

# 微创截骨治疗拇趾外翻稳定与愈合原理分析

孙卫东,温建民

(中国中医科学院望京医院骨关节二科,北京 100102)

**【摘要】** 微创截骨治疗拇趾外翻采用微创技术在第 1 跖骨头颈部截骨,使用“8”字绷带外固定,疗效确定。通过对其原理分析提出使用削磨钻在跖骨颈部截骨,增加了摩擦系数、减少了杠杆力,是截骨稳定的前提。保持正确的二维截骨方向和适宜的角度,是截骨端稳定的保证。“8”字绷带外固定符合弹性固定的原则,为截骨端微动创造了条件,与内固定比较更符合截骨愈合的过程,截骨端稳定,以软骨成骨方式Ⅱ期间隙愈合。

**【关键词】** 拇外翻; 外科手术,微创性; 外固定; 生物力学

**DOI:**10.3969/j.issn.1003-0034.2016.03.007

**Analysis of stability and healing on minimally invasive osteotomy for the treatment of hallux valgus** SUN Wei-dong and WEN Jian-min. The Second Department of Joint Surgery, Wangjing Hospital, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100102, China

**ABSTRACT** To treat hallux valgus, minimally invasive osteotomy on 1st metatarsal neck, immobilization with "8-shape" bandage was performed, and the effect was defined. The principles of osteotomy stability were analyzed from the osteotomy position, methods, direction and angle. The grinding drill was used to increase friction coefficient between the ends of osteotomy. Correct direction of osteotomy and suitable angle were the key point of stability. The immobilization with "8-shape" bandage complied with the principle of elastic fixation created the conditions for the slight movement of the osteotomy ends. Compared with internal fixation, it was better on osteotomy healing, and the osteotomy ends were stable and healed with cartilage osteogenesis.

**KEYWORDS** Hallux valgus; Surgical procedure, minimally invasive; External fixation; Biomechanics

Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2016, 29(3):228-231 www.zggszz.com

拇趾外翻是一种常见的足部畸形,呈进行性加重,多数有症状的拇趾外翻患者需要手术治疗。微创治疗拇趾外翻采用微创技术在第 1 跖骨头颈部截骨,不做内固定,使用“8”字绷带外固定,患者术后允许下地活动,已治疗数万例患者,未出现截骨不愈合现象<sup>[1]</sup>。本文阐述了微创治疗拇趾外翻截骨稳定与愈合的原理,并结合生物力学和有限元分析其作用机制。

## 1 微创治疗拇外翻维持截骨端稳定的原理

微创治疗拇外翻截骨端的稳定性主要由手术技术及基于小夹板纸压垫原理术后“8”字绷带外固定系统决定的。

### 1.1 手术技术与截骨端稳定

微创截骨技术是维持截骨端稳定的关键,截骨

部位与方法、截骨角度与方向是影响截骨稳定性的主要方面。

**1.1.1 影响截骨端稳定的因素** 从第 1 跖列截骨力学图示(图 1)可见,微创治疗拇趾外翻术后站立时影响第 1 跖骨截骨端稳定的主要因素有:截骨部位;跖骨所受身体重力反作用力 G;拇趾长短屈肌肌力 F;第 1 跖骨轴线 b 与地面所形成的角度  $\alpha$ ;截骨线 a 与第 1 跖骨轴线的夹角  $\beta$ ;以及截骨面之间的摩擦系数等。这些因素之间的相互作用决定了截骨端的稳定性。截骨越靠近远端,摩擦系数越大,断端越稳定。 $\alpha$  角度的大小、体重和肌力影响到截骨角度与方向,进而对断端稳定造成影响。

**1.1.2 截骨部位与截骨端稳定** 微创治疗拇趾外翻截骨位置在第 1 跖骨头颈部,相对于跖骨干部和基底部,截骨远端到截骨部位的距离较小,力臂较短,截骨端所受应力较小。通过拇趾外翻有限元模型应力云图分析可见,第 1 跖骨应力集中在跖骨干部背侧,跖骨头颈部应力很小<sup>[2-3]</sup>。Kristen 等<sup>[4]</sup>发现与第 1 跖骨截骨手术相关的应力、应变集中点在跖骨头近端跖侧 5~10 mm 处和跖楔关节远端 10~15 mm 的

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:813735802)

Fund program: Provided by National Natural Science Foundation of China (No. 813735802)

通讯作者:温建民 E-mail:wjm5734@263.net

Corresponding author: WEN Jian-min E-mail:wjm5734@263.net

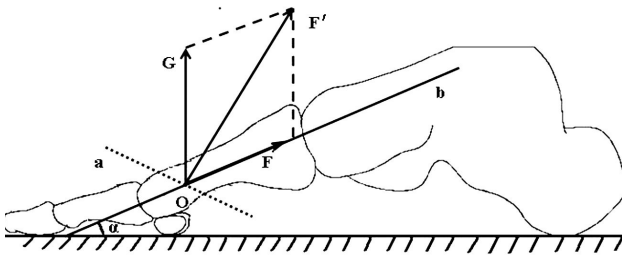


图 1 第 1 跖骨截骨力学示意图

Fig.1 Mechanics schematic diagram of 1st metatarsal osteotomy

背内侧两个部位。跨越这两处的截骨可能影响截骨端的稳定性，而避开这些高应力区的截骨则比较稳定。

**1.1.3 截骨方法与截骨端稳定** 截骨断端间的摩擦是稳定固定的一个普遍原则。微创治疗拇趾外翻采用削磨钻截骨，形成的截骨面较为粗糙，增加了截骨面间的摩擦，从而有利于截骨端的稳定。研究表明摆锯造成的截骨面摩擦系数为 0.4，削磨钻造成的截骨面比摆锯造成的截骨面要粗糙的多，据测算摩擦系数可增加 50% 以上<sup>[2]</sup>，截骨面凹凸不平，断端加压时相互嵌插，增加了局部的稳定性，减少截骨块间移位。

采用微创截骨不显露截骨部位，术区软组织仅做有限的分离，基本保持了局部软组织的完整性，截骨端完整的软组织“合页”，为维持固定后的稳定创造了良好的条件，同时局部血运破坏较少，有利于截骨愈合。

**1.1.4 截骨方向与截骨端稳定** 微创截骨的截骨线方向在水平面上从远端内侧至近端外侧，与第 1 跖骨轴线的夹角为 60°~80°，在矢状面上从远端背侧至近端跖侧，与第 1 跖骨轴线的夹角为 65°~85°。从有限元模型获得的数据观察，截骨线在与第 1 跖骨轴线成 60°角时总位移最小。当截骨角度超过 90°后，截骨端总位移有明显加大的趋势，最大位移发生在 120°截骨<sup>[2]</sup>。这一现象产生的原因在于第 1 跖骨在矢状面上截骨线方向发生了根本的变化所致。

通过正骨手法将远端截骨块向外侧推移，同时跖屈或跖移，第 1 跖骨短缩，挛缩的拇趾屈、伸肌腱相对延长，使之易于恢复到正常位置，在复位第 1 跖趾关节的同时，拇伸、屈肌腱也随之复位，将其弓弦样病理作用变为对第 1 跖骨的纵向挤压，成为维持截骨端稳定及促进愈合的有利因素(图 2)。

**1.1.5 截骨角度与截骨端稳定** 依据骨折固定观点，截骨面垂直的压应力更有利于截骨端的稳定，即 G 和 F 的合力 F' 尽量与截骨线垂直(如图 1 示)。已知  $\alpha$  一般为 15°~25°，平均 20°，G 通过有限元模型得知约为 31 kg 左右，成年女性肌力 F 通过计算约为 639 N，按 60% 发挥作用则为 383 N，设此时 F' 与

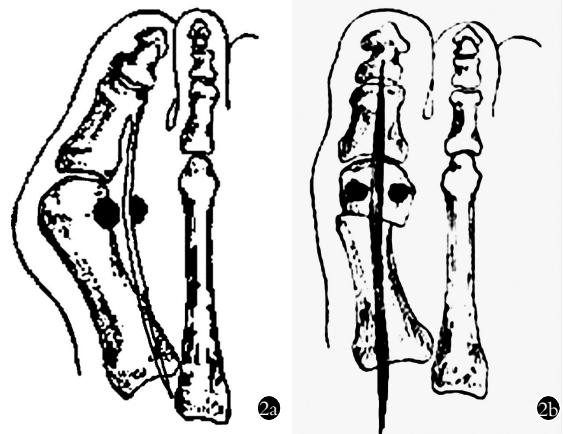


图 2 肌腱术前与术后作用力的变化 2a. 术前弓弦样作用 2b. 术后纵向挤压作用

Fig.2 Change of acting force of tendons before and after operation 2a. Preoperative bowstring like effect 2b. Postoperative longitudinal compression

截骨线垂直，根据三角函数可以推出  $G/\cos\beta = F/\sin(\alpha + \beta)$ ，计算  $\beta$  约为 59.2°。通过有限元模型模拟计算 62 kg 体质量患者，截骨线在与第 1 跖骨轴线成 60°角时总位移最小，截骨端最稳定<sup>[2]</sup>，两者基本一致。同时由上式可知，截骨角度要根据患者的不同情况适当调整。

**1.2 “8”字绷带外固定与截骨端稳定性**

微创治疗拇趾外翻采用第 1~2 趾蹠间放置分趾垫，“8”字绷带和胶布外固定的方法，遵循了中国接骨学(Chinese Osteosynthesis, CO)小夹板纸压垫外固定原理<sup>[5]</sup>。它根据肢体的动态平衡，以压垫、绷带和胶布等装置组成的局部外固定力学系统，来对抗截骨端再移位的倾向力。在这个系统中，绷带和胶布约束力、截骨端摩擦力、夹垫效应力、软组织“合页”作用和肌肉内在动力与再移位倾向力处于平衡状态，则截骨的断端便处于相对静止状态，即固定是稳定的。

在固定的过程中，肌肉表现为静力性紧张，主要通过肌肉间隔“不可压缩液体效应”的作用，使肌肉包绕在截骨端达到相对稳定状态<sup>[6]</sup>。“8”字绷带外固定提供了直接的外力，进一步加强了肌肉的类似“夹板”样作用。分趾夹垫一般用 4 列绷带卷成，软硬适中，既有一定的刚度又有一定的韧性，通过绷带和胶布固定于第 1~2 趾蹠间，为第 1 跖趾关节远端外侧提供了一个持续的向内推挤力，绷带和胶布的松紧度可根据患足的肿胀程度进行调节。早期外固定的调整需要患者复查和拍片的次数较多，这是该方法的缺点。

**2 微创治疗拇趾外翻截骨端愈合的原理**

微创治疗拇趾外翻通过截骨造成骨折，并根据小夹板纸压垫原理行“8”字绷带外固定，重视患者的

术后功能锻炼,同时辨证使用中药汤剂内服外用,完全遵循了中国接骨学的基本原则<sup>[5]</sup>。

**2.1 “8”字绷带固定为截骨端愈合提供了良好的条件**

微创治疗拇趾外翻使用“8”字绷带弹性固定,不产生应力遮挡,截骨端存在一定幅度的微动,与内固定相比更符合截骨愈合的自然过程,截骨以Ⅱ期愈合方式愈合。

**2.1.1 “8”字绷带固定符合 CO 弹性固定的原则**

骨折弹性固定应遵循 3 个原则即:固定稳定、非功能替代、断端生理应力。它是衡量固定方法优劣的基本标准<sup>[5]</sup>。微创治疗拇趾外翻“8”字绷带外固定绷带和夹垫的约束力与跖骨轴线垂直,不影响骨干沿轴向的受力状态,无明显功能替代。在功能活动中,外固定绷带和夹垫只是在三维空间上保持截骨端在应力下的位置相对不变<sup>[7-8]</sup>,生理应力仍然通过截骨端传导。因此,“8”字绷带外固定在非功能替代方面不产生应力遮挡,符合弹性固定原则,能够保证截骨的愈合。

**2.1.2 “8”字绷带固定为截骨端微动创造了条件**

微创治疗拇趾外翻“8”字绷带弹性固定,截骨端存在一定幅度的微动。可靠的固定应该既具有几何上的稳定性,又较少干扰断端应承受的应力,截骨端的微动有利于截骨的愈合。Kenwright 等<sup>[9]</sup>研究证实,可控的微动与坚强内固定相比,明显地促进了骨折愈合。诱发截骨端微动主要有主动和被动两种方式。主动方式多是通过肢体负重和肢体的功能锻炼来实现,即运用外固定的弹性,使截骨端在肢体部分或完全负重时通过肌肉等组织的作用产生轴向压缩。微创治疗拇趾外翻术后通过肢体负重和肢体的功能锻炼来实现截骨端的轴向微动,使截骨断端始终承受一定的压力与应力,从而促进截骨的愈合。

Kenwright 等<sup>[10]</sup>研究微动对胫骨骨折的影响,截骨间隙为 3 mm,骨折端间相对移位分别为 0.5、1、2 mm,结果发现 0.5 mm 组骨折部位强度增加速度和骨化速度明显增加,2 mm 微动对骨折愈合有害。认为骨折愈合过程对力学环境的变化非常灵敏,应该施以微动幅度较小的 0.5 mm。微创治疗拇趾外翻有限元模型计算结果显示截骨端总位移在 0.293 mm,小于 0.5 mm 的微动幅度,因此对截骨端愈合不会产生不利影响<sup>[11]</sup>。

**2.1.3 “8”字绷带固定与内固定相比更符合截骨愈合的自然过程** 骨折块之间的应变和骨痂组织的力学特性之间的平衡决定了Ⅰ期和Ⅱ期愈合的过程。通过骨折部位力学环境的控制达到骨折Ⅱ期愈合,已经成为骨折的首选。骨折Ⅱ期愈合是以骨折断端存在相对移动为基础的。微创治疗拇趾外翻采用了分趾垫和“8”字绷带外固定,是一种弹性固定方式,

允许截骨端有微动,截骨愈合方式是Ⅱ期间隙愈合。

骨折间隙是决定愈合成败的关键部位。微创治疗拇趾外翻虽然截骨端在负荷下会发生一定程度的移动,因为截骨处存在一定的间隙,所以在愈合早期截骨端形成的肉芽组织能很好地耐受截骨块间运动的变化。同时,外骨痂的形成可以在哈佛成骨前增加截骨部位的强度,而内固定的目的是获得稳定和坚强的固定。由于截骨端间隙很小,即便是截骨块间很小的移动也能产生肉芽组织承受范围之外的应变,无法形成肉芽组织,截骨愈合就无法顺利进行,内固定失效。

**2.2 弹性固定与功能锻炼为截骨端愈合提供了适宜力学环境**

微创治疗拇趾外翻十分重视功能锻炼,它是“动静结合”原则的贯彻,“动”是治疗的目的,截骨能否快速愈合,关键在于动。“动”是在可靠固定之下进行的,以“静”为基础,绷带弹性固定保证了拇趾外翻截骨端稳定,为负重和功能锻炼提供了前提条件。

骨折处的力学环境对愈合起调控作用。骨折愈合的生物力学因素基于 Wolff 定律<sup>[12]</sup>。负重及肌肉主动收缩活动与断端应力状态有关,肌肉收缩是截骨端局部应力的外源性动力。骨折愈合的最佳效应力是该部位生理状态下所承受的肌力。微创治疗拇趾外翻绷带弹性固定允许患者早期的肢体功能锻炼和下地活动。术后即开始肌肉的收缩运动,术后 1 周开始循序渐进的下肢负重锻炼有利于骨折愈合<sup>[13]</sup>。

不同组织耐受应力时所产生的应变能力不同,应力的大小直接影响骨痂中不同组织的分化方向。Claes 等<sup>[14]</sup>研究发现,骨痂内骨管表面的应变和流体静压大小决定了骨痂组织的分化方向。膜内骨化发生在应变<5%、静态压力<0.15 MPa 的区域;软骨内骨化发生在应变<15%、静态压力>0.15 MPa 的区域;其他情况导致结缔组织或纤维软骨形成。微创截骨形成的截骨端间隙 2~3 mm,有限元计算的截骨端位移 0.293 mm,则截骨块间的应变 9.4%~14.6%,其截骨端应力为 0.712 MPa,符合软骨内成骨的力学环境<sup>[13]</sup>。

**3 结语**

综上,微创治疗拇外翻使用削磨钻截骨,增加了摩擦系数,截骨部位在跖骨远端,减少了杠杆力。保持正确的截骨方向和适宜的角度,为截骨端稳定提供了可靠的保证。它遵循了中国接骨学的基本原则,为截骨端愈合提供了适宜力学环境,截骨以软骨成骨的方式Ⅱ期愈合。同时应当指出的是微创治疗拇外翻决不是一个简单的手术,它有其选择的适应证和关键技术,术者需要具有丰富的拇外翻开放手术经验才能获得理想的疗效。

## 参考文献

- [1] 孙卫东,温建民,胡海威,等.微创截骨治疗拇外翻的远期疗效分析[J].中华骨科杂志,2010,30(11):1133-1137.  
Sun WD, Wen JM, Hu HW, et al. Long-term efficacy analysis of minimal incision osteotomy for treatment of hallux valgus[J]. Zhonghua Gu Ke Za Zhi, 2010, 30(11): 1133-1137. Chinese.
- [2] 孙卫东,温建民,胡海威,等.拇外翻第1跖骨颈部不同截骨角度截骨端稳定性有限元分析[J/CD].中华损伤与修复杂志:电子版,2012,7(5):492-496.  
Sun WD, Wen JM, Hu HW, et al. Finite element analysis of stability of the first metatarsal head and neck osteotomy in hallux valgus[J/CD]. Zhonghua Sun Shang Yu Xiu Fu Za Zhi; Dian Zi Ban, 2012, 7(5): 492-496. Chinese.
- [3] 温建民,孙卫东,成永忠,等.基于CT图像拇外翻足有限元模型的建立与临床意义[J].中国矫形外科杂志,2012,20(11):1026-1029.  
Wen JM, Sun WD, Cheng YZ, et al. Construction and clinical significance of hallux valgus finite element model based on CT image[J]. Zhongguo Jiao Xing Wai Ke Za Zhi, 2012, 20(11): 1026-1029. Chinese.
- [4] Kristen KH, Berger K, Berger C, et al. The first metatarsal bone under loading conditions; a finite element analysis[J]. Foot Ankle Clin, 2005, 10(1): 1-14.
- [5] 金鸿宾,董福慧,王志彬,等.尚天裕骨折治疗的微创理念[J].中国骨伤,2007,20(12):801-802.  
Jin HB, Dong FH, Wang ZB, et al. Minimal invasion concept of SHANG Tian-yu for the treatment of fractures[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2007, 20(12): 801-802. Chinese.
- [6] 董福慧,关继超,赵勇,等.骨折愈合的应力适应性研究[J].中国骨伤,2001,14(1):14-16.  
Dong FH, Guan JC, Zhao Y, et al. Study of stress adaptability of fracture healing[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2001, 14(1): 14-16. Chinese with abstract in English.
- [7] 孙之镐.中西医治疗骨折的理论与实践的差异与交融[J].中国骨伤,2009,22(3):208-211.  
Sun ZG. Differences and integration between Traditional Chinese Medicine and Western Medicine in theory and practice about fracture management[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2009, 22(3): 208-211. Chinese.
- [8] 孙之镐.加快中国接骨学理论和技术的创新[J].中国骨伤,2007,20(1):1-3.  
Sun ZG. Accelerating innovation for the theory and technique of Chinese osteosynthesis[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2007, 20(1): 1-3. Chinese.
- [9] Kenwright J, Richardson JB, Cunningham JL, et al. Axial movement and tibial fractures. A controlled randomised trial of treatment [J]. J Bone Joint Surg Br, 1991, 73(4): 654-659.
- [10] Kenwright J, Goodship AE. Controlled mechanical stimulation in the treatment of tibial fractures[J]. Clin Orthop Relat Res, 1989, 241: 36-47.
- [11] 孙卫东,胡海威,温建民,等.第1跖骨颈部微创截骨联合分趾垫和“8”字绷带外固定治疗拇外翻的有限元分析[J].中医正骨,2014,26(4):4-6.  
Sun WD, Hu HW, Wen JM, et al. Finite element analysis on stability and healing of the osteotomy after minimally invasive surgery of hallux valgus[J]. Zhong Yi Zheng Gu, 2014, 26(4): 4-6. Chinese.
- [12] 臧建成,秦泗河.从Wolff定律和Ilizarov张力-应力法则到骨科自然重建理念[J].中国骨伤,2013,26(4):287-290.  
Zang JC, Qin SH. From Wolff law, Ilizarov technology to natural reconstruction theory[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2013, 26(4): 287-290. Chinese with abstract in English.
- [13] 孙卫东,温建民,胡海威,等.康复疗法在中西医结合治疗拇外翻术后的应用效果观察[J].现代中西医结合杂志,2010,19(22):2731-2733.  
Sun WD, Wen JM, Hu HW, et al. Application effect observation of rehabilitation therapy for hallux valgus after surgery with Chinese and western treatment[J]. Xian Dai Zhong Xi Yi Jie He Za Zhi, 2010, 19(22): 2731-2733. Chinese.
- [14] Claes LE, Heigele CA. Magnitudes of local stress and strain along bony surface predicts the course and type of fracture healing[J]. J Biomech, 1999, 32(3): 255-266.

(收稿日期:2015-07-12 本文编辑:李宜)