

· 临床研究 ·

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2025.02.011

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20241127.1726.014\(2024-11-28\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20241127.1726.014(2024-11-28))

单平面胫骨骨搬运中截骨方式与延长区 3 种骨痂形态的关系*

艾建国¹, 赵 枫¹, 涂振兴^{2,3△}, 王 斌⁴, 曹 杰¹, 李 达¹, 洪庆南¹

(1. 中国人民解放军联勤保障部队第九一〇医院骨科, 福建泉州 362000; 2. 福建医科大学临床医学部/福州市第二总医院肢体矫形与重建外科, 福州 350007; 3. 福建医科大学临床医学部/福州市第二总医院福建省创伤骨科急救与康复临床医学研究中心, 福州 350007; 4. 唐山市第二医院骨科, 河北唐山 063000)

[摘要] **目的** 探讨截骨方式对胫骨骨搬运术延长区骨痂形态及其疗效的影响。**方法** 收集 2016 年 5 月至 2022 年 6 月收治于中国人民解放军联勤保障部队第九一〇医院的骨缺损患者信息, 通过比较不同截骨方式(微创截骨组、骨膜下截骨组及骨膜外截骨组)患者的一般资料、延长区骨痂形态(凹陷型、均匀型及膨出型)、愈合指数、Ilizarov 方法研究与应用学会(ASAMI)骨愈合及功能评价等信息, 探讨截骨方式对胫骨骨搬运的疗效差异。**结果** 微创截骨组延长区凹陷型骨痂发生率为 15.8%, 骨膜下截骨组为 18.9%, 骨膜外截骨组为 14.3%, 3 组比较差异有统计学意义($P < 0.05$); 其中, 微创截骨组延长区凹陷型骨痂发生率低于骨膜下截骨组($\chi^2 = 10.178, P = 0.05$), 但与骨膜外截骨组比较, 差异无统计学意义($\chi^2 = 0.102, P = 0.814$), 骨膜外截骨组与骨膜下截骨组比较, 差异也无统计学意义($\chi^2 = 0.084, P = 0.772$); 微创截骨组延长区均匀型骨痂发生率低于骨膜下组($\chi^2 = 6.579, P = 0.013$), 但与骨膜外截骨组的比较, 差异无统计学意义($\chi^2 = 0.443, P = 0.506$), 骨膜下截骨组与骨膜外截骨组比较, 差异也无统计学意义($\chi^2 = 2.602, P = 0.107$); 微创截骨组延长区膨出型骨痂发生率高于骨膜下截骨组($\chi^2 = 9.795, P = 0.002$), 骨膜外截骨组延长区膨出型骨痂发生率高于骨膜下截骨组($\chi^2 = 5.170, P = 0.023$), 但微创截骨组与骨膜外截骨组比较, 差异无统计学意义($\chi^2 = 0.308, P = 0.579$)。3 组愈合指数、ASAMI 评分比较差异无统计学意义($P > 0.05$); 3 组对接点不愈合、针道感染及再骨折发生率比较差异也无统计学意义($P > 0.05$)。**结论** 单平面胫骨骨搬运中骨膜下截骨并未表现出更有利于延长区矿化的预期效果, 骨膜外截骨反而与微创截骨有近似的临床疗效。

[关键词] 骨缺损; 骨痂; 骨搬运; 愈合指数; 牵拉成骨**[中图法分类号]** R687.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2025)02-0345-07

Relationship between osteotomy mode and three kinds of callus morphology in extension area during single plane tibial bone transfers*

AI Jianguo¹, ZHAO Feng¹, TU Zhenxing^{2,3△}, WANG Bin⁴, CAO Jie¹, LI Da¹, HONG Qingnan¹

(1. Department of Orthopedics, 910 Hospital of Joint Logistics and Security Force of Chinese People's Liberation Army, Quanzhou, Fujian 362000, China; 2. Department of Limb Orthosis and Reconstruction, School of Clinical Medicine of Fujian Medical University/Fuzhou Second General Hospital, Fuzhou, Fujian 350007, China; 3. School of Clinical Medicine of Fujian Medical University/Fujian Provincial Clinical Medical Research Center for First Aid and Rehabilitation in Orthopedic Trauma, Fuzhou Municipal Second General Hospital, Fuzhou, Fujian 350007, China; 4. Department of Orthopedics, Tangshan Municipal Second Hospital, Tangshan, Hebei 063000, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the impact of osteotomy mode on the callus morphology in the extension area of tibial bone transfer and its efficacy. **Methods** The information of the patients with bone defect treated in 910 Hospital of Joint Logistics and Security Force of Chinese People's Liberation Army from May 2016 to June 2022 was collected. By comparing the general data of the patients with different osteotomy methods (minimally invasive osteotomy group, subperiosteal osteotomy group and extraperiosteal osteotomy

* **基金项目:** 福建省创伤骨科急救与康复临床医学研究中心项目(2020Y2014); 福建省福州市科技创新创业人才培养计划项目(2022-R-009); 福建省泉州市医疗卫生领域科技计划项目(2023NS017, 2024NS060); 河北省自然科学基金项目(H2021105020)。△ **通信作者,** E-mail: 15732036962@163.com。

group),callus morphology in the extension area (sunken type,uniform type and protruding type),healing index,Ilizarov Method Research and Application Society (ASAMI) bone healing and functional evaluation and other information,the curative effect differences of different osteotomy methods on tibial bone transfer were investigated. **Results** The incidence rate of sunken type of callus in the extension area was 15.8% in the minimally invasive osteotomy group,18.9% in the subperiosteal osteotomy group,and 14.3% in the extraperiosteal osteotomy group,with statistically significant differences among the three groups ($P<0.05$);in which,the incidence of sunken type of callus in the minimally invasive osteotomy group was lower than that in the subperiosteal osteotomy group ($\chi^2=10.178,P=0.005$),but there was no statistically significant difference when compared to the extraperiosteal osteotomy group ($\chi^2=0.102,P=0.814$),the difference between the extraperiosteal osteotomy group and subperiosteal osteotomy group also had no statistical difference ($\chi^2=0.084,P=0.772$). The incidence rate of uniform type of callus in the minimally invasive osteotomy group was lower than that in the subperiosteal osteotomy group ($\chi^2=6.579,P=0.013$),but there was no statistically significant difference when compared to the extraperiosteal osteotomy group ($\chi^2=0.443,P=0.506$). The difference in the subperiosteal osteotomy group and extraperiosteal osteotomy group also had no statistically significant ($\chi^2=2.602,P=0.107$). The incidence rate of protruding type of callus in the minimally invasive osteotomy group was higher than that in the subperiosteal osteotomy group ($\chi^2=9.795,P=0.002$),and the incidence rate of protruding type of callus in the extraperiosteal osteotomy group was higher than that in the subperiosteal osteotomy group ($\chi^2=5.170,P=0.023$),however,there was no statistically significant difference between the minimally invasive osteotomy group and the extraperiosteal osteotomy group ($\chi^2=0.308,P=0.579$). There were no statistically significant differences in healing index,ASAMI scores,contact point non-union,pin tract infection and refracture incidence rate rates among the three groups ($P>0.05$). **Conclusion** Subperiosteal osteotomy in the single plane tibial bone moving does not show the expected results in favor of the extension area mineralization,on the contrary,extraperiosteal osteotomy has the similar clinical efficacy to minimally invasive osteotomy.

[Key words] bone defect;callus;bone transfer;healing index;distraction osteogenesis

Ilizarov 骨搬移技术在全球范围内被广泛应用于肢体矫形与重建中,治疗创伤后遗症和骨缺损,已经成为治疗胫骨缺损的首选方法,被认为是治疗胫骨缺损性疾病的“金标准”^[1-5]。但同时该技术在带架时间长、针道感染、爪形趾、延长区骨长度的丢失及弯曲畸形等问题上尚未得到有效解决或预防,这也在一定程度上限制了其进一步应用与发展^[5-8]。在长期的临床实践中,还有一些问题被继续发现,作者发现胫骨骨搬移术后延长区骨痂形态存在一定的差异,并初步将其分为凹陷型、均匀型及膨出型。而延长区骨痂形态与截骨方式间的关系尚不清楚,故本研究旨在探讨两者间的可能关系,分析不同截骨方式对胫骨骨搬移疗效的影响,旨在探索最佳截骨方式,以便更好地在术中进行选择,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

收集 2016 年 5 月至 2022 年 6 月收治于中国人民解放军联勤保障部队第九一〇医院的胫骨缺损患者信息,共 70 例,均为开放性骨折,其中微创截骨 19 例(微创截骨组),包含 Gustilo II 型 5 例、Gustilo III 型 14 例,平均缺损长度为(78.15±30.79)mm;骨膜下截骨 37 例(骨膜下截骨组),包含 Gustilo II 型 6 例、

Gustilo III 型 31 例,平均缺损长度为(82.55±33.51)mm;骨膜外截骨 14 例(骨膜外截骨组),包含 Gustilo II 型 2 例、Gustilo III 型 12 例,平均缺损长度为(85.45±29.66)mm。纳入标准:(1)因感染或创口清创后有胫骨缺损无法自行愈合;(2)年龄 18~60 岁;(3)采用 Ilizarov 单平面胫骨骨搬移术治疗;(4)病历及影像学资料准确、完整;(5)术前局部无红肿热痛等炎症反应,白细胞计数(4~10)×10⁹/L,C-反应蛋白<10 mg/L;(6)有完整临床信息。排除标准:(1)患有心血管疾病、脑部疾病、肺部疾病、血管功能障碍或患肢血流不足等可能会对手术治疗结果及预后产生重大影响疾病者;(2)严重骨质疏松症者;(3)严重精神疾病、肝肾功能异常者;(4)依从性差,随访不积极或不能获得完整随访,随访时间<18 个月者。本次临床研究实施符合《赫尔辛基宣言》且通过中国人民解放军联勤保障部队第九一〇医院伦理委员会审查求(审批号:院医伦[2023]70 号),患者及其家属均自愿参加,对本次研究完全知情同意且签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 术前处理

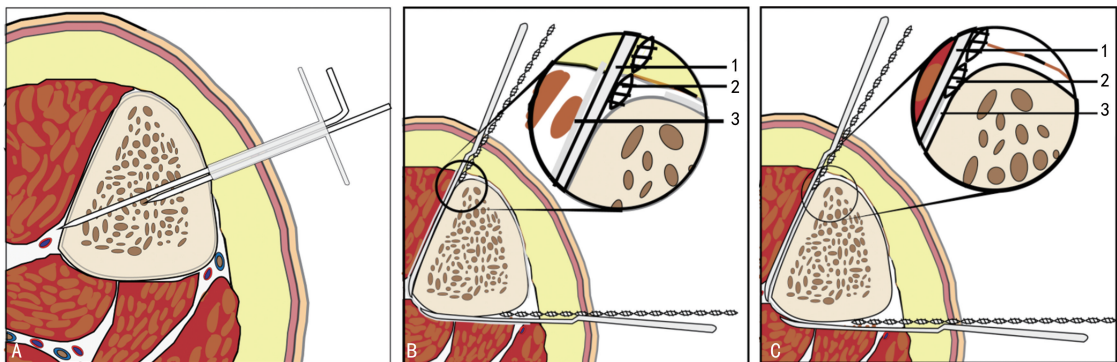
根据患者的具体术前情况,选择适当的抗生素。创面接受了闭式负压引流、植皮或皮瓣手术等治疗者

在创面愈合后至少 3 个月再行 Ilizarov 单平面胫骨骨搬移术。

1.2.2 手术方法

术中清理坏死骨与软组织后于胫骨近端和远端分别截除部分骨质,直至“红辣椒征”的出现。截骨时尽可能保持两端截骨面平行平整,降低后期对接点不愈合的可能性。根据骨缺损部位在胫骨近端或远端标记好截骨水平后安装外固定延长器。确定外固定延长器位置合适无误后,运用不同截骨方法截骨,形成滑移骨块。微创截骨:在截骨水平皮肤做一个水平切口,在微创截骨导向器引导下用 2.0 mm 钻头依次在截骨水平钻出一排连续相连骨洞,在截骨过程中用生理盐水进行冲洗以避免高温损伤。随后使用骨刀通过水平切口截断骨质。骨膜下截骨:于截骨水平胫骨前侧及内侧分别做两个纵形切口直至皮质,用骨膜

分离器及止血钳分离周围软组织使截骨端周围的骨膜与骨分离形成一环形通道,不宜过分剥离,以刚好通过线锯为佳,将线锯一端通过一侧切口于骨膜下绕过胫骨并于另一侧切口引出,使用线锯将骨截断,截骨时动作轻柔持续,可通过注射器于任一切口注射生理盐水以避免高温损伤,当胫骨截断时立即停止以避免损伤胫前骨膜及软组织。骨膜外截骨:于截骨水平胫骨前侧及内侧分别做两个纵形切口直至骨膜,用骨膜分离器及止血钳分离周围软组织,将线锯一端通过一侧切口绕过胫骨并于另一侧切口引出,使用线锯将骨膜与骨质截断,截骨时动作轻柔持续,可通过注射器于任一切口持续注射生理盐水以避免高温损伤,当胫骨截断时立即停止以避免损伤胫前骨膜及软组织。各截骨方式示意图见图 1。



A:微创截骨;B:骨膜下截骨;C:骨膜外截骨;1:骨膜剥离子;2:线锯;3:骨膜。

图 1 骨移中 3 种截骨方式示意图

术后 24~36 h 内拔除引流管,常规应用抗生素 7~14 d,预防伤口和针道感染。定期护理针道,建议患者保持股四头肌等长功能。术后 7~10 d 开始骨滑移。对于胫骨上段骨缺损者,骨段从胫骨远端向近端移动,而在胫骨中下部,以 1 mm/d 的速度从胫骨近端向远端移动,每次滑移 0.25 mm,每天 4 次。如果部分患者在延长过程中因克氏针切割皮肤而出现剧烈疼痛,可适当调整延长速度或推迟 3~5 d。根据每个患者的具体情况确定个性化的延长方案。常规 X 线片监测骨段的位置和矿化情况,一旦形成三皮质阴影即可考虑拆除外固定器。

1.2.3 主要观察指标

收集各组患者延长区骨痂形态、愈合指数、骨愈合、肢体功能及并发症发生情况数据。其中,愈合指数=三皮质形成时间(d)/延长长度(cm),愈合指数越大说明延长单位长度所需的时间越长。骨愈合评价采用 Ilizarov 方法研究与应用学会(Association for the Study and Application of the Method of Ilizarov, ASAMI)骨愈合评价标准。优:骨折愈合良好,无感染,肢体长度差<2.5 cm,角度<7°;良:骨愈合,剩下的 3 项标准中只有 1 项未完全满足;中:骨愈合,剩下

的 3 项标准中有 2 项不满足;差:再次发生骨折或骨不连,或除骨愈合外的其余 3 项均不满足。肢体功能评价采用 ASAMI 肢体功能评价标准。优:患肢活动功能恢复,疼痛轻微或无疼痛,无局部软组织营养不良,无跛行,膝、踝痉挛<10°,活动范围<15°;良:患肢大部分功能恢复至术前,疼痛轻微或无疼痛,其余 4 项标准中有 1 项未能满足;中:患肢恢复部分术前主动活动,轻度疼痛或无疼痛,其余 4 项标准中的有 2 项未能满足;差:术后患肢活动功能明显受限,剧烈疼痛需要麻醉,其余 4 项标准中至少 3 项未能满足。并发症包括对接点不愈合、针道感染、再骨折。

1.3 统计学处理

采用 SPSS25.0 软件进行统计分析,符合正态分布的计量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用方差分析,进一步两两比较均采用 Bonferroni 法校正;计数资料以例数或百分比表示,组间比较采用 χ^2 或 Fisher 检验;校正检验水准 $\alpha'=0.016$,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 各组基线资料比较

3 组性别、年龄、截骨部位及 Gustilo 分型比较差

异均无统计学意义($P>0.05$),见表 1。

2.2 各组临床疗效比较

3 组患者延长长度比较无统计学意义($P>0.05$),见表 2。微创截骨组延长区凹陷型骨痂发生率为 15.8%,骨膜下截骨组为 18.9%,骨膜外截骨组的为 14.3%;微创截骨组延长区均匀型骨痂发生率为 31.6%,骨膜下截骨组为 67.6%,骨膜外截骨组为 42.9%;微创截骨组延长区膨出型骨痂发生率为 52.6%,骨膜下截骨组为 13.5%,骨膜外截骨组为 42.9%,3 组比较差异有统计学意义($P<0.05$)。其中,微创截骨组延长区凹陷型骨痂发生率低于骨膜下截骨组($\chi^2=10.178, P=0.005$),但与骨膜外截骨组的比较,差异无统计学意义($\chi^2=0.102, P=0.814$),骨膜下截骨组与骨膜外截骨组比较差异也无统计学意义($\chi^2=0.084, P=0.772$);微创截骨组延长区均匀型骨痂发生率低于骨膜下截骨组($\chi^2=6.579, P=0.013$),但与骨膜外截骨组比较,差异无统计学意义($\chi^2=0.443, P=0.506$),骨膜下截骨组与骨膜外截骨组比较差异也无统计学意义($\chi^2=2.602, P=0.107$);

微创截骨组延长区膨出型骨痂发生率高于骨膜下截骨组($\chi^2=9.795, P=0.002$),骨膜外截骨组延长区膨出型骨痂发生率也高于骨膜下截骨组($\chi^2=5.170, P=0.023$),但微创截骨组与骨膜外截骨组比较,差异无统计学意义($\chi^2=0.308, P=0.579$);3 组愈合指数、ASAMI 骨愈合评价及 ASAMI 肢体功能评价比较,差异无统计学意义($P>0.05$),见表 2、3。12 例凹陷型骨痂患者中有 7 例均发生于骨膜下截骨组患者。典型病例见图 1~3。

2.3 各组相关并发症比较

微创截骨组对接点不愈合发生率为 36.8%,骨膜下截骨组为 40.5%,骨膜外截骨组为 35.7%,3 组比较差异无统计学意义($P=1.000$);3 组患者中大部分都存在不同程度的针道感染,3 组比较差异无统计学意义($P=0.859$),经过针道护理,无深层组织感染发生;各组间再骨折发生率比较,差异无统计学意义($P=0.323$),骨膜下截骨组和骨膜外截骨组各有 1 例延长区骨折,骨折后行钢板内固定,术后恢复良好,见表 4。

表 1 各组患者术前一般资料比较

组别	n	性别[n(%)]		年龄 ($\bar{x}\pm s$,岁)	截骨部位[n(%)]		Gustilo 分型[n(%)]	
		男	女		胫骨近端	胫骨远端	Ⅱ型	Ⅲ型
微创截骨组	19	18(94.7)	1(5.3)	42.05±11.89	13(68.4)	6(31.6)	5(26.3)	14(73.7)
骨膜下截骨组	37	32(86.5)	5(13.5)	39.62±10.60	28(75.7)	9(24.3)	6(16.2)	31(83.8)
骨膜外截骨组	14	13(92.9)	1(7.1)	38.57±13.33	13(92.9)	1(7.1)	2(14.3)	12(85.7)
Fisher/F/ χ^2				0.376	0.173			
P		0.767		0.688	0.841		0.706	

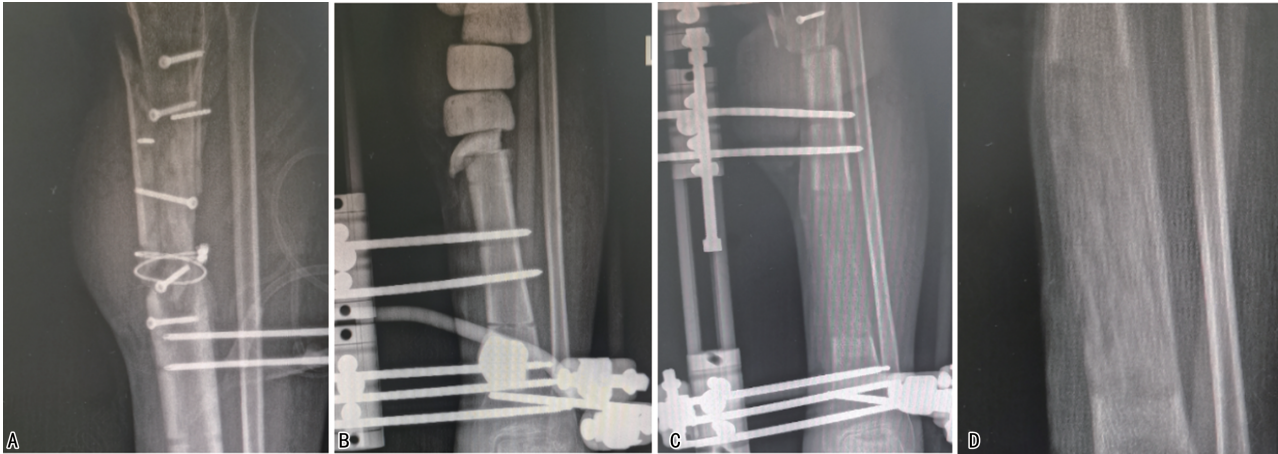
表 2 各组患者延长区骨痂形态、愈合指数比较

组别	n	延长长度 ($\bar{x}\pm s$,mm)	延长区骨痂形态[n(%)]			愈合指数 ($\bar{x}\pm s$,d/cm)
			凹陷型	均匀型	膨出型	
微创截骨组	19	78.15±30.79	3(15.8)	6(31.6)	10(52.6)	42.00±16.08
骨膜下截骨组	37	82.55±33.51	7(18.9) ^a	25(67.6) ^a	5(13.5) ^a	54.57±22.01
骨膜外截骨组	14	85.45±29.66	2(14.3) ^a	6(42.9) ^a	6(42.9) ^a	44.22±8.90
F/Fisher/ χ^2		0.173				2.943
P		0.841		0.025		0.060

^a: $P<0.05$,与微创截骨组比较;^b: $P<0.05$,与骨膜下截骨组比较。

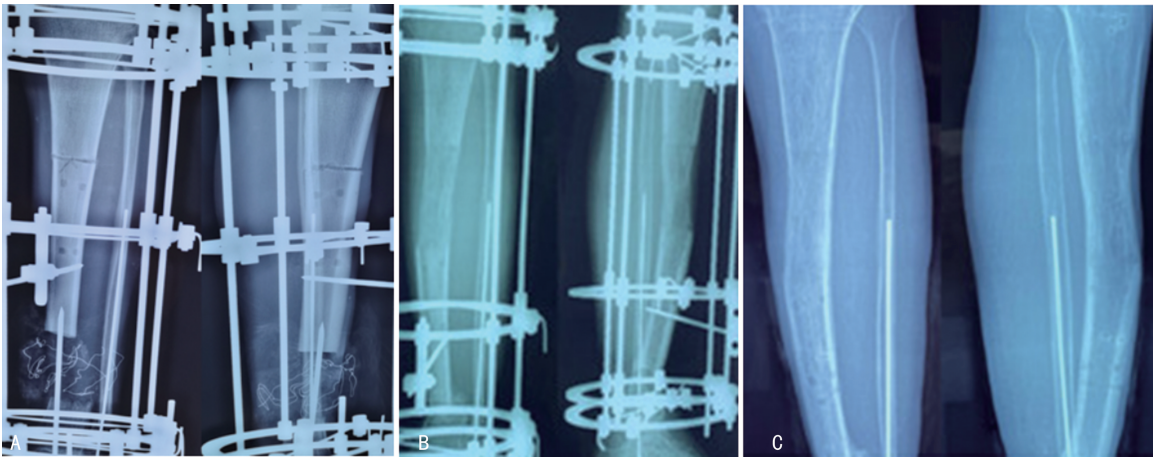
表 3 各组患者 ASAMI 评分比较[n(%)]

组别	n	ASAMI 骨愈合评价		ASAMI 肢体功能评价	
		优	差	优	良
微创截骨组	19	15(78.9)	4(21.1)	4(21.1)	15(78.9)
骨膜下截骨组	37	28(75.7)	9(24.3)	13(35.1)	24(64.9)
骨膜外截骨组	14	10(71.4)	4(28.6)	6(42.9)	8(57.1)
χ^2		0.248		1.922	
P		0.933		0.409	



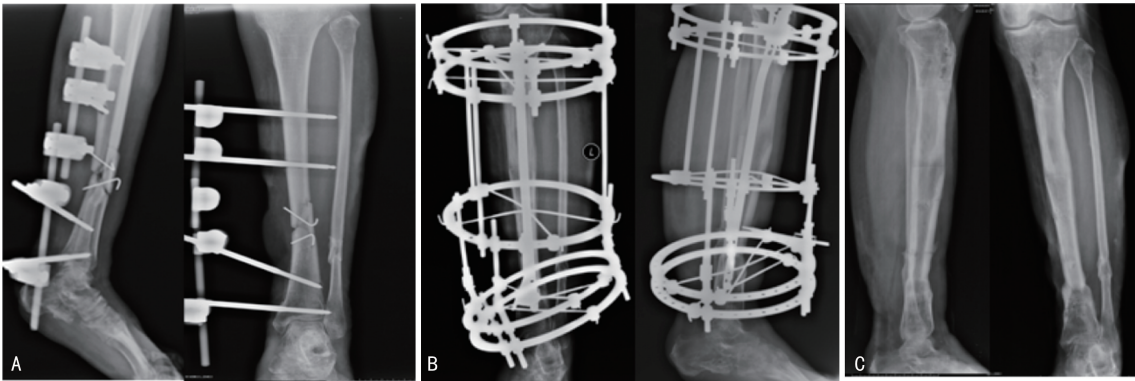
A:固定术后骨感染;B:截除感染骨质安装 Ilizarov 环形外固定架;C:在胫骨远端行单平面截骨和顺行骨搬运至骨缺损端对接,延长长度约 4.9 cm;D:术后 11.0 个月门诊随访 X 线片显示三皮质影形成。其截骨方式为微创截骨,延长区骨痂形态为膨出型。

图 1 典型病例 1(患者男,25 岁,交通伤致右侧胫骨中上段开放性骨折,外固定架固定术后骨折不愈合)



A:截除感染骨质安装 Ilizarov 环形外固定架;B:在胫骨近端行单平面截骨和顺行骨搬运至骨缺损端对接,延长长度约 6.2 cm;C:术后 14.0 个月门诊随访 X 线片显示三皮质影形成。其截骨方式为骨膜下截骨,延长区骨痂形态为凹陷型。

图 2 典型病例 2(患者男,53 岁,高处坠落伤致左侧胫腓骨下段开放性骨折,外固定架固定术后骨感染)



A:骨折运用外固定架固定;B:安装 Ilizarov 环形外固定架,在胫骨近端行单平面截骨和顺行骨搬运至骨缺损端对接,延长长度约 9.5 cm;C:术后 14.5 个月门诊随访 X 线片检查显示三皮质影形成。其截骨方式为骨膜外截骨,延长区骨痂形态为均匀型。

图 3 典型病例 3(患者女,46 岁,交通伤致左侧胫骨中下段开放性骨折,外固定架固定术后骨折不愈合)

表 4 各组患者相关并发症比较[n(%)]

组别	n	对接点不愈合		针道感染			再骨折	
		愈合	不愈合	无	I 级	Ⅱ 级	有	无
微创截骨组	19	12(63.2)	7(36.8)	1(5.3)	13(68.4)	5(26.3)	0	19(100)
骨膜下截骨组	37	22(59.5)	15(40.5)	3(8.1)	21(56.8)	13(35.1)	1(2.7)	36(97.3)

续表 4 各组患者相关并发症比较[n(%)]

组别	n	对接点不愈合		无	针道感染		再骨折	
		愈合	不愈合		I 级	II 级	有	无
骨膜外截骨组	14	9(64.3)	5(35.7)	2(14.3)	8(57.1)	4(28.6)	1(7.1)	13(92.9)
χ^2 /Fisher		0.936						
P		1.000			0.859		0.323	

3 讨 论

第一例骨延长手术至今已百年,Ilizarov 骨搬运技术历经多年发展已经成为 20 世纪世界骨科六个里程碑式技术之一^[9]。但该技术也存在一定的局限性,治疗细节上缺乏共识。在此背景下,本研究探讨了胫骨截骨方式与延长区骨痂形态的关系,分析不同截骨方式对单平面胫骨骨搬运疗效的影响。该研究旨在探究最佳截骨方式,以便更好地在术中进行选择。

3.1 胫骨骨膜完整性对胫骨延长区矿化的影响

骨膜作为一种血管化良好的成骨器官由两层膜组成(外层为纤维层,主要包括纤维细胞、纤维及血管;内层为形成层,主要包括成骨细胞、神经、毛细血管及未分化的间充质干细胞),其血供主要由小动脉和毛细血管提供,血管通过滋养孔穿过皮质进入髓管。骨膜血供滋养了骨干的外 1/3^[10]。而研究发现骨搬运过程中局部循环明显改善,其中骨膜血供与髓质血供的增殖与矿化间相互耦合,而骨膜外层在促进骨质矿化中比骨膜内层更为重要。因此学者普遍认为在骨再生中骨膜扮演着重要角色,如果能最大限度地保留骨膜完整性则有利于骨的愈合与矿化^[11]。

3.2 单平面胫骨骨搬运中延长区矿化影响因素

(1)骨膜完整性:Ilizarov 骨搬运技术原则之一即为截骨时最大限度地保护骨周及骨髓血供^[12]。研究也表明保持骨膜完整性是延长区矿化的关键,且骨膜外层较骨膜内层更为重要^[13]。尽管髓内组织保留完整对外层延长区矿化并非必须,但两者间的相互作用也可促进骨矿化^[11];(2)骨滑移的速度与频率:1 mm/d,4 次/d 的骨滑移速度和频率已经成为普遍做法^[3,14-15]。也有研究表明 1 mm/d 速度仅减少了约 5%发热局部血流,而 3 mm/d 速度局部血流则减少了 50%左右^[16];(3)截骨位置:干骺端较骨干处有更好的血供,有利于骨膜中骨生成细胞分化为成骨细胞进而促进成骨;另外,干骺端延长区骨愈合主要为膜内化骨,而骨干处则以膜内化骨和软骨内成骨两种方式进行。因此,干骺端截骨是促进延长区矿化的重要因素之一;(4)截骨端固定情况:在截骨端稳固时局部应力小,骨生成细胞分化为成骨细胞,相反则转化为软骨细胞,进而影响延长区矿化情况;(5)运动量:实验结果表明运动也通过动力性轴向应力避免了外固定器的应力遮挡作用,进而避免骨发生废用性萎缩和

外固定松动^[17]。另外,运动还可对骨膜化软骨产生重要影响,这与运动时轴向微动刺激密切相关^[18];(6)开始滑移时机:研究表明术后延迟滑移的延长区矿化情况优于术后立即滑移的^[19-20]。这可能与延迟滑移期间截骨时被破坏的髓内血管得以恢复相关,且恢复的髓内血管完全能够适应 1 mm/d 的骨滑移速度进而促进延长区矿化^[21];(7)其他因素:延长后立即轴向加压、良好营养、年龄均为影响延长区矿化的可能因素。

3.3 截骨方式对延长区矿化的影响

骨膜具有可观的成骨能力,因此如何避免骨膜损伤,保护骨膜血运成为截骨技术要点。骨膜外截骨时骨膜被一同截断,且截骨过程中产生高温会损伤骨膜及髓腔内的成骨细胞等重要成分。为此骨膜下截骨被尝试运用在骨搬运截骨中,试图通过在骨膜下截骨最大限度地改善延长区的矿化。然而,这种尝试似乎并未达到改善延长区矿化的预期效果:(1)动物实验研究表明骨膜外截骨相较于骨膜下截骨在早期反而更有利于延长区矿化,而在中后期则无明显区别^[22-23];(2)从愈合指数角度比较,有研究显示骨膜下截骨的为(59.97±33.29) d/cm,与骨膜外截骨的(46.20±14.11) d/cm 比较差异无统计学意义($P<0.05$)^[3];(3)从延长区矿化情况比较,本研究结果显示骨膜下截骨延长区凹陷型骨痂发生率为 18.9%,与骨膜外截骨的 14.3%比较,差异无统计学意义($P=0.089$)。骨膜下截骨未达到改善延长区矿化的预期效果的可能原因如下:(1)尽管骨膜下截骨保留了骨膜的完整性,但截骨时骨膜剥离器广泛剥离了两端骨膜,可能因此破了骨膜血供,进而影响延长区矿化;(2)骨膜外截骨时通过浇水降温并减慢截骨速度以最大程度降低高温对成骨活性成分的破坏,也在一定程度上改善了骨膜外截骨的效果。总之,目前研究并未阐明骨膜下截骨较骨膜外截骨有优势。骨膜下截骨的有效性尚有待前瞻性、大样本量的随机对照试验验证。

为进一步保护骨膜,改善延长区矿化情况,微创截骨被运用于临床。微创截骨有以下优势:(1)与骨膜外截骨比较,微创截骨保留了相连骨洞间的骨膜,在一定程度上保留了骨膜完整性;(2)与骨膜下截骨比较,微创截骨不用将骨端两端骨膜掀起,在一定程度上保护了两侧骨膜血供^[23];(3)微创截骨在连续打

孔后,用骨刀截断部分骨皮质后利用掰动滑移骨块达到完全截骨,在最大程度上保留了髓内血管^[24]。然而,微创截骨的有效性尚有争议。部分学者基于研究认为微创截骨提供了最优的骨组织重构与矿化,是牵张成骨中最佳的截骨方式^[25-26]。将其运用于临床也取得了良好的临床效果,减小了愈合指数与针道感染发生率^[1-2]。但与此同时也有部分学者认为尽管微创截骨与其他截骨方式比较具有微创优势,但在减小愈合指数、缩短愈合时间上并无明显优势,微创截骨联合排打孔后用骨刀完成截骨时同时造成了两侧骨膜的完全离断^[3]。本研究结果显示微创截骨延长区凹陷型骨痂发生率 15.8%,优于骨膜下截骨的 18.9% ($P=0.005$),但与骨膜外截骨的 14.3% 比较,差异并无统计学意义($\chi^2=0.102, P=0.814$)。

本研究说明骨膜外截骨与微创截骨在单平面胫骨骨搬运中均有利于延长区矿化,而微创截骨由于操作简单、切口微创等原因受到越来越多临床医师的青睐。但针对胫骨骨搬运中截骨方式的选择问题也尚有待进一步深入研究。其研究方向可能但不限于以下几个方面:(1)微创截骨与骨膜截骨的差异尚有待大样本量、前瞻性研究进一步验证;(2)微创截骨与骨膜截骨延长区矿化的生物学过程及显微结构差异有待基于动物试验进一步研究;(3)除了截骨方式以外,影响骨搬运延长区矿化的影响因素也有待进一步系统探究;(4)除现有的截骨方式外,是否存在另一种可行的截骨方式能更好地促进延长区矿化。

综上所述,单平面胫骨骨搬运的截骨方式中微创截骨可能具有一定优势,但截骨方式的选择及影响延长区矿化的其他因素尚有待进一步探究。

参考文献

[1] 王放,王思捷,周超,等. Ilizarov 胫骨横向骨搬运技术治疗糖尿病足的疗效研究[J]. 重庆医学, 2020,49(15):2476-2480.

[2] LIU Z, XU C, YU Y K, et al. Twenty years development of tibial cortex transverse transport surgery in pr china[J]. Orthopaedic surgery, 2022,14(6):1034-1048.

[3] 吕梓宸,王斌,高顺红,等. 三种截骨方式对胫骨骨搬运术愈合的影响分析[J]. 中华创伤骨科杂志, 2022,24(4):339-344.

[4] 程康,王斌,涂振兴,等. 胫骨骨搬运术后延长区 3 种骨痂形态与骨愈合的关系[J]. 中国组织工程研究, 2023,27(27):4373-4378.

[5] CHOWDHURY J M Y, AHMADI M, PRIOR C P, et al. Distal tibial osteotomy compared to

proximal osteotomy for limb lengthening in children[J]. Bone Joint J, 2022, B(11): 1273-1278.

[6] 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.

[7] 秦泗河. 突破骨不连与骨缺损治愈的瓶颈[J]. 中国骨伤, 2013,26(4):267-270.

[8] 王斌,贾松,卢爱东,等. 环式外固定器结合髓内钉行骨段滑移术治疗胫骨非感染性骨缺损[J]. 中国修复重建外科杂志, 2015,29(11):1348-1352.

[9] 秦泗河. 应力控制下的外固定与肢体功能重建登上自然哲学殿堂[J]. 中国修复重建外科杂志, 2018,32(10):1235-1237.

[10] BORZUNOV D Y, KOLCHIN S N, MOKHOVIKOV D S, et al. Ilizarov bone transport combined with the Masquelet technique for bone defects of various etiologies (preliminary results)[J]. World J Orthop, 2022, 13(3): 278-288.

[11] CHOI I H, AHN J H, CHUNG C Y, et al. Vascular proliferation and blood supply during distraction osteogenesis: a scanning electron microscopic observation[J]. J Orthop Res, 2000, 18(5):698-705.

[12] ILIZAROV G A. Clinical application of the tension-stress effect for limb lengthening[J]. Clin Orthop Relat Res, 1990(250):8-26.

[13] HOSNY G A, ELSHEIKH A A. Outcomes of intralesional osteotomy and distraction osteogenesis for limb length equalization in Ollier's disease[J]. J Pediatr Orthop B, 2023,32(1):54-59.

[14] 涂振兴,王斌,卢爱东,等. 单平面截骨骨搬运联合髓内钉治疗胫骨骨缺损[J]. 中国组织工程研究, 2022,26(12):1849-1853.

[15] 程康,王斌,涂振兴,等. 双平面截骨骨搬运联合髓内钉治疗胫骨大段骨缺损[J]. 中国组织工程研究, 2023,27(13):2058-2063.

[16] 高质钢,李起鸿. 不同延长速度对延长肢局部血流量及骨愈合的影响[J]. 中华骨科杂志, 1997, 17(8):5-8.

[17] 潘锐,董军. 轴向应力在延长段骨痂生长愈合中的作用[J]. 中国病理生理杂志, 2005, 21(2): 184-187.