

# 基于 Mimics 的三维 CT 重建评估不同技术重建前交叉韧带的骨隧道位置

俞涵<sup>1,2</sup>, 黄成龙<sup>2</sup>, 陈嘉毅<sup>2</sup>, 孔祥嘉<sup>1,2</sup>, 任朋<sup>2</sup>, 徐红伟<sup>2</sup>, 宋丹丹<sup>2</sup>, 陈刚<sup>2</sup>

(1.浙江中医药大学第四临床医学院, 浙江 杭州 310053; 2.嘉兴学院附属第二医院骨科, 浙江 嘉兴 314000)

**【摘要】** 目的: 比较改良经胫骨隧道(modified transtibial, MTT)技术与经前内侧入路(anteromedial portal, AM)技术进行单束前交叉韧带重建的骨隧道定位情况。方法: 回顾性分析 2017 年 1 月至 2020 年 9 月进行单束前交叉韧带重建的 78 例患者的临床资料。其中 39 例采用 MTT 技术重建(MTT 组), 男 25 例, 女 14 例, 年龄(37.0±2.3)岁; 39 例采用 AM 技术重建(AM 组), 男 27 例, 女 12 例, 年龄(37.5±2.2)岁。术后 1 周内行膝关节 CT 平扫, 运用 Mimics 软件测量并比较两组患者股骨隧道中心点的相对位置百分比(Fx、Fy), 胫骨冠状面骨隧道中心点的相对位置百分比(Tx1), 胫骨矢状面骨隧道中心点的相对位置百分比(Ty1)及胫骨轴面骨隧道中心点的相对位置百分比(Tx2、Ty2)。结果: 78 例患者均成功重建骨隧道, MTT 组患者的 Fx、Fy 分别为 (25.2±2.1)%、(34.9±3.0)%; Tx1、Ty1 分别为 (45.5±3.3)%、(44.7±3.0)%; Tx2、Ty2 分别为 (47.0±3.0)%、(39.9±4.2)%。AM 组患者的 Fx、Fy 分别为 (26.0±2.0)%、(36.1±3.9)%; Tx1、Ty1 分别为 (46.5±3.1)%、(45.6±3.1)%; Tx2、Ty2 分别为 (47.4±2.5)%、(39.6±3.9)%。两组骨隧道中心点的相对位置百分比比较差异均无统计学意义( $P>0.05$ ), 两组患者均获得解剖重建。结论: 采用改良经胫骨隧道技术和经前内侧入路技术重建前交叉韧带, 均可实现解剖重建, 骨隧道位置无明显差异。

**【关键词】** 前交叉韧带; 解剖重建; 三维重建; Mimics 软件

中图分类号: R684

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2021.12.007

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



**Bone tunnel positions in anterior cruciate ligament reconstruction evaluated by three-dimensional CT reconstruction based on Mimics software: modified transtibial versus anteromedial portal technique** YU Han, HUANG Cheng-long, CHEN Jia-yi, KONG Xiang-jia, REN Peng, XU Hong-wei, SONG Dan-dan, and CHEN Gang\*. \*Department of Orthopaedics, the Second Affiliated Hospital of Jiaxing College, Jiaxing 314000, Zhejiang, China

**ABSTRACT Objective:** To compare the femoral and tibial tunnel positions of anterior cruciate ligament reconstruction using the modified transtibial (MTT) technique and anteromedial (AM) portal technique. **Methods:** Between January 2017 and September 2020, 78 patients with anterior cruciate ligament rupture underwent single-bundle reconstruction with the modified transtibial technique in 39 cases (group MTT) and through anteromedial approach in 39 cases (group AM). There were 25 males and 14 females in group MTT, with an average age of (37.0±2.3) years old; 27 males and 12 females in group AM, with an average age of (37.5±2.2) years old. CT scan of the affected knee was conducted one week after the surgery to measure and compare the femoral tunnels positioning (Fx, Fy), tibial tunnels positioning in the frontal plane (Tx1), tibial tunnels positioning in the sagittal plane (Ty1), and tibial tunnels positioning in the axial plane (Tx2, Ty2) in patients undergoing anterior cruciate ligament reconstruction through Mimics software. **Results:** Three-dimensional CT reconstruction after the surgery showed that the average Fx and Fy were (25.2±2.1)% and (34.9±3.0)% respectively and the Tx1 and Ty1 were (45.5±3.3)% and (44.7±3.0)% respectively, while the Tx2 and Ty2 were (47.0±3.0)% and (39.9±4.2)% respectively in group MTT. In group AM, the average Fx and Fy were (26.0±2.0)% and (36.1±3.9)% respectively and the Tx1 and Ty1 were (46.5±3.1)% and (45.6±3.1)% respectively, while the Tx2 and Ty2 were (47.4±2.5)% and (39.6±3.9)% respectively. There were no statistically significant differences in the femoral and tibial tunnels between the two groups ( $P>0.05$ ). Patients in both two groups obtained anatomic anterior cruciate ligament reconstruction. **Conclusion:** Both the MTT and AM technique can achieve good anatomical positioning of the femoral and tibial tunnels, without significant differences in the positioning of the bone tunnels.

**KEYWORDS** Anterior cruciate ligament; Anatomic reconstruction; Three-dimensional reconstruction; Mimics software

基金项目: 浙江省医药卫生科技项目(编号: 2018PY068)

Fund program: Medical and Health Technology Program of Zhejiang Province (No. 2018PY068)

通讯作者: 陈刚 E-mail: adcy@aliyun.com

Corresponding author: CHEN Gang E-mail: adcy@aliyun.com

前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 损伤, 保守治疗远期效果欠佳, 故现多主张手术治疗<sup>[1]</sup>。ACL 重建是治疗 ACL 损伤的首选术式<sup>[2]</sup>, 常用的钻孔技术有经胫骨隧道 (transtibial, TT) 技术和经前内侧入路 (anteromedial portal, AM) 技术<sup>[3]</sup>。随着 ACL 重建的理念由“过顶位重建”“等长重建”向“解剖重建”转变, 许多学者通过传统 TT 技术和 AM 技术的对比研究认为, 传统 TT 技术相对于 AM 技术, 很难获得满意的骨隧道<sup>[4-5]</sup>。但有些学者<sup>[6-7]</sup>通过对 TT 技术进行改良, 发现采用改良经胫骨隧道 (modified transtibial, MTT) 技术也能获得满意的骨隧道。两种技术重建的实际骨隧道定位情况仍缺少对比研究, 因此, 本研究回顾性分析 2017 年 1 月至 2020 年 9 月运用 MTT 技术或 AM 技术进行单束 ACL 重建患者的临床资料, 通过 Mimics 软件进行三维重建并测量骨隧道中心点的相对位置百分比, 进一步评价两种技术分别对骨隧道定位的影响。

1 资料与方法

1.1 临床资料与分组方法

纳入 2017 年 1 月至 2020 年 9 月的 ACL 损伤患者 78 例, 所有手术由同一位高年资膝关节镜手术医生完成。采用 MTT 技术重建的患者共 39 例 (MTT 组), 男 25 例, 女 14 例; 年龄 (37.0±2.3) 岁; 右膝 23 例, 左膝 16 例; 受伤至手术时间中位数 43 (10, 93) d; 运动伤 26 例, 交通伤 13 例; 合并半月板损伤 26 例, 软骨损伤 4 例。采用 AM 技术重建的患者共 39 例 (AM 组), 男 27 例, 女 12 例; 年龄 (37.5±2.2) 岁; 右膝 17 例, 左膝 22 例; 受伤至手术时间中位数 46 (15, 153) d; 运动伤 23 例, 交通伤 16 例; 合并半月板损伤 20 例, 软骨损伤 10 例。两组患者性别、年龄、受伤原因、受伤至手术时间等术前一般资料比较差异均无统计学意义 (P>0.05)。见表 1。

1.2 病例选择

诊断标准: (1) 前抽屉试验及 Lachman 试验阳性。(2) MRI 及关节镜检查显示 ACL 损伤。纳入标准: (1) 初次单侧 ACL 损伤。(2) 采用自体半腱肌、股薄肌腱单束重建 ACL。(3) 临床资料完整。排除标准:

(1) 既往有 ACL 手术史。(2) 多发韧带损伤。(3) 合并 Outerbridge III、IV 级膝关节骨关节炎。(4) 膝关节发育异常。

1.3 治疗方法

腰硬联合麻醉, 患者仰卧位, 麻醉后行膝关节体格检查, 大腿根部应用气囊式止血带止血, 屈膝悬吊床旁。两组分别建立手术入路, 镜下证实 ACL 断裂, 探查膝关节并处理关节内其他合并损伤。

1.3.1 MTT 组 (1) 将 ACL 胫骨残端的中心处 (经过外侧半月板前角游离缘的切线与胫骨内外侧髁间嵴连线垂线的交点) 作为胫骨隧道中心点进行定位。屈膝约 90°, 在胫骨隧道定位器引导下, 于胫骨结节内侧取腱切口处钻入克氏针作为导针, 根据肌腱束直径钻取胫骨隧道。胫骨隧道与胫骨矢状面约成 40° 角, 与胫骨纵轴约成 50° 角。(2) 将股骨外侧髁间嵴下方, ACL 股骨残端的中心处作为 ACL 解剖中心点进行定位。通过胫骨隧道, 钻入克氏针, 镜下评估克氏针在髁间窝外侧壁的位置与 ACL 解剖中心点的位置关系。若该位置与 ACL 解剖中心点的距离 <5 mm, 则继续钻入; 若位置不佳, 则重新定位。取直径 4.5 mm 空心钻沿克氏针钻透股骨外侧髁皮质, 形成骨隧道, 测深尺测量股骨隧道全长, 根据肌腱束直径及隧道长度, 使用相同直径的空心钻钻取股骨隧道。

1.3.2 AM 组 (1) 胫骨隧道制备方法与 MTT 组相同。(2) 将股骨外侧髁间嵴下方, ACL 股骨残端的中心处作为 ACL 解剖中心点进行定位。患肢极度屈膝至 120°, 根据定位标志点, 钻入克氏针。取直径 4.5 mm 空心钻由前内侧入路, 沿克氏针钻透股骨外侧髁皮质, 形成骨隧道, 随后钻取股骨隧道。

将肌腱束引入骨隧道, 两组股骨端均采用 TighRope (Arthrex, 美国) 固定, 胫骨端均采用可吸收挤压螺钉 (施乐辉, 英国) 固定, 镜下检查肌腱束张力及撞击情况。两组移植术均采用 4 股、直径 7~8 mm 的自体半腱肌、股薄肌腱。

1.4 观察项目与方法

测量并记录两组骨隧道中心点的相对位置百分比。术后 1 周内行患膝关节 CT 平扫, 将 DICOM 图

表 1 两组前交叉韧带损伤患者术前一般资料比较

Tab.1 Comparison of preoperative general data between two groups of patients with anterior cruciate ligament rupture

组别	例数	性别 (例)		年龄 (x±s, 岁)	患膝 (例)		受伤至手术时间 [M(QR), d]	受伤原因 (例)		软骨损伤 (例)		半月板损伤 (例)	
		男	女		右侧	左侧		运动伤	交通伤	有	无	有	无
MTT 组	39	25	14	37.0±2.3	23	16	43(10, 93)	26	13	4	35	26	13
AM 组	39	27	12	37.5±2.2	17	22	46(15, 153)	23	16	10	29	20	19
检验值		$\chi^2=0.231$		$t=-0.154$	$\chi^2=1.847$		$Z=-0.650$	$\chi^2=0.494$		$\chi^2=3.134$		$\chi^2=1.908$	
P 值		0.631		0.878	0.174		0.516	0.482		0.077		0.167	

像导入 Mimics 19.0。通过阈值分割、区域增长、空腔填充及三维建模等步骤获取三维模型，安排 2 名专业医生分别进行测量，最终测量值取两者的平均值。测量方法如下：(1)股骨隧道。经髁间窝顶线截除股骨内侧髁，显露股骨外侧髁内侧面的骨隧道内口位置。采用 Bernard 等<sup>[8]</sup>使用的改良象限法对股骨隧道中心点进行测量，计算股骨隧道的中心点在表格中 x 轴和 y 轴上的相对百分比 Fx、Fy(图 1a)。(2)胫骨隧道。根据 Lorenz 等<sup>[9]</sup>的研究方法，测量并计算胫骨隧道的中心点至胫骨内侧缘的距离与胫骨冠状面最大直径的相对百分比 Tx1(图 1b)；测量并计算胫骨隧道的中心点至胫骨前缘的距离与胫骨矢状面最大直径的相对百分比 Ty1(图 1c)；在胫骨轴面上对胫骨隧道进行测量，计算胫骨隧道的中心点在表格中 x 轴和 y 轴上的相对百分比 Tx2、Ty2(图 1d)。

1.5 统计学处理

应用 SPSS 25.0 软件进行统计分析。年龄、骨隧道中心点的相对位置百分比等定量资料采用 t 检验，受伤至手术时间的比较采用秩和检验；性别、受伤原因等定性资料采用卡方检验。检验水准为  $\alpha=0.05$ ，以  $P<0.05$  为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者股骨隧道的定位情况

两组患者股骨隧道中心点的相对位置百分比如表 2 所示，两组患者的股骨隧道中心点在 x 轴和 y

轴上的相对位置百分比(Fx、Fy)比较差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。MTT 组(图 2a)与 AM 组(图 3a)均实现股骨隧道的解剖定位。

2.2 两组患者胫骨隧道的定位情况

两组患者胫骨隧道中心点的相对位置百分比如表 2 所示。两组患者的胫骨隧道中心点至胫骨内侧缘的距离与胫骨冠状面最大直径的相对百分比(Tx1)比较差异无统计学意义( $P>0.05$ )；两组患者的胫骨隧道中心点至胫骨前缘的距离与胫骨矢状面最大直径的相对百分比(Ty1)比较差异无统计学意义( $P>0.05$ )；两组患者的胫骨隧道中心点在 x 轴和 y 轴上的相对位置百分比(Tx2、Ty2)比较差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。MTT 组(图 2b,2c,2d)与 AM 组(图 3b,3c,3d)均实现胫骨隧道的解剖定位。

3 讨论

3.1 不同骨隧道制备技术的优缺点

ACL 的解剖重建是 ACL 重建成功的重要因素，可使患者在术后获得较好的临床效果<sup>[10]</sup>。传统 TT 技术具有切口较小、对术者技术要求较低等优点，曾被普遍采用，但通过传统 TT 技术很难实现解剖重建，其制备的股骨隧道位置较高且移植物较垂直，控制旋转能力较差，易继发骨关节炎。AM 技术可灵活调整、准确定位股骨隧道位置，采用 AM 技术能较好地实现解剖重建，故临床医生倾向于采用 AM 技术重建 ACL<sup>[2,11]</sup>。但 AM 技术存在不少局限性，如重建的

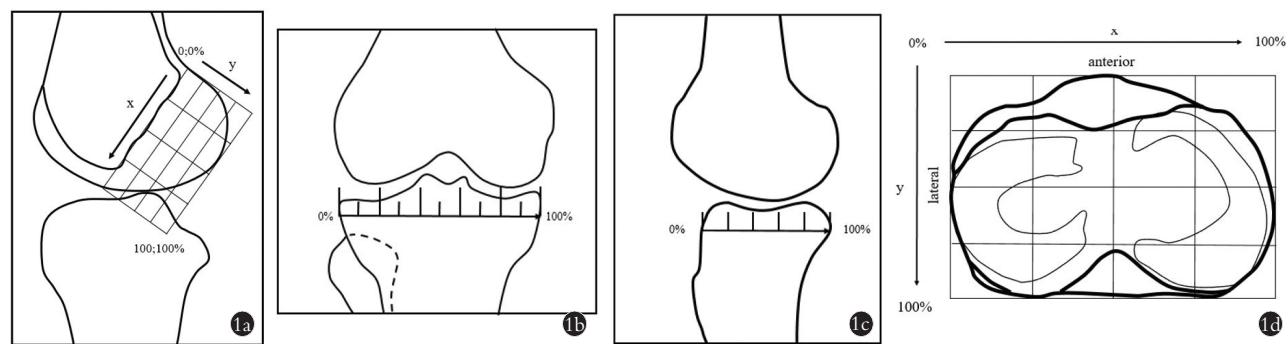


图 1 骨隧道测量的示意图 1a. 股骨矢状面 1b. 胫骨冠状面 1c. 胫骨矢状面 1d. 胫骨轴面  
Fig.1 Schematic diagram of bone tunnel measurement 1a. Sagittal plane of the femur 1b. Coronal plane of the tibia 1c. Sagittal plane of the tibia 1d. Axial plane of the tibia

表 2 两组患者骨隧道中心点的相对位置百分比的比较( $\bar{x}\pm s, \%$ )

Tab.2 Comparison of the relative position percentage of the bone tunnel center point between two groups( $\bar{x}\pm s, \%$ )

组别	例数	胫骨				股骨	
		Tx1	Ty1	Tx2	Ty2	Fx	Fy
MTT 组	39	45.5±3.3	44.7±3.0	47.0±3.0	39.9±4.2	25.2±2.1	34.9±3.0
AM 组	39	46.5±3.1	45.6±3.1	47.4±2.5	39.6±3.9	26.0±2.0	36.1±3.9
t 值		-1.328	-1.281	-0.605	0.340	-1.667	-1.540
P 值		0.188	0.204	0.547	0.734	0.100	0.128

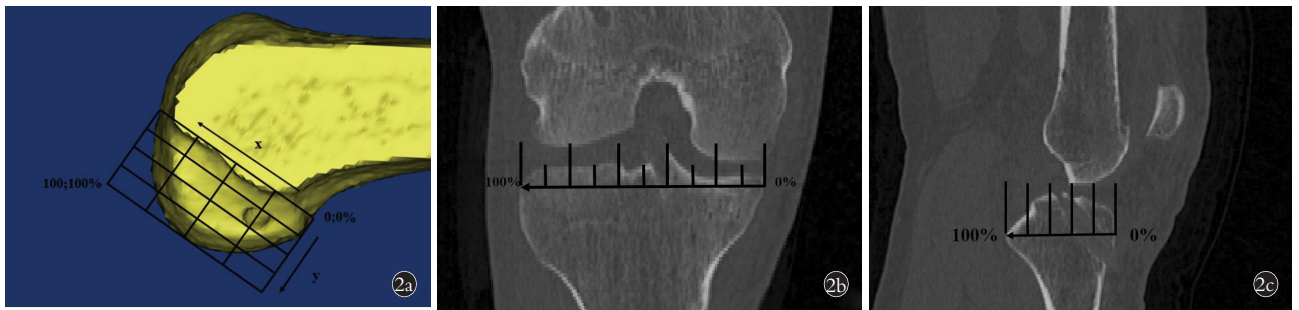


图 2 患者,男,36 岁,前交叉韧带损伤,采用 MTT 技术重建 2a. 股骨隧道 2b. 胫骨冠状面骨隧道 2c. 胫骨矢状面骨隧道 2d. 胫骨轴面骨隧道

Fig.2 A 36-year-old male patient, anterior cruciate ligament rupture treated with the modified transtibial technique 2a. The femoral tunnel 2b. Coronal bone tunnel of the tibia 2c. Sagittal bone tunnel of the tibia 2d. Axial bone tunnel of the tibia

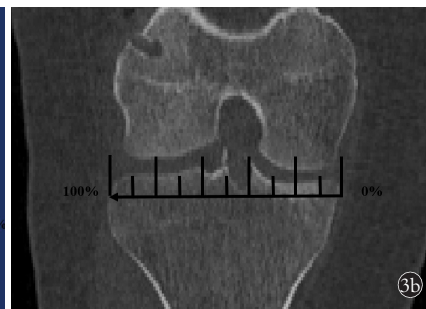
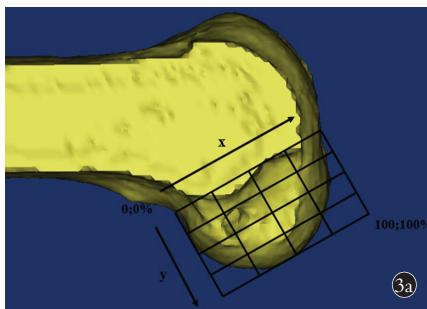
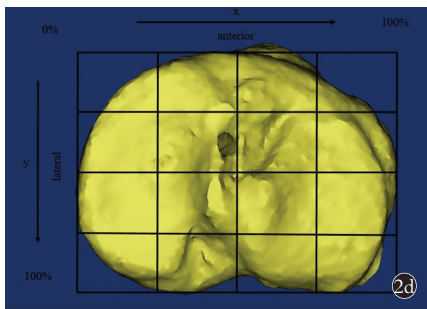
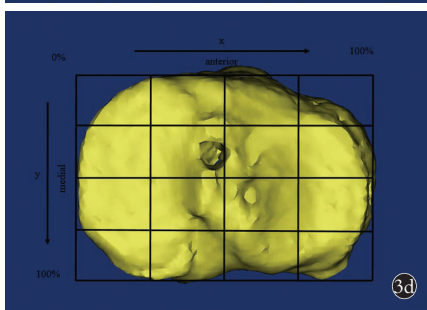


图 3 患者,男,39 岁,前交叉韧带损伤,采用 AM 技术重建 3a. 股骨隧道 3b. 胫骨冠状面骨隧道 3c. 胫骨矢状面骨隧道 3d. 胫骨轴面骨隧道

Fig.3 A 39-year-old male patient, anterior cruciate ligament rupture treated with the anteromedial portal technique 3a. The femoral tunnel 3b. Coronal bone tunnel of the tibia 3c. Sagittal bone tunnel of the tibia 3d. Axial bone tunnel of the tibia



股骨隧道较短<sup>[12]</sup>、后壁爆裂与股骨内侧髌软骨医源性损伤的风险较大<sup>[13]</sup>、极度屈膝及该技术学习曲线较长<sup>[3,13]</sup>等。而 MTT 技术具有手术切口较小、无须极度屈膝及避免产生较短的股骨隧道等优势,同时使股骨隧道出口远离股骨外上髌,减少髌股束刺激<sup>[6]</sup>。但 MTT 技术存在以下缺点:术中多次调整克氏针位置,手术时间较传统 TT 技术长,对术者技术要求较高;胫骨侧形成面积较大的骨隧道内口,可能导致移植物在关节腔内的暴露部分增多;胫骨隧道较短,可能导致移植物与隧道长度匹配不佳。不同术式有各自的优缺点,尚未有制备骨隧道的金标准。

### 3.2 两种技术重建的骨隧道定位情况

本次研究通过三维 CT 重建评估 MTT 技术与 AM 技术分别对骨隧道定位的影响,结果发现通过

两种钻孔技术均可获得良好的解剖隧道定位,骨隧道位置无明显差异。回顾文献,不少学者发现运用 MTT 技术也较好地实现股骨隧道的解剖定位,且通过 MTT 技术与 AM 技术制备的骨隧道位置无明显差异。Youm 等<sup>[14]</sup>通过屈伸膝关节调整导针顶点的位置,实现股骨隧道的解剖定位,但其在建立胫骨隧道时的胫骨纵轴成角与本次研究有 10°左右的偏差,可能是该研究中的胫骨隧道入口放置较远,需要较小的成角使导针顶点位于 ACL 股骨侧的解剖中心点。Zhao<sup>[6]</sup>的手术方法与本次研究 MTT 组的手术方法类似,通过术中合理调整克氏针在髌间窝外侧壁的位置与 ACL 解剖中心点的位置关系,证实了采用 MTT 技术可实现 ACL 的解剖重建。与文献报道<sup>[4-5]</sup>一致,由于 AM 技术制备股骨隧道较灵活,定位股骨隧道

较准确,AM 组的股骨隧道位于 ACL 股骨侧的解剖足印区内。可能由于胫骨隧道的定位相对简单,术中相对容易辨别残端的解剖止点、外侧半月板前角等解剖结构,这些解剖结构提高了胫骨隧道放置的准确性,本次研究中两组胫骨隧道无明显差异,均获得良好的解剖隧道定位。凡有非等<sup>[7]</sup>比较了 MTT 技术与 AM 技术重建的骨隧道位置及早期疗效,发现通过两种技术均可实现解剖重建且骨隧道位置无明显差异,术后早期疗效均较满意。但其尚未研究胫骨隧道的相对位置,且其样本量较本次研究小,股骨隧道的定位结果与本次研究存在差异。

如前所述,既往研究<sup>[2,7]</sup>在 ACL 解剖单束重建的骨隧道相对位置百分比的测量值上仍存在争议,可能与以下因素有关:(1)三维重建模型的矢状切面对股骨隧道位置的评估产生影响<sup>[15]</sup>,以往测量的矢状面可能不同,骨隧道中心点的测量值存在差异。(2)测量医生均对 Blumensaat 线进行线性拟合,但 Blumensaat 线起点与终点选定位置不同,近似线可能发生变化,Blumensaat 线倾斜度的变化影响测量的结果<sup>[16]</sup>。(3)对三维重建模型的骨隧道评估存在主观判断,骨隧道中心点的标记存在一定误差。为减少上述偏倚,本次研究安排 2 名专业医生记录,研究结果可为未来研究单束 ACL 解剖重建的骨隧道相对位置提供参考。

### 3.3 研究方法的可行性及展望

关于 ACL 单束重建与双束重建的优劣也存在争议,但 ACL 单束重建手术是目前 ACL 重建的主流术式,且只要骨隧道位置符合解剖结构,单束 ACL 重建与双束 ACL 重建均可获得良好的临床效果,且无明显差异<sup>[17]</sup>。因此,本次研究纳入单束重建 ACL 的患者作为研究对象。Mimics 软件能根据输入的二维图像数据建立三维模型,满足不同学者的个性化需求,是众多学者进行三维 CT 重建的常用软件。同时,三维 CT 重建为测量 ACL 重建的骨隧道位置提供较好的观察者与观察者间的可靠性,能可靠的用于 ACL 重建术后骨隧道的定位<sup>[18]</sup>,故本次研究运用三维 CT 重建评估骨隧道定位情况的方法具有较高的准确性和可重复性。此外,三维 CT 重建或许能为 MTT 技术注入新的活力,解决 MTT 技术对术者技术要求高、手术时间较长等缺点。如通过术中透视帮助临床医生评估前交叉韧带重建中骨隧道的位置,将三维 CT 重建的骨隧道定位结果作为术中透视定位的参考数据,降低解剖重建的难度<sup>[19]</sup>;术后三维 CT 重建的学习反馈可提高临床医生学习骨隧道放置的效率和骨隧道放置的准确性<sup>[20]</sup>,有利于缩短 MTT 技术的手术时间与学习曲线;未来 TT 技术可能通过三

维 CT 重建制作体外模具并应用于术中骨隧道的辅助定位,减少手术时间等。

### 3.4 研究的局限性

然而,本次研究是一个单中心的回顾性研究,缺少大样本量的对照研究,未考虑临床结果,如膝关节的稳定性、临床功能等,具有一定局限性。

综上所述,采用改良经胫骨隧道技术和经前内侧入路技术重建前交叉韧带,均可实现解剖重建,骨隧道位置无明显差异。其中改良经胫骨隧道技术在一定程度上克服经前内侧入路技术的局限性,但仍技术要求高、手术时间长等缺点,其作为常规术式仍需进一步研究。

### 参考文献

- [1] Yucens M, Aydemir AN. Trends in anterior cruciate ligament reconstruction in the last decade: a web-based analysis[J]. J Knee Surg, 2019, 32(6): 519-524.
- [2] Iriuchishima T, Goto B. Systematic review of surgical technique and tunnel target points and placement in anatomical single-bundle ACL reconstruction[J]. J Knee Surg, 2021, 34(14): 1531-1538.
- [3] Eysturoy NH, Nielsen TG, Lind MC. Anteromedial portal drilling yielded better survivorship of anterior cruciate ligament reconstructions when comparing recent versus early surgeries with this technique[J]. Arthroscopy, 2019, 35(1): 182-189.
- [4] Çilolu O, Çiçek H, Yılmaz A, et al. Comparison of clinical and radiological parameters with two different surgical methods for anterior cruciate ligament reconstruction[J]. J Knee Surg, 2020, 33(9): 938-946.
- [5] Geng Y, Gai P. Comparison of 2 femoral tunnel drilling techniques in anterior cruciate ligament reconstruction. A prospective randomized comparative study[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2018, 19(1): 454.
- [6] Zhao JZ. Anatomical single-bundle transtibial anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Arthrosc Tech, 2020, 9(9): e1275-e1282.
- [7] 凡有非, 夏胜, 尤琳, 等. 前交叉韧带重建中不同入路制备股骨骨道的对比研究[J]. 中国运动医学杂志, 2019, 38(10): 839-844.
- [8] FAN YF, XIA S, YOU L, et al. Comparison of two femoral tunnel drilling techniques in the anterior cruciate ligament reconstruction [J]. Zhongguo Yun Dong Yi Xue Za Zhi, 2019, 38(10): 839-844. Chinese.
- [9] Bernard M, Hertel P, Hornung H, et al. Femoral insertion of the ACL. Radiographic quadrant method[J]. Am J Knee Surg, 1997, 10(1): 14-21.
- [10] Lorenz S, Elser F, Mitterer M, et al. Radiologic evaluation of the insertion sites of the 2 functional bundles of the anterior cruciate ligament using 3-dimensional computed tomography[J]. Am J Sports Med, 2009, 37(12): 2368-2376.
- [11] Diermeier TA, Rothrauff BB, Engebretsen L, et al. Treatment after ACL injury: panther symposium ACL treatment consensus group [J]. Br J Sports Med, 2021, 55(1): 14-22.
- [12] Robinson J, Inderhaug E, Harlem T, et al. Anterior cruciate ligament femoral tunnel placement: an analysis of the intended versus

- achieved position for 221 international high-volume ACL surgeons [J]. *Am J Sports Med*, 2020, 48(5): 1088-1099.
- [12] 李智尧, 齐峥嵘, 马立峰, 等. 前交叉韧带重建中股骨隧道过短者的临床疗效 [J]. *中国骨伤*, 2019, 32(12): 1097-1101.  
LI ZY, QI ZR, MA LF, et al. Clinical results of arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction with short femoral tunnel [J]. *Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma*, 2019, 32(12): 1097-1101. Chinese with abstract in English.
- [13] Matthewson G, Macdonald P. Techniques for femoral socket creation in ACL reconstruction [J]. *Sports Med Arthrosc Rev*, 2020, 28(2): 56-65.
- [14] Youm YS, Cho SD, Lee SH, et al. Modified transtibial versus anteromedial portal technique in anatomic single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction; comparison of femoral tunnel position and clinical results [J]. *Am J Sports Med*, 2014, 42(12): 2941-2947.
- [15] Miyaji N, Araki D, Hoshino Y, et al. The sagittal cutting plane affects evaluation of the femoral bone tunnel position on three-dimensional computed tomography after anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2021, 29(2): 398-404.
- [16] Iwasaki K, Inoue M, Kasahara Y, et al. Inclination of Blumensaat's line influences on the accuracy of the quadrant method in evaluation for anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 28(6): 1885-1893.
- [17] Aga C, Risberg MA, Fagerland MW, et al. No difference in the KOOS quality of life subscore between anatomic double-bundle and anatomic single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction of the knee; a prospective randomized controlled trial with 2 years' follow-up [J]. *Am J Sports Med*, 2018, 46(10): 2341-2354.
- [18] Kim DH, Lim WB, Cho SW, et al. Reliability of 3-dimensional computed tomography for application of the Bernard quadrant method in femoral tunnel position evaluation after anatomic anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *Arthroscopy*, 2016, 32(8): 1660-1666.
- [19] Seo SS, Kim CW, Lee CR, et al. Intraoperative fluoroscopy reduces the variability in femoral tunnel placement during single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 28(2): 629-636.
- [20] Sirleo L, Innocenti M, Innocenti M, et al. Post-operative 3D CT feedback improves accuracy and precision in the learning curve of anatomic ACL femoral tunnel placement [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2018, 26(2): 468-477.

(收稿日期: 2021-03-26 本文编辑: 连智华)