DOI: 10.14188/j.1671-8852.2024.0037
文章编号 1671-8852(2025)01-0099-05

3D打印联合骨科手术机器人辅助股骨截骨矫形术1例报告

董庆元 朱晓彬 杨志强 谢远龙 雷 军 蔡 林
武汉大学中南医院脊柱与骨肿瘤科 湖北 武汉 430071

摘要 目的：报道1例3D打印联合骨科手术机器人辅助截骨矫形术治疗双侧股骨畸形合并膝外翻的病例，以提高对该疾病的治疗水平。方法：选取武汉大学中南医院收治的1例由佝偻病导致双侧股骨畸形合并膝外翻患者，报道其病史、症状、体征、诊治过程和随访结果。结果：本例患者为男性，26岁，因“双下肢畸形12年，双膝疼痛2年”来我院就诊，经双下肢站立全长X线和血生化等检查提示双侧股骨畸形合并膝外翻，佝偻病。根据术前CT设计一种截骨、复位和钢板订位一体化的3D打印导板，联合天玑®骨科手术机器人辅助双侧股骨截骨矫形术治疗，右侧手术2个月后左侧手术，术后给予补液、抗炎、镇痛等对症支持治疗并指导功能锻炼。左侧术后4月、9月和15月随访。术中3次C臂透视；左侧术后4个月随访：X线示截骨断端少许骨痂生长，下肢力线恢复正常，数字评定量表（NRS）评分为0；左侧术后9个月随访：X线示截骨断端模糊，美国特种外科医院膝关节评分（HSS）为100；随访期间未出现相关并发症。结论：3D打印联合骨科手术机器人辅助截骨矫形术治疗双侧股骨畸形合并膝外翻，手术的精确度和准确率高，临床疗效良好，实用性强，具有广阔的应用前景。

关键词 3D打印；骨科手术机器人；截骨矫形；股骨畸形；膝外翻
中图分类号 R687
文献标识码 A
开放科学（资源服务）标识码（OSID）：

3D printing combined with orthopedic robotics-assisted osteotomy for femurs: A case report

DONG Qingyuan, ZHU Xiaobin, YANG Zhiqiang, XIE Yuanlong, LEI Jun, CAI Lin
Dept. of Spine Surgery and Musculoskeletal Tumor, Zhongnan Hospital of Wuhan University, Wuhan 430071, Hubei, China

Abstract

Objective: To report a case of bilateral femoral deformity with valgus knee treated by using a combination of 3D printing and orthopedic surgical robot-assisted osteotomy orthopedic surgery. **Methods:** A case of bilateral femoral deformity with genu valgum caused by rickets was implemented in Zhongnan Hospital of Wuhan University. His history, symptoms, signs, diagnosis, treatment, and follow-up results were reported. **Results:** The case was a 26-year-old male, and came to the hospital for "bilateral lower limb deformity for 12 years, pain in knees for 2 years". The examination, which included a full-length X-ray of the lower limbs in a standing position and blood biochemistry, revealed

课题来源：国家自然科学基金资助项目（编号：82170899）
作者简介：董庆元，男，1997—，医学硕士生，主要从事骨科学的临床研究，E-mail：dongqyuan@126.com
通信作者：雷军，男，1975—，医学博士，主任医师，主要从事脊柱骨盆骨病研究，E-mail：leijun75@aliyun.com；蔡林，男，1961—，医学博士，主任医师，教授，博士生导师，主要从事骨与软组织肿瘤的基础和临床、骨科新材料与骨组织工程研究，E-mail：orthopedics@whu.edu.cn

bilateral femoral deformity with genu valgum and rickets. Based on CT scans, a 3D-printed navigation template was designed to integrate osteotomy, reduction, and plate positioning. Furthermore, a procedure using 3D printing combined with TiRobot-assisted osteotomy was performed for the patient. Two months after the right operation, the left operation was performed. Postoperatively, the patient received symptomatic and supportive treatment, including fluid replacement, anti-inflammation, and analgesia. Additionally, functional exercises were guided. The patient underwent follow-up at the end of 4th, 9th, and 15th months post-left operation. C-arm fluoroscopy was performed three times during the operation. At the 4-month follow-up after the left operation, an X-ray revealed that a small callus had formed at the osteotomy's broken end, the force line of the lower limb was normal, and the Numerical Rating Scale (NRS) score was 0. In the 9th month after the left operation, an X-ray showed that the broken end of the osteotomy was blurred and Hospital for Special Surgery knee (HSS) score was 100. There were no related complications during the follow-up. **Conclusion:** 3D printing, when combined with orthopedic surgical robot-assisted osteotomy, enhances orthopedic surgery for the treatment of bilateral femoral deformity with external knee varus. This approach offers high accuracy and precision, good clinical efficacy, strong practicality, and broad application prospects.

Key Words 3D Printing; Orthopedic Robotics; Osteotomy; Femoral Deformities; Genu Valgum

对于股骨畸形合并膝外翻患者,一般采用截骨矫形术治疗。传统方式的手术医生一般通过X线和CT,依赖经验进行下肢力线矫正,术中透视次数较多,截骨矫正不够精准,临床疗效不够理想[1]。文献报道,3D打印及骨科手术机器人逐渐投入到临床应用,一般用于难度较大和患者对预后要求较高的手术,提高了手术的精准度和安全性,术后恢复较快,不足之处为费用较高。然而目前3D打印联合骨科手术机器人辅助截骨矫形术的有关报道较少[2-4]。为此,我们报道1例一种截骨、复位和钢板订位一体化的3D打印导板,并联合天玑®骨科手术机器人辅助截骨矫形术治疗双侧股骨畸形合并膝外翻的病例,以提高对该疾病的治疗水平。

1 临床资料

1.1 病史及专科情况 患者男,26岁,某高校博士生。2021年8月因"双下肢畸形12年,双膝疼痛2年"于武汉大学中南医院就诊。12年前无明显诱因出现双下肢畸形,并拢困难,2年前出现双侧膝关节疼痛,站立和行走加重,不能奔跑,曾于外院诊断"佝偻病",未行特殊治疗。

脊柱生理弯曲存在,未见鸡胸改变,双髋伸0°~屈110°,膝关节外翻畸形,双膝伸0°~屈120°,双踝伸屈正常。数字评定量表(Numerical Rating Scale, NRS)[5]疼痛评分为4,美国特种外科医院膝关节评分(Hospital for Special Surgery Knee Score, HSS)[6]为80。

1.2 辅助检查及诊断 血生化检测:碱性磷酸酶128 U/L(30~120 U/L),钙2.33 mmol/L(2.11~2.52 mmol/L),磷0.57 mmol/L(0.85~1.51 mmol/L)。双下肢站立全长X线示:双侧股骨中下段向内弯曲,双侧膝关节外翻,呈"X"形改变,双侧膝关节间隙可见(图3A)。诊断为双侧股骨畸形合并膝外翻,佝偻病。

1.3 3D打印解剖模型及截骨、复位和钢板订位一体化导板的设计 首先将CT扫描的双下肢图像以DICOM格式导入Mimics 21.0建模软件,利用CT bone功能,重建出双下肢3D打印解剖模型。然后,将重建数据以STL格式导入到3-matic 13.0中,测量双下肢力线及相关角度,计算截骨导板的复合角度,采用等腰三角形状截骨,以便得到较大的截骨覆盖面。以截骨交会点为中心点,使用旋转命令,得到标准下肢力线的股骨。在标准下肢力线的股骨上预放置钢板,得到锁定钢板的订位,并使此订位应用于导板固定,设计与股骨解剖轴相平行的复位杆(图1A、1B)。在股骨解剖模型上勾勒出导板的形态,设计导板基础面和导向槽口,多次使用布尔加减命令,使其与导板复位杆、复位套筒以及钢板订位(导板固定订位)组合在一起。使用布尔减,生成导板分离孔。在导板上,标注医院、近端、远端、导板订位的直径等文字信息(图1C)。最后,以

STL 格式将双下肢解剖模型及截骨、复位和钢板订位一体化导板导入 Magic 21.0 切片软件中，对其进行 SLA 激光路径切片，生成 G 代码，导入光敏树脂 3D 打印机中，按照 1∶1 比例打印出双下肢解剖模型及截骨、复位和钢板订位一体化导板。

1.4　手术方法　右侧股骨先行截骨矫形术，2 个月后左侧股骨行截骨矫形术。患者仰卧位，全麻成功后，常规用活力碘原液消毒下肢全长、铺无菌巾，使用无菌止血带，预防使用抗生素。依据 3D 打印模型及截骨、复位和钢板订位一体化导板，在股骨中下三分之一即畸形处，于外侧做纵行长约 15 cm 切口，逐层切开、钝性分离、剥离组织，暴露出股骨，远端切至股骨外髁中点，近端至导板近端。依据 3D 打印模型和导板定位，将导板置于股骨畸形处，使用克氏针置入导板固定订位临时固定导板。使用 C 臂扫描股骨中下段，骨科手术机器人定位修正导板放置位点，依据锁定钢板的订位置入克氏针牢固固定导板。使用摆锯沿导板方向进行截骨，离断股骨后使用导板进行矫形复位，复位后选择适合股骨外髁解剖的锁定钢板，皮质骨螺钉临时固定钢板于股骨外侧。安放下肢力线测量杆，C 臂透视显示下肢力线恢复，钢板位置良好。遂依次于截骨近端和远端钻孔、测深、拧入锁定螺钉，拆除导板，于股骨前方安装尺寸合适的直行锁定钢板，依次钻孔、测深、拧入螺钉固定钢板。C 臂透视再次确认下肢力线恢复，钢板位置良好（图 2C～2L）。冲洗伤口后，放置负压引流管 1 根，逐层缝合各层组织，无菌敷料加压包扎。术毕送患者返病房，术后给予补液、抗炎、镇痛等对症支持治疗并指导功能锻炼。

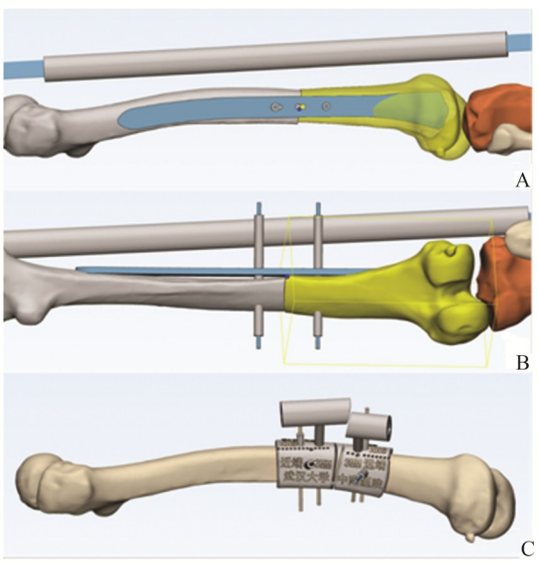


图 1　3D 打印模型和导板

A、B. 根据标准力线截骨复位后的股骨，预放置钢板，确定锁定钢板的订位、复位杆、复位套筒；C. 截骨、复位和钢板订位一体化导板

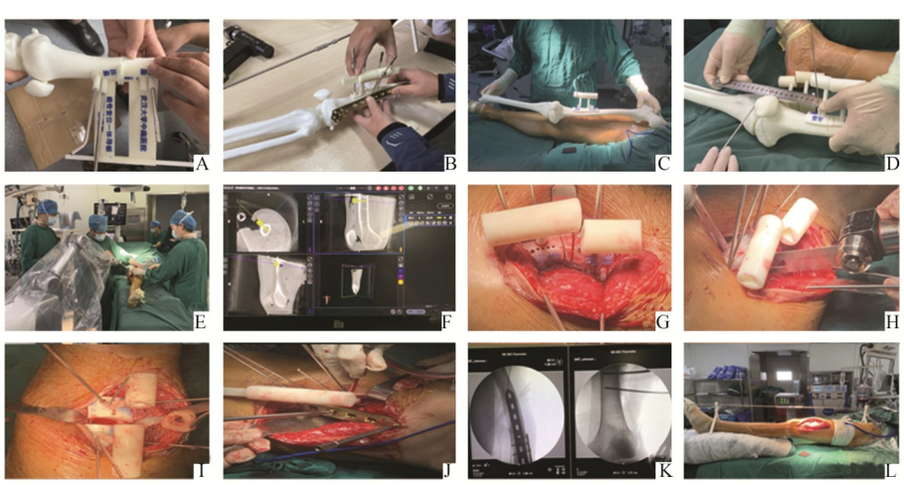


图 2　术前及手术过程

A、B. 术前在 3D 打印解剖模型上模拟手术；C、D. 依据 3D 打印解剖模型和导板确定截骨平面和范围；E、F、G. 天玑®骨科手术机器人定位修正导板放置位点，克氏钉固定；H、I. 依据导板截骨和矫形复位；J. 依据导板固定订位固定钢板；K. 术中 C 臂透视显示钢板位置良好；L. 下肢力线测量杆显示下肢力线恢复

2　结果

术后每次随访复查双下肢站立全长 X 线，利用 NRS 进行疼痛评分[5]，利用 HSS 进行膝关节功能评分[7]（表 1）。右侧手术后 7 d，右侧膝关节术后中度疼痛。复查双下肢站立全长 X 线示：右侧股骨截骨断端对位对线良好，内固定器位置正常（图 3B）。患者右侧手术后 2 月返院行左侧手术前，右侧膝关节

疼痛缓解,膝关节功能好转。复查双下肢站立全长X线示:右侧股骨截骨断端对位对线良好,内固定器位置正常(图3C)。左侧手术后4个月随访,复查双下肢站立全长X线示:双下肢等长,双侧股骨截骨断端对位对线良好,少许骨痂生长,内固定器位置正常(图3D)。患者下肢力线纠正效果满意,双侧膝关节无疼痛,已拄拐下地行走,已复学,能正常生活。左侧手术后9个月随访,复查双下肢站立全长X线示:双下肢等长,双侧股骨截骨断端模糊,内固定器位置正常(图3E)。患者双侧膝关节无疼痛,双下肢力线正常,已正常走路和跑步,感觉及运动功能恢复正常。左侧手术后15个月随访,无膝关节疼痛等不适,膝关节功能正常。复查双下肢站立全长X线示:双下肢等长,双侧股骨截骨断端模糊,内固定器位置正常(图3F)。

表1 治疗前后NRS及HSS评分的比较

评分	治疗前	右侧术后7 d	右侧术后2个月	左侧术后4个月	左侧术后9个月	左侧术后15个月
NRS评分	4	5	2	0	0	0
HSS评分	80	72	81	92	100	100

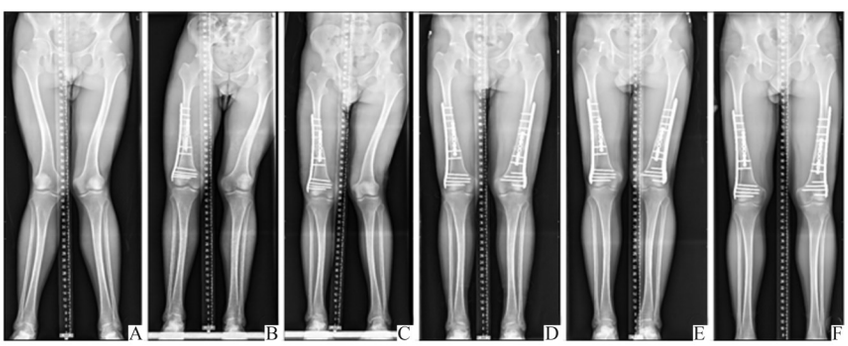


图3 双下肢站立全长X线照片

A. 术前X线;B. 右侧手术后7 d X线;C. 右侧手术后2个月X线;D. 左侧手术后4个月X线;E. 左侧手术后9个月X线;F. 左侧手术后15个月X线

3 讨论

股骨畸形的常见病因有骨折畸形愈合、纤维结构不良、佝偻病、Pagets病、先天性畸形及发育不全等[8],本研究中的患者为博士生,是由佝偻病而导致的双侧股骨畸形合并膝外翻,即"X"形腿,对术后膝关节功能恢复要求较高。股骨畸形合并膝外翻采用传统方式的截骨矫形术治疗,术中透视次数较多,截骨矫正不够精准,临床疗效不乐观[1]。

有报道,股骨畸形通过3D打印辅助截骨矫形术治疗,能够更好地矫正畸形,患者可更早进行功能锻炼,促进关节功能的恢复,同时促进截骨愈合[9]。利用3D打印模型,医生可以获得明确的解剖位置关系,由此在术前设计手术入路、置钉的深度及角度,选择合适的螺钉,能够提高置入螺钉的成功率,从而降低手术的风险,缩短医生学习曲线[10]。本研究中的3D打印患者解剖模型,用于术前详细评估截骨平面和范围,规划手术方案,在模型上进行模拟手术,从而有效降低手术难度,同时用于与患者充分沟通病情及手术获益与风险,进行健康宣教,有助于医患沟通(图2A、2B)。

天玑®骨科手术机器人是第三代国产的骨科手术机器人,其机械臂功能丰富,适应更多复杂的手术场景,具有高效、易用、精准和智能的优点及机器人探头识别范围更广的特点[11]。其通过分析数据,自动瞄准,建立手术通道,使得螺钉按照最理想的方案完成置入;其精准度高,可达1 mm以内,减少置钉过程中神经、血管损伤风险,还可避免侵犯关节,降低远期临近节段退变的风险,增加手术安全性;其兼容2D和3D两种手术规划模式、运动灵活、工作范围大,广泛应用于骨科大部分高难度手术;基于骨科手术机器人的操作流程,仅需要在术前、定位导针进入后、螺钉进入后3个环节获取图像,X射线总量大幅降低[4, 11]。

不同于传统的3D打印截骨导板仅有定位截骨平面的作用[12],本研究设计的导板具备确定截骨平面和范围、矫形复位截骨断端及确定钢板订位的功能,即截骨、复位和钢板订位一体化,实现矢状位、冠状位和横轴位的截骨矫正,恢复患者双侧下肢力

线。通过联合天玑®骨科手术机器人辅助手术，实现精准定位，无手术并发症的发生，显著降低手术风险。术中3次C臂透视，减少医源性放射性损伤。左侧术后4个月随访NRS评分恢复到0，左侧术后9个月随访HSS评分恢复到100。即二者联合辅助精准、高效地完成截骨矫形术，临床疗效良好，有效缓解了患者疼痛，改善了患者双侧膝关节功能，随访结果满意。

综上所述，3D打印联合天玑®骨科手术机器人可精准完成截骨矫形术，可减少医源性损伤，临床疗效好，实用性强，是一项值得推广的新兴手术方式。

参考文献

[1] Gupta V, Kamra G, Singh D, et al. Wedgeless 'V' shaped distal femoral osteotomy with internal fixation for genu valgum in adolescents and young adults[J]. Acta Orthop Belg, 2014, 80(2): 234-240.

[2] Rodriguez Colon R, Nayak VV, Parente PEL, et al. The presence of 3D printing in orthopedics: A clinical and material review[J]. J Orthop Res, 2023, 41(3): 601-613.

[3] Wan YZ, Xue PR, Yue JY, et al. Comparison of computer-assisted navigation and 3D printed patient-specific template for the iliosacral screw placement[J]. Orthop Surg, 2023, 15(11): 2855-2863.

[4] 李川，阮默，苏踊跃，等 . 手术机器人在骨科领域中的应用及发展[J]. 中华创伤骨科杂志，2021，23(3)：272-276.
Li C, Ruan M, Su YY, et al. Robotics in orthopedic surgery[J]. Chin J Orthop Trauma, 2021, 23(3): 272-276.

[5] 万丽，赵晴，陈军，等 . 疼痛评估量表应用的中国专家共识(2020 版)[J]. 中华疼痛学杂志，2020，16(3)：177-187.
Wan L, Zhao Q, Chen J, et al. Expert consensus on the application of pain evaluation questionnaires in China (2020)[J]. Chin J Painol, 2020, 16(3):177-187.

[6] Chamorro-Moriana G, Perez-Cabezas V, Espuny-Ruiz F, et al. Assessing knee functionality: Systematic review of validated outcome measures[J]. Ann Phys Rehabil Med, 2022, 65(6): 101608.

[7] Insall JN, Dorr LD, Scott RD, et al. Rationale of the Knee Society clinical rating system[J]. Clin Orthop Relat Res, 1989(248): 13-14.

[8] Paredes-Carnero X, Escobar J, Galdo JM, et al. Total knee arthroplasty for treatment of osteoarthritis associated with extra-articular deformity[J]. J Clin Orthop Trauma, 2018, 9(2): 125-132.

[9] Rankin TM, Wormer BA, Miller JD, et al. Image once, print thrice? Three-dimensional printing of replacement parts[J]. Br J Radiol, 2018, 91(1083): 20170374.

[10] Richard RD, Heare A, Mauffrey C, et al. Use of 3D printing technology in fracture management: A review and case series[J]. J Orthop Trauma, 2023, 37(11S): S40-S48.

[11] Tian W, Liu YJ, Liu B, et al. Guideline for thoracolumbar pedicle screw placement assisted by orthopaedic surgical robot[J]. Orthop Surg, 2019, 11(2): 153-159.

[12] 张成，陈树涛，高武长 . 3D打印截骨导板在截骨矫形中的应用研究[J]. 医疗卫生装备，2020，41(3)：98-101.
Zhang C, Chen ST, Gao WC. Application of 3D printing guide plate in osteotomy[J]. Chin Med Equip J, 2020, 41(3): 98-101.

(2024-01-16 收稿)
编辑　沈建国