

计算机辅助测量联合3D打印技术在Taylor空间支架治疗小腿畸形中的应用

陈青植¹ 谢亮文¹ 蔡合国¹ 余跃伟¹ 刘忠国¹ 王少杰²

【摘要】 目的 探讨运用计算机辅助测量联合3D打印技术在Taylor空间支架治疗小腿畸形中的可行性及临床效果。方法 回顾性分析2016年5月至2018年10月在福建中医药大学附属厦门第三医院运用Taylor空间支架治疗小腿畸形的6例病人的临床资料。通过CT薄层扫描,3D打印技术制作骨模型和截骨导板。根据Taylor空间支架配套软件所需参数应用Mimics软件进行测量,按照配套软件的规划在3D打印模型验证矫形结果。术后参照Johner-Wruhs评定标准进行患肢功能评价。结果 6例病人均获得随访,随访时间为9~25个月,平均15.2个月。其中1例钉道感染,未发生神经、血管损伤和骨不连。拆除外固定时间为12~16周,平均13.7周。术后患肢无跛行。末次随访按照Johner-Wruhs评定标准,优5例,良1例。结论 计算机辅助测量联合3D打印技术在Taylor空间支架治疗小腿畸形中可获得良好的临床疗效,并具有测量准确,截骨精确,矫形精准,调整方便等优势,是小腿复杂畸形精准化矫形的有效治疗方法。

【关键词】 计算机辅助测量;3D打印;Taylor空间支架;小腿畸形

Application of Taylor spatial frame with computer assisted measurement combined with 3D printing in the treatment of tibial deformity. CHEN Qing-zhi¹, XIE Liang-wen¹, CAI He-guo¹, YU Yue-wei¹, LIU Zhong-guo¹, WANG Shao-jie². ¹Department of Orthopaedics, Xiamen Third Hospital, Fujian University of Traditional Chinese Medicine, Xiamen 361100, China; ²Department of Joint Surgery and Sports Medicine, Zhongshan Hospital, Xiamen University, Xiamen 361005, China

Corresponding author: WANG Shao-jie, E-mail: wade301@163.com

【Abstract】 Objective To evaluate effectiveness and outcomes of computer assisted measurement combined with 3D printing of Taylor spatial frame for treatment of tibial deformity. **Methods** From May 2016 to October 2018, 6 patients with tibial deformity were treated with Taylor spatial frame in Xiamen Third Hospital, Fujian University of Traditional Chinese Medicine. The 3D modeling and custom-made surgical guide were printed based on a three-dimensional computer tomography. The software of Taylor spatial frame was established according to the data obtained from Mimics software, and postoperative rehearsal was performed on 3D printed models for checking the result of deformity correction. The function of the affected limb was evaluated by Johner-Wruhs standard after operation. **Results** Six patients were followed up for an average of 15.2 months (from 9 to 25 months). All patients obtained the fracture healing without neurovascular injury. There was 1 case of pin infection. The stent removal time was 12-16 weeks (mean, 13.7 weeks). According to the Johner-Wruhs standard, the results were excellent in 5 cases, and good in 1 case. **Conclusion** Computer assisted measurement and 3D printing of Taylor spatial frame for treatment of tibial deformity can provide accurate cutting, measurement and deformity correction, which is relatively effective and precise.

【Key words】 Computer assisted measurement; 3D printing; Taylor spatial frame; Tibial deformity

胫骨骨折是下肢常见骨折,骨折治疗过程中常见多种并发症,其中骨折畸形愈合是较严重的并发

症之一^[1,2]。胫骨骨折畸形愈合可导致下肢负重力线的改变,久而久之并发脊柱、髌、膝及踝的骨关节炎^[3]。单纯的骨折畸形愈合,通过截骨矫形内固定手术,以及3D打印辅助技术提高截骨精准度,均可获得满意疗效^[4,5]。然而,对于合并肢体短缩的胫骨骨折畸形愈合,既要校正畸形,又要恢复肢体长度,具有一定的困难和挑战。该类型畸形通常根据牵张

DOI: 10.3969/j.issn.1674-8573.2019.05.007

作者单位:1. 福建中医药大学附属厦门第三医院骨科,福建厦门 361100;2. 厦门大学附属中山医院关节外科和运动医学科,福建厦门 361005

通信作者:王少杰, E-mail: wade301@163.com

成骨理论,运用 Ilizarov 外固定架缓慢牵张,达到矫正畸形、恢复肢体长度的目的^[6]。

Taylor空间外固定支架是在 Ilizarov 支架的基础上演变而来,它是根据相关参数,运用计算机软件模拟畸形矫正并生成电子处方,指导术后螺纹标杆的调整^[7]。然而,其中的畸形参数和安装参数均根据 X线片进行测量,误差相对大,导致随访过程中还需进行修正。回顾性分析福建中医药大学附属厦门第三医院骨科 2016年5月到2018年10月治疗的6例小腿骨折畸形愈合的病例资料,通过CT薄层扫描,3D打印技术制作骨模型和截骨导板,根据 Taylor空间支架配套软件所需参数应用 Mimics 软件进行测量,按照配套软件的规划在3D打印模型验证矫形结果,探讨其临床疗效,为治疗此类畸形提供参考。

资料与方法

一、一般资料

2016年5月至2018年10月,福建中医药大学附属厦门第三医院骨科共收治6例小腿骨折畸形愈合病人,其中男5例,女1例,年龄为22~41岁,平均29.5岁。以小腿畸形、关节疼痛和行走功能障碍为主要表现,病人一般资料详见表1。

二、治疗方法

(一)术前准备

常规行双下肢负重全长位 X线,双小腿 CT扫描,层厚为0.625 mm,导出 DICOM 文件。运用 Mimics 对 DICOM 文件进行三维重建,映像健侧,测量患侧的短缩、成角、移位及旋转等畸形参数(图1)。根据三维重建及畸形测量确定截骨水平并制作截骨导板(图2)。

(二)手术方法

采用全身麻醉或腰硬联合麻醉。于小腿外侧中下1/3运用摆锯水平截断腓骨;垂直畸形近端骨干安装近端基本环,再垂直畸形远端安装远端环,预先估计两环距离,减少术后换杆概率;于术前计划截骨处应用截骨导板截断胫骨,组装连接杆;依次标记连接杆序号,记录框架参数。

(三)安装参数测量

术后患肢行CT扫描,层厚为0.625 mm,导出 DICOM 文件。运用 Mimics 进行三维重建,按照 Taylor空间支架配套软件需求,测量并记录安装参数(图3)。标记截骨线,进出针点及远近端环相对位置,将 STL 文件导入3D打印处理软件进行3D打印,根据标记点及框架参数在3D模型上安装 Taylor空间支

表1 病人一般资料及畸形参数

病人	性别	年龄(岁)	短缩(mm)	内外成角	前后成角	旋转	内外移位(mm)	前后移位(mm)
1	男	22	34.08	内翻11.53°	向后1.21°	外旋3.59°	向内14.34	向后3.05
2	男	26	22.85	内翻9.01°	向后0.89°	外旋10.64°	向内12.30	向后2.88
3	女	25	27.57	内翻13.21°	向后0.68°	外旋2.30°	向内4.32	向后1.57
4	男	30	24.83	外翻8.36°	向前0.53°	外旋3.09°	向外8.71	向前1.89
5	男	41	21.02	内翻15.28°	向后0.81°	外旋13.45°	向内9.03	向后2.47
6	男	33	28.05	外翻10.03°	向前0.42°	内旋4.32°	向外6.53	向前1.01

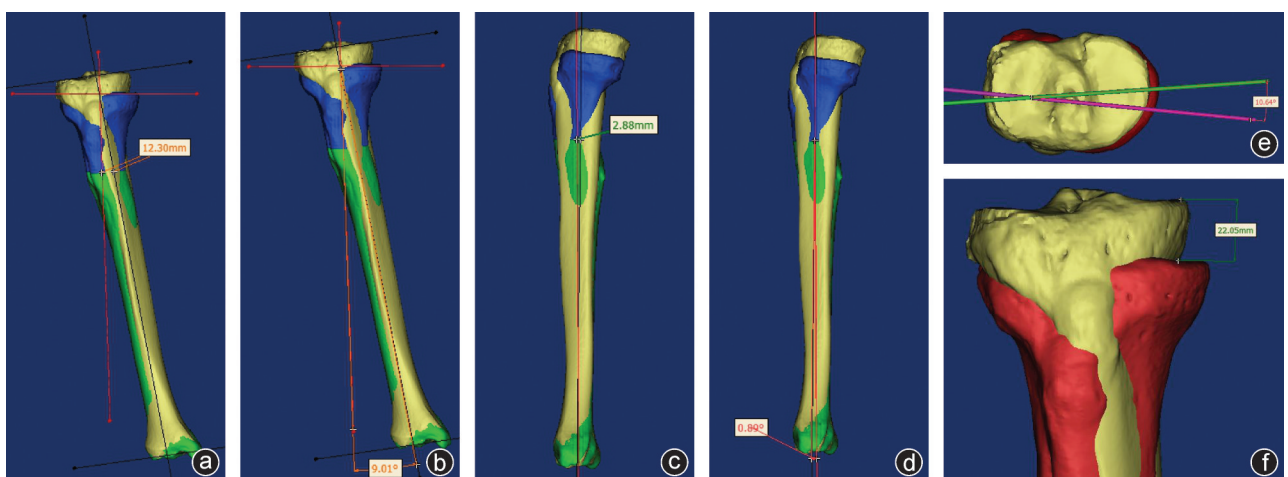


图1 根据健侧映像测量畸形参数 a:冠状位移位;b:冠状位成角;c:冠状位移位;d:矢状位成角;e:旋转畸形;f:短缩畸形

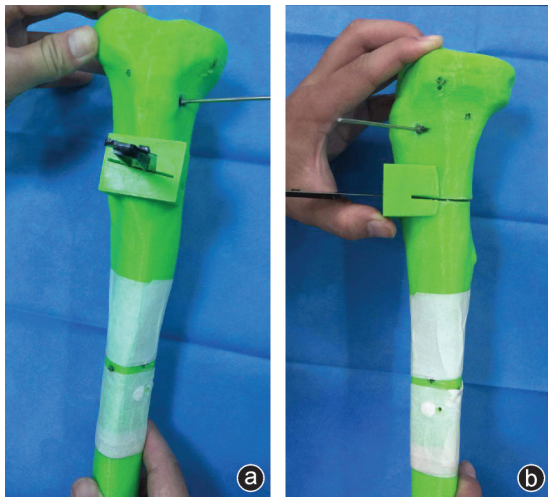


图2 术前运用截骨导板模拟截骨 a:正面观;b:侧面观

架(图4)。

(四)模拟矫形及处方调整

输入畸形参数、框架参数及安装参数,获得电子处方。根据电子处方调整3D模型的刻度螺纹,与健侧进行对比(图5)。若误差明显需再次确认安装参数测量数值,调整电子处方直到畸形矫正满意。

(五)术后处理

术后1周,病人根据最终电子处方调整连接杆刻度螺纹,每日延长距离不超过1 mm。术后1周病

人即可在双拐保护下下地行走。定期复查X线,矿化时间为延长时间3倍。矿化完成后拆除Taylor空间支架。

结 果

6例病人均获得随访,随访时间为9~25个月,平均15.2个月。拆除外固定时间为12~16周,平均13.7周。其中1例钉道感染,经换药处理好转,未发生神经、血管损伤和骨不连。末次随访按照Johner-Wruhs评定标准,优5例,良1例。典型病例见图6。

讨 论

Ilizarov 牵张成骨理论治疗肢体畸形及短缩是上个世纪矫形外科最重要的贡献之一^[8]。该理论仍然是现如今使用内固定或者外固定进行畸形矫正的基本原则。临床上常用的外固定支架有单边外固定支架和传统 Ilizarov 支架。单边外固定支架虽然比较轻便,佩戴舒服,然而只能运用于单平面的畸形,具有一定的局限性。Ilizarov 支架已经广泛运用于下肢畸形的矫正,特别是多平面的复杂畸形。然而 Ilizarov 架构型相对复杂,特别对于伴有旋转移位和侧方移位的畸形,需要额外的环来实现,操作上难度进一步增加^[9,10]。Taylor 空间支架是在 Ilizarov 支架

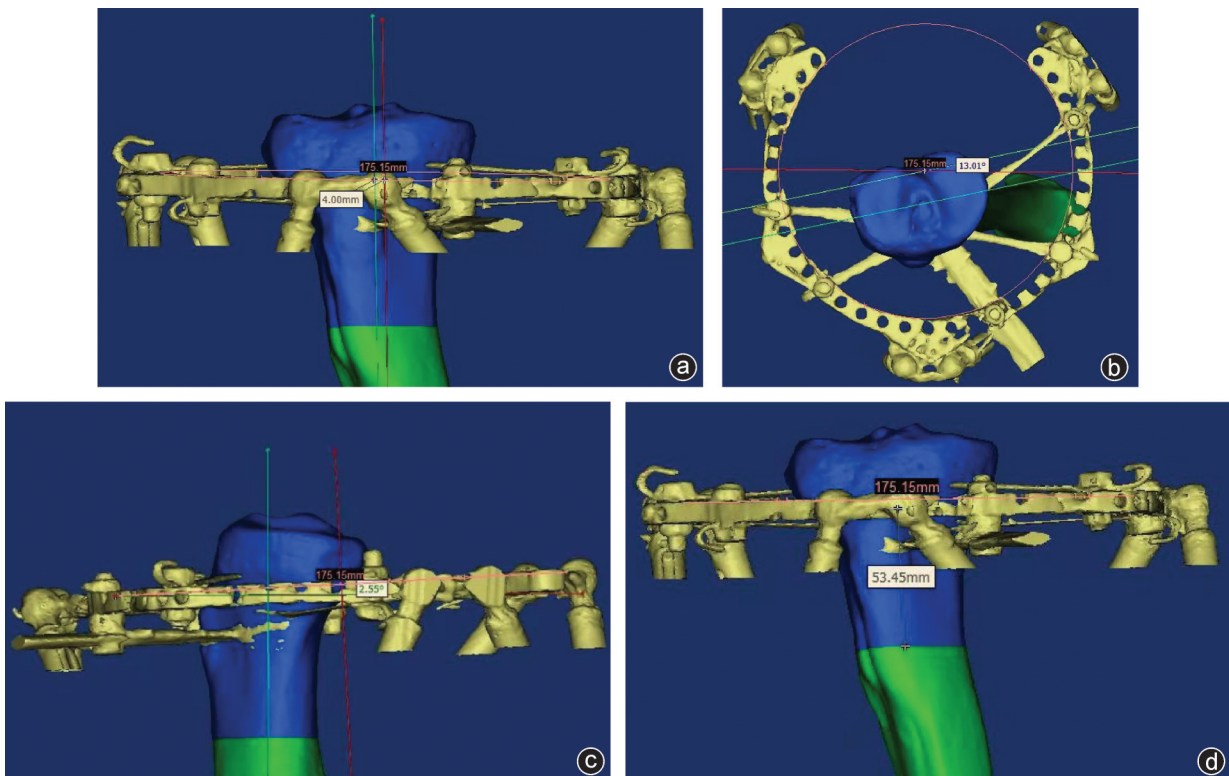


图3 在Mimics软件上进行安装参数测量 a:正位上移位及内外倾;b:侧位上移位及前后倾;c:轴位上旋转;d:轴位上移位



图4 在3D打印模型上复制术中截骨及Taylor架安装 a:正面观; b:侧面观



图5 根据电子处方在3D模型上模拟畸形结果 a:正面观;b:侧面观

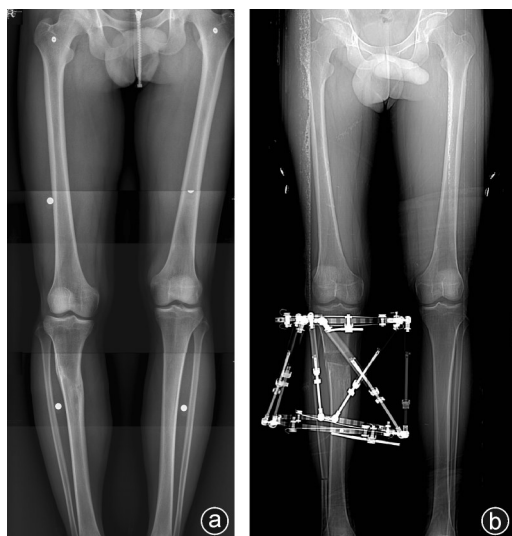


图6 病人,男,26岁,9年前右胫腓骨骨折保守治疗 a:术前X线片示右胫骨短缩,成角畸形;b:术后3个月X线片示右胫骨长度同左侧,可见骨痂

的基础上发展而来的,将Stewart平台及Chasles理论应用于骨科。由两个环及六根可调节支撑杆组成,配合计算机软件,通过调整六根支撑杆,进而对短缩、成角甚至六轴畸形进行矫正^[11]。相对于Ilizarov支架,能对复杂畸形更方便地进行矫正,甚至病人及家属可自行调节。

运用Taylor空间支架进行畸形矫正需配合计算机软件使用,软件所需要的畸形参数和安装参数需要人工测量后再输入,能否精准地矫正畸形取决于测量的准确与否。Rozbruch等^[12]应用Taylor空间支架对102例病人进行胫骨畸形矫正,认为该技术能精确地矫正畸形并且无明显并发症。然而,目前测量需要标准的正侧位X线片,环中心的确定及旋转畸形的测量仍然比较困难,因此容易产生误差,造成畸形矫正不满意。刘彦士等^[13]通过CT三维重建、计算机辅助测量与传统X线测量,在胫骨骨折复位的精准度进行比较得到:传统组病人正位X线片中位移改善度为59.56%,角度改善度为72.76%;侧位X线片中位移改善度为56.31%,角度改善度为57.44%。计算机辅助组病人正位X线片中位移改善度为70.17%,角度改善度为81.02%;侧位X线片中位移改善度为67.41%,角度改善度为70.32%。本研究6例通过计算机三维重建辅助测量均获得精准畸形,我们认为计算机辅助测量相比于传统X线测量更精准。

由于骨骼的不规则性,骨骼畸形的矫正常常需要高年资医师凭借其经验,通过术前对比、术中反复透视确认,进行截骨矫正。对医生的技术水平要求高,手术时间较长,临床效果重复性较低。3D打印技术不仅能够制备患肢骨模型,还能根据术前计划设计并打印个体化导板,方便术中实施术前计划^[14]。Shi等^[15]运用3D打印个体化截骨导板进行股骨远端闭合截骨与传统术式相比,下肢力线调整的精确率、手术时间的长度以及术后透视的次数,3D打印组均明显优于传统手工截骨组,差异具有统计学意义。本研究应用3D打印截骨导板,具有截骨精准、可重复性高、节省手术时间等优点。3D打印导板的难度在于,术前导板的设计及术中导板的定位。我们的做法是:首先,根据Paley等^[16]研究方法确定畸形的成角旋转中心,以该点为截骨位置,结合三维CT,反向设计截骨导板。其次,截骨导板设计应包括定位用骨性标志,胫骨近端可参考胫骨结节内、外侧缘,胫骨中段采用胫骨前嵴及后内侧嵴双平面定位,胫骨远端以内踝与干骺端夹角进行定位。另外,本研究首次应用3D打印创建术后模型,快速模拟畸形矫正终点,相对于传统X线测量后生成电子处方,根据随访复查X线的结果再进行电子处方调整,具有以下显著优点:①可以对测量的畸形参数和安装参数进行验证,同时结合计算机辅助测量,大大提高精确性;②方便计算机处方的调整;③减少术后调整电子

处方的次数,及时发现误差并调整;④减少病人的随访次数。

本研究仍有不足之处,首先,这是偏重于经验的临床回顾性分析,为自身对照,缺乏和传统预估截骨法的对照,证据等级较低。其次,样本量较小,将来需要更大样本的前瞻性随机对照研究,同时还应该纳入更多复杂畸形病例,从而更好地评价该方法的临床效果。

参 考 文 献

- [1] Court-Brown CM, Caesar B. Epidemiology of adult fractures: a review[J]. *Injury*, 2006, 37(8): 691-697.
- [2] Ferreira N, Marais LC, Aldous C. Hexapod external fixator closed distraction in the management of stiff hypertrophic tibial non-unions[J]. *Bone Joint J*, 2015, 97-B(10): 1417-1422.
- [3] Sharma L, Song J, Felson DT, et al. The role of knee alignment in disease progression and functional decline in knee osteoarthritis[J]. *JAMA*, 2001, 286(2): 188-195.
- [4] Saragaglia D, Rubens-Duval B, Pailhé R. Intra- and extra-articular proximal tibia malunion [J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2019, doi: 10.1016/j.otsr.2019.03.018. [Epub ahead of print].
- [5] Yang P, Du D, Zhou Z, et al. 3D printing-assisted osteotomy treatment for the malunion of lateral tibial plateau fracture [J]. *Injury*, 2016, 47(12): 2816-2821.
- [6] Morasiewicz P, Filipiak J, Kryzstoforski K, et al. Clinical factors affecting lower limb torsional deformities treatment with the Ilizarov method[J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2014, 100(6): 631-636.
- [7] Keshet D, Eidelman M. Clinical utility of the Taylor spatial frame for limb deformities[J]. *Orthop Res Rev*, 2017, 9: 51-61.
- [8] Ilizarov GA. The principles of the Ilizarov method[J]. *Bull Hosp Jt Dis Orthop Inst*, 1988, 48(1): 1-11.
- [9] Burzyńska K, Morasiewicz P, Filipiak J. The use of 3D printing technology in the Ilizarov method treatment: pilot study [J]. *Adv Clin Exp Med*, 2016, 25(6): 1157-1163.
- [10] Morasiewicz P, Burzyńska K, Orzechowski W, et al. Three-dimensional printing as a technology supporting the treatment of lower limb deformity and shortening with the Ilizarov method [J]. *Med Eng Phys*, 2018, 57: 69-74.
- [11] Hughes A, Parry M, Heidari N, et al. Computer hexapod-assisted orthopaedic surgery for the correction of tibial deformities [J]. *J Orthop Trauma*, 2016, 30(7): e256-261.
- [12] Rozbruch SR, Segal K, Ilizarov S, et al. Does the Taylor spatial frame accurately correct tibial deformities? [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2010, 468(5): 1352-1361.
- [13] 刘彦士, 马信龙, 万春友, 等. 计算机辅助测量在Taylor外固定支架治疗胫腓骨骨折中的应用[J]. *中国矫形外科杂志*, 2017, 25(16): 1457-1462.
- [14] Cai H. Application of 3D printing in orthopedics: status quo and opportunities in China[J]. *Ann Transl Med*, 2015, 3(Suppl 1): S12.
- [15] Shi J, Lv W, Wang Y, et al. Three dimensional patient-specific printed cutting guides for closing-wedge distal femoral osteotomy[J]. *Int Orthop*, 2019, 43(3): 619-624.
- [16] Paley D, Herzenberg JE, Tetsworth K, et al. Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies [J]. *Orthop Clin North Am*, 1994, 25(3): 425-465.

(收稿日期: 2019-07-28)

(本文编辑: 龚哲妮)