

· 临床研究 ·

3D 打印技术制定个体化截骨角在拇外翻 Chevron 截骨矫形术中的应用

张宇航^{1,2}, 毕大卫¹, 陈亿民¹, 祖罡¹, 马海涛¹

(1. 萧山区第一人民医院骨二科, 浙江 杭州 311200; 2. 浙江中医药大学, 浙江 杭州 311000)

【摘要】 目的:探讨 3D 打印技术制定个体化截骨角在拇外翻 Chevron 截骨矫形术中的临床应用。方法:自 2013 年 5 月至 2016 年 5 月,采用 Chevron 截骨治疗轻中度拇外翻患者 47 例(66 足),根据术前设计方案分为计算机截骨组(A 组)和传统截骨组(B 组)。其中 A 组 25 例(33 足),男 4 例(5 足),女 21 例(28 足),平均年龄(47.88±6.08)岁,负重位跖骨间角(IMA)(13.58±1.15)°,术前 AOFAS 评分 59.00±5.86,术前采用个性化 3D 打印技术设计操作方案,进行个体化截骨治疗;B 组 22 例(33 足),男 3 例(3 足),女 19 例(30 足),平均年龄(48.16±6.16)岁,负重位 IMA(13.51±1.14)°,术前 AOFAS 评分 60.67±5.85,术前仅参考负重位 X 线,根据手术经验截骨治疗。比较两组患者的手术时间、术中出血量、住院时间、术后 1 周 VAS 疼痛评分、创口愈合情况及术后负重位 IMA 的改善情况,并采用足踝外科评分系统(AOFAS)对术后足踝部功能进行评估。结果:A 组随访时间为(12.41±2.32)个月与 B 组为(11.73±2.76)个月比较差异有统计学意义。B 组 1 例术后失访排除,所有病例术后创口 I 期愈合,两组患者手术时间、术中出血量、住院时间及术后 1 周 VAS 疼痛评分比较差异无统计学意义($P>0.05$);A 组术后 IMA 为(5.21±0.88)°,B 组 IMA 为(6.42±0.85)°,两组比较差异有统计学意义($t=5.68, P<0.05$)。A 组 AOFAS 评分为 88.15±5.19 与 B 组为 82.90±5.01 比较差异有统计学意义;A 组优 14 足,良 19 足;B 组优 5 足,良 27 足;两组比较差异有统计学意义($P<0.05$)。结论:应用 3D 打印技术制定的个体化截骨方案治疗轻中度拇外翻,较传统经验制定手术方案能更好地纠正患者的 IMA,改善术后足部功能,是一种个体化数字化的手术方案。

【关键词】 拇外翻; 截骨术; 打印,三维; 个体化医学

DOI:10.3969/j.issn.1003-0034.2018.03.002

Application of three-dimensional printing technology to design individual angle section on Chevron of hallux valgus osteotomy ZHANG Yu-hang*, BI Da-wei, CHEN Yi-min, ZU Gang, and MA Hai-tao. *The Second Department of Orthopedics, the First People's Hospital of Xiaoshan District, Hangzhou 311200, Zhejiang, China

ABSTRACT Objective: To explore clinical application of three-dimensional printing technology to design individual angle section on Chevron of hallux valgus osteotomy. **Methods:** From May 2013 to May 2016, 47 patients (66 feet) with mild to moderate hallux valgus treated by Chevron osteotomy according to different preoperative design were divided into computer osteotomy group (group A) and traditional osteotomy group (group B). In group A, there were 25 patients (33 feet), including 4 males (5 feet) and 21 females (28 feet) with an average age of (47.88±6.08) years old, average weight IMA was (13.58±1.15) degree, AOFAS score was 59.00±5.86, and treated individual 3D printing technology to design operation scheme. While in group B, there were 22 patients (33 feet), including 3 males (3 feet) and 19 females (28 feet) with an average age of (48.16±6.16) years old, average weight IMA was (13.51±1.14) degree, AOFAS score was 60.67±5.85, and treated with osteotomy according to surgical experience. Operation time, blood loss, hospital stays, VAS score at 1 week after operation, wound healing and improvement of postoperative weight-bearing intermetatarsal angle (IMA) were compared between two groups, AOFAS score system was used to evaluate ankle function after surgery. **Results:** There was no significant difference in following-up between group A 12.41±2.32 and group B 11.73±2.76. There was 1 patient in group B were excluded. Others perform good wounds healing on the first stage after operation. There were no significant differences in operation time, blood loss, hospital stays and VAS score at 1 week after operation ($P<0.05$); IMA in group A was (5.21±0.88)°, (6.42±0.85)° in group B, and had significant differences between two groups ($t=5.68, P<0.05$). There was obvious meaning in AOFAS score between group A 88.15±5.19 and group B 82.90±5.01 ($t=4.14, P<0.05$). Fourteen feet in group A obtained excellent results and 19 feet good, while 5 feet in group B obtained excellent results and 27 feet good. **Conclusion:** Compared with traditional osteotomy group, three-dimensional printing technology to design individual angle section on Chevron of hallux valgus osteotomy could better

通讯作者:张宇航 E-mail:hangxiaoyang@163.com

Corresponding author:ZHANG Yu-hang E-mail:hangxiaoyang@163.com

correct IMA, improve postoperative foot function, and it is a kind of individualized and digital method to design operation.

KEYWORDS Hallux valgus; Osteotomy; Printing, three-dimensional; Individual medicine

Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2018, 31(3):203-207 www.zggszz.com

拇外翻是足踝外科临床中的一种常见的疾病,发病女性多于男性,其发病机制多由先天因素及前足高压所致,拇外翻患者第 1 趾骨压力分布较常人集中^[1]。由于足部力学结构的改变,患者步行疼痛是其就诊最主要症状之一,负重位 X 线检查见第 1 跖趾关节跖骨间角(hallux valgus angle, HVA)>15°,第 1、2 跖骨间角(inter metatarsal angle, IMA)>9°^[2],即可诊断拇外翻。检索早期及近期文献,Chevron 截骨术仍是治疗轻中度拇外翻的优选方案^[3],其具有操作简单、不愈合率低等优点。拇外翻术后理想的 IMA 约 0°~5°,然而患者足部的畸形程度有所不同,常规的 Chevron 截骨术,对术者操作水平要求较高,需要有丰富的临床经验,故而临床上提出对于轻度拇外翻应用个体化截骨方法可改善术后 IMA,以提高术后满意率。但目前此类相关研究及报道较少。3D 打印技术能精确复制患者骨骼外形结构,并通过计算机辅助设计以及模拟截骨,精确计算截骨角度。现总结我院自 2013 年 5 月至 2016 年 5 月接受 Chevron 截骨矫形必要时加做 Akin 截骨 47 例拇外翻患者,疗效满意,现报告如下。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

纳入标准:年龄 ≤60 岁,穿鞋畸形或先天发育畸形者;无周围血管或神经病变,无明显转移性跖痛,无跖趾关节僵硬者;第 1 跖趾关节无明显退行性改变者;第 1、2 跖骨间角(IMA)≤15°,外翻角(HVA)<40°;患者知情并同意参与本研究。排除标准:年龄>60 岁;摄片见跖骨头颈部较窄截骨后不易愈合者;足部合并甲沟炎、严重的脚癣破溃、拇囊破溃感染等炎症未消者;合并其他内科疾病或妊娠,不具备手术指征者。

1.2 临床资料与分组方法

本组 47 例(66 足),其中男 8 例(9 足),女 39 例(54 足);年龄 36~59 岁,平均 47.97 岁。病因均为先

天畸形,均采用拇外翻 Chevron 截骨矫形术治疗。入组前摄患足负重位 X 线片,测量 IMA<15°且 HVA<40°,且无其他并发症的患者符合入选条件后入组。本研究入组的 47 例患者均为轻中度拇外翻,根据术前设计方案不同,分为计算机截骨组(A 组)和传统截骨组(B 组)。A 组 25 例(33 足),男 4 例(5 足),女 21 例(28 足),平均年龄(47.88±6.08)岁,负重位 IMA(13.58±1.15)°,术前 AOFAS 评分 59.00±5.86,术前采用个性化 3D 打印技术设计操作方案,进行个体化截骨治疗;B 组 22 例(33 足),男 3 例(3 足),女 19 例(30 足),平均年龄(48.16±6.16)岁,负重位 IMA(13.51±1.14)°,术前 AOFAS 评分 60.67±5.85,术前仅参考负重位 X 线,根据手术经验截骨治疗。术前两组患者临床资料比较差异无统计学意义,具有可比性,见表 1。

1.3 治疗方法

1.3.1 计算机截骨组 获取患者负重位足二三 CT 扫描数据,扫描范围为足底至踝关节上 10 cm,扫描层厚 0.45 mm,平均 600 层。数据以 DICM 格式输出,导入 Mimics 15.0 中。经过阈值、阈值增长、3D 计算等,确定初期模型后,进一步编辑和修整初期模型,确定最终模型。然后,通过计算机调整截骨轴线及 V 角角度可得到多种不同截骨方案用以矫正拇外翻,选定可行的其中某一截骨方案,原则是:(1) V 形开口不宜过大或过小,以保证截骨面的稳定,A 组平均开口角度为(52.30±4.28)°;(2)截骨轴线切勿靠近关节面,以免远端关节骨折;(3)尽量使掌侧截骨面与足负重面平行,这将有助于骨的愈合与截骨后骨面间的稳定,一般来讲在断端间形成垂直压应力更有利于骨折端的稳定和愈合^[4]。最后将基于上述原则的建模方案模型以 SLT 格式输入 Flash Print 3D 打印机切片软件中,添加支撑,调整位置后,以 g 文件格式输出到 3D 打印机中(型号 Creator-pro,浙江闪铸科技;打印材料 闪铸聚乳酸 PLA

表 1 两组拇外翻患者术前临床资料比较

Tab.1 Comparison of clinical data between two groups with hallux valgus

组别	例数	足数	性别(足)		年龄 (x±s,岁)	术前 IMA (x±s,°)	术前 AOFAS 评分 (x±s,分)
			男	女			
A 组	25	33	5	28	47.88±6.08	13.58±1.15	59.00±5.86
B 组	22	33	3	30	48.16±6.16	13.51±1.14	60.67±5.85
检验值	-	-	χ ² =0.57		t=0.12	t=0.26	t=1.16
P 值	-	-	>0.05		>0.05	>0.05	>0.05

线缆)打印。打印出的模型已经按上述截骨原则进行 V 形切割,在得到打印模型后,术者便可直观地在打印模型中观察截骨角度,截骨轴线等信息,模型经消毒后带入手术室,便于术者术中参考。手术方式参照张建中^[5]的方法:取第 1 跖骨关节内侧做一纵行切口,切口长度从近节跖骨基底向近端长约 3 cm。切开皮肤全层。在关节表面向两端游离皮瓣,背侧游离至跖骨头背内侧 1/3,跖内侧游离至拇展肌腱跖侧。在第 1 跖骨背内侧 1/3 纵行切开发节囊,在跖骨颈部横行切向跖侧,使关节囊的远端和跖侧保留,形成 L 形关节囊瓣,从跖骨头内侧紧贴骨赘翻开关节囊。显露出跖骨头。骨赘切除后,固定第 1 跖趾关节,将模型远端比对在跖骨远端相应位置。定位截骨线后,做 V 形截骨。截骨达成后,用带尖复位钳固定截骨面近端,推挤远端跖骨头向外侧移动适当距离,检查关节面有无倾斜并将拇趾置于理想对位对线位置屈伸活动,确认关节适配。此时维持截骨端位置,予克氏针或螺钉固定。此时纠正 IMA 角度符合模拟截骨时的满意状态,无须调整。同时,由于本研究术式自身不足,并不能有效纠正 DMAA 角度,故在近节跖骨加做 Akin 手术,术毕,冲洗,以适当张力逐层缝合。

1.3.2 传统截骨组 患者行术前负重位二三维 CT 及正侧位 X 线,但仅供测量参考。手术方法同 A 组,但无 3D 打印模型作为术前及术中参考依据。

1.4 观察项目与方法

手术前后根据所摄足负重状态下正位 X 线片,测定患足 IMA。采用视觉模拟评分^[6](visual analogue scale, VAS)对两组患者的疼痛情况进行比较,并采用美国足踝外科协会拇趾跖关节评分系统(American Orthopedic Foot and Ankle Society, AOFAS)^[7]对其功能进行评价,包括疼痛(40 分),关节功能(50 分),力线(10 分),满分 100。其中 90~100 分为优,75~89 分为良;50~74 分为中;<50 分为差。

1.5 统计学处理

采用 SPSS 15.0 统计软件进行分析,所有定量资料均以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)形式表示。两组患者的性别、术后优良例数等计数资料比较采用 χ^2 检验;手术前后 IMA 及 AOFAS 评分比较采用 *t* 检验。以 $P<0.05$

为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般情况比较

所有病例术后创口 I 期愈合,共 46 例患者获得随访,其中 A 组 25 例随访时间为 6~16(12.41±2.32)个月;B 组术后 1 例(1 足)失访排除,其余 20 例随访时间为 5~16(11.73±2.76)个月,两组比较差异无统计学意义($P>0.05$)。两组手术时间、术中失血量、住院时间、术后 1 周疼痛评分等比较差异无统计学意义($P>0.05$)。见表 2。

2.2 术后 HVA 比较

术后测量两组患者负重状态下正位 X 线片的 IMA, A 组为(5.21±0.88)°, B 组为(6.42±0.85)°,两组比较差异有统计学意义($\chi^2=5.64, t=5.68, P<0.05$)。

2.3 术后 AOFAS 比较

术后 A 组 AOFAS 评分为 88.15±5.19, 其中优 14 足,良 19 足;B 组为 82.90±5.01, 优 5 足,良 27 足。两组比较差异有统计学意义($P<0.05$)。见表 3。典型病例见图 1。

3 讨论

3.1 3D 打印辅助 Chevron 截骨的优势

理想的拇外翻手术在纠正 IMA 的同时,恢复跖趾关节的完整性,消除疼痛和维持运动功能。而拇外翻手术若截骨不当,则容易出现过度矫正或矫正不足、转移性跖骨痛、截骨端不愈合、畸形复发等并发症。拇外翻的病因及进展并非单一因素,处理方法也不尽相同^[8]。传统的 Chevron 手术,虽然在轻中度拇外翻的截骨治疗中获得了较好的临床疗效,但其术前仅采用 X 线评估病情,术中仅根据暴露的跖骨头内侧定位截骨,在临床实践中往往难以精确的选择最佳的截骨轴线,从而也导致一系列并发症的发生。

随着计算机技术的不断革新,临床上一些置换和矫形病例开始使用计算机辅助设计及计算机辅助制造来设计术前方案,制作术中参考模板,并因其个体化,精准化的治疗,在临床中取得了一定疗效^[8]。但是在一些 3D 打印的基础研究中报道中,打印模型的精度较难与术前计算机模拟完全一致,其原因在于进行 3D 截骨模型的图像采集、重建及制作过

表 2 两组拇外翻患者术后一般情况比较($\bar{x}\pm s$)

Tab.2 Comparison of postoperative clinical data between two groups with hallux valgus($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	足数	随访时间(月)	手术时间(min)	术中出血量(ml)	住院时间(d)	术后 1 周 VAS 评分(分)
A 组	25	33	12.41±2.32	43.55±4.31	11.73±2.57	6.60±1.32	27.37±3.12
B 组	21	32	11.73±2.76	45.24±4.26	12.13±2.42	6.83±1.47	26.93±3.37
<i>t</i> 值	-	-	0.87	1.21	0.93	0.45	0.72
<i>P</i> 值	-	-	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05

表 3 两组拇外翻患者术后 AOFAS 评分比较($\bar{x}\pm s$, 分)

Tab.3 Comparison of postoperative AOFAS score between two groups with hallux valgus($\bar{x}\pm s$, score)

组别	例数	足数	疼痛	关节功能	力线	总分
A 组	25	33	35.43±2.71	44.39±3.10	8.33±1.12	88.15±5.19
B 组	21	32	33.13±2.89	42.35±3.46	7.42±1.38	82.90±5.01
检验值	-	-	$t=3.36$	$t=2.43$	$t=3.21$	$t=4.14$
P 值	-	-	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05



图 1 患者,女,38 岁,左足轻度拇外翻 1a. 术前患者足部外形示左足拇外翻,内侧第 1 跖趾关节关节红肿 1b. 术前正位 X 线示左足拇外翻畸形 1c. Mimics 软件下进行模拟截骨 1d. 3D 打印的截骨模型 1e. 术后 1 周负重位 X 线片示左足拇外翻 Chevron+Akin 截骨术后,螺钉+骑缝钉固定,第 1、2 跖骨间夹角为 6.4° 1f. 手术当天患足外观示第 1 趾骨得到纠正 1g. 术后 12 个月正位 X 线片示左足拇外翻 Chevron+Akin 截骨术后,截骨端愈合佳

Fig.1 A 38-year-old female patient with left mild hallux valgus 1a. Preoperative appearance of foot showed left hallux valgus, and the first metatarsophalangeal joint appeared red and swelling 1b. Preoperative AP X-ray showed deformity of left hallux valgus 1c. Simulated bone osteotomy under Mimics software 1d. Osteotomy model printed by three-dimensional technology 1e. Postoperative X-ray on weight loading at 1 week showed left hallux valgus treated after Chevron and Akin osteotomy, fixed with screw and straddle nail, the included angle between the first and the second was 6.4° 1f. Appearance of foot on the day of surgery showed the first phalanx was corrected 1g. Postoperative AP X-ray at 12 months showed osteotomy of the fracture healed well after Chevron and Akin osteotomy

程存在一定的误差^[9]。

本文 3D 打印辅助 Chevron 截骨,通过扫描负重状态下的患足获得的立体数据进行建模,这更能体现拇外翻病理状态下的立体结构,从图像采集方面减少了相应的误差。在传统 Chevron 截骨术中,截骨后跖骨远端每向外移 1 mm,大致可矫正 1° 的

IMA^[10],而截骨面垂直的压应力更有利于截骨端的稳定及愈合。本研究中 A 组运用 Mimics 软件处理模型,可以更精确的控制变量,在设计过程中便可根据上述原则进行模拟截骨操作确定截骨位移距离,并尽可能的将截骨平面与足部行走时的力线垂直。最后根据上述方法选取的最优方案进行打印,以实体

截骨模型参考进行手术。本方法在恢复患者足部力学结构、纠正 IMA、提高患者术后 AOFAS 评分等方面取得了较好的效果,随访过程中未发现过度矫正、转移性跖骨痛、截骨端不愈合、畸形复发等并发症。具有传统 Chevron 截骨不具有的精准化优势。

3.2 个体化 Chevron 截骨的存在问题及改进方式

本研究结果证明,相对于拇外翻传统的截骨方法,3D 打印技术辅助的个性化 Chevron 截骨手术能更精确的截骨,纠正 IMA 角的精度更高。但手术中除了更精确的截骨外,也要求有较好的软组织处理。因此,在 3D 打印辅助的 Chevron 术中,仍要求术者有较为丰富的临床经验,以处理软组织的松解等,减少相应并发症的发生。

在开展本研究的前期病例中发现,术前计算机设计各项内容较为理想,但术实际操作时,打印模型所提供的参考(截骨轴线及截骨后远端位移情况)却与实际截骨需求偏差较大,因此放弃了 3D 打印辅助截骨,改为传统的 Chevron 手术。分析开展本方法失败原因在于:拇外翻术前设计依据的三维影像,采集的是非负重状态下的足部 CT,经重建后并不能体现拇外翻足部的病理结构;另外,早期设计截骨轴线过程中,仅关注截骨的切入点,并未考虑远端跖骨在截骨后移动的立体变化,从而导致个体化截骨的失败。为了使术前的截骨设计更加精确,在之后所进行的 A 组病例中,均采用负重状态采集患足 CT,并根据 Chevron 截骨轴线的立体规律,有效控制跖骨远端的立体变化(抬高、降低、伸长、缩短)。使模型提供的参考与实际操作的需求得到精确的匹配。

3.3 本研究的局限性

本研究中的局限于以下方面:(1)采用 CT 扫描,增加了患者辐射量;(2)在计算机建模及 3D 打印过程中存在的误差,仍较难控制,且需要计算机操作人员同时具备相关手术经验;(3)本技术并不能更好地纠正跖骨远端关节面固有角(DMAA)角,正如 Lechler 等^[11]认为,联合 Akin 截骨截骨能更好的治疗拇外翻。若术中发现不能得到满意矫形时,则加做 Akin 截骨^[12]因此在拇外翻治疗与计算机 3D 打印技术的应用结合上今后仍需进一步研究和深入。

参考文献

- [1] Joseph TN, Mroczek KJ. Decision making in the treatment of hallux valgus[J]. Bull NYU Hosp Jt Dis, 2007, 65(1):19-23.
[2] Giannini S, Faldini C, Nanni M, et al. A minimally invasive tech-

nique for surgical treatment of hallux valgus; simple, effective, rapid inexpensive(SERI)[J]. Int Orthop, 2013, 37(9):1805-1813.

- [3] 林嘉莉, 江少华. 经皮 Chevron 截骨术治疗轻中度拇外翻畸形[J]. 国际骨科学杂志, 2015, 36(2):137-140.
LIN JL, JIANG SH. Percutaneous Chevron osteotomy in treating mild to moderate hallux valgus deformity[J]. Guo Ji Gu Ke Xue Za Zhi, 2015, 36(2):137-140. Chinese.
[4] 孙卫东, 温建民. 微创截骨治疗拇趾外翻稳定与愈合原理分析[J]. 中国骨伤, 2016, 29(3):228-231.
SUN WD, WEN JM. Analysis of stability and healing on minimally invasive osteotomy for the treatment of hallux valgus[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2016, 29(3):228-231. Chinese with abstract in English.
[5] 张建中. 足踝外科手术操作与技巧[M]. 北京:人民卫生出版社, 2008:18-22.
ZHANG JZ. Operation and Skill of Ankle Surgery[M]. Bei Jing: People's Medical Publishing House, 2008:18-22. Chinese.
[6] DeLoach LJ, Higgins MS, Caplan AB, et al. The visual analogue scale in the immediate postoperative period: intrasubject variability and correlation with a numeric scale[J]. Anesth Analg, 1988, 86(1):102-106.
[7] Kitaoka HB, Alexander IJ, Adelaar RS, et al. Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes[J]. Foot Ankle Int, 1994, 15(7):349-353.
[8] 黄涛, 邹春平, 李修成, 等. 单纯截骨术矫正第 1、2 跖骨间角增大拇外翻的疗效观察[J]. 中国骨伤, 2012, 25(12):1021-1023.
HUANG T, ZOU CP, LI XC, et al. Simple osteotomy for correct hallux valgus with increased I, II intermetatarsal angle[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2012, 25(12):1021-1023. Chinese with abstract in English.
[9] 邱冰, 张明娇, 唐本森, 等. 个性化手术导板在全膝关节置换术中的应用[J]. 中华骨科杂志, 2016, 36(3):143-150.
QIU B, ZHANG MJ, TANG BS, et al. A novel integrated patient specific instrumentation system and its application for total knee arthroplasty[J]. Zhonghua Gu Ke Za Zhi, 2016, 36(3):143-150. Chinese.
[10] Al-Rawi B, Hassan B, Vandenberge B, et al. Accuracy assessment of three-dimensional surface reconstructions of teeth from cone beam computed tomography scans[J]. J Oral Rehabil, 2010, 37(37):352-358.
[11] Lechler P, Feldmann C, Köck FX, et al. Clinical outcome after Chevron Akin double osteotomy versus isolated Chevron procedure: a prospective matched group analysis[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2012, 132(1):9-13.
[12] Larholt J, Kimartin TE. Rotational scarf and akin osteotomy for correction of hallux valgus associated with metatarsus adductus[J]. Foot Ankle Int, 2010, 31(3):220-228.

(收稿日期:2017-03-12 本文编辑:李宜)