G, Sala F. Clinical strategies at the docking site of distraction osteogenesis: are open procedures superior to the simple compression of Ilizarov? *Injury*. 2013;44 Suppl 1: S58-62.
- [43] Yin P, Zhang L, Zhang L, et al. Ilizarov bone transport for the treatment of fibular osteomyelitis: a report of five cases. *BMC Musculoskelet Disord*. 2015;16:242.
- [44] El-Mowafi H, Elalfi B, Wasfi K. Functional outcome following treatment of segmental skeletal defects of the forearm bones by Ilizarov application. *Acta Orthop Belg*. 2005;71(2):157-162.