

## · 病例报告 ·

## 骨科手术机器人辅助重建急性后交叉韧带断裂 1 例

胡汉, 张中伟, 徐红伟, 贾少华, 季康, 潘界恩, 黄成龙, 陈刚  
(嘉兴市第二医院骨科, 浙江 嘉兴 234001)

关键词 机器人手术; 后交叉韧带重建; 病例报告

中图分类号: R686.5

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2020.10.018

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



**Robot-assisted operation for posterior cruciate ligament reconstruction: a case report** HU Han, ZHANG Zhong-wei, XU Hong-wei, JIA Shao-hua, JI Kang, PAN Jie-en, HUANG Cheng-long, and CHEN Gang. Department of Orthopaedics, the Second Hospital of Jiaxing, Jiaxing 234001, Zhejiang, China

**KEYWORDS** Robotic surgical procedures; Posterior cruciate ligament reconstruction; Case report

患者,男,63岁,因“外伤致左膝肿痛伴活动受限2d”入院。患者2d前骑车摔伤致左膝部剧烈锐痛,持续不缓解,肿胀明显,活动后加重,休息未见明显缓解,能行走,但是跛行明显,就诊我院,行MRI示左膝后交叉韧带撕裂,左膝内侧副韧带撕裂(图1a)。诊断为左膝后交叉韧带(posterior craciate ligament, PCL)撕裂,左膝内侧副韧带撕裂。查体:左膝略肿,轻度压痛,屈膝略受限,麦氏征弱阳性,研磨试验阴性,过伸过屈试验阴性,浮髌试验阳性,外翻应力试验(伸膝位阳性,屈膝30°位弱阳性),前抽屉试验阴性,后抽屉试验阳性,Lachman征阴性。实验室检查:超敏C-反应蛋白17.16 mg/L,白细胞计数 $5.90 \times 10^9/L$ ,红细胞计数 $4.40 \times 10^{12}/L$ ,血红蛋白141 g/L,白蛋白38.8 g/L,凝血酶原时间13.2 s,凝血酶原时间正常对照12.8 s,尿常规及肝肾功未见明显异常。临床诊断:左膝后交叉韧带损伤,左膝内侧副韧带损伤,左膝内侧半月板损伤。考虑在骨科机器人辅助下联合关节镜重建后交叉韧带。骨科机器人应用经我院新技术和伦理委员会批准。

本例采用Tirobot骨科手术机器人(北京天智航医疗科技股份有限公司),其主要工作步骤包括:由手术医生操作系统,以C形臂X线机采集术中影像,规划胫骨导针的入针方向和入点,随后由系统计算给出符合医生要求的手术路径,发出指令使机械

臂移动至所需位置,在机械臂上安装导针套筒,同时通过光学跟踪系统监控机械臂的运动路径并确认是否出现偏差,如有偏差由系统进行自动补偿,以保证导针置入位置的精确度。

将机器人移动并固定至手术床旁患肢侧,罩无菌套,确保机械臂有一定工作空间可达膝部,将光学跟踪相机置于患肢侧头端,将移动式C形臂X线机置于患肢侧尾端。将患者示踪器固定于胫骨远端(图1b)。应用C形臂X线机获取包含机器人定位标记点的术中透视影像,并将其传输至机器人工作站,由系统进行配准计算。根据术中采集的图像,使用系统规划软件进行导针置入路径规划。本例先规划胫骨隧道,从胫骨结节内侧处入针,沿后交叉胫骨解剖止点规划路径(图1c)。机械臂在系统控制下移动到规划中的位置。在机械臂上安装导向套筒,将导针尖端抵至患肢胫骨皮肤,再次以C形臂X线机透视确认导针位置是否满意,同时在机器人系统软件上确认实际导针的位置和方向与规划导针是否相符。如软件显示其偏差 $>0.2$  mm可进行微调,同时在打入导针时监测是否与规划路径和位置有偏离,自动打入导针(图1d)。以C形臂X线机透视确认导针位置满意后,测量导针与胫骨平台的夹角 $>40^\circ$ ,确认位置良好后打入8 mm钻头(图1e)。建立胫骨隧道同传统的关节镜手术,并置入编织好的重建韧带。

本例患者手术时间130 min,X线曝光次数5次。导针置入1次完成,没有进行调整。重建后胫骨隧道与移植物夹角约为 $113.75^\circ$ (图1f)。术后冰敷4~6 h,伸膝位卡盘支具固定,术后第2天开始进行疼痛忍受范围内的股四头肌、腓绳肌等长收缩、直

基金项目:浙江省嘉兴市厅级课题(编号:2017AY33027)

Fund program: Project of Jiaxing City of Zhejiang Province (No. 2017AY33027)

通讯作者: 陈刚 E-mail: xjcy19991129@163.com

Corresponding author: CHEN Gang E-mail: xjcy19991129@163.com

腿抬高训练、足背伸-跖屈活动等肌肉练习,并推动髌骨活动,减轻术后瘢痕粘连。至少练习 3 个月,直到去除支具为止。术后疼痛减轻后扶双拐下地活动,患肢部分负重,逐渐至完全负重。术后 2 周开始进行静力主动屈膝活动,每日早晚各 1 次。术后 2 周内屈伸活动范围控制在 0°~90°,至术后 3 个月内在卡盘支具下锻炼患膝屈伸 0°~120°内。术后 2 个月外观图(1g, 1h)示左膝关节稳定性良好,屈膝达到 90°,患者满意度良好。

讨论

本例采用的 TiRobot 骨科手术机器人是一种能够适用于创伤、关节、脊柱等多适应证外科手术机器人,首先机器人有 3 大精密系统组成:(1)机械臂系统,该系统 6 关节机械臂活动范围为-360°~360°,最大工作半径为 850 mm,整体机械定位精度为

1.0 mm,配有自动平衡系统,保障机械臂系统工作的安全性、稳定性和可重复性。(2)光学跟踪系统,术中实时监测机械臂末端和患者的位移变化,并自动补偿该位移,保障机械臂系统和患者之间固定的相对位置关系。(3)手术规划及导航系统,胫骨隧道直径选择及其导针路径规划,通过三维精确定位。其中光学跟踪系统实时跟踪术中手术路径和患者术中位置的变化,通过自动的反馈补偿操作更正路径偏差,从而实现精确可靠的手术路径定位。解决了以往交叉韧带胫骨定位钩过程中发生的松动及隧道直径不准确的情况,同时也能弥补传统手术技术无法解决的徒手操作稳定性差的问题。田伟等<sup>[1]</sup>进行了机器人辅助置入椎弓根钉技术,结果整体误差在 1.77 mm,明显优于传统导航技术。赵春鹏等<sup>[2]</sup>发现手术机器人辅助经皮螺钉内固定治疗骨盆和髌臼骨折具有置



图 1 患者,男,63 岁,车祸伤致左膝 PCL 断裂 1a. 术前 MRI 示后交叉韧带断裂 1b. 患者体位及采集术中图像 1c. 手术路径规划,确定胫骨隧道 1d. 机器人自动识别置入导针 1e. 验证确认,隧道位置良好 1f. 术后 MRI 确认重建韧带位置情况,移植物与胫骨隧道夹角约为 113.75° 1g, 1h. 术后 2 个月外观图示患膝主动屈膝可达 90°,满意度良好

Fig.1 A 63-year-old male patient with posterior cruciate ligament rupture on the left side caused by car accident 1a. Preoperative MRI showed posterior cruciate ligament rupture 1b. Patient position and acquisition of intraoperative images 1c. Surgical path planning to determine the tibial tunnel 1d. Robot automatically recognized the placement of the guided needle 1e. Tunnel position was good 1f. Postoperative MRI showed the position of the reconstructed ligament, and the angle between the graft and the tibial tunnel was about 113.75° 1g, 1h. Postoperative appearance at 2 months showed knee flexion could reach 90° with good satisfactory

钉准确性高、透视辐射小、安全有效等优点。

PCL 重建的关键在于解剖重建,完整的生物力学,良好愈合条件,骨科手术机器人极大地满足以上要素,具有以下优势:(1)更好地保留 PCL 胫骨端残端。通过机器人辅助建立胫骨隧道,无须关节镜下探查 PCL 胫骨止点,最大限度保留了胫骨侧残端;有利于重建韧带的愈合和本体感觉的恢复。(2)避免杀手转弯效应。PCL 解剖重建是恢复膝关节稳定性的重要因素之一,关节镜下胫骨端止点定位通常需要辅助后内侧切口,而机器人可通过手术路径三维规划胫骨端 PCL 止点,无须传统关节镜下辅助切口监视 PCL 止点,更加微创,损伤小,避免神经血管的损伤。另外,重建韧带在隧道口出现机械性磨损、变薄、张力下降、逐渐松弛,即所谓杀手转弯,杀手转弯是 PCL 重建术后失效的重要原因之一<sup>[3]</sup>。文献报道<sup>[4]</sup>该角度不应 $<90^\circ$ 或者胫骨隧道与水平轴的夹角 $40^\circ\sim 50^\circ$ 。近年来 PCL 的杀手转弯效应是国内研究热点“杀伤角”。1995 年 Berg 首先提出了利用将移植物的胫骨侧直接固定在骨槽内的嵌入方法,使得移植物的胫骨侧构型更接近于解剖形态,彻底消除了“杀手转弯”,但此项技术会出现切开易损伤血管神经、感染以及多枚螺钉固定的缺点<sup>[5]</sup>。陆文杰等<sup>[6]</sup>报道胫骨骨道与胫骨平台的夹角为 $40^\circ$ 是一个临界点,当夹角 $<40^\circ$ 时随着夹角的逐渐减小,“杀伤角”将逐渐增大;当夹角 $>40^\circ$ 时夹角的增大并不能有效起到减小“杀伤角”的作用。同时,本例结果表明,当将夹角增大到 $50^\circ$ 时,建立胫骨骨道的过程中有打穿胫骨后侧骨皮质的危险。骨科手术机器人解决了术中杀手角的同时也避免了穿出胫骨后侧皮层问题,机器人建立胫骨隧道优势明显。(3)精准解剖定位。本例采用三维立体采集胫骨图像,手术规划中实现全方位调节胫骨隧道,规划出更接近解剖 PCL 胫骨出口止点,同时避免移植物与隧道锐角的产生,消除“杀手转弯”,不仅满足了解剖重建,达到更好的生物力学稳定性,而且更少韧带切割,从而延缓韧带松弛甚至失效的可能。(4)快速康复理念。快速康复外科是指在手术前后应用各种已证实有效的方法以减少手术应激及并发症,加速患者术后的康复,而骨科术后康复锻炼在快速康复显得尤为重要<sup>[7]</sup>。机器人辅助胫骨隧道的建立,重建后交叉韧带在早、晚期均体现了快速康复理念,首先在术后早期、术中可避免后外侧切口,减少创伤,术后第 1 天开始股四头肌锻炼,切口少,达到早日锻炼、早日康复的效果。另外,

由于后交叉韧带止点未进行残端清理,有利于血管及神经的长入,促进后期骨与肌腱的愈合,增强了患者本体感觉,更适应或接近正常前交叉韧带的功能和本体感觉,后期恢复同样符合快速康复理念。

机器人熟练程度及 X 线曝光次数是本研究的不足之处。目前本院骨科医生对机器人系统的使用熟练程度有待提高,包括设备摆位、图像采集和手术规划等操作。术中图像采集尽可能一次成功,导针置入后可无须透视再确认,减少 X 线曝光及手术时间。

从本例的结果来看,机器人辅助 PCL 重建,术中可在三维立体下进行胫骨隧道精准定位,完全实现后交叉韧带止点解剖定位,减少或避免 PCL“杀手转弯”效应,有利于重建韧带的稳定和术后膝关节的康复,其手术时间和术中 X 线暴露时间未来有可能缩短。

#### 参考文献

- [1] 田伟,范明星,韩晓光,等. 机器人辅助与传统透视辅助脊柱椎弓根螺钉内固定的临床对比研究[J]. 骨科临床与研究杂志, 2016, 1(1):4-10.  
TIAN W, FAN MX, HAN XG, et al. Pedicle screw insertion in spine: a randomized comparison study of robot-assisted surgery and fluoroscopy-guided techniques[J]. Gu Ke Lin Chuang Yu Yan Jiu Za Zhi, 2016, 1(1):4-10. Chinese.
- [2] 赵春鹏,王军强,苏永刚,等. 机器人辅助经皮螺钉内固定治疗骨盆和髌臼骨折[J]. 北京大学学报(医学版), 2017, 49(2): 274-280.  
ZHAO CP, WANG JQ, SU YG, et al. Clinical research on robot-assisted percutaneous pelvic and acetabular screws surgery[J]. Bei Jing Da Xue Xue Bao (Yi Xue Ban), 2017, 49(2):274-280. Chinese.
- [3] Aim JH, Bae JH, Lee YS et al. An anatomical and biomechanical comparison of anteromedial and anterolateral approaches for tibial tunnel of posterior cruciate ligament reconstruction: evaluation of the widening effect of the anterolateral approach[J]. Am J Sports Med, 2009, 37(9):1777-1783.
- [4] Huang TW, Wang CJ, Weng LH, et al. Reducing the "killer turn" in posterior cruciate ligament reconstruction[J]. Arthroscopy, 2003, 19(7):712-716.
- [5] Stannard JP. Anatomic posterior cruciate ligament reconstruction with allograft[J]. J Knee Surg, 2010, 23(2):81-87.
- [6] 陆文杰, 成立, 施绒舟, 等. 胫骨骨道定位对后交叉韧带重建“杀伤角”的影响[J]. 中华创伤杂志, 2012, 28(8):712-717.  
LU WJ, CHENG L, SHI RZ, et al. Effects of tibial tunnel position on "killer turn" in posterior cruciate ligament reconstruction[J]. Zhonghua Chuang Shang Za Zhi, 2012, 28(8):712-717. Chinese.
- [7] Steffen Wolk, Marius Distler, Benjamin Müsle, et al. Adherence to ERAS elements in major visceral surgery: an observational pilot study[J]. Langenbecks Arch Surg, 2016, 401(3):349-356.

(收稿日期:2019-06-02 本文编辑:李宜)