

## 膝关节后交叉韧带损伤解剖形态危险因素的影像学分析

王德宁<sup>1,2</sup>, 张克凡<sup>1,2</sup>, 石辉<sup>1</sup>, 杜长岭<sup>1</sup>, 王鑫<sup>2</sup><https://doi.org/10.12307/2024.057>

投稿日期: 2023-03-23

采用日期: 2023-05-05

修回日期: 2023-05-23

在线日期: 2023-06-19

中图分类号:

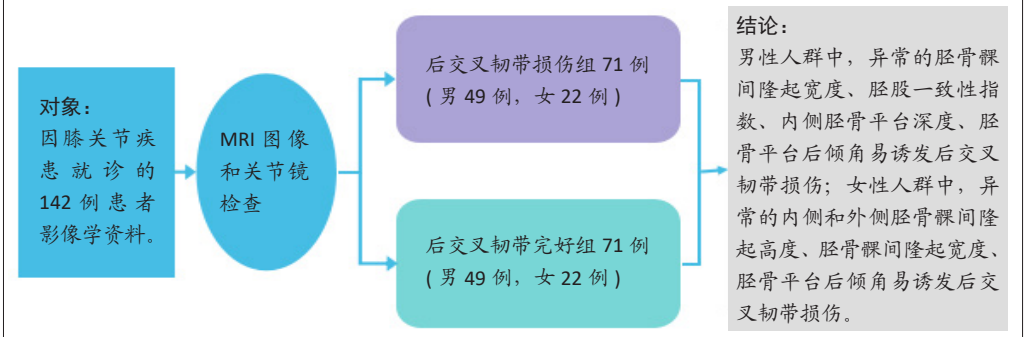
R459.9; R318; R686.5

文章编号:

2095-4344(2024)18-02887-08

文献标识码: A

## 文章快速阅读: 后交叉韧带损伤解剖形态的危险因素



## 文题释义:

**股骨一致性指数:** 采用胫骨髁间隆起宽度与股骨髁间窝宽度之比来描述胫骨髁间隆起与股骨髁间窝的匹配性, 以研究股骨髁间窝和胫骨髁间隆起之间的相互作用对后交叉韧带断裂危险程度的影响。

**胫骨平台后倾角:** 在膝关节X射线侧位片中, 测得胫骨平台线与胫骨解剖轴线垂线的夹角。其意义主要在于维持膝关节前、后交叉韧带的张力, 在关节屈伸运动时可以使股骨髁在胫骨平台上正常地滑动及滚动, 使膝关节更好的屈曲和伸展。

## 摘要

**背景:** 研究表明后交叉韧带损伤与膝关节解剖形态有关。

**目的:** 探究后交叉韧带损伤解剖形态的危险因素。

**方法:** 回顾性分析2015年1月至2022年8月因膝关节疾患来滨州医学院附属医院就诊的142例患者的影像学资料, 分为后交叉韧带损伤组( $n=71$ , 男49例, 女22例)与后交叉韧带完好组( $n=71$ , 男49例, 女22例)。在MRI图像上测量髁间窝宽度、髁间窝高度、股骨双髁宽度、髁间窝宽度指数、髁间窝夹角、Blumensaat 线倾角、内侧和外侧胫骨髁间隆起高度、胫骨髁间隆起宽度、股骨一致性指数、胫骨平台前后径、内侧胫骨平台深度、髌腱-胫骨解剖轴角, 在X射线片上测量胫骨平台后倾角。将上述指标纳入Logistic回归分析进行研究。

**结果与结论:** ①男性单因素Logistic回归分析发现胫骨髁间隆起宽度、股骨一致性指数、内侧胫骨平台深度、胫骨平台后倾角与后交叉韧带损伤相关( $P < 0.05$ ); 多因素二元Logistic回归分析发现股骨一致性指数、内侧胫骨平台深度与后交叉韧带损伤相关( $P < 0.05$ ); ②女性单因素Logistic回归分析发现内侧、外侧胫骨髁间隆起高度、胫骨髁间隆起宽度、胫骨平台后倾角与后交叉韧带损伤相关( $P < 0.05$ ); 多因素二元Logistic回归分析发现胫骨平台后倾角与后交叉韧带损伤相关( $P < 0.05$ ); ③受试者工作特征曲线显示, 股骨一致性指数、内侧胫骨平台深度、胫骨平台后倾角对后交叉韧带损伤有一定的预测价值; ④结果表明, 后交叉韧带损伤的解剖形态学危险因素存在性别差异, 胫骨髁间隆起宽度、胫骨平台后倾角是共同的危险因素; 在男性人群中, 异常的胫骨髁间隆起宽度、股骨一致性指数、内侧胫骨平台深度、胫骨平台后倾角易诱发后交叉韧带损伤, 而在女性人群中, 异常的内侧和外侧胫骨髁间隆起高度、胫骨髁间隆起宽度、胫骨平台后倾角易诱发后交叉韧带损伤; 临床医生可以运用上述危险因素识别膝关节异常形态, 评估出后交叉韧带损伤危险人群予以预防性建议并指导治疗。

**关键词:** 后交叉韧带; 解剖形态危险因素; 股骨髁; 胫骨平台; 解剖学; 影像学

## Imaging analysis of anatomical morphological risk factors for posterior cruciate ligament injury of the knee

Wang Dening<sup>1,2</sup>, Zhang Kefan<sup>1,2</sup>, Shi Hui<sup>1</sup>, Du Changling<sup>1</sup>, Wang Xin<sup>2</sup><sup>1</sup>Affiliated Hospital of Binzhou Medical University, Binzhou 256603, Shandong Province, China; <sup>2</sup>Binzhou Medical University, Yantai 264003, Shandong Province, China

Wang Dening, Master candidate, Affiliated Hospital of Binzhou Medical University, Binzhou 256603, Shandong Province, China; Binzhou Medical University, Yantai 264003, Shandong Province, China

Zhang Kefan, Master candidate, Affiliated Hospital of Binzhou Medical University, Binzhou 256603, Shandong Province, China; Binzhou Medical University, Yantai 264003, Shandong Province, China

Wang Dening and Zhang Kefan contributed equally to this work.

**Corresponding author:** Shi Hui, Associate chief physician, Affiliated Hospital of Binzhou Medical University, Binzhou 256603, Shandong Province, China<sup>1</sup> 滨州医学院附属医院, 山东省滨州市 256603; <sup>2</sup> 滨州医学院, 山东省烟台市 264003**第一作者:** 王德宁, 男, 1997年生, 山东省德州市人, 汉族, 滨州医学院在读硕士, 主要从事骨关节和运动医学方面的研究。**共同第一作者:** 张克凡, 男, 1998年生, 山东省滨州市人, 汉族, 滨州医学院在读硕士, 主要从事骨关节和运动医学方面的研究。**通讯作者:** 石辉, 副主任医师, 滨州医学院附属医院, 山东省滨州市 256603<https://orcid.org/0000-0000-3557-6948> (王德宁)**基金资助:** 山东省省级临床重点专科建设项目(SLCZDZK-0302), 项目负责人: 石辉**引用本文:** 王德宁, 张克凡, 石辉, 杜长岭, 王鑫. 膝关节后交叉韧带损伤解剖形态危险因素的影像学分析[J]. 中国组织工程研究, 2024, 28(18):2887-2894.

## Abstract

**BACKGROUND:** Studies have shown that posterior cruciate ligament injuries are associated with the anatomical morphology of the knee joint.

**OBJECTIVE:** To explore anatomical morphological risk factors for posterior cruciate ligament injury.

**METHODS:** The imaging data of 142 patients who visited Affiliated Hospital of Binzhou Medical University for knee joint problems from January 2015 to August 2022 were retrospectively analyzed. They were divided into posterior cruciate ligament injury group ( $n=71$ , including 49 males and 22 females) and posterior cruciate ligament intact group ( $n=71$ , including 49 males and 22 females). Intercondylar notch width, intercondylar notch height, bicondyle width, notch width index, angle of intercondylar notch, Blumensaat's line inclination angle, medial tibial spine height, lateral tibial spine height, tibial spine width, tibiofemoral consistency index, tibial plateau anterior-posterior diameter, medial tibial depth and patellar tendon-tibial shaft angle were measured on MRI images. Posterior tibial slope was measured on X-ray images. The above indicators were included in the logistic regression analysis for investigation.

**RESULTS AND CONCLUSION:** (1) Univariate logistic regression analysis in men showed that tibial spine width, tibiofemoral consistency index, medial tibial depth, and posterior tibial slope were associated with posterior cruciate ligament injury ( $P < 0.05$ ). Multivariate binary logistic regression analysis showed that tibiofemoral consistency index and medial tibial depth were associated with posterior cruciate ligament damage ( $P < 0.05$ ). (2) Univariate logistic regression analysis in women showed that medial tibial spine height, lateral tibial spine height, tibial spine width, and posterior tibial slope were associated with posterior cruciate ligament injury ( $P < 0.05$ ). Multivariate binary logistic regression analysis showed that posterior tibial slope was associated with posterior cruciate ligament damage ( $P < 0.05$ ). (3) The receiver operating characteristic curve showed that tibiofemoral consistency index, medial tibial depth and posterior tibial slope had a certain predictive value on posterior cruciate ligament damage. (4) These findings suggest that anatomical morphological risk factors for posterior cruciate ligament injury differ between men and women, and tibial spine width and posterior tibial slope are common risk factors. In the male population, abnormal tibial spine width, tibiofemoral consistency index, medial tibial depth, and posterior tibial slope are easy to induce posterior cruciate ligament injury. In the female population, abnormal medial tibial spine height, lateral tibial spine height, tibial spine width, and posterior tibial slope are easy to induce posterior cruciate ligament injury. Clinicians can use the above risk factors to identify abnormal knee morphology, assess people at risk of posterior cruciate ligament injury, and provide preventive advice and guidance for treatment.

**Key words:** posterior cruciate ligament; anatomical morphological risk factor; femoral condyle; tibial plateau; anatomy; imaging

**Funding:** Shandong Provincial Key Clinical Specialized Discipline Construction Project, No. SLCZDZK-0302 (to SH)

**How to cite this article:** WANG DN, ZHANG KF, SHI H, DU CL, WANG X. Imaging analysis of anatomical morphological risk factors for posterior cruciate ligament injury of the knee. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2024;28(18):2887-2894.

## 0 引言 Introduction

后交叉韧带是膝关节内最强大的韧带，从股骨内侧髁外侧延伸至胫骨后端，在所有屈曲角度下对胫骨后平移提供约束<sup>[1-2]</sup>。根据股骨止点的位置，后交叉韧带分为前外侧束和后内侧束<sup>[3-4]</sup>。后交叉韧带损伤多见于年轻人群，男性多于女性，最常见的损伤原因为体育活动和交通性损伤<sup>[5-7]</sup>，通常是胫骨受到过度向后的力<sup>[8]</sup>，断裂后会致膝关节后向不稳。后交叉韧带损伤与膝关节的解剖形态有关，VAN KUIJK等<sup>[9]</sup>发现髁间窝宽度较小与后交叉韧带损伤有关，而LIU等<sup>[10]</sup>、VAN KUIJK等<sup>[11]</sup>表明并未发现后交叉韧带破裂的患者有狭窄的髁间窝。LIU等<sup>[10]</sup>认为较大的冠状位髁间窝宽度指数是女性后交叉韧带损伤的最大危险因素，而HUANG等<sup>[12]</sup>指出髁间窝宽度指数降低与后交叉韧带损伤发生率升高有关，而VAN KUIJK等<sup>[11]</sup>研究得出后交叉韧带损伤组与对照组间冠状位髁间窝宽度指数无显著差异。基于生物力学和形态学研究，胫骨平台后倾角减小<sup>[13-15]</sup>、内侧胫骨平台深度变浅<sup>[12, 16]</sup>、胫骨髁间隆起高度降低最近被认为似乎是后交叉韧带病变的潜在危险因素<sup>[9]</sup>。这些发现表明了膝关节骨形态在后交叉韧带损伤中的重要性，然而由于后交叉韧带损伤发生率低，对有关后交叉韧带损伤的危险因素研究相对较少且无统一的共识。

当膝关节屈曲时，股骨后髁与胫骨平台接触，同时收紧后交叉韧带<sup>[12]</sup>。股骨远端与胫骨近端解剖形态及相互关系异常可能通过改变膝关节的运动学对后交叉韧带病变产生影响。因而，此次研究拟探讨后交叉韧带损伤和股骨远端、胫骨近端形态及相互作用的关系，通过影像学资料明确髁间窝的宽度、高度、夹角、股骨双髁宽度、胫骨髁间隆起宽度(tibial spine width, TSW)、内侧胫骨髁间隆起高度(medial tibial spine height, MTSH)、外侧胫骨髁间隆起高度(lateral tibial spine height, LTSH)、胫骨平台前后径、髁间窝宽度指数、

胫股一致性指数、Blumensaat线倾角、髁腱-胫骨解剖轴角、内侧胫骨平台深度、胫骨平台后倾角是否为后交叉韧带损伤的危险因素，以期研究损伤机制、预防和治疗后交叉韧带损伤提供参考依据。

## 1 对象和方法 Subjects and methods

**1.1 设计** 回顾性病例对照研究，采用 Logistic 回归分析得出后交叉韧带损伤的危险因素。

**1.2 时间及地点** 试验于 2015 年 1 月至 2022 年 8 月在滨州医学院附属医院完成。

**1.3 对象** 回顾性分析 2015 年 1 月至 2022 年 8 月因膝关节疾患就诊于滨州医学院附属医院的 142 例患者的影像学资料，分为后交叉韧带损伤组 [共 71 例，平均年龄 (32.13±8.41) 岁] 与后交叉韧带完好组 [共 71 例，平均年龄 (33.42±7.59) 岁]。

**纳入标准:** ①年龄 18-45 岁；②病史不超过 6 个月，膝关节损伤或不适应由体力劳动、体育活动中急停急转等非接触机制导致；③关节镜下探查明确后交叉韧带损伤或 MRI 明确排除后交叉韧带损伤；④膝骨关节炎 K-L 分级 ≤ 1 级；⑤除后交叉韧带外不存在其他韧带损伤。

**排除标准:** ①年龄 < 18 岁或 > 45 岁；②病史超过 6 个月，膝关节损伤由高处坠落、车辆碰撞等接触机制导致；③ MRI 或关节镜下探查明确存在后交叉韧带止点撕脱骨折；④膝骨关节炎 K-L 分级 > 1 级；⑤合并其他韧带损伤；⑥既往有膝关节疾患，如创伤、关节炎等；⑦ MRI、X 射线片不全。

后交叉韧带损伤组为经 MRI 检查和关节镜探查确诊后交叉韧带完全断裂或部分撕裂的患者，后交叉韧带完好组为经体格检查和 MRI 检查未发现明显损伤的患者。部分关节镜下或 MRI 图像中后交叉韧带形态相关资料展示见图 1-4。所有受试者对研究方案知情同意，此次研究获滨州医学院附属医院伦理委员会批准，批准号：KYL-2022-162。

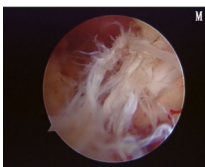


图 1 | 关节镜下右膝后交叉韧带损伤韧带形态异常、松弛、张力低、止点或体部撕裂等  
Figure 1 | Abnormal ligament morphology, laxity, low tension, insertion point or body tear after arthroscopic posterior cruciate ligament injury to the right knee

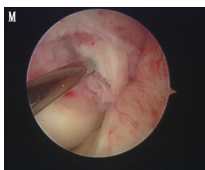


图 2 | 关节镜下左膝后交叉韧带损伤  
Figure 2 | Arthroscopic posterior cruciate ligament injury to the left knee



图 3 | MRI 图像中后交叉韧带损伤征象, 表现为后交叉韧带消失、变细、不连续、水肿增粗和信号异常  
Figure 3 | Signs of posterior cruciate ligament injury in MRI images. Presents with absent posterior cruciate ligament, thinning, discontinuity, edema coarsification, and abnormal signaling



图 4 | MRI 图像中完好后交叉韧带征象, 各序列均为低信号, 矢状位韧带为凸面向后的弓形, 边缘光滑  
Figure 4 | Signs of intact posterior cruciate ligament in MRI images. Each sequence is a low signal. The sagittal ligament is convex and posteriorly arched with smooth margins

1.4 方法 采用 GE Signa HDx 3.0T 或 Philips Ingenia 3.0T MR 扫描仪在患膝自然伸直非负重状态下进行膝关节矢状位、冠状位、轴位扫描, 层厚 4 mm。在 MRI pd-tse-fs-cor 序列中, 选取可以观察到腓肌腱沟和完整股骨髁的层面, 在腓肌腱沟水平测量髁间窝宽度、股骨双髁宽度, 髁间窝宽度和股骨双髁宽度之比即为髁间窝宽度指数<sup>[17-18]</sup>; 在该图像层面上, 沿胫骨内外侧平台画一直线, 内侧胫骨髁间隆起顶端到直线的垂直距离即 MTSH, 外侧胫骨髁间隆起顶端到直线的垂直距离即 LTSH<sup>[18]</sup>, 内外侧胫骨髁间隆起与直线形成的交点间的距离即 TSW<sup>[18-20]</sup>; TSW 和髁间窝宽度之比即为胫股一致性指数<sup>[18]</sup>(图 5)。同时, 在该图像层面上, 沿股骨内外侧髁软骨画一切线, 髁间窝顶至切线垂直距离即髁间窝高度<sup>[19]</sup>; 测量从髁间窝顶到髁间窝内、外侧缘的 2 条线间的夹角即髁间窝夹角<sup>[10]</sup>(图 6)。

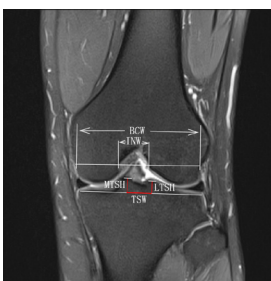


图 5 | 髁间窝宽度 (INW)、股骨双髁宽度 (BCW)、内侧胫骨髁间隆起高度 (MTSH)、外侧胫骨髁间隆起高度 (LTSH)、胫骨髁间隆起宽度 (TSW) 的测量方法  
Figure 5 | Measurement methods of intercondylar notch width, bicondyle width, medial tibial spine height, lateral tibial spine height and tibial spine width

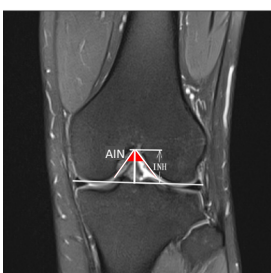


图 6 | 胫骨髁间隆起高度 (INH)、髁间窝夹角 (AIN) 的测量方法  
Figure 6 | Measurement methods of intercondylar notch height and angle of intercondylar notch

在 MRI pd-tse-fs-sag 序列中, 选择可以观察到髁间窝顶的层面, Blumensaat 线为画髁间窝顶部骨皮质的切线; 在股骨干远端画 2 个相距 5 cm 的股骨前后皮质的内切圆, 两圆心的连线为该层面的股骨干轴线, 测量 2 条线间的夹角即 Blumensaat 线倾角<sup>[10, 17]</sup>(图 7); 选择最全面的后交叉韧带胫骨附着视图, 在图像上测量胫骨平台前后径<sup>[21]</sup>(图 8); 在内侧胫骨平台中心图像上, 沿胫骨平台前后缘最高点画一直线, 再画直线的平行线切向凹陷的最低点, 2 条线间的垂直距离即内侧胫骨平台深度<sup>[12, 16]</sup>(图 9); 选择胫骨结节与髌腱观察清楚的层面, 该层面胫骨解剖轴线与髌腱线间的夹角即髌腱-胫骨解剖轴角<sup>[22]</sup>(图 10)。



图 7 | Blumensaat 线倾角 (BIA) 的测量方法  
Figure 7 | Measurement method of Blumensaat's line inclination angle



图 8 | 胫骨平台前后径 (TPAPD) 的测量方法  
Figure 8 | Measurement method of tibial plateau anterior-posterior diameter



图 9 | 内侧胫骨平台深度 (MTD) 的测量方法  
Figure 9 | Measurement method of medial tibial depth



图 10 | 髌腱-胫骨解剖轴角 (PTTSA) 的测量方法  
Figure 10 | Measurement method of patellar tendon-tibial shaft angle

X 射线图像是采用在患膝站立屈膝约 30° 位拍摄而成。在膝关节 X 射线侧位片中, 沿胫骨平台斜面画一条直线; 在关节线远端 5, 15 cm 处做胫骨前、后皮质的内切圆, 两圆心连线即为胫骨解剖轴线; 再于上述两线交点处做胫骨解剖轴线的垂线; 最后测量胫骨平台线与垂线的夹角即胫骨平台后倾角<sup>[23-24]</sup>(图 11)。



图 11 | 胫骨平台后倾角 (PTS) 的测量方法  
Figure 11 | Measurement method of posterior tibial slope



所有指标的测量于医院 PACS 系统 (picture archiving and communication systems, 医学影像信息系统) 中进行。另外, 采用简单随机方法选择 20 例样本 (后交叉韧带损伤组 10 例, 编号为 11-20; 后交叉韧带完好组 10 例, 编号为 11-20) 进行复测比较, 以充分确保数据的观察者内可靠性, 并由另外一名经验丰富的专业运动医学科医生进行测量比较, 以充分确保数据的观察者间可靠性。测量数据的可靠性利用组内相关系数 (intraclass correlation efficient, ICC) 评估, 若一致性较差则重新测量评估。

1.5 主要观察指标 髌间窝宽度、髌间窝高度、股骨双髌宽度、髌间窝宽度指数、髌间窝夹角、Blumensaat 线倾角、MTSH、LTSH、TSW、胫股一致性指数、胫骨平台前后径、内侧胫骨平台深度、髌腱-胫骨解剖轴角, 胫骨平台后倾角。

1.6 统计学分析 利用软件 SPSS 26.0 进行统计学分析, 计数资料采用例数 ( $n$ ) 表示, 组间比较采用  $\chi^2$  检验。计量资料正态性检验利用 K-S 检验或 S-W 检验进行, 若符合正态分布以  $\bar{x} \pm s$  表示, 组间比较采用独立样本  $t$  检验; 否则用中位数 (四分位数间距) 表示, 采用两样本 Mann-Whitney  $U$  检验。将各指标测量数据进行单因素和多因素二元 Logistic 回归分析, 为了更好地阐述比值指标在二元 Logistic 回归分析方程的实际意义, 将比值转化为百分比。最后利用受试者工作特征曲线 (receiver operating characteristic curve, ROC) 评估后交叉韧带损伤相关指标的预测价值。  $P < 0.05$  可认为差异有显著性意义。文章统计学方法已经滨州医学院附属医院生物统计学专家审核。

## 2 结果 Results

2.1 受试者数量分析 142 例患者的影像资料检测结果全部进入结果分析。

2.2 试验流程图 见图 12。

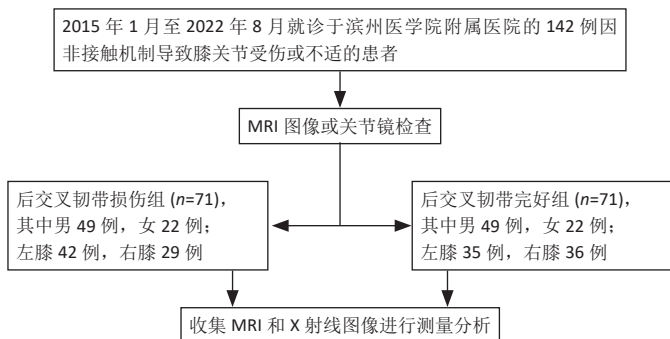


图 12 | 研究流程图

Figure 12 | Research flow chart

2.3 两组患者相关资料比较 后交叉韧带损伤组与后交叉韧带完好组间的一般资料 (年龄、性别和侧别比例) 无统计学差异 ( $P > 0.05$ ), 见表 1。

2.4 测量一致性检验 观察者内和观察者间的测量数据可信度均较高 (ICC  $> 0.80$ ,  $P < 0.001$ ), 见表 2。

表 1 | 两组研究对象一般资料比较

Table 1 | Comparison of general information of research subjects between two groups

组别	性别	例数 ( $n$ )	年龄 ( $\bar{x} \pm s$ , 岁)	侧别 (左 / 右, $n$ )
后交叉韧带损伤组	男性	49	31.43 $\pm$ 8.51	29/20
	女性	22	33.68 $\pm$ 8.17	13/9
	合计	71	32.13 $\pm$ 8.41	42/29
后交叉韧带完好组	男性	49	33.59 $\pm$ 7.16	23/26
	女性	22	33.05 $\pm$ 8.62	12/10
	合计	71	33.42 $\pm$ 7.59	35/36
总体		142	32.77 $\pm$ 8.01	77/65

表 2 | 测量数据一致性检验结果

Table 2 | Measure data consistency test results

测量指标	观察者内			观察者间		
	ICC	95%CI	$P$ 值	ICC	95%CI	$P$ 值
髌间窝宽度	0.928	0.829-0.970	$< 0.001$	0.917	0.799-0.967	$< 0.001$
髌间窝高度	0.899	0.706-0.962	$< 0.001$	0.945	0.763-0.982	$< 0.001$
股骨双髌宽度	0.930	0.832-0.971	$< 0.001$	0.901	0.771-0.959	$< 0.001$
髌间窝夹角	0.951	0.880-0.980	$< 0.001$	0.944	0.865-0.977	$< 0.001$
Blumensaat 线倾角	0.900	0.766-0.959	$< 0.001$	0.890	0.747-0.955	$< 0.001$
MTSH	0.877	0.714-0.949	$< 0.001$	0.891	0.744-0.956	$< 0.001$
LTSH	0.863	0.692-0.943	$< 0.001$	0.881	0.728-0.951	$< 0.001$
TSW	0.944	0.866-0.977	$< 0.001$	0.909	0.574-0.972	$< 0.001$
胫骨平台前后径	0.900	0.544-0.968	$< 0.001$	0.859	0.672-0.942	$< 0.001$
内侧胫骨平台深度	0.850	0.663-0.938	$< 0.001$	0.835	0.594-0.934	$< 0.001$
髌腱-胫骨解剖轴角	0.949	0.843-0.981	$< 0.001$	0.897	0.732-0.960	$< 0.001$
胫骨平台后倾角	0.913	0.730-0.968	$< 0.001$	0.878	0.688-0.952	$< 0.001$

表注: MTSH 为内侧胫骨髌间隆起高度, LTSH 为外侧胫骨髌间隆起高度, TSW 为胫骨髌间隆起宽度, ICC 为组内相关系数

2.5 后交叉韧带完好组男女、左右膝关节测量指标比较 后交叉韧带完好组患者膝关节未进行关节镜检查, 但是在影像学图像中未见明显病变及异常。作者发现, 后交叉韧带完好组男性与女性间部分研究指标差异有显著性意义 ( $P < 0.05$ ), 见表 3。因此, 男性与女性测量数据需要分开分析。于是按照性别分层, 对膝关节左右侧测量数据进行比较, 发现无论男性还是女性, 左侧和右侧膝关节所有测量数据均无统计学差异 ( $P > 0.05$ )。因此, 下文对男性、女性各测量指标与后交叉韧带损伤的关系进行分别研究。

表 3 | 后交叉韧带完好组男女测量指标比较

Table 3 | Comparison of measures between men and women in the posterior cruciate ligament intact group

测量指标	男性 ( $n=49$ )	女性 ( $n=22$ )	$t/Z$ 值	$P$ 值
髌间窝宽度 (mm) <sup>a</sup>	19.14 $\pm$ 3.02	17.24 $\pm$ 1.86	2.718	$< 0.05$
髌间窝高度 (mm) <sup>a</sup>	22.56 $\pm$ 3.13	21.33 $\pm$ 1.51	1.742	0.086
股骨双髌宽度 (mm) <sup>a</sup>	74.95 $\pm$ 3.24	67.85 $\pm$ 2.65	9.025	$< 0.05$
髌间窝宽度指数 (%) <sup>b</sup>	25.77(4.38)	25.38 $\pm$ 2.30	-0.522	0.602
髌间窝夹角 ( $^{\circ}$ ) <sup>a</sup>	59.92 $\pm$ 8.30	53.63 $\pm$ 9.67	2.803	$< 0.05$
Blumensaat 线倾角 ( $^{\circ}$ ) <sup>a</sup>	42.01 $\pm$ 4.44	37.03 $\pm$ 2.96	4.788	$< 0.05$
MTSH(mm) <sup>a</sup>	10.96 $\pm$ 1.23	8.84 $\pm$ 1.10	6.932	$< 0.05$
LTSH(mm) <sup>a</sup>	9.32 $\pm$ 1.53	6.93 $\pm$ 1.19	6.482	$< 0.05$
TSW(mm) <sup>b</sup>	14.15(3.56)	13.09 $\pm$ 2.82	-2.275	$< 0.05$
胫股一致性指数 (%) <sup>a</sup>	76.22 $\pm$ 4.30	75.88 $\pm$ 13.57	0.158	0.875
胫骨平台前后径 ( $^{\circ}$ ) <sup>b</sup>	36.10(3.20)	30.16(3.85)	-4.837	$< 0.05$
内侧胫骨平台深度 (mm) <sup>a</sup>	2.57 $\pm$ 0.65	4.18 $\pm$ 2.11	-4.864	$< 0.05$
髌腱-胫骨解剖轴角 ( $^{\circ}$ ) <sup>a</sup>	26.09 $\pm$ 5.61	24.59 $\pm$ 5.33	1.058	0.294
胫骨平台后倾角 ( $^{\circ}$ ) <sup>a</sup>	10.09 $\pm$ 3.08	10.93 $\pm$ 3.34	-1.037	0.303

表注: a 为用  $\bar{x} \pm s$  表示, 采用独立样本  $t$  检验; b 为用中位数 (四分位数间距) 表示, 采用 Mann-Whitney  $U$  检验。MTSH 为内侧胫骨髌间隆起高度, LTSH 为外侧胫骨髌间隆起高度, TSW 为胫骨髌间隆起宽度

2.6 男性与女性的两组测量结果 按性别分层, 后交叉韧带损伤组与后交叉韧带完好组所有测量指标结果如表 4 所示。

表 4 | 男性与女性的两组测量结果 (x±s)  
Table 4 | Two sets of measurements for men and women

测量指标	男性		女性	
	后交叉韧带损伤组 (n=49)	后交叉韧带完好组 (n=49)	后交叉韧带损伤组 (n=22)	后交叉韧带完好组 (n=22)
髁间窝宽度 (mm)	18.83±3.07	19.14±3.02	16.74±2.16	17.24±1.86
髁间窝高度 (mm)	22.42±3.33	22.56±3.13	20.37±2.24	21.33±1.51
股骨双髁宽度 (mm)	75.83±3.25	74.95±3.24	68.68±2.97	67.85±2.65
髁间窝宽度指数 (%)	26.14(4.57) <sup>a</sup>	25.77(4.38) <sup>a</sup>	24.37±2.89	25.38±2.30
髁间窝夹角 (°)	60.18±9.32	59.92±8.30	56.35±7.86	53.63±9.67
Blumensaat 线倾角 (°)	43.96±5.31	42.01±4.44	37.48±2.08	37.03±2.96
MTSH(mm)	11.35±1.13	10.96±1.23	7.88±1.02	8.84±1.10
LTSH(mm)	9.06±1.46	9.32±1.53	6.14±0.95	6.93±1.19
TSW(mm)	13.55±2.35	14.15(3.56) <sup>a</sup>	11.14±2.66	13.09±2.82
股骨一致性指数 (%)	71.94±3.80	76.22±4.30	70.14±17.68	75.88±13.57
胫骨平台前后径 (°)	36.64±2.89	36.10(3.20) <sup>a</sup>	30.79±2.14	30.16(3.85) <sup>a</sup>
内侧胫骨平台深度 (mm)	2.13±0.72	2.57±0.65	3.56±1.68	4.18±2.11
髌腱-胫骨解剖轴角 (°)	26.89±5.78	26.09±5.61	27.50±3.76	24.59±5.33
胫骨平台后倾角 (°)	8.47±3.18	10.09±3.08	7.75±3.62	10.93±3.34

表注: a 用中位数 (四分位数间距) 表示。MTSH 为内侧胫骨髁间隆起高度, LTSH 为外侧胫骨髁间隆起高度, TSW 为胫骨髁间隆起宽度

2.7 男性两组测量指标比较

2.7.1 单因素二元 Logistic 回归分析 将男性两组测量数据进行单因素二元 Logistic 回归分析显示: TSW、股骨一致性指数、内侧胫骨平台深度、胫骨平台后倾角与后交叉韧带损伤相关 (P < 0.05), OR 值分别为 0.837, 0.746, 0.392 及 0.846(表 5)。并且通过表 4, 发现男性后交叉韧带损伤组 TSW、股骨一致性指数、内侧胫骨平台深度、胫骨平台后倾角测量结果小于后交叉韧带完好组。

表 5 | 男性测量指标的单因素二元 Logistic 回归分析结果  
Table 5 | Results of univariate binary logistic regression analysis of male measures

测量指标	B	S.E	Wald	P 值	OR	95%CI
髁间窝宽度	-0.034	0.067	0.258	0.611	0.966	0.847-1.103
髁间窝高度	-0.013	0.063	0.041	0.839	0.987	0.872-1.117
股骨双髁宽度	0.085	0.064	1.795	0.180	1.089	0.961-1.234
髁间窝宽度指数	-0.075	0.067	1.269	0.260	0.927	0.813-1.057
髁间窝夹角	0.003	0.023	0.022	0.883	1.003	0.959-1.050
Blumensaat 线倾角	0.084	0.044	3.650	0.056	1.087	0.998-1.185
MTSH	0.289	0.178	2.638	0.104	1.335	0.942-1.893
LTSH	-0.118	0.137	0.734	0.392	0.889	0.679-1.163
TSW	-0.178	0.087	4.209	< 0.05	0.837	0.706-0.992
股骨一致性指数	-0.293	0.072	16.446	< 0.05	0.746	0.647-0.859
胫骨平台前后径	0.090	0.058	2.399	0.121	1.094	0.976-1.225
内侧胫骨平台深度	-0.936	0.318	8.682	< 0.05	0.392	0.210-0.731
髌腱-胫骨解剖轴角	0.025	0.036	0.481	0.488	1.025	0.955-1.100
胫骨平台后倾角	-0.167	0.068	5.953	< 0.05	0.846	0.740-0.968

表注: MTSH 为内侧胫骨髁间隆起高度, LTSH 为外侧胫骨髁间隆起高度, TSW 为胫骨髁间隆起宽度

2.7.2 共线性诊断 利用线性回归对各测量指标进行共线性检验, 结果显示髁间窝宽度、股骨双髁宽度、髁间窝宽度指数、TSW、股骨一致性指数之间存在多重共线性, 这可能与比值类指标有关。在不影响运算结果的前提下, 遵循尽可能将更多的因素纳入多因素研究的原则进行筛选。筛选后的指标容忍度 > 0.1, 方差膨胀因子 < 3, 可以认为不存在多重共线性 (表 6)。

表 6 | 男性测量指标筛选前后多重共线性诊断结果  
Table 6 | Multicollinearity diagnostic results before and after screening of male measures

相关参数	筛选前		筛选后	
	容忍度	方差膨胀因子	容忍度	方差膨胀因子
髁间窝宽度	0.000	2 121.743	-	-
髁间窝高度	0.895	1.117	0.898	1.113
股骨双髁宽度	0.006	164.414	-	-
髁间窝宽度指数	0.001	848.408	0.645	1.550
髁间窝夹角	0.672	1.488	0.769	1.300
Blumensaat 线倾角	0.826	1.210	0.839	1.192
MTSH	0.700	1.430	0.771	1.297
LTSH	0.642	1.558	0.684	1.462
TSW	0.002	477.595	-	-
股骨一致性指数	0.016	63.669	0.836	1.196
胫骨平台前后径	0.858	1.165	0.911	1.098
内侧胫骨平台深度	0.772	1.296	0.908	1.101
髌腱-胫骨解剖轴角	0.751	1.331	0.785	1.274
胫骨平台后倾角	0.856	1.168	0.906	1.104

表注: MTSH 为内侧胫骨髁间隆起高度, LTSH 为外侧胫骨髁间隆起高度, TSW 为胫骨髁间隆起宽度。"- " 为无数据

2.7.3 多因素二元 Logistic 回归分析 将筛选后的测量指标数据进行多因素二元 Logistic 回归分析显示股骨一致性指数、内侧胫骨平台深度与后交叉韧带损伤相关 (P < 0.05), OR 值分别为 0.749, 0.337(表 7)。

表 7 | 男性测量指标的多因素二元 Logistic 回归分析结果  
Table 7 | Results of multivariate binary logistic regression analysis of male measures

测量指标	B	S.E	Wald	P 值	OR	95%CI
髁间窝高度	-0.010	0.087	0.013	0.910	0.990	0.835-1.174
髁间窝宽度指数	-0.032	0.113	0.082	0.774	0.968	0.776-1.208
髁间窝夹角	0.009	0.035	0.073	0.787	1.010	0.943-1.081
Blumensaat 线倾角	0.074	0.059	1.554	0.213	1.077	0.959-1.210
MTSH	0.440	0.273	2.607	0.106	1.553	0.910-2.650
LTSH	-0.296	0.228	1.687	0.194	0.744	0.476-1.162
股骨一致性指数	-0.289	0.079	13.436	< 0.05	0.749	0.642-0.874
胫骨平台前后径	0.094	0.081	1.337	0.248	1.098	0.937-1.288
内侧胫骨平台深度	-1.089	0.402	7.338	< 0.05	0.337	0.153-0.740
髌腱-胫骨解剖轴角	-0.057	0.056	1.034	0.309	0.945	0.846-1.054
胫骨平台后倾角	-0.117	0.089	1.719	0.190	0.889	0.746-1.060

表注: MTSH 为内侧胫骨髁间隆起高度, LTSH 为外侧胫骨髁间隆起高度

2.7.4 ROC 曲线分析 构建多因素二元 Logistic 回归分析得出的股骨一致性指数和内侧胫骨平台深度的 ROC 曲线。计算得到股骨一致性指数的最佳临界值为 74.10%, 曲线下面积为 0.785, 灵敏度为 71.4%, 特异度为 73.5%, 阳性预测值为 72.9%, 阴性预测值为 72.0%; 内侧胫骨平台深度的最佳临界值为 2.21 mm, AUC 为 0.686, 灵敏度为 61.2%, 特异度为 75.5%, 阳性预测值为 71.4%, 阴性预测值为 66.1%。见表 8 及图 13, 14。

表 8 | 男性受试者工作特征曲线分析结果  
Table 8 | Results of receiver operating characteristic curve analysis for men

测量指标	最佳临界值	曲线下面积	灵敏度	特异度	95%CI	阳性预测值	阴性预测值
股骨一致性指数	74.10%	0.785	71.4%	73.5%	0.695-0.875	72.9%	72.0%
内侧胫骨平台深度	2.21 mm	0.686	61.2%	75.5%	0.579-0.792	71.4%	66.1%

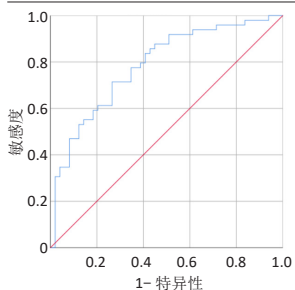


图 13 | 胫股一致性指数的受试者工作特征曲线

Figure 13 | Receiver operating characteristic curve of tibiofemoral consistency index

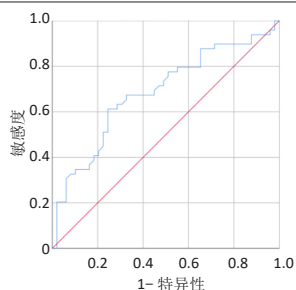


图 14 | 内侧胫骨平台深度的受试者工作特征曲线

Figure 14 | Receiver operating characteristic curve of medial tibial depth

## 2.8 女性两组测量指标比较

2.8.1 单因素二元 Logistic 回归分析 将女性两组测量数据进行单因素二元 Logistic 回归分析显示：内外侧胫骨髁间隆起高度、TSW、胫骨平台后倾角与后交叉韧带损伤相关 ( $P < 0.05$ )，OR 值分别为 0.418, 0.486, 0.766 及 0.771(表 9)。并且通过表 4 发现，女性后交叉韧带损伤组内外侧胫骨髁间隆起高度、TSW、胫骨平台后倾角测量结果小于后交叉韧带完好组测量结果。

表 9 | 女性测量指标的单因素二元 Logistic 回归分析结果  
Table 9 | Results of univariate binary logistic regression analysis of female measures

测量指标	B	S.E	Wald	P 值	OR	95%CI
髁间窝宽度	-0.129	0.155	0.686	0.408	0.879	0.649-1.192
髁间窝高度	-0.272	0.168	2.618	0.106	0.762	0.548-1.059
股骨双髁宽度	0.110	0.112	0.965	0.326	1.117	0.896-1.391
髁间窝宽度指数	-0.157	0.124	1.600	0.206	0.854	0.669-1.090
髁间窝夹角	0.037	0.036	1.055	0.304	1.037	0.967-1.112
Blumensaat 线倾角	0.071	0.121	0.347	0.556	1.074	0.847-1.362
MTSH	-0.873	0.339	6.624	<0.05	0.418	0.215-0.812
LTSH	-0.721	0.330	4.774	<0.05	0.486	0.255-0.929
TSW	-0.267	0.123	4.660	<0.05	0.766	0.601-0.976
胫股一致性指数	-0.024	0.020	1.436	0.231	0.976	0.939-1.015
胫骨平台前后径	0.171	0.115	2.219	0.136	1.187	0.947-1.487
内侧胫骨平台深度	-0.175	0.164	1.151	0.283	0.839	0.609-1.156
髌腱-胫骨解剖轴角	0.143	0.074	3.771	0.052	1.154	0.999-1.333
胫骨平台后倾角	-0.260	0.100	6.804	<0.05	0.771	0.634-0.937

表注：MTSH 为内侧胫骨髁间隆起高度，LTSH 为外侧胫骨髁间隆起高度，TSW 为胫骨髁间隆起宽度

2.8.2 共线性诊断 筛选后的指标容忍度 > 0.1，方差膨胀因子 < 3，可以认为不存在多重共线性(表 10)。

2.8.3 多因素二元 Logistic 回归分析 将筛选后的测量指标数据进行多因素二元 Logistic 回归分析，显示胫骨平台后倾角与后交叉韧带损伤相关 ( $P < 0.05$ )，OR 值为 0.666(表 11)。

2.8.4 ROC 曲线分析 构建多因素二元 Logistic 回归分析出的胫骨平台后倾角的 ROC 曲线。计算得到胫骨平台后倾角的最佳临界值为 9.75°，AUC 为 0.741，灵敏度为 77.3%，特异度为 63.6%，95%CI 为 0.593-0.888，阳性预测值为 68.0%，阴性预测值为 73.7%(图 15)。

## 3 讨论 Discussion

膝关节运动是一种在多个平面上发生位移的复杂机械现象，由前外侧束和后内侧束组成的后交叉韧带被认为是膝关节的中心枢轴点，在膝关节稳定性中起着不可或缺的作用<sup>[21]</sup>。

表 10 | 女性测量指标筛选前后多重共线性诊断结果  
Table 10 | Multicollinearity diagnostic results before and after screening of female measures

相关参数	筛选前		筛选后	
	容忍度	方差膨胀因子	容忍度	方差膨胀因子
髁间窝宽度	0.001	1 159.207	-	-
髁间窝高度	0.725	1.378	0.759	1.318
股骨双髁宽度	0.008	123.576	0.478	2.093
髁间窝宽度指数	0.001	867.448	0.540	1.852
髁间窝夹角	0.635	1.576	0.675	1.482
Blumensaat 线倾角	0.835	1.198	0.835	1.198
MTSH	0.385	2.600	0.401	2.492
LTSH	0.447	2.238	0.469	2.134
TSW	0.019	52.194	-	-
胫股一致性指数	0.022	45.130	0.569	1.757
胫骨平台前后径	0.846	1.182	0.805	1.242
内侧胫骨平台深度	0.770	1.299	0.711	1.407
髌腱-胫骨解剖轴角	0.465	2.149	0.591	1.692
胫骨平台后倾角	0.648	1.542	0.731	1.368

表注：MTSH 为内侧胫骨髁间隆起高度，LTSH 为外侧胫骨髁间隆起高度，TSW 为胫骨髁间隆起宽度。“-”为无数据

表 11 | 女性测量指标的多因素二元 Logistic 回归分析结果  
Table 11 | Results of multivariate binary logistic regression analysis of female measures

测量指标	B	S.E	Wald	P 值	OR	95%CI
髁间窝高度	-0.397	0.333	1.422	0.233	0.672	0.350-1.291
股骨双髁宽度	0.112	0.270	0.172	0.678	1.119	0.658-1.900
髁间窝宽度指数	0.021	0.284	0.006	0.940	1.021	0.585-1.783
髁间窝夹角	-0.029	0.071	0.163	0.686	0.972	0.845-1.117
Blumensaat 线倾角	-0.097	0.210	0.214	0.644	0.908	0.602-1.369
MTSH	-0.976	0.861	1.283	0.257	0.377	0.070-2.039
LTSH	-0.486	0.734	0.437	0.509	0.615	0.146-2.596
胫股一致性指数	-0.082	0.047	3.074	0.080	0.922	0.841-1.010
胫骨平台前后径	0.339	0.213	2.528	0.112	1.403	0.924-2.129
内侧胫骨平台深度	0.054	0.332	0.027	0.870	1.056	0.551-2.023
髌腱-胫骨解剖轴角	0.200	0.154	1.689	0.194	1.221	0.904-1.650
胫骨平台后倾角	-0.407	0.205	3.941	<0.05	0.666	0.445-0.995

表注：MTSH 为内侧胫骨髁间隆起高度，LTSH 为外侧胫骨髁间隆起高度

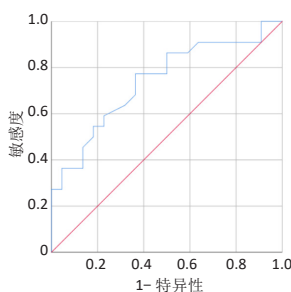


图 15 | 胫骨平台后倾角的受试者工作特征曲线

Figure 15 | Receiver operating characteristic curve of posterior tibial slope

大多数情况下，后交叉韧带损伤在短期内会引起疼痛和膝关节后方松弛，并降低个人参加运动的能力。另外，可能增加膝关节后外侧结构的压力，使其面临随后损伤的风险<sup>[25-26]</sup>。研究发现后交叉韧带损伤会导致膝关节内侧和髌股关节腔室的运动异常和接触压力增加，加快其退行性改变，对膝关节具有毁灭性的长期影响<sup>[27-28]</sup>。因此有必要探究后交叉韧带损伤的危险因素。形态学测量被广泛应用于研究膝关节运动损伤的相关解剖学特征，此次试验借鉴了文献中常用的测量方法对后交叉韧带损伤的可能解剖形态危险因素加以研究。

股骨远端是一个复杂的三维结构，内、外侧髁及后方的髁间窝对韧带损伤的影响历来研究广泛。在此次试验中，股骨侧解剖参数纳入了髁间窝的宽度高度夹角、髁间窝宽度指



数、股骨双髁宽度、Blumensaat 线倾角, 均未发现与后交叉韧带损伤有关。既往文献中, VAN KUIJK 等<sup>[9]</sup>发现髁间窝宽度较小且角度更尖锐与后交叉韧带损伤有关, HUANG 等<sup>[12]</sup>发现髁间窝宽度指数降低与后交叉韧带损伤和后交叉韧带撕脱骨折发生率升高有关。这些研究表明后交叉韧带损伤可能与髁间窝撞击有关。髁间窝高度越小, 髁间窝宽度越窄, 髁间窝容积就会更小, 可能后交叉韧带损伤的风险越大。然而, VAN KUIJK 等<sup>[9]</sup>发现后交叉韧带损伤的患者髁间窝体积较小, 前交叉韧带体积也较小。但目前不能明确后交叉韧带损伤是因为体积较小的韧带拥有相对薄弱的抗拉强度, 还是因为韧带的髁间窝撞击造成的慢性或急性损伤。通过此次试验结果, 还有由于后交叉韧带位于膝关节后部的解剖位置, 作者认为髁间窝撞击在后交叉韧带损伤的风险中可能起较小的作用, 但需要生物力学研究来进一步明确后交叉韧带损伤的机制。

胫骨近端形态可能对后交叉韧带损伤有一定影响, VAN KUIJK 等<sup>[11]</sup>发现胫骨髁间隆起更扁平与后交叉韧带损伤有关。关于胫骨髁间隆起, 作者测量了其宽度、内外侧高度, 发现在男性人群中较小的 TSW、在女性人群中较小的内外侧胫骨髁间隆起高度和 TSW 将增加后交叉韧带损伤的风险。LI 等<sup>[29]</sup>指出胫骨髁间隆起增大可能是前交叉韧带的保护因素; IRIUCHISHIMA 等<sup>[30]</sup>指出较大的髁间隆起宽度可能对膝关节稳定性有积极影响, 这可能导致前交叉韧带损伤的风险降低。然而, 关于髁间隆起宽度与后交叉韧带损伤的研究尚未发现。作者认为髁间隆起宽度增大, 似乎改善了膝关节稳定性, 可能会降低后交叉韧带断裂的风险。但关于胫骨髁间隆起的大小是否与前后交叉韧带损伤有关的报告少见, 且其机制目前还没有结论, 也许与胫骨髁间隆起代偿性增大机制、膝关节不稳定的自我保护机制假说有关<sup>[29]</sup>。

关于胫骨平台, 作者研究了其前后径、后倾角及内侧胫骨平台深度, 发现在男性人群中, 较小的内侧胫骨平台深度和胫骨平台后倾角、在女性人群中较小的胫骨平台后倾角易诱发后交叉韧带损伤。较浅的内侧胫骨平台深度降低了闭链运动时股骨对胫骨相对运动的限制<sup>[31-32]</sup>, 可能导致膝关节更容易发生胫骨和股骨的相对平移<sup>[19]</sup>。而且 KIAPOUR 等<sup>[33]</sup>在一项前交叉韧带重建术后的前瞻性研究中, 发现较浅的内侧胫骨平台深度将会导致膝关节松弛度增加。另外, 有研究发现膝关节负载着陆时屈曲角峰值会随着内侧胫骨平台深度变浅而增加以维持平衡稳定<sup>[34-35]</sup>。负载着陆时膝关节屈曲增加可能导致后交叉韧带受力增加, 使其损伤风险加大。因此, 较浅的内侧胫骨平台深度将导致后交叉韧带更容易损伤。但是, 此次研究中女性内侧胫骨平台深度与后交叉韧带损伤无相关性, 这可能是由于一定程度的外力因素使胫骨内侧平台的限制能力足以忽略。胫骨平台后倾角一直备受热议, 因为它对正常和手术治疗膝关节的运动学有重大影响。胫骨平台的平均后倾以前被描述为 7°-10°, 并被认为对交叉韧带所经历的原位力有显著影响<sup>[36-37]</sup>。此次研究发现胫骨平台后倾角较小, 后交叉韧带损伤的风险将增大, 并且胫骨平台后倾角

是女性后交叉韧带损伤的独立危险因素, 在该样本中, 胫骨平台后倾角 < 9.75° 且其他条件不变时, 胫骨平台后倾角每增加 1°, 后交叉韧带损伤风险将减小 33.4%。这也得到了生物力学的支持, 约 < 6° 的胫骨平台后倾可能会增加后交叉韧带上的力, 导致更高的后交叉韧带损伤率<sup>[15, 31]</sup>。

前后交叉韧带连接在股骨与胫骨之间, 若不考虑受两者间相互作用的影响, 得出的损伤危险因素可能并不准确。IRIUCHISHIMA 等<sup>[30]</sup>认为前交叉韧带损伤受胫股一致性的影响。张伟等<sup>[18]</sup>研究得出胫股一致性指数是前交叉韧带断裂的危险因素, 比值越低, 前交叉韧带断裂的危险程度越高。目前还没有研究后交叉韧带损伤的发生和胫骨髁间隆起与髁间窝的形态关系之间的相关性。此次研究表明, 男性人群中, 胫股一致性指数是后交叉韧带损伤的独立危险因素。胫股一致性指数越差, 越容易导致后交叉韧带损伤, 猜测可能与膝关节异常运动有关。二者匹配性差, 降低了胫骨髁间隆起对股骨远端的约束作用, 导致在膝关节运动过程中产生更强烈的撞击, 同时前后向稳定性和旋转稳定性也会降低, 进而增大了后交叉韧带在运动过程中的应力。不过, 这只是假设, 具体影响机制及生物力学研究未见报道。但在女性人群中胫股一致性指数两组之间无显著差异, 这可能因为不同性别患者的损伤机制不同。

截至目前, 仅有不足 10 项研究探索了与后交叉韧带损伤相关的膝关节形态学危险因素。此次研究发现了后交叉韧带损伤与 TSW、MTSH、LTSH、胫骨平台后倾角、内侧胫骨平台深度、胫股一致性指数之间的相关性。较弱的股骨前向位移限制结构(内侧胫骨平台深度、胫骨平台后倾角)和胫股匹配性差的组合可导致作用于后交叉韧带的张力显著增加。再加上较细的韧带以及文献中证实的内侧胫骨平台后倾角和外侧胫骨平台后倾角不对称导致膝关节旋转稳定性差<sup>[12, 38-40]</sup>, 当存在损伤机制时后交叉韧带则更容易断裂。后交叉韧带损伤与异常的膝关节解剖形态有关, 受性别、种族、地域及研究方法等因素影响, 导致文献中部分研究结果存在争议。另外, 此次研究认为, 后交叉韧带损伤可能是多个异常解剖形态共同导致的结果, 在分析时应综合考虑。

此次研究存在一定局限性。首先, 此次试验在性质上是回顾性病例对照研究, 证据水平相对较低; 在统计研究对象资料时, 未收集到其身高、体质量及体质量指数情况, 可能使结果存在一定程度上的偏倚。其次, 选择的研究对象均来自于一所医院, 而且只评估了中国华东地区患者的膝关节解剖形态对后交叉韧带病变的影响, 种族、地区等差异欠考虑; 鉴于医院来就诊的人群大多为有损伤患者, 入组人员可能存在轻度半月板损伤而且难以做到损伤时受力方向、大小及损伤机制的完全一致。最后, 膝关节是立体的三维结构, 此次研究是在影像学资料基础上进行的二维形态指标对后交叉韧带损伤危险因素的分析, 受限于测量手段, 并未分析三维形态指标, 而且没有进行严谨的生物力学实验来论证其损伤机制。因此, 未来还需要进一步开展大规模多中心研究, 并且更好的改进完善试验设计, 以明确后交叉韧带损伤的危险因素。

也许是因为发病率不如前交叉韧带损伤，目前关于后交叉韧带损伤形态学危险因素的研究还很有限，尤其是综合考虑多方面影响因素的研究，希望通过此次试验为后交叉韧带损伤解剖形态危险因素的研究提供参考。韧带损伤后关节持续的疼痛、不稳定、功能受损和退行性关节炎的发展，对膝关节具有毁灭性的长期影响。另外，即使损伤后进行了后交叉韧带重建手术，异常的解剖形态对移植体仍然存在威胁。BERNHARDSON 等<sup>[23]</sup>发现后交叉韧带重建患者中，后交叉韧带移植体的力随着胫骨平台后倾角的降低而增加。胫骨平台后倾角的增加是对后交叉韧带重建移植体的保护，因此手术时可以考虑其他方法矫正解剖形态及改善生物力学。虽然一些危险因素很难消除，但它们的识别对于预防后交叉韧带损伤和后交叉韧带重建后再损伤至关重要。HUANG 等<sup>[41]</sup>的 Meta 分析指出预防计划具有显著的保护作用，识别高危个体可以更好地调整可控因素。因此，证实解剖形态学对后交叉韧带损伤和后交叉韧带移植体愈合及重建后再损伤的影响因素后，通过影像学筛查，为高危人群制定个性化的预防方案，为患者制定更加个性化的手术方案及康复策略，纠正膝关节异常的解剖形态及相互作用，从而改善术后疗效及提高患者满意度，切实造福于患者。通过此次研究得出的结果，临床医生可以通过影像学资料测量 TSW、MTSH、LTSH、胫股一致性指数、胫骨平台后倾角、内侧胫骨平台深度综合考虑后交叉韧带损伤的风险，从而评估出后交叉韧带损伤的危险人群予以预防性建议和指导治疗。

**作者贡献:** 王德宁进行试验设计, 试验实施为王德宁、张克凡、杜长岭、王鑫, 资料收集为王德宁、张克凡、杜长岭、王鑫, 王德宁成文, 石辉审核。

**利益冲突:** 文章的全部作者声明, 在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

**开放获取声明:** 这是一篇开放获取文章, 根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享 4.0”条款, 在合理引用的情况下, 允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展, 同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献, 并为之建立索引, 用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

**版权转让:** 文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

**出版规范:** 该文章撰写遵守了《观察性临床研究报告指南》(STROBE 指南)。文章出版前已经过专业反剽窃文献检测系统进行 3 次文字和图表查重, 文章经小同行外审专家双盲审稿, 同行评议认为文章符合期刊发表宗旨。

#### 4 参考文献 References

[1] 徐宝崑, 付维力. 膝后交叉韧带损伤的诊治及康复策略 [J]. 中国组织工程研究, 2021,25(11):1766-1772.

[2] KATO T, SMIGIELSKI R, GE Y, et al. Posterior cruciate ligament is twisted and flat structure: new prospective on anatomical morphology. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018;26(1):31-39.

[3] WINKLER PW, ZSIDAI B, WAGALA NN, et al. Evolving evidence in the treatment of primary and recurrent posterior cruciate ligament injuries, part 1: anatomy, biomechanics and diagnostics. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021;29(3):672-681.

[4] LAPRADE RF, FLOYD ER, FALAAS KL, et al. The posterior cruciate ligament: Anatomy, biomechanics, and double-bundle reconstruction. *J Arthrosc Surg Sports Med* 2021;2(2):94-107.

[5] SCHLUMBERGER M, SCHUSTER P, EICHINGER M, et al. Posterior cruciate ligament lesions are mainly present as combined lesions even in sports injuries. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(7):2091-2098.

[6] 焦晨, 敖英芳. 后交叉韧带损伤的临床流行病学研究 [J]. 中国运动医学杂志, 2008,27(4):420-423.

[7] 陈刚, 付维力, 唐新, 等. 膝关节后交叉韧带损伤的临床流行病学分析 [J]. 中国骨伤, 2015,28(7):638-642.

[8] BADRI A, GONZALEZ-LOMAS G, JAZRAWI L. Clinical and radiologic evaluation of the posterior cruciate ligament-injured knee. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2018; 11(3):515-520.

[9] VAN KUIJK KSR, REIJMAN M, BIERMA-ZEINSTRASMA, et al. Posterior cruciate ligament injury is influenced by intercondylar shape and size of tibial eminence. *Bone Joint J.* 2019;101-B(9):1058-1062.

[10] LIU F, ZHANG S, XIAO Y, et al. Stenotic intercondylar notch is not a risk factor for posterior cruciate ligament rupture: a morphological analyses using magnetic resonance imaging. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2022;30(5):1711-1717.

[11] VAN KUIJK KSR, REIJMAN M, BIERMA-ZEINSTRASMA, et al. Smaller intercondylar notch size and smaller ACL volume increase posterior cruciate ligament rupture risk. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2023;31(2):449-454.

[12] HUANG WT, KANG K, WANG J, et al. Morphological Risk Factors for Posterior Cruciate Ligament Tear and Tibial Avulsion Injuries of the Tibial Plateau and Femoral Condyle. *Am J Sports Med.* 2023;51(1):129-140.

[13] SINGERMAN R, DEAN JC, PAGAN HD, et al. Decreased posterior tibial slope increases strain in the posterior cruciate ligament following total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 1996;11(1):99-103.

[14] LIPPS DB, WILSON AM, ASHTON-MILLER JA, et al. Evaluation of different methods for measuring lateral tibial slope using magnetic resonance imaging. *Am J Sports Med.* 2012;40(12):2731-2736.

[15] GIFFIN JR, STABILE KJ, ZANTOP T, et al. Importance of tibial slope for stability of the posterior cruciate ligament deficient knee. *Am J Sports Med.* 2007;35(9):1443-1449.

[16] YIN B, ZHAO P, CHEN J, et al. Decreased lateral posterior tibial slope and medial tibial depth are underlying anatomic risk factors for posterior cruciate ligament injury: a case-control study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2022;23(1):689.

[17] KIZILGÖZ V, SIVRIOĞLU AK, ULUSOY GR, et al. Analysis of the risk factors for anterior cruciate ligament injury: an investigation of structural tendencies. *Clin Imaging.* 2018;50:20-30.

[18] 张伟, 刘云鹏, 王星光, 等. 膝关节前交叉韧带损伤危险因素的影像学分析 [J]. 中国组织工程研究, 2022,26(15):2361-2366.

[19] FAN N, ZHENG YC, ZANG L, et al. What is the impact of knee morphology on posterior cruciate ligament avulsion fracture in men and women: a case control study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021;22(1):100.

[20] BAYER S, MEREDITH SJ, WILSON KW, et al. Knee Morphological Risk Factors for Anterior Cruciate Ligament Injury: A Systematic Review. *J Bone Joint Surg Am.* 2020;102(8):703-718.

[21] TENG Y, GUO L, WU M, et al. MRI analysis of tibial PCL attachment in a large population of adult patients: reference data for anatomic PCL reconstruction. *BMC Musculoskelet Disord.* 2016;17(1):384.

[22] NUNLEY RM, WRIGHT D, RENNER JB, et al. Gender Comparison of Patellar Tendon Tibial Shaft Angle with Weight Bearing. *Res Sports Med.* 2006;11(3):173-185.

[23] BERNHARDSON AS, DEPHILLIPO NN, DANNEY BT, et al. Posterior Tibial Slope and Risk of Posterior Cruciate Ligament Injury. *Am J Sports Med.* 2019;47(2):312-317.

[24] 倪乾坤, 宋关阳, 张志军, 等. 基于不同长度胫骨轴线胫骨平台后倾角测量值的差异比较分析 [J]. 中国运动医学杂志, 2021,40(9):681-684.

[25] KANG KT, KOH YG, JUNG M, et al. The effects of posterior cruciate ligament deficiency on posterolateral corner structures under gait- and squat-loading conditions: A computational knee model. *Bone Joint Res.* 2017;6(1):31-42.

[26] WANG D, GRAZIANO J, WILLIAMS RJ 3RD, et al. Nonoperative Treatment of PCL Injuries: Goals of Rehabilitation and the Natural History of Conservative Care. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2018;11(2):290-297.

[27] CHAHLA J, WILLIAMS BT, LAPRADE RF. Posterior Cruciate Ligament. *Arthroscopy.* 2020;36(2):333-335.

[28] SONG EK, PARK HW, AHN YS, et al. Transtibial versus tibial inlay techniques for posterior cruciate ligament reconstruction: long-term follow-up study. *Am J Sports Med.* 2014;42(12):2964-2971.

[29] LI Y, CHOU K, ZHU W, et al. Enlarged tibial eminence may be a protective factor of anterior cruciate ligament. *Med Hypotheses.* 2020;144:110230.

[30] IRIUCHISHIMA T, GOTO B, FU FH. The occurrence of ACL injury influenced by the variance in width between the tibial spine and the femoral intercondylar notch. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(11):3625-3630.

[31] SHELburne KB, KIM HJ, STERETT WI, et al. Effect of posterior tibial slope on knee biomechanics during functional activity. *J Orthop Res.* 2011;29(2):223-231.

[32] HOHMANN E, BRYANT A, REABURN P, et al. Is there a correlation between posterior tibial slope and non-contact anterior cruciate ligament injuries? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011;19 Suppl 1:S109-S114.

[33] KIAPOUR AM, YANG DS, BADGER GJ, et al. Anatomic Features of the Tibial Plateau Predict Outcomes of ACL Reconstruction Within 7 Years After Surgery. *Am J Sports Med.* 2019;47(2):303-311.

[34] KAPLAN JT, RAMSAY JW, CAMERON SE, et al. Association Between Knee Anatomic Metrics and Biomechanics for Male Soldiers Landing With Load. *Am J Sports Med.* 2020;48(6):1389-1397.

[35] RAO Z, ZHOU C, KERNKAMP WA, et al. In vivo kinematics and ligamentous function of the knee during weight-bearing flexion: an investigation on mid-range flexion of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(3):797-805.

[36] K S, CHAMALA T, KUMAR A. Comparison of anatomical risk factors for noncontact anterior cruciate ligament injury using magnetic resonance imaging. *J Clin Orthop Trauma.* 2019;10(1):143-148.

[37] MITCHELL JJ, CINQUE ME, DORNAN GJ, et al. Primary Versus Revision Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Patient Demographics, Radiographic Findings, and Associated Lesions. *Arthroscopy.* 2018;34(3):695-703.

[38] GWINNER C, WEILER A, ROIDER M, et al. Tibial Slope Strongly Influences Knee Stability After Posterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Prospective 5- to 15-Year Follow-up. *Am J Sports Med.* 2017;45:355-361.

[39] RAHNEMAI-AZAR AA, ABEBE ES, JOHNSON P, et al. Increased lateral tibial slope predicts high-grade rotatory knee laxity pre-operatively in ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(4):1170-1176.

[40] SIMON RA, EVERHART JS, NAGARAJA HN, et al. A case-control study of anterior cruciate ligament volume, tibial plateau slopes and intercondylar notch dimensions in ACL-injured knees. *J Biomech.* 2010;43(9):1702-1707.

[41] HUANG YL, JUNG J, MULLIGAN CMS, et al. A Majority of Anterior Cruciate Ligament Injuries Can Be Prevented by Injury Prevention Programs: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials and Cluster-Randomized Controlled Trials With Meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2020;48(6):1505-1515.

(责任编辑: GD, ZN, QY, ZLJ)