

# 单束类等长重建前交叉韧带术后骨道位置及直径变化

郑维蓬<sup>1</sup> 刘治军<sup>1</sup> 魏合伟<sup>1△</sup> 万雷<sup>1</sup> 陈胜<sup>1</sup> 廖志浩<sup>1</sup> 赵国源<sup>2</sup> 胡伟坚<sup>2</sup>

**[摘要]** 目的:探讨前交叉韧带类等长重建术后骨道的位置及其直径变化的情况。方法:回顾性分析2016年1月至2019年12月关节镜下单束类等长重建前交叉韧带的患者43例。所有患者术后1周内给予X线片检查,并测量胫骨和股骨骨道位置。术后12个月随访时给予X线片检查,并测量胫骨和股骨骨道位置和直径,所得数据进行统计分析。结果:根据X线片上骨道直径的测量结果,将患者分为骨道扩大组与非扩大组,两组间骨道直径比较,差异有统计学意义( $P<0.05$ )。扩大组在矢状位上胫骨骨道位置为 $34.56\%\pm2.16\%$ ,冠状位上胫骨骨道位置为 $42.97\%\pm4.37\%$ ;非扩大组在矢状位上胫骨骨道位置为 $38.62\%\pm3.07\%$ ,冠状位上胫骨骨道位置为 $45.42\%\pm5.73\%$ 。Bernard象限法测量扩大组的股骨骨道位置为 $30.78\%\pm4.45\%$ 和 $38.80\%\pm9.20\%$ ,非扩大组的股骨骨道位置为 $27.28\%\pm3.47\%$ 和 $22.25\%\pm5.58\%$ 。Segawa方法测量扩大组的股骨骨道位置为 $29.20\%\pm4.06\%$ ,非扩大组的股骨骨道位置为 $26.53\%\pm3.61\%$ 。扩大组与非扩大组在X线片的冠状面上,胫骨骨道内口相对位置的测量结果差异无统计学意义( $P=0.124$ );其他测量结果相比差异有统计学意义( $P<0.05$ )。结论:骨道位置与骨道扩大两者具有一定相关性;在一定范围内为减小骨道扩大的程度,股骨骨道位点应尽可能在足印区范围内偏后略高的位置,而胫骨骨道位点不应追求过于偏前,这对于单束前交叉韧带类等长重建术后评估有一定的指导意义。

**[关键词]** 骨;前交叉韧带;重建;骨道位置;直径变化

**[中图分类号]** R686.1 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1005-0205(2021)09-0040-06

## Study on the Location and Diameter Change of Bone Tunnel after Single Bundle Isometric Reconstruction of Anterior Cruciate Ligament

ZHENG Weipeng<sup>1</sup> LIU Zhijun<sup>1</sup> WEI Hewei<sup>1△</sup> WAN Lei<sup>1</sup>

CHEN Sheng<sup>1</sup> LIAO Zhihao<sup>1</sup> ZHAO Guoyuan<sup>2</sup> HU Weijian<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The Third Affiliated Hospital of Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine, Guangzhou 510375, China;

<sup>2</sup>Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine, Guangzhou 510006, China.

**Abstract Objective:** To investigate the location and diameter change of bone tunnel after isometric reconstruction of Anterior Cruciate Ligament (ACL). **Methods:** 43 patients with ACL reconstruction by arthroscopy were selected and retrospectively analyzed from January 2016 to December 2019. All patients were given X-ray examination within 1 week after operation, and the position of tibia and femoral tunnel was measured. X-ray examination was performed and the diameter of tibial and femoral tunnel was measured after operation for 1 year. **Results:** According to the measurement results of X-ray, the patients were divided into two groups: the enlarged group and the non-enlarged group. After comparison of bone canal diameter between the two groups, there was significant difference ( $P<0.05$ ). In the enlarged group, the position of tibial

tunnel in sagittal position was  $34.56\%\pm2.16\%$ , and that in coronal view was  $42.97\%\pm4.37\%$ . In non-enlargement group, the position of tibial tunnel in sagittal position was  $38.62\%\pm3.07\%$ , and that in coronal view was  $45.42\%\pm5.73\%$ . The position of femoral tunnel measured by Bernard quadrant method was  $30.78\%\pm4.45\%$  and  $38.80\%\pm9.20\%$  in enlarged group, and that in non-enlargement group was  $27.28\%\pm3.47\%$  and  $22.25\%\pm5.58\%$ . The position

基金项目:广东省中医药科研项目(20191178)

广东省中医药科研项目(20170283)

广州中医药大学第三附属医院创新基金项目  
(SY2015001)

<sup>1</sup> 广州中医药大学第三附属医院(广州, 510375)

<sup>2</sup> 广州中医药大学

<sup>△</sup>通信作者 E-mail: whwhou@163.com

of femoral tunnel measured by Segawa method was  $29.20\% \pm 4.06\%$  in enlarged group and  $26.53\% \pm 3.61\%$  in non-enlargement group. By comparing the coronal plane of X-ray film between the enlarged group and the non-enlarged group, there were no significant differences in the measurement results of the relative position of tibial canal internal opening ( $P=0.124$ ). There were significant differences in other measurement results ( $P<0.05$ ). **Conclusion:** There was a certain correlation between the location of bone tunnel and the enlargement of bone tunnel. In order to reduce the expansion of the bone tunnel in a certain range, the femoral bone tunnel should be slightly higher to the back in the footprint area, while the tibial bone tunnel should not be too forward, which can be of guiding significance for the postoperative evaluation of single bundle ACL isometric reconstruction.

**Keywords:** bone; anterior cruciate ligament; reconstruction; location and diameter change of bone tunnel; diameter change

前交叉韧带 (Anterior Cruciate Ligament, ACL) 是膝关节重要的稳定性结构之一,其损伤断裂会造成膝关节前向不稳和部分旋转稳定性的丧失,常引起半月板、关节软骨等结构的继发性损伤,严重影响膝关节功能<sup>[1-2]</sup>。关节镜下 ACL 重建术是治疗前交叉韧带损伤的“金标准”,而骨道的位置及扩大的状态都是影响手术效果的重要因素<sup>[3-5]</sup>。因此,如何正确评估 ACL 重建术后骨道的位置及其扩大情况进行测量与评估,旨在为临床治疗提供参考依据,现报告如下。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

收集 2016 年 1 月至 2019 年 12 月广州中医药大学第三附属医院运动医学科 ACL 断裂患者 43 例,其中男 26 例,女 17 例;年龄 22~49 岁;病程 1 周~18 个月。所有患者经关节镜下证实 ACL 断裂并行单束类长重建,合并有半月板及软骨等结构损伤者,同时给予修复。手术均由 2 名高年资主刀医生操作且采用相同术式。术后 1 周内及术后 12 个月分别给予 X 线片检查,由两名主治医师对影像进行测量。

### 1.2 诊断标准

采用前交叉韧带损伤的临床诊断标准<sup>[6]</sup>:1)运动伤病史;2)查体 Lachman 试验阳性;3)磁共振显示前交叉韧带损伤。

### 1.3 纳入标准

1)符合上述诊断标准;2)年龄 18~50 岁;3)手术适应证明确,且单侧膝关节 ACL 重建者;4)同意参与本研究,签署知情同意书。

### 1.4 排除标准

1)无明显外伤史者;2)MRI 检查不支持 ACL 断裂者;3)膝关节骨骼发育异常或者骨折者。患者只要满足排除标准中的任意一条,就必须被排除在研究范围之外。

### 1.5 方法

#### 1.5.1 股骨及胫骨骨道定位方法

1)股骨骨道内口定位:极度屈膝位,使用股骨定位器经前内侧入路 (Anteromedial Portal, AM) 定位于髁间窝外侧壁过顶点前远方约 7 mm (类等长点) 处打入导针至股骨外髁皮肤外。然后使用直径 4.5 mm 空心钻钻穿骨皮质,预定骨道内移植物的合适长度,拔出空心钻,使用股骨空心钻头制备粗骨道,清理骨道内碎屑,完成股骨道的制备。2)胫骨骨道内口定位:从 AM 入路插入胫骨骨道“点对点”定位器,定位点位于外侧半月板前角游离缘与胫骨内侧髁间嵴连线上,即原 ACL 足印区的中后部,距离后交叉韧带前缘前方大约 7 mm 处。胫骨骨道内口位置确定后,将定位器勾尖勾住定位点,摆动定位尾端以调整隧道的方向,通过体外观察,调整胫骨骨道与矢状面成  $30^\circ$ ,与胫骨纵轴成角  $45^\circ \sim 50^\circ$ 。

1.5.2 移植物的选择及固定方式 移植韧带为自体腘绳肌腱(同侧半腱肌腱和股薄肌腱)4 股单束或 5 股单束(见图 1),长度一般为 75~85 mm,胫骨端直径为 7~9 mm,股骨端直径为 6~8 mm。股骨端固定方式为 TighRope (Arthrex 公司,美国)悬吊固定,胫骨端为可吸收界面挤压螺钉、门形钉栓桩混合固定。

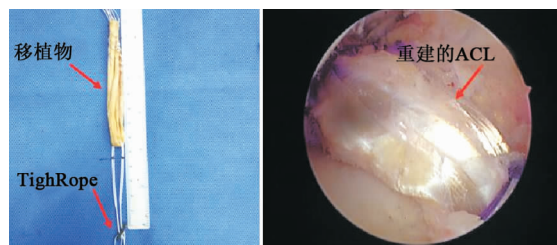


图 1 单束的 ACL 移植体、TighRope 及关节镜下重建后的 ACL 形态

1.5.3 影像观察 所有随访对象在术后 1 周内及术后 12 个月随访时均行膝关节标准正侧位 X 线检查 (日本岛津 R SPEED M 型数字化 X 线摄影系统 DR 机)。图像可在“东软”医学影像系统调用,软件自带比例尺,并已经进行放大率的矫正,还可提供直线、角度的测量。测量范围包括胫骨骨道位置及其直径,股骨骨道位置及其直径。

1.5.4 X 线片测量骨道位置的方法 股骨骨道位置测量:1)第一种方法采用 Bernard 象限法<sup>[7]</sup>, Blumen-

saat 线通过股骨髁间窝顶部,FG 线为通过骨道中心 E 且平行于 Blumensaat 线,JI 线为通过骨道中心 E 且垂直于 Blumensaat 线。在矢状面的 X 线片上,骨道中心点 E 的位置为外侧髁前后径水平的(EG/FG)%,距离髁间窝顶的高度为(EI/JI)%(见图 2c)。2)第二种方法采用 Segawa<sup>[8]</sup>的方法测量股骨骨道中心相对于 Blumensaat's 线长度的比例。在矢状面的 X 线片上,骨道中心点 E 的位置为(HK/HL)%(见图 2a)。

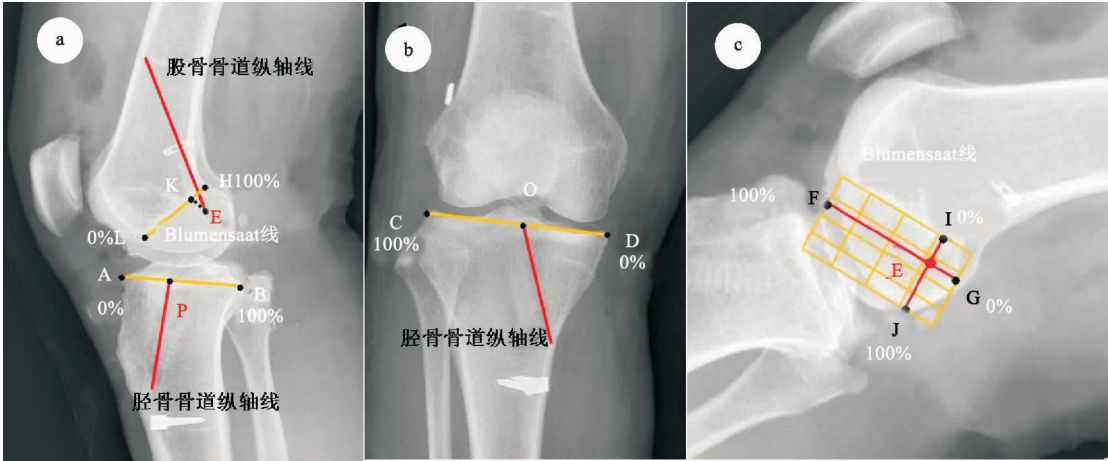


图 2 股骨骨道和胫骨骨道位置测量方法图示

**1.5.5 X 线片测量骨道直径的方法** 胫骨端和股骨端分别测量骨道关节内入口处直径,测量值为骨道的两个硬化壁之间最长的距离(见图 3)。测量的胫骨和股骨骨道的直径,取其最大值与重建手术时制作骨道的钻头直径进行对比,来评估骨道扩大的程度。骨道直径减去钻头直径为骨道扩大的绝对值,再以此数值除以钻头直径,得到的数值为骨道扩大的百分数。

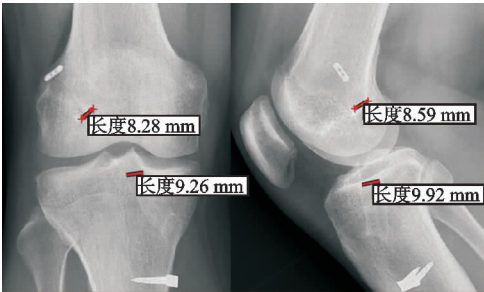


图 3 股骨骨道和胫骨骨道直径测量方法图示

**1.5.6 测量及评价方法** 骨道扩大情况根据 Peyra-

che 等<sup>[9]</sup>提出的分级方法进行评定,将骨道扩大等级分为 4 级:0 级为<2 mm,1 级为 2~4 mm,2 级为 4~6 mm,3 级为≥6 mm。一般认为骨道直径扩大绝对值大于 2 mm 或百分值大于 30% 为骨道扩大<sup>[10]</sup>。根据测量的结果,将所有患者分为扩大组和非扩大组,比较两组患者骨道位置。

**1.6 统计学方法**

采用 SPSS 19.0 统计软件对所得数据进行统计处理,计量资料的比较采用 *t* 检验,多组间比较若资料符合正态分布且方差齐用单因素方差分析,检验水准  $\alpha = 0.05$ 。

**2 结果**

**2.1 骨道测量情况**

根据骨道宽度测量结果,将患者分为骨道扩大组与非扩大组,两组间骨道直径比较,差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ),见表 1。

表 1 骨道扩大组与非扩大组间直径比较及两组骨道扩大的百分数( $\bar{x} \pm s$ )

| 组别       | 胫骨端            |                | 股骨端            |                |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|          | 冠状位            | 矢状位            | 冠状位            | 矢状位            |
| 扩大组      | (10.71±0.58)mm | (11.08±0.51)mm | (10.10±0.66)mm | (10.20±0.45)mm |
|          | 30.34%±5.56%   | 35.08%±3.86%   | 35.14%±6.11%   | 35.54%±4.89%   |
| 非扩大组     | (9.95±0.52)mm  | (10.33±0.57)mm | (9.72±0.27)mm  | (9.29±0.47)mm  |
|          | 18.67%±4.42%   | 21.66%±5.29%   | 20.39%±3.26%   | 21.96%±2.56%   |
| <i>t</i> | 4.531          | 4.679          | 2.406          | 6.422          |
| <i>P</i> | <0.001         | <0.001         | 0.021          | <0.001         |

注:所有患者术后骨道均有不同程度的扩大,但非扩大组骨道扩大的百分数均小于 30%。

2.2 骨道扩大与骨道位置变化的关系

扩大组与非扩大组在 X 线片冠状面上胫骨骨道内口相对位置的测量结果无显著性差异( $P=0.124$ );其他测量结果差异有统计学意义( $P<0.05$ ),见表 2。

表 2 骨道扩大组与非扩大组间骨道位置比较( $\bar{x}\pm s, \%$ )

| 组别       | 胫骨骨道内口相对位置 |            | 股骨骨道内口相对位置  |             |            |
|----------|------------|------------|-------------|-------------|------------|
|          | 矢状面上       | 冠状面上       | Bernard 象限法 | Bernard 象限法 | Segawa 方法  |
|          | 比例         | 比例         | 长度比例        | 高度比例        | 长度比例       |
| 扩大组      | 34.56±2.16 | 42.97±4.37 | 30.78±4.45  | 38.80±9.20  | 29.20±4.06 |
| 非扩大组     | 38.62±3.07 | 45.42±5.73 | 27.28±3.47  | 22.25±5.58  | 26.53±3.61 |
| <i>t</i> | 5.071      | 1.573      | 2.739       | 6.584       | 2.194      |
| <i>P</i> | <0.001     | 0.124      | 0.009       | <0.001      | 0.034      |

3 讨论

利用 X 线片对 ACL 重建术后骨道位置及骨道扩大情况的评价是一种经济实用的方法,一般以骨道内口中心所处位置相对于解剖标志距离的比例来表示骨道位置。而对于骨道直径的测量需待骨道壁硬化后进行,测量的结果用于评价骨道扩大情况。本研究通过测量单束类等长重建 ACL 术后骨道位置及骨道直径,研究骨道位置与骨道扩大情况的关系,试图寻找合适的类等长重建位点,尽量减少术后骨道扩大程度。

ACL 重建术后骨道扩大的原因及其发生率存在争议。先前的研究表明 ACL 重建术后骨道扩大可能是移植物愈合的自然过程<sup>[11-12]</sup>,但是随着手术技术及生物力学因素方面对骨道扩大作用的深入研究,骨道扩大并不是受单一自然愈合因素影响,而是一个多方面因素综合作用的结果<sup>[13]</sup>。研究认为骨道增宽会影响移植物在骨道内的血管化及止点塑造过程,导致未成熟的移植物松弛或手术失败<sup>[14]</sup>。Okimura 等<sup>[15]</sup>研究了使用骨-髌腱-骨复合体(Bone Patellar Tendon-bone,BTB)移植重建 ACL,在不同时间点进行随访,术后胫骨隧道扩大程度是最小的,且胫骨隧道扩大与隧道内 BTB 移植物腱部长度无关。陈永良等<sup>[3]</sup>研究表明 ACL 术后骨道扩大现象对膝关节功能无影响,这与 Tajima 等<sup>[16]</sup>研究相似。但也有研究者认为骨道扩大不利于腱-骨愈合,最终会使移植物松弛,从而引起膝关节不稳,使患膝的功能康复受到影响,如 Klein 等<sup>[17]</sup>的研究显示骨道扩大程度与 Lysholm 评分有关。尽管骨道扩大与术后临床疗效相关性研究尚无统一观点,但是笔者认为应尽量减少骨道扩大对临床效果可能潜在的负面影响。本研究术后采用 X 线片测量均出现了不同程度骨道的扩大,但并未出现严重的骨道扩大情况(见表 1)。分析可能原因为考虑总体上采用类等长重建技术,股骨骨道类等长位点兼顾了解剖点的优势,此位点能增加膝关节旋转和平移稳定性,有利于恢复正常 ACL 的屈伸活动,移植物承受的不良应力较小,自然对骨道的作用力量也较小。另外,可能与 Tightrope 的可调节性袢环有关,其使骨道无需预留翻袢空间,移植物固定后可紧密贴合骨道底部,消除腔

隙,使腱-骨接触更密切。不仅具备强大的抗拔出载荷,而且减少了移植物微动所产生的“蹦极效应”和“雨刷效应”,减少了骨道扩大的程度,可见选择合适的骨道位置及内固定物对减少骨道扩大程度具有重要意义。

近年来随着对 ACL 足印区解剖特点的不断研究,术中骨道的定位理念及重建技术不断更新<sup>[18]</sup>。早期的“解剖重建”更多是模仿真实的解剖止点,功能上分两束重建,被认为更接近正常的生物力学性能,消除“轴移”效应,从而更有效地恢复膝关节前后及旋转稳定性<sup>[19]</sup>。然而许多长期随访结果表明,“解剖重建”的远期失败率较高,其原因很可能是因为股-胫骨道内口间距不等长及移植物本身问题所致<sup>[20-21]</sup>。事实上,大多数 ACL 重建技术都是基于 ACL 的足印区解剖特点建立骨道。使用单束重建技术时,股骨骨道定位在整个足印区的中心,而使用双束重建技术,则分别定位在前内束和后外束的中心位置。然而,由于 ACL 解剖特点复杂,使用中央位点或双束位点恢复足印区的方法受到了挑战。双束解剖重建时放置后外侧束区域的移植物在运动范围内显示大约 1 cm 的长度变化,会出现张力不平衡,最终由于过度牵拉而失效;相比之下,单束解剖重建时放置中央位点区域的移植物则显示不同程度长度变化<sup>[22-23]</sup>。另外,生物力学研究证明移植物放置在足印区过于偏后,在某些情况下会导致较高的移植物张力,导致其断裂<sup>[24]</sup>,可见骨道位置对移植物等长等张及解剖重建功能至关重要。

原生的 ACL 在膝关节活动过程中也并非完全等长,研究显示膝关节伸展过程中,原生的 ACL 大约有 3 mm 的长度变化<sup>[25]</sup>。随着人们对 ACL 的解剖特征和足印区部位的重新认识,提出了一种接近解剖结构及等长的 ACL“足印区重建”的方法,即“类等长重建”<sup>[26]</sup>,其生物力学原理是 ACL 移植物在整个膝关节屈伸范围内保持相对等长的功能。多项研究阐明 ACL 移植物的等长特性在很大程度上取决于股骨的位置<sup>[27]</sup>。本研究采用单束类等长重建 ACL,将股骨道定位于过顶点前远方约 7 mm 处,即位点覆盖了原生 ACL 的直接纤维区域,偏心地位于足印区的前部

(高)和近端(深)区域,这更有利于移植物低张力状态,并可实现移植物相对等长重建,与 Pearle 等<sup>[28]</sup>的研究类似。根据 Bernard 象限法,扩大组测出的股骨骨道位置位于 Blumensaat's 线水平的股骨外髁长度的  $30.78\% \pm 4.45\%$ ,高度的上  $38.80\% \pm 9.20\%$ ;非扩大组测出的股骨骨道位置位于 Blumensaat's 线水平的股骨外髁长度的  $27.28\% \pm 3.47\%$ ,高度的上  $22.25\% \pm 5.58\%$ 。根据 Segawa 方法,扩大组测出的股骨骨道位于 Blumensaat's 线长度的  $29.20\% \pm 4.06\%$ ;非扩大组测出的股骨骨道位于 Blumensaat's 线长度的  $26.53\% \pm 3.61\%$ 。其实 Bernard 象限法和 Segawa 方法测量结果是相似的。虽然扩大组和非扩大组基本位于股骨足印区的范围内,但两者的位点比较差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。本研究表明扩大组的位点较非扩大组的位点相对偏前及偏下的位置,骨道定位有偏差可能会使移植物张力改变,从而加重移植植物在骨道内的微动,引起较大的“雨刷效应”或“蹦极效应”,造成移植物对骨道拽拉力增大,从而引起较为明显的骨道扩大。另外,股骨骨道位置过于偏前容易引起移植物与髁间窝撞击,这种异常撞击力量通过移植植物传递到骨道,导致骨道扩大;而股骨骨道位置过于偏下容易导致移植物不等长,伸屈承受的张力变化太大,造成骨道的压应力较大,骨道容易扩大。

目前有研究认为 ACL 的胫骨止点在侧位片上位于胫骨平台约  $30\% \sim 43\%$  之间,而稳定性较好的位于  $37\%$  左右<sup>[29]</sup>。Moisala 等<sup>[30]</sup>进行前瞻性的研究得出在矢状位上胫骨骨道的最佳位置是  $32\% \sim 37\%$ ,这与本研究的结果相符。本研究测量胫骨骨道的位置显示,扩大组与非扩大组在 X 线片冠状面上胫骨骨道内口相对位置的测量结果分别为  $42.97\% \pm 4.37\%$  和  $45.42\% \pm 5.73\%$ ,两者比较差异无统计学意义( $P = 0.124$ ),而在矢状位上扩大组为  $34.56\% \pm 2.16\%$ ,非扩大组为  $38.62\% \pm 3.07\%$ ,两者比较差异有统计学意义( $P < 0.001$ )。可见扩大组的位点较非扩大组过于偏前内位置。实际上,胫骨骨道的位置在不出现撞击的情况下适当偏前内较好。但是胫骨骨道定位点过于偏前内位置却容易引起移植物与股骨髁间窝撞击,导致移植物承受不良应力,这可能是引起骨道增宽的原因。

本研究结果表明,为得到较理想的骨道位置及避免骨道过度扩大,保持移植物相对等长及低张力的情况下,股骨骨道位点应该在足印区范围内偏后略高的位置;胫骨骨道位点太过于偏前内位置,容易产生撞击引起骨道扩大。这对于单束 ACL 类等长重建术后评估可能有一定的意义,但骨道扩大与临床疗效是否具有明显相关性,最终的结论仍需要更大量样本、更长期

全面的随访研究。

## 参考文献

- [1] CHEN H T, CHEN B, TIE K, et al. Single-bundle versus double-bundle autologous anterior cruciate ligament reconstruction: a meta-analysis of randomized controlled trials at 5-year minimum follow-up[J]. J Orthop Surg Res, 2018, 13(1): 50.
- [2] EKÅS G R, LAANE M M, LARMO A, et al. Knee pathology in young adults after pediatric anterior cruciate ligament injury: a prospective case series of 47 patients with a mean 9.5-year follow-up[J]. Am J Sports Med, 2019, 47(7): 1557-1566.
- [3] 陈永良, 徐丛, 吕永明. 关节镜下前交叉韧带重建术后骨隧道扩大与临床疗效的关系[J]. 实用医学杂志, 2015, 31(4): 634-637.
- [4] 林圆, 徐斌, 涂俊, 等. 自体单束前交叉韧带移植重建不同股骨隧道位置对髌股关节的影响[J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(14): 2140-2146.
- [5] 张浩沙强, 刘挺, 闫磊, 等. 单骨道单, 双束同种异体肌腱移植重建前交叉韧带的临床结果比较与治疗体会[J]. 临床检验杂志(电子版), 2019, 8(4): 151-152.
- [6] 冯华, 姜春岩. 实用骨科运动损伤临床诊断[M]. 2 版. 北京: 人民军医出版社, 2012: 3-14.
- [7] 郑维蓬, 魏合伟, 刘治军, 等. 三维重建 CT 与 X 射线片评价单束前交叉韧带类等长重建后骨隧道及移植物状态的比较[J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(18): 2881-2886.
- [8] 钱约男, 董伊隆, 姜刚毅, 等. 前交叉韧带解剖重建股骨隧道的 X 线测量与分析[J]. 温州医科大学学报, 2014, 44(8): 596-599.
- [9] 岐飞, 刘阳, 孙学斌. 由外向内法和前内侧入路法重建前交叉韧带对骨隧道扩大的影响[J]. 中国内镜杂志, 2021, 27(1): 22-27.
- [10] KARIKIS I, DESAI N, SERNERT N, et al. Comparison of anatomic double- and single-bundle techniques for anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendon autografts[J]. Am J Sports Med, 2016, 44(5): 1225-1236.
- [11] SURER L, YAPICI C, GUGLIELMINO C, et al. Fibrin clot prevents bone tunnel enlargement after ACL reconstruction with allograft[J]. Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy, 2016, 25(5): 1-6.
- [12] HATIPOLU M Y, BRCAN R, ZER H, et al. Radiographic assessment of bone tunnels after anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison of hamstring tendon and bone-patellar tendon-bone autografting technique[J]. Joint Diseases and Related Surgery, 2021, 32(1): 122.
- [13] YUE L, DEFRODA STEVEN F, SULLIVAN KAYLEIGH, et al. Mechanisms of bone tunnel enlargement following anterior cruciate ligament reconstruction[J]. JBJS Reviews, 2020, 8(4): 0120.
- [14] ISSIN A, ÖNER A, SOFU H, et al. Comparison of freeze-



- dried tibialis anterior allograft and four-strand hamstring autograft in anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica*, 2019, 53(1):45-49.
- [15] OKIMURA S, SHINO K, NAKAGAWA S, et al. Minimal tibial tunnel enlargement after anatomic rectangular tunnel anterior cruciate ligament reconstruction with bone-patellar tendon-bone graft[J]. *Journal of Orthopaedic Science*, 2020, 25(4):635-639.
- [16] TAJIMA T, YAMAGUCHI A, NAGASAWA M, et al. Early weight-bearing after anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring grafts induce femoral bone tunnel enlargement; a prospective clinical and radiographic study[J]. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 2019, 20(1):274.
- [17] DEBNATH A, RAMAN R, BANKA P, et al. Bone tunnel enlargement in anterior cruciate ligament reconstruction done using hamstring tendon autografts; a prospective clinical and computed tomography-based evaluation[J]. *Journal of Orthopedics, Traumatology and Rehabilitation*, 2018, 10(2):131-136.
- [18] 张腾, 胡晓青, 马勇, 等. 椭圆形骨道重建前交叉韧带股骨隧道的影像学研究[J]. *中国运动医学杂志*, 2017, 36(2):106-110.
- [19] YASUMA S, NOZAKI M, MURASE A, et al. Anterolateral ligament reconstruction as an augmented procedure for double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction restores rotational stability; quantitative evaluation of the pivot shift test using an inertial sensor[J]. *The Knee*, 2020, 27(2):397-405.
- [20] IRRGANG J J, TASHMAN S, MOORE C, et al. Comparison of clinical outcomes following anatomic single vs. double-bundle ACL reconstruction; a randomized clinical trial[J]. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 2017, 5(7\_suppl6). doi:10.1177/2325967117s00248.
- [21] MOORTHY V, SAYAMPANATHAN A A, TAN A H C. Superior postoperative stability and functional outcomes with anteromedial versus transtibial technique of single-bundle autologous hamstring anterior cruciate ligament reconstruction; a meta-analysis of prospective randomized controlled trials[J]. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related surgery*, 2021, 37(1):328-337.
- [22] MAROM N, KLEEBLAD L J, LING D, et al. Pre-operative static anterior tibial translation assessed on MRI does not influence return to sport or satisfaction after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *HSS Journal*, 2020, 16(2):475-481.
- [23] MAROM N, GREDITZ ER H G, ROUX M, et al. The incidence of kaplan fiber injury associated with acute anterior cruciate ligament tear based on magnetic resonance imaging[J]. *The American Journal of Sports Medicine*, 2020, 48(13):3194-3199.
- [24] MARKOLF K L, PARK S, JACKSON S R, et al. Anterior-posterior and rotatory stability of single and double-bundle anterior cruciate ligament reconstructions [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2009, 91(1):107-118.
- [25] MASSEY P, PARKER D, MCCLARY K, et al. Biomechanical comparison of anterior cruciate ligament repair with internal brace augmentation versus anterior cruciate ligament repair without augmentation[J]. *Clinical Biomechanics*, 2020, 77:105065.
- [26] 姜方宜, 张健, 陈世益. 前十字韧带类等长重建术中骨隧道位点研究的系统综述[J]. *中华骨科杂志*, 2019, 39(11):707-716.
- [27] FORSYTHE B, LANSDOWN D, ZUKE W A, et al. Dynamic 3-dimensional mapping of isometric anterior cruciate ligament attachment sites on the tibia and femur; is anatomic also isometric? [J]. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 2018, 34(8):2466-2475.
- [28] PEARLE A D, MCALLISTER D, HOWELL S M. Rationale for strategic graft placement in anterior cruciate ligament reconstruction; I. D. E. A. L. femoral tunnel position[J]. *American Journal of Orthopedics*, 2015, 44(6):253-258.
- [29] 林圆, 徐斌, 涂俊, 等. 自体单束前交叉韧带移植重建不同股骨隧道位置对髌股关节的影响[J]. *中国组织工程研究*, 2020, 24(14):2140-2146.
- [30] MOISALA A S, JRVEL T, HARILAINEN A, et al. The effect of graft placement on the clinical outcome of the anterior cruciate ligament reconstruction; a prospective study[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2007, 15(7):879-887.

(收稿日期:2021-02-03)