

Anatomical characteristics of femoral intercondylar notch of knee joint for predicting non-contact anterior cruciate ligament tear

ZHU Yupeng, XU Jun, WANG Qizheng, CHEN Yongye, QIN Siyuan,
YAN Ruixin, XIN Peijin, LANG Ning*

(Department of Radiology, Peking University Third Hospital, Beijing 100191, China)

[Abstract] **Objective** To observe the value of anatomical characteristics of femoral intercondylar notch of knee joint for predicting non-contact anterior cruciate ligament tear (NC-ACLT). **Methods** MRI data of knee joint of 55 patients with NC-ACLT (NC-ACLT group) and 55 controls (control group) were retrospectively analyzed. The parameters of intercondylar notch, including depth, width, depth/width ratio, opening width, opening width index, area and width of the femoral condyle's outer edge at the same level were measured between groups, and the types of intercondylar notch (type A, U and W) were recorded. Univariate and multivariate logistic regression analysis were used to screen the independent impact factors of NC-ACLT. Receiver operating characteristic curves were drawn, and the area under the curves (AUC) were calculated to evaluate the efficacy of each intercondylar notch parameter for predicting NC-ACLT. **Results** The depth and depth/width ratio of intercondylar notch in NC-ACLT group were both higher, while the opening width and opening width index of intercondylar notch in NC-ACLT group were both lower than those in control group (all $P < 0.05$). Multivariate logistic regression analysis revealed that the depth of intercondylar notch was an independent impact factors of NC-ACLT ($P < 0.05$). Taken 29.55 mm in depth of intercondylar notch, 1.45 in depth/width ratio of intercondylar notch, 21.15 mm in opening width of intercondylar notch and 0.29 in opening width index as the optimal cut-off value, respectively, the sensitivity of the above parameters for predicting NC-ACLT was 74.55%, 58.18%, 67.27% and 67.27%, the specificity was 69.09%, 80.00%, 61.82% and 78.18%, and the AUC was 0.720, 0.713, 0.652 and 0.710, respectively. **Conclusion** The anatomical characteristics of femoral intercondylar notch of knee joint could be used to predict NC-ACLT. The depth, depth/width ratio, opening width and opening width index of intercondylar notch could be used as predictive indicators.

[Keywords] anterior cruciate ligament; knee joint; magnetic resonance imaging

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2024.06.022

膝关节股骨髁间切迹解剖特征用于预测非接触性前交叉韧带撕裂

朱玉鹏, 徐俊, 王奇政, 陈永晔, 秦思源, 颜瑞馨, 辛培锦, 郎宁*

(北京大学第三医院放射科, 北京 100191)

[摘要] **目的** 观察以膝关节股骨髁间切迹解剖特征预测非接触性前交叉韧带撕裂(NC-ACLT)的价值。**方法** 对 55 例 NC-ACLT 患者(NC-ACLT 组)及 55 名对照者(对照组)行膝关节 MR, 测算髁间切迹参数(深度、宽度、深度/宽度比值、开口宽度、开口宽度指数、面积及同水平股骨髁外缘宽度)并进行组间比较;记录髁间切迹类型(A、U 及 W 型)。采用单因

[第一作者] 朱玉鹏(1990—),男,山东潍坊人,博士,助理研究员。研究方向:骨骼肌肉疾病影像诊断及新技术应用。E-mail: zhu_yupeng@163.com

[通信作者] 郎宁,北京大学第三医院放射科,100191。E-mail: langning800129@126.com

[收稿日期] 2024-01-04 **[修回日期]** 2024-01-25

素及多因素 logistic 回归分析筛选 NC-ACLT 的独立影响因素;绘制受试者工作特征曲线,计算曲线下面积(AUC),评估各髁间切迹参数预测 NC-ACLT 的效能。**结果** NC-ACLT 组髁间切迹深度及深度/宽度比值均高于、开口宽度及开口宽度指数均低于对照组(P 均 <0.05)。多因素 logistic 回归分析显示,髁间切迹深度为 NC-ACLT 的独立影响因素($P<0.05$)。以髁间切迹深度 29.55 mm、深度/宽度比值 1.45、开口宽度 21.15 mm 及开口宽度指数 0.29 为最佳截断值,各髁间切迹参数预测 NC-ACLT 的敏感度分别为 74.55%、58.18%、67.27% 及 67.27%,特异度分别为 69.09%、80.00%、61.82% 及 78.18%,AUC 分别为 0.720、0.713、0.652 及 0.710。**结论** 膝关节股骨髁间切迹解剖特征可用于预测 NC-ACLT,髁间切迹深度、深度/宽度比值、开口宽度及开口宽度指数可作为预测指标。

[关键词] 前交叉韧带; 膝关节; 磁共振成像

[中图分类号] R686.5; R445.2 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2024)06-0902-05

前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)损伤可致胫骨前移、膝关节稳定性下降,进而加速膝关节退变病程,为最常见、最严重的韧带损伤之一^[1-2]。ACL 损伤可分为接触性损伤与非接触性损伤(non-contact ACL injury, NC-ACL),以 ACL 断裂、即非接触性 ACL 撕裂(non-contact ACL tear, NC-ACLT)最为严重^[2-3],其主要影响因素包括解剖特征、生物力学、运动轨迹及环境因素等^[2-7]。本研究观察以膝关节股骨髁间切迹解剖特征预测 NC-ACLT 的价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象 回顾性分析 2021 年 1 月—12 月 55 例于北京大学第三医院接受标准化 MR 检查的 NC-ACLT 患者(NC-ACLT 组),男 40 例、女 15 例,年龄 18~46 岁、平均(29.0 ± 6.05)岁。纳入标准:①年龄 18~60 岁;②膝关节 MRI 示半月板完整;③关节镜检查证实为单纯性 ACL 损伤。排除标准:①合并多发韧带损伤;②关节软骨损伤;③接触性损伤。另以 55 名因膝关节不适或疼痛但 MRI 未见异常者为对照组,男 40 名、女 15 名,年龄 18~45 岁、平均(28.8 ± 6.1)岁。本研究经院研究伦理委员会批准(IRB00006761-M2023314),检查前所有受试者均知情同意。

1.2 仪器与方法 采用 GE Optima MR360 1.5T/

Signa HDxT 3.0T/Discovery MR750 3.0T/Discovery MR750w 3.0T/Discovery MR750ws 3.0T/Explorer 1.5T、Siemens Prisma 3.0T/Magnetom Sonata 1.5T 或联影 uMR 770 3.0T/uMR 780 3.0T/uMR 660 1.5T MR 仪行标准化膝关节 MR 检查,采集轴位脂肪抑脂(fat suppression, FS)T2WI 及轴位 FS 质子密度加权成像(proton density weighted imaging, PDWI);参数:TE 30~40 ms、TR 2 000~3 000 ms、层厚 4 mm、层间距 0.5 mm、FOV 160 mm×160 mm、矩阵 320×256、NEX 2~3。

1.3 图像分析 由分别具有 5 年及 8 年骨骼肌肉系统诊断经验的放射科医师各 1 名独立阅片,分别于显示髁间切迹最大层面测算髁间切迹参数(包括深度、宽度^[8]、深度/宽度比值、开口宽度^[9]、开口宽度指数、面积^[10]及同水平股骨髁外缘宽度)并记录髁间切迹类型^[11](A、U 及 W 型)。测量髁间切迹深度及宽度时,先沿股骨髁后缘画直线,沿其平行线测量最大宽度、沿其垂直线测量最大深度。见图 1~4。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 27.0 统计分析软件。以 $\bar{x} \pm s$ 表示符合正态分布的计量资料,行独立样本 t 检验;以中位数(上下四分位数)表示不符合正态分布的计量资料,行秩和检验。采用 Fisher 精确概率法比

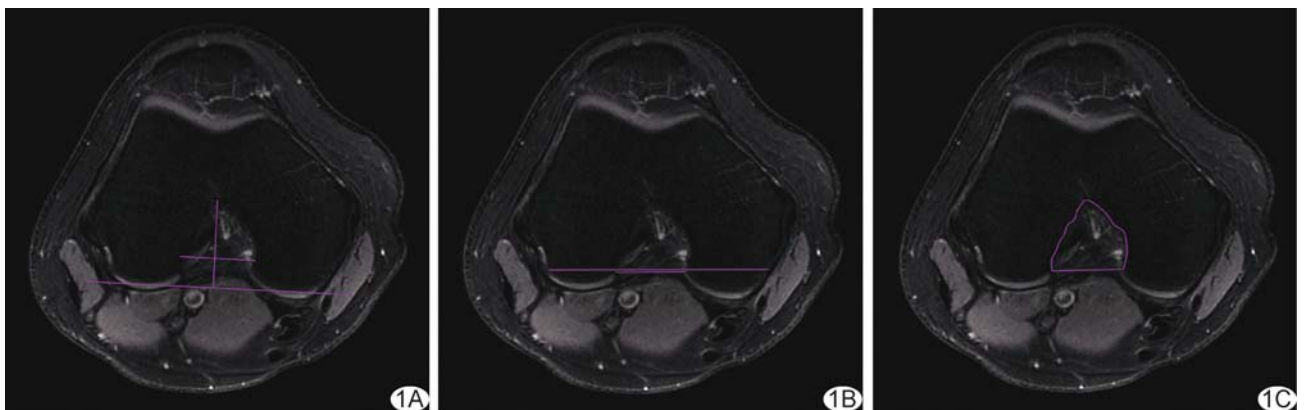


图 1 测量髁间切迹深度及宽度(A)、开口宽度及同水平股骨髁外缘宽度(B)及面积(C)示意图

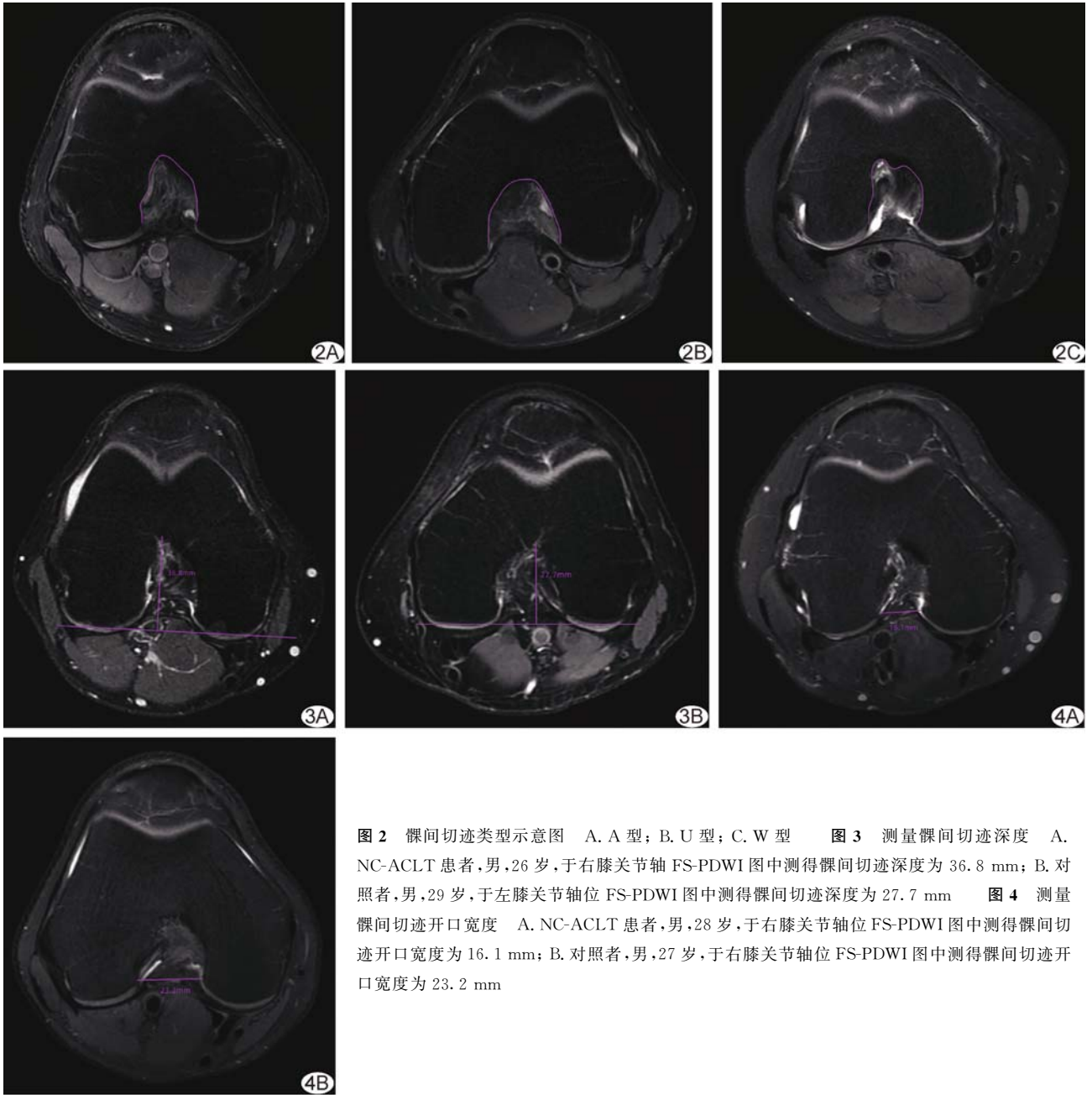


图 2 髌间切迹类型示意图 A. A 型; B. U 型; C. W 型 图 3 测量髌间切迹深度 A. NC-ACLT 患者,男,26 岁,于右膝关节轴位 FS-PDWI 图中测得髌间切迹深度为 36.8 mm; B. 对照者,男,29 岁,于左膝关节轴位 FS-PDWI 图中测得髌间切迹深度为 27.7 mm 图 4 测量髌间切迹开口宽度 A. NC-ACLT 患者,男,28 岁,于右膝关节轴位 FS-PDWI 图中测得髌间切迹开口宽度为 16.1 mm; B. 对照者,男,27 岁,于右膝关节轴位 FS-PDWI 图中测得髌间切迹开口宽度为 23.2 mm

较计数资料。以组内相关系数(intra-class correlation coefficient, ICC)行观察者内及观察者间一致性检验,以 $ICC > 0.75$ 为一致性良好。采用单因素及多因素 logistic 回归分析筛选 NC-ACLT 的独立影响因素。绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线,计算曲线下面积(area under the curve, AUC),评估各髌间切迹参数预测 NC-ACLT 的效能。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

观察者内及观察者间测量髌间切迹参数结果的一

致性均良好(ICC 为 0.855~0.996)。NC-ACLT 组髌间切迹深度及深度/宽度比值均高于、开口宽度及开口宽度指数均低于对照组(P 均 < 0.05);组间髌间切迹宽度、面积、同水平股骨髌外缘宽度及髌间切迹类型差异均无统计学意义(P 均 > 0.05)。见表 1。

多因素 logistic 回归分析显示,髌间切迹深度为 NC-ACLT 的独立影响因素($P < 0.05$)。见表 2。

ROC 曲线显示,分别以 29.55 mm、1.45、21.15 mm 及 0.29 为髌间切迹深度、深度/宽度比值、开口宽度及开口宽度指数的最佳截断值,其预测 NC-ACLT 的敏感

表 1 55 例 NC-ACLT 患者与 55 名对照者膝关节髌间切迹解剖特征比较

组别	髌间切迹参数				
	深度(mm)	宽度(mm)	深度/宽度比值	开口宽度(mm)	开口宽度指数
NC-ACLT 组 (n=55)	30.86±2.43	21.06±2.41	1.48±0.18	20.68±3.02	0.29±0.03
对照组(n=55)	28.94±2.35	21.55±2.36	1.35±0.14	22.04±3.04	0.31±0.03
t/χ ² 值	4.154	-1.140	4.156	-2.479	-3.277
P 值	<0.001	0.257	<0.001	0.015	0.001

组别	髌间切迹参数		髌间切迹类型		
	面积(mm ²)	股骨髌外缘宽度(mm)	A(例)	U(例)	W(例)
NC-ACLT 组 (n=55)	4.02±0.61	71.44±5.30	43	12	0
对照组(n=55)	3.95±0.70	70.97±5.49	38	16	1
t/χ ² 值	0.495	0.324			
P 值	0.622	0.747		0.387*	

注：*：采用 Fisher 精确概率法

表 2 logistic 回归分析显示 NC-ACLT 影响因素

髌间切迹参数	β 值	SE 值	Wald 值	P 值	OR 值	95% CI
深度	0.492	0.166	8.785	0.003	1.636	1.181, 2.266
深度/宽度比值	-0.310	2.412	0.017	0.898	0.733	0.006, 82.805
开口宽度	-0.400	0.221	3.269	0.071	0.670	0.434, 1.034
开口宽度指数×10*	1.340	1.527	0.769	0.380	3.818*	0.191, 76.198

注：*：为避免 OR 值过大，采取开口宽度指数×10

度分别为 74.55%、58.18%、67.27% 及 67.27%，特异度分别为 69.09%、80.00%、61.82% 及 78.18%，AUC 分别为 0.720、0.713、0.652 及 0.710。

3 讨论

NC-ACLT 不仅严重影响膝关节功能，还加速膝关节退变进程^[1,4]。既往 NC-ACLT 相关解剖特征研究主要集中于股骨滑车形态、alpha 角、胫骨平台坡度、胫骨后下斜率及 ACL 等几何形态等方面，也有部分学者关注股骨髌间切迹类型及体积^[6,11-15]。本研究基于膝关节 MRI 测算股骨髌间切迹多种解剖特征，观察其预测 NC-ACLT 的价值。

髌间切迹宽度减小可增加 ACL 与切迹骨性撞击概率而引起 ACL 损伤^[16]。既往研究^[14]发现，ACL 体积、髌间切迹宽度减小及髌间切迹前内侧出口骨嵴厚度增加均为 NC-ACLT 的独立危险因素，且 ACL 体积小与髌间切迹宽度缩小存在相关性。本研究组间髌间切迹宽度无明显差异，与 WHITNEY 等^[14]研究结果不一致，可能与测量方法有关：既往研究于不同层面测量髌间切迹宽度，包括髌间切迹开口宽度，而本研究仅于轴位 MRI 测量髌间切迹最大宽度。此外，本研究发现髌间切迹深度为 NC-ACLT 的独立影响因素，深度每增加 1 mm、NC-ACLT 风险

增加 1.636 倍。髌间切迹深度与宽度可能均通过增加骨性撞击概率而使 NC-ACLT 风险增加，故其间存在一定共性。

IRIUCHISHIMA 等^[9]报道，NC-ACLT 患者胫骨嵴宽度、髌间切迹开口宽度及开口指数均明显减小；LANSDOWN 等^[17]指出，胫骨嵴与股骨髌间切迹间可能存在关节，故胫骨嵴形态异常可通过改变膝关节运动影响 ACL 运动轨迹，严重时引起 NC-ACLT。BOURAS 等^[18]认为髌间切迹开口宽度指数并非 ACL 损伤的危险因素，二者无明显相关性。本研究 NC-ACLT 组髌间切迹开口宽度及开口宽度指数明显小于对照组，支持 IRIUCHISHIMA 等^[9,17]的观点，即髌间切迹开口宽度较小可能限制 ACL 活动范围、增加其

与骨性结构撞击可能、降低膝关节稳定性而增加 NC-ACLT 风险。

既往研究^[11,18]认为 A 型髌间切迹为 ACL 损伤高危因素。本研究组间髌间切迹类型无明显差异，可能与样本量有限、且判读图像易受主观因素影响有关。此外，髌间切迹深度增大和开口宽度减小所形成的髌间切迹形态近似 A 型，故推测 A 型髌间切迹与 NC-ACLT 存在一定相关性，有待后续进一步观察。

综上所述，膝关节股骨髌间切迹解剖特征可用于预测 NC-ACLT。髌间切迹深度及深度/宽度比值增加、开口宽度及开口宽度指数减小与发生 NC-ACLT 相关，其损伤机制可能与 ACL、髌间切迹之间的骨性撞击及 ACL 负荷增加有关。但本研究为单中心回顾性分析、样本量有限，未纳入身高、体质量等参数，且髌间切迹形态差异较大，判断其类型可能存在偏差，有待后续加以完善。

利益冲突：全体作者声明无利益冲突。

作者贡献：朱玉鹏研究设计和实施、图像和数据分析、查阅文献、撰写和修改文章、统计分析；徐俊研究实施、图像分析；王奇政、陈永晔、秦思源、颜瑞馨、辛培锦研究实施、数据分析；郎宁指导、研究设计、审阅文章、经费支持。

[参考文献]

- [1] WEBSTER K E, HEWETT T E. Anterior cruciate ligament injury and knee osteoarthritis: An umbrella systematic review and meta-analysis[J]. *Clin J Sport Med*, 2022, 32(2):145-152.
- [2] BODEN B P, SHEEHAN F T. Mechanism of non-contact ACL injury: OREF Clinical Research Award 2021[J]. *J Orthop Res*, 2022, 40(3):531-540.
- [3] YU B, GARRETT W E. Mechanisms of non-contact ACL injuries[J]. *Br J Sports Med*, 2007, 41(Suppl 1):i47-i51.
- [4] STONE A V, MARX S, CONLEY C W. Management of partial tears of the anterior cruciate ligament: A review of the anatomy, diagnosis, and treatment[J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2021, 29(2):60-70.
- [5] MUSAHL V, NAZZAL E M, LUCIDI G A, et al. Current trends in the anterior cruciate ligament part 1: Biology and biomechanics[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2021, 30(1):20-33.
- [6] ISIKLAR S, OZDEMIR S T, GOKALP G. An association between femoral trochlear morphology and non-contact anterior cruciate ligament total rupture: A retrospective MRI study[J]. *Skeletal Radiol*, 2021, 50(7):1441-1454.
- [7] CARLSON V R, SHEEHAN F T, BODEN B P. Video analysis of anterior cruciate ligament (ACL) injuries: A systematic review[J]. *JBJs Rev*, 2016, 4(11):e5.
- [8] van KUIJK K S R, REIJMAN M, BIERMA-ZEINSTRAS M A, et al. Smaller intercondylar notch size and smaller ACL volume increase posterior cruciate ligament rupture risk[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2023, 31(2):449-454.
- [9] IRIUCHISHIMA T, GOTO B, FU F H. The occurrence of ACL injury influenced by the variance in width between the tibial spine and the femoral intercondylar notch [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2020, 28(11):3625-3630.
- [10] IRIUCHISHIMA T, GOTO B. Can the ACL cross-sectional area be predicted? Size correlation and proportion between the ACL cross-sectional area and the femoral intercondylar notch area[J]. *J Knee Surg*, 2023. doi:10.1055/s-0043-1771194.
- [11] BARNUM M S, BOYD E D, VACEK P, et al. Association of geometric characteristics of knee anatomy (alpha angle and intercondylar notch type) with noncontact ACL injury[J]. *Am J Sports Med*, 2021, 49(10):2624-2630.
- [12] WANG Y L, YANG T, ZENG C, et al. Association between tibial plateau slopes and anterior cruciate ligament injury: A meta-analysis[J]. *Arthroscopy*, 2017, 33(6):1248-1259.e4.
- [13] HENDRIX S T, BARRETT A M, CHREA B, et al. Relationship between posterior-inferior tibial slope and bilateral noncontact ACL injury [J]. *Orthopedics*, 2017, 40(1):e136-e140.
- [14] WHITNEY D C, STURNICK D R, VACEK P M, et al. Relationship between the risk of suffering a first-time noncontact ACL injury and geometry of the femoral notch and ACL: A prospective cohort study with a nested case-control analysis[J]. *Am J Sports Med*, 2014, 42(8):1796-1805.
- [15] ROLLET M E, KNAFO Y, GRANGER B, et al. Femoral intercondylar notch: Accuracy of a novel MRI measurement protocol [J]. *Orthop Traumatol Surg Res*, 2022, 108(3):103238.
- [16] SIMON R A, EVERHART J S, NAGARAJA H N, et al. A case-control study of anterior cruciate ligament volume, tibial plateau slopes and intercondylar notch dimensions in ACL-injured knees[J]. *J Biomech*, 2010, 43(9):1702-1707.
- [17] LANSDOWN D, MA C B. The influence of tibial and femoral bone morphology on knee kinematics in the anterior cruciate ligament injured knee [J]. *Clin Sports Med*, 2018, 37(1):127-136.
- [18] BOURAS T, FENNEMA P, BURKE S, et al. Stenotic intercondylar notch type is correlated with anterior cruciate ligament injury in female patients using magnetic resonance imaging[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2018, 26(4):1252-1257.