



3D 打印技术在膝前交叉韧带重建中的应用

罗树林, 黄雨亭, 戴工华, 马敏, 蔡俊丰, 曾文, 尹峰*

摘要:目的: 探讨 3D 打印技术对关节镜前交叉韧带重建手术的辅助价值。方法: 对 2017 年 12 月-2018 年 5 月收治的 15 例因运动损伤导致前交叉韧带断裂且需进行韧带重建的患者, 术前进行膝关节 CT 扫描, Mimcs 图像处理, 通过 3D 打印膝关节模型, 进行模型上股骨骨隧道定位, 并进行预手术, 测量隧道长度, 术前及术后 6 个月进行膝关节 Lysholm 评分以评估膝关节功能。结果: 通过 3D 打印模型预手术, 均较准确地定位了前交叉韧带股骨止点, 预手术测量股骨骨隧道平均长度为 (43.2 ± 2.13) mm, 术中测量 (43.7 ± 1.75) mm, 术后再次 CT 测量骨隧道长度为 (42.4 ± 3.25) mm, 差异无显著性意义 ($P > 0.05$), 术前 Lysholm 评分 (46.2 ± 5.73) 分, 术后 Lysholm 评分 (88.4 ± 6.25) 分, 差异有显著性意义 ($P < 0.05$)。结论: 3D 打印模型预手术可以辅助关节镜术中较快速、准确地定位前交叉韧带股骨止点, 模型与实体骨隧道契合度高, 术后疗效优良。

关键词: 膝关节镜; 前交叉韧带; 3D 打印; CT

中图分类号: G804.5 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2019)01-0086-04

DOI: 10.12064/ssr.20190111

The Application of 3D Printing Technology in the Reconstruction of Anterior Cruciate Ligament of Knee

LUO Shulin, HUANG Yuting, DAI Gonghua, MA Min, CAI Junfeng, ZENG Wen, YIN Feng*
(Shanghai East Hospital, Shanghai 200120, China)

Abstract: Objective: To evaluate the value of 3D printing in arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. Methods: In 15 cases from December, 2017 to May 2018 of anterior cruciate ligament rupture caused by injury and ligament reconstruction patients, preoperative knee CT scan, Mimcs image processing are accomplished by 3d printing knee joint model to model the femur bone tunnel positioning, and pre-operate, measure the tunnel length, preoperative and postoperative 6 months for knee joint Lysholm score in the evaluation of knee joint function. Results: Preoperative surgery through 3d printing model are more accurately positioning anterior cruciate ligament femoral check points. The mean length of the femoral bone tunnel measured by preoperative surgery was (43.2 ± 2.13) mm, by intraoperative measurement (43.7 ± 1.75) mm, by postoperative CT measurement again (42.4 ± 3.25) mm, and there was no significant difference ($P > 0.05$). Preoperative Lysholm score was (46.2 ± 5.73) points while postoperative Lysholm score was (88.4 ± 6.25) points, and there were significant differences ($P < 0.05$). Conclusion: 3D printed model preoperative surgery can assist in the rapid and accurate positioning of the anterior cruciate ligament femoral insertion during arthroscopy. The fit between the model and the solid bone tunnel is high, and the postoperative efficacy is excellent.

Key Words: Knee arthroscopy; Anterior cruciate ligament; 3d printing; Computed tomography (CT)

0 前言

膝关节前交叉韧带 (Anterior Cruciate Ligament, ACL) 损伤为常见的运动损伤^[1-3], 前交叉韧带损伤后膝关节的旋转稳定性大大下降。故对于年轻且有运动需求的患者, 往往需要进行前交叉韧带重建。但是

很多前交叉韧带重建术后患者仍然不能恢复运动甚至影响日常活动, 这与前交叉韧带重建的位置不佳有密切关系。随着 3D 打印技术的发展, 其优势已越来越被临床手术重视^[4,5]。国外已有文献报道了其应用优势^[6], 而国内尚未报道。本研究对 15 例运动

收稿日期: 2018-12-05

基金项目: 上海市体育科技综合计划项目(18Z007); 浦东新区卫生系统重点专科项目(PWZk2017-25)。

第一作者简介: 罗树林, 男, 主治医师。主要研究方向: 骨科。E-mail: 18502116399@163.com。

* 通信作者简介: 尹峰, 硕士。主要研究方向: 骨科。E-mail: 001yinfeng@sina.com。

作者单位: 同济大学附属东方医院, 上海 200120。

损伤导致的前交叉韧带断裂患者,通过3D打印技术辅助关节镜下前交叉韧带重建手术,术后效果优良。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

选择2017年12月至2018年5月同济大学附属东方医院收治的15例运动损伤导致的膝关节前交叉韧带断裂患者,其中篮球运动损伤5例,足球运动损伤4例,羽毛球运动损伤6例,男10例,女5例;平均年龄33.4岁。纳入标准:(1)患者年龄在17~60岁;(2)存在明确的膝关节不稳症状;(3)单侧膝关节初次前交叉韧带重建患者;(4)术前核磁共振检查明确前交叉韧带断裂。排除标准:(1)合并后交叉韧带、内侧副韧带等其他韧带损伤者;(2)核磁共振检查不明确前交叉韧带断裂者;(3)怀疑膝关节感染者。

1.2 方法

本研究中,膝关节前交叉韧带重建术式均采用自体腘绳肌腱4股单束固定,固定方式为股骨侧股骨端统一采用Endobutton(英国,施乐辉)固定,胫骨端采用挤压螺钉固定。所有病例术前均进行膝关节Lysholm评分和CT扫描,使用320排计算机断层扫描(日本,东芝)对患者膝关节平扫加重建,扫描参数为管电压120 kV,管电流250 mA、0.5 mA,1 mm/层,骨算法重建。机器操作及图像重建由同一位影像科专业人员完成。使用MIMICS19.0对影像进行处理,并设计股骨骨隧道导板(图1),采用FDM(Fused Deposition Modeling)3D打印机打印膝关节模型及导板(图2),通过模型进行膝关节前交叉韧带重建预手术,定位股骨止点位置,同时测量股骨骨隧道长度。在实体操作时,采用膝前外侧、前内侧入路,将导板经前内侧入路进入,如发生导板不贴服,可采用前内下入路插入导板(图3),定位前交叉韧带股骨止点,经胫骨骨隧道或前内侧入路进行股骨骨隧道钻孔开口,并再次测量骨隧道长度以选择Endobutton 祥的长度,保证韧带在骨隧道内侧长度大于20 mm。韧带重建完成后屈伸膝关节检查是否存在髁间窝撞击,如发生韧带撞击则需进行髁间窝成形。本研究中均未发生撞击情况。术后处理:卡盘支具固定于伸直位,术后即开始股四头肌等长收缩及直腿抬高肌力练习,2周后逐步开放支具角度,每周约开放15°进行膝关节屈伸锻炼,至6周时完全开放卡盘支具限制角度,佩戴支具逐步负重,4个月去除支具进行训练,6个月后允许进行对抗训练。

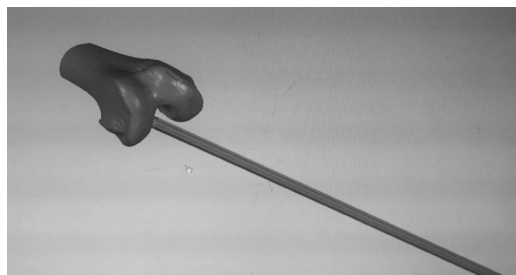


图1 膝关节图像重建及导板设计

Figure 1 Knee Joint Image Reconstruction and Guide Plate Design

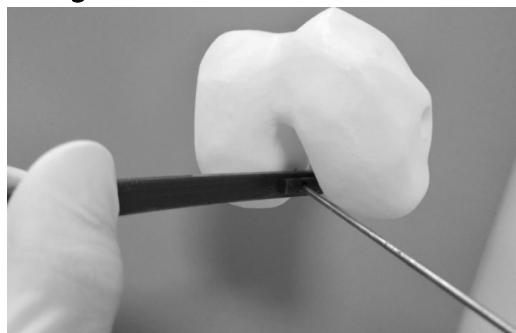


图2 3D打印实物及操作

Figure 2 3D Printing Objects and Operation

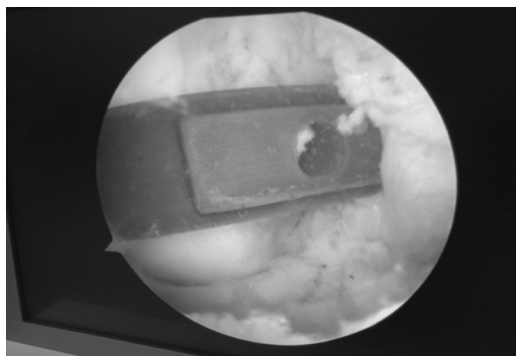


图3 关节镜下操作

Figure 3 Arthroscopic Operation

1.3 主要观察指标

术后进行膝关节CT扫描,再次测量股骨骨隧道长度,术后6个月时再次进行Lysholm评分。

1.4 统计学分析

采用SPSS21.0统计软件进行数据处理。计量资料用 $\bar{X} \pm s$ 表示,组内比较采用配对样本T检验, $P < 0.05$ 为差异有显著性意义。

2 结果

本研究所有15例病例均获6个月以上随访,无深静脉血栓、感染、固定物松动等并发症,关节粘连一例,经康复治疗无进展,于术后4个月时予以静脉麻醉下手法松解,术后6个月时膝关节屈伸角度恢



复正常。3D 打印膝关节模型测量股骨骨隧道平均长度为 (43.2 ± 2.13) mm,术中测量 (43.7 ± 1.75) mm,术后再次 CT 测量骨隧道长度为 (42.4 ± 3.25) mm,差异无显著性意义($P<0.05$) (见表 1),肌腱在股骨骨隧道内侧长度约为 (19.8 ± 3.6) mm,术前 Lysholm 评分 (46.2 ± 5.73) 分,术后 Lysholm 评分 (88.4 ± 6.25) 分,差异有显著性意义($P<0.05$)。

表 1 3D 模型、术中、术后 CT 骨隧道长度测量结果(N=15)
Table I 3D Model, Intraoperative and Postoperative CT Bone Tunnel Length Measurement Results (N=15)

组别	骨隧道 /mm
3D 模型	43.2±2.13
术中	43.7±1.75
3D 模型	43.2±2.13
术后 CT	42.4±3.25
术中	43.7±1.75
术后 CT	42.4±3.25*

注:*表示 $P<0.05$ 。

3 讨论

前交叉韧带对维持膝关节稳定性尤其运动时的旋转稳定性有重要作用。前交叉韧带部分损伤者,建议进行刺激增强手术而非重建手术^[7]。本研究的研究对象为前交叉韧带完全断裂患者,此类患者往往需要通过手术进行韧带重建。前交叉韧带重建术后仍有约 10% 的失败率^[8],关于移植肌腱主要采用自体髌腱及腘绳肌腱移植,其优劣仍存在争议^[9-11]。目前认为前交叉韧带重建的关键及难点在于股骨止点的定位^[12-14]。膝关节镜手术是通过器械操作,且非直视下手术,而股骨髁间窝外侧壁的狭小空间亦增加了前交叉韧带重建的难度。不同于关节置换、骨折等直视下手术,在进行膝关节镜前交叉韧带股骨止点定位时,无法进行多次的重复钻孔定位,而对初学者而言,由于非直视手术,镜下感觉的调整使得定位往往不准确。李盛等认为精确的前交叉韧带三维空间结构能为重建手术提供术前参考、术中定位及术后随访,提高手术准确性,完善手术评估,减少并发症。同时,随着计算机技术的发展,前交叉韧带三维空间结构还能进行有限元分析,获得前交叉韧带的生物力学数据,为移植物的选择提供参考,但无预手术的经验优势^[15]。本研究术前进行 3D 打印原尺寸膝关节模型,在进行关节镜手术前,先在模型上进行预手术,增加了术者对该膝关节大小形态的熟悉与适应能力。而通过设计 3D 导板,对术者尤其初学膝关节镜手术医生而言,降低了股骨前交叉韧带止点的定位难度与定位时间,

避免了定位过前的垂直韧带形成及定位过后导致的髁间窝后壁爆裂等并发症,从而提高手术成功率。在前交叉韧带股骨骨隧道测量时,由于视野遮挡及空间限制,测量往往不太准确,笔者以往进行股骨骨隧道开孔时,为避免钻破股骨外侧皮质,肌腱隧道长度往往偏短,Endobutton 无法顺利拉出股骨外侧皮质,增加了手术时间。腱骨愈合是前交叉韧带重建的重要衡量标准。虽然大量文献报道了使用诸如生物制剂、物理刺激、移植物固定方式等可以增加腱骨愈合成功率^[16-18],保证肌腱在骨隧道内的足够长度才是腱骨愈合的基础。一般认为,保证股骨骨隧道移植物的长度为 20 mm 对于腱骨愈合是安全的^[19]。而对于初学者而言,前交叉韧带股骨骨隧道移植物的长度往往很难得到保证。而本研究通过在术前模型上直视下测量股骨骨隧道长度,在术前即模拟出骨隧道位置及长度,保证其足够的腱骨接触长度,对于术中股骨骨隧道的测量可以提供较好的参照,这样既保证了腱骨愈合率,又增加了骨隧道成形的成功率,从而缩短手术时间。通过对 3D 模型组、术中组、术后 CT 组股骨骨隧道的测量数据比较,3 组之间无明显差异,故认为 3D 打印技术辅助下建立股骨骨隧道的一致性较好,通过术前的预测量及术中的再次检测,可基本保证术后的腱骨愈合要求。

而术后核磁共振扫描显示前交叉韧带重建位置均较为满意,未发现“垂直韧带”的情况。李宏云等发现随着时间的推移,自体四股腘绳肌重建前交叉韧带术后腱骨愈合程度逐渐提高,临床功能评分逐渐改善,腱骨愈合水平与临床膝关节功能评分之间存在明显相关性^[20],本研究结果与此基本相同。但本研究未将术后股骨骨隧道宽度改变纳入研究,其亦是影响术后移植物愈合的重要因素。虽然 3D 打印技术可以提供良好的手术参照,但模型与实体仍然存在一定误差,而导板在实体应用时受软组织影响亦可导致偏差,故建议在关节镜手术时不可盲目依据导板进行定位,在定位前、定位后、骨隧道成形前均需进行“double check”。尤其在肌腱已经固定后,如发现存在髁间窝撞击,建议进行髁间窝成形术以避免后期韧带断裂导致重建失败。国内学者认为虽然 3D 打印生物材料研究取得了重要进展,但现有打印材料存在着明显的不足,如费用昂贵、打印精度不够、生物降解性能不佳等问题^[21]。故手术时应充分考虑患者费用问题及导板材质问题,避免材料断裂于关节腔内或钻孔时遗留的材料碎屑未清理干净导致关节感染、异物感等。虽然通过 3D 打印技术辅助下可以较快速地完成膝关节前交叉韧带重建手术,但术后



的康复依旧是非常重要的,证据表明连续被动活动不能增加最终活动度,早期承重可以减少髌股关节疼痛,术后康复不会增加关节肿胀及安全活动范围内疼痛,建议术后第6周进行股四头肌开链训练^[22]。本研究中一例发生术后粘连,考虑原因为术后未进行较系统的康复锻炼所致,经手法松解后恢复良好。

综上,3D打印模型预手术可以辅助关节镜术中较准确的定位前交叉韧带股骨止点,有效节省手术时间,且术后疗效优良,可提高临床上前交叉韧带重建手术的成功率及患者满意度,未来对于膝关节其他韧带重建,如后交叉韧带重建、前交叉韧带双束重建均有应用价值,但本技术提高了医疗成本及医疗时间,且手术时存在3D打印材料污染风险,临床也应予以重视。

参考文献:

- [1] Lynch T. S., Parker R. D., Patel R. M., et al. The impact of the Multicenter Orthopaedic Outcomes Network (MOON) research on anteriorcruciate ligament reconstruction and orthopaedic practice[J]. *J. Am. Acad. Orthop. Surg.*, 2015,23:154-163.
- [2] Gianotti S. M., Marshall S. W., Hume P. A., et al. Incidence of anterior cruciate ligament injury and other knee ligamnt injuries;a hational population based study [J]. *J. Sci. Med. Sport.*, 2009, 12(6):622-627.
- [3] 刘玉,王燎,刘晓娜,等.青少年急性膝关节创伤性骨髓异常与创伤机制及软组织损伤的关系[J].*体育科研*, 2017,38(6):60-66.
- [4] 刘伟,黄健.3D打印技术在关节置换方面的应用研究及进展[J].*中国组织工程研究*,2017,21(7):1123-1130.
- [5] 纪颖,马晨光,方秉华,等.3D打印技术在骨科临床应用中的感知研究[J].*中国医院管理*,2017,37(5):39-41.
- [6] Wang L., Lin L., Yong F. Anterior cruciate ligament reconstruction and cartilage contact forces—A 3D computational simulation[J]. *Clinical Biomechanics*, 2015, 30(10):S0268003315002193.
- [7] Dallo I., Chahla J., Mitchell J. J., et al. Biologic Approaches for the Treatment of Partial Tears of the Anterior Cruciate Ligament: A Current Concepts Review[J]. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 2017,5 (25).
- [8] Grossman M. G., Attrache N. S., Shields C. L., et al. Revision anterior crueiate ligament reconstruction:three to nine year follow up[J]. *Arthroscopy*,2005,21:418-423.
- [9] David W., Ujash S., Alison C., et al. A Systematic Review of Failed Anterior Cruciate Ligament Reconstruction With Autograft Compared With Allograft in Young Patients[J]. *Sports Health*, 2015,7(3):207-216.
- [10] Abrams G. D., Harris J. D., Gupta A. K., et al. Functional Performance Testing After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review[J]. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 2014,2(1):1-10
- [11] Schilaty N. D., Nagelli C., Bates N. A., et al. Incidence of Second Anterior Cruciate Ligament Tears and Identification of Associated Risk Factors From 2001 to 2010 Using a Geographic Database[J]. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 2017, 5(8).
- [12] Chambat P., Guier C., Sonnery C. B., et al. The evolution of ACL reconstruction over the last rift years[J]. *Int. Orthop.*, 2013, 37(21):181-186.
- [13] Fithian D. C., Paxton E. W., Stone M. L., et al. Prospective trial of A treatment algorithm for the management of the anterior crueiate ligament-injured knee[J]. *Am. J. Sports Med.*, 2005, 33(3):335-346.
- [14] Markatos K., Kaseta M. K., Lallo S. N., et al. The anatomy of the ACL and its importance in ACL reconstruction [J]. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.*,2013, 23:747-752.
- [15] 李盛,吴冰,崔家鸣,等.前交叉韧带三维空间结构的研究进展[J].*中国运动医学杂志*,2016,35(8):780-783.
- [16] Kiapour A. M., Fleming B. C., Proffen B. L., et al. Sex Influences the Biomechanical Outcomes of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in a Preclinical Large Animal Model[J]. *The American Journal of Sports Medicine*, 2015, 43(7):1623-1631.
- [17] Atesok K., Fu F. H., Wolf M. R., et al. Augmentation of tendon-to-bone healing.[J]. *Journal of Bone & Joint Surgery American Volume*, 2014, 96(6):513-521.
- [18] Ettinger M., Schumacher D., Calliess T., et al. The biomechanics of biodegradable versus titanium interference screw fixation for anterior cruciate ligament augmentation and reconstruction[J]. *International Orthopaedics*, 2014, 38(12):2499-2503.
- [19] Greis P. E., Burks R. T., Bachus K., et al. The Influence of Tendon Length and Fit on the Strength of a Tendon-Bone Tunnel Complex[J]. *The American Journal of Sports Medicine*, 2001, 29(4):493-497.
- [20] 李宏云,李宏,陈疾忤,等.MRI评估前交叉韧带重建术后腱骨愈合情况的研究[J].*体育科研*,2017,38(1):63-67.
- [21] 杨道朋,夏旭. 3D打印生物材料研究及其临床应用优势[J].*中国组织工程研究*,2017,21(18):2927-2933.
- [22] Wright R. W., Haas A. K., Joy A., et al. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Rehabilitation : MOON Guidelines[J]. *Sports Health*, 2015, 7(3):239-243.

(责任编辑:刘畅)