

· 临床研究 ·

基于 EOS 双平面成像分析 Blumensaat 线的空间倾斜度与前交叉韧带损伤的相关性

李剑¹, 王渭君², 孙明辉², 蒋青², 翁文杰^{1,2}

(1. 南京中医药大学中西医结合鼓楼临床医学院 运动医学与成人重建外科, 江苏 南京 210008; 2. 南京大学医学院附属鼓楼医院 运动医学与成人重建外科, 江苏 南京 210008)

【摘要】 目的: 采用 EOS 双平面成像系统测量非接触性前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 损伤患者 Blumensaat 线与股骨机械轴间的夹角 (angle composed by femoral mechanical axis and Blumensaat line, FMBL 角), 与侧位 X 线片上 Blumensaat 线与股骨远端轴线的夹角 (α 角) 进行比较, 评估其与 ACL 损伤的相关性, 预测非接触性 ACL 损伤易发人群的准确性。方法: 回顾性分析 2018 年 2 月至 2020 年 10 月收治的 88 例 (176 膝) 单侧非接触性 ACL 损伤患者的双下肢骨骼全长 EOS 影像资料, 男 53 例, 女 35 例; 年龄 18~45 (30.3±6.2) 岁; 左侧 48 例, 右侧 40 例。根据 ACL 损伤组患者 ACL 损伤的肢体侧别将测量角度参数分为 ACL 患侧组和 ACL 健侧组。并在 EOS 数据库中选取 51 例 (51 膝) 非 ACL 损伤者的完全健康侧肢体作为正常对照组, 男 28 例, 女 23 例; 年龄 20~44 (31.6±5.5) 岁; 左膝 26 例, 右膝 25 例。将 3 组下肢骨骼全长 EOS 影像 3D 建模, 并测量 FMBL 角与 α 角。采用单因素二分类 Logistic 回归分析角度对 ACL 状态 (正常或撕裂) 的影响, 并根据受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线得出最佳临界值。结果: ACL 损伤组与正常对照组年龄、性别和侧别比较, 差异无统计学意义 ($P>0.05$)。ACL 患侧组 FMBL 角 (32.8±2.3)[°] 与 ACL 健侧组 (32.5±2.3)[°] 比较, 差异无统计学意义 ($P>0.05$), 但均明显低于正常对照组 (37.0±2.0)[°] ($P<0.001$)。ACL 患侧组、ACL 健侧组、正常对照组间 α 角比较, 差异无统计学意义 ($P>0.05$)。单因素二分类 Logistic 回归分析结果显示, FMBL 角是非接触性 ACL 损伤的危险因素 [$OR=0.433, 95\%CI(0.330, 0.569), P<0.001$]。FMBL 角的 ROC 曲线下面积为 0.909 [95%CI(0.861, 0.958), $P<0.001$], 最佳诊断界点值为 33.7[°], 敏感度 70.5%, 特异度 98.0%。结论: Blumensaat 线与股骨机械轴形成的 FMBL 角是非接触性 ACL 损伤的危险因素之一, 具有良好的预测准确性, 当角度 $\leq 33.7^{\circ}$ 时发生非接触性 ACL 损伤的风险增加。

【关键词】 前交叉韧带; 膝关节; Blumensaat 线; α 角; 危险因素; EOS 双平面成像

中图分类号: R686.5; R816.8

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.2023.04.007

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



Correlation between spatial inclination of Blumensaat line and anterior cruciate ligament injury based on EOS biplanar 3D imaging system

LI Jian¹, WANG Wei-jun², SUN Ming-hui², JIANG Qing², WENG Wen-jie^{1,2} (1. Department of Sports Medicine and Adult Reconstruction, Nanjing Drum Tower Hospital Clinical College of Traditional Chinese and Western Medicine, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210008, Jiangsu, China; 2. Department of Sports Medicine and Adult Reconstruction, Nanjing Drum Tower Hospital, the Affiliated Hospital of Nanjing University Medical School, Nanjing 210008, Jiangsu, China)

ABSTRACT Objective To explore correlation between femoral mechanical axis and Blumensaat line (FMBL) angle of knee joint (angle between Blumensaat line and femoral mechanical axis), α angle (angle between Blumensaat line and axis of distal femur in sagittal plane) on EOS biplane imaging and non-contact anterior cruciate ligament (ACL) injury, and evaluate angle for its accuracy in predicting the populations prone to non-contact ACL injury. **Methods** From February 2018 to October 2020, EOS imaging and clinical data from 88 patients (176 knees) with unilateral non-contact ACL injury were retrospectively analyzed, including 53 males and 35 females, aged from 18 to 45 years old with an average of (30.3±6.2) years old, 48 patients on the left side and 40 patients on the right side. The patients were divided into ACL-affected group and ACL-health group according to side of ACL injuries, and 51 patients (51 knees) with non-ACL identified from EOS database were included in normal control group, including 28 males and 23 females, aged from 20 to 44 years old with an average of (31.6±5.5) years old, 26

基金项目: 国家自然科学基金 (面上项目) (编号: 52071175); 南京市卫生科技发展资金项目 (编号: YKK21106)

Fund program: National Natural Science Foundation of China (No. 52071175)

通讯作者: 翁文杰 E-mail: drwilliamwang@163.com

Corresponding author: WENG Wen-jie E-mail: drwilliamwang@163.com

patients on the left side and 25 patients on the right side. Full-length EOS imaging of skeleton extremities inferioris among three groups were reconstructed to 3D images of skeletal system with EOS software, and then FMBL angle and α angle were measured on the images. Univariate binary Logistic regression analysis was performed to determine the influence of the univariate (FMBL angle or α angle) on ACL status (normal or torn). And the angle cutoff value for univariate was selected based on receiver operating characteristics curve (ROC) to get the best accuracy. **Results** There was no statistically significant difference in age, gender and side distribution between ACL-injured group and normal control group ($P>0.05$). Statistical analyses (one-way ANOVA) indicated no significant difference in FMBL angle between ACL-injured knee group (32.8 ± 2.3) $^{\circ}$ and ACL-injured contralateral knee group (32.5 ± 2.3) $^{\circ}$ ($P>0.05$), but the values between two groups were significantly lower than that in normal control group (37.0 ± 2.0) $^{\circ}$ ($P<0.001$). There was no statistically significant difference in α angle among three groups ($P>0.05$). Univariate binary Logistic regression analysis demonstrated that FMBL angle was risk factor for non-contact ACL injury [$OR=0.433, 95\% CI (0.330, 0.569), P<0.001$]. The area under ROC curve for FMBL angle was 0.909 [$95\% CI (0.861, 0.958), P<0.001$], and the sensitivity and specificity were 70.5% and 98.0% respectively, cut-off value was 33.7 $^{\circ}$. **Conclusion** FMBL angle formed by Blumensaat line and femoral mechanical axis is one of the risk factors for non-contact ACL injury and has good predictive accuracy. The general population with FMBL angle below 33.7 $^{\circ}$ may be increased risk for ACL injury.

KEYWORDS Anterior cruciate ligament; Knee joint; Blumensaat line; α angle; Risk factors; EOS biplane imaging

前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 损伤是膝关节最常见的运动损伤, 占膝关节韧带损伤的 80%^[1-2]。ACL 损伤使得患者运动能力下降, 继发半月板及关节软骨等重要结构的损害^[3], 导致膝骨关节炎的发生^[4-7]。尽管外伤是 ACL 损伤的直接诱因, 但患者自身的解剖结构、神经肌肉协调性、遗传易感性等被认为是发生 ACL 损伤的重要因素^[8-9]。探究非接触性 ACL 损伤患者潜在的解剖危险因素, 有助于对易患个体进行及早干预及指导治疗康复。目前已报道多个膝关节解剖因素可能与 ACL 损伤有关^[10-11], 其中 Blumensaat 线与 ACL 损伤的相关性仍存在争论^[12-17]。本研究采用 EOS 双平面 3D 成像技术测量站立位下 Blumensaat 线与股骨机械轴之间的夹角 (angle composed by femoral mechanical axis and Blumensaat line, FMBL 角), 并依据文献报道做重现性验证测量 Blumensaat 线与股骨远端局部轴线的夹角 (α 角), 比较分析两种角度在 ACL 损伤患者的患侧、健侧及与健康人群间的差异, 评估其对预测非接触性 ACL 损伤的准确性, 为临床诊疗提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 病例选择

ACL 损伤组纳入标准: 年龄 18~45 岁; 经关节镜确诊并行 ACL 重建的单侧非接触性 ACL 损伤患者; 接受 EOS 双平面成像系统拍摄双下肢全长检查。正常对照组纳入标准: 年龄 18~45 岁; 非 ACL 损伤患者; 接受 EOS 双平面成像系统检查的无病患侧肢体。排除标准: 既往下肢骨折史 (骨折侧肢体参数排除), 下肢多发韧带损伤史, 骨关节炎、关节畸形、骨肿瘤, 图像欠佳影响测量数据。

1.2 临床资料

回顾分析 2018 年 2 月至 2020 年 10 月接受

EOS 双平面成像检查的单侧非接触性 ACL 损伤患者以及非 ACL 损伤研究对象中符合纳排除标准的临床资料。单侧非接触性 ACL 损伤患者组 88 例 (176 膝), 男 53 例, 女 35 例; 年龄 18~45 (30.3 \pm 6.2) 岁; 左侧 48 例, 右侧 40 例。ACL 损伤组患者的双下肢测量参数根据 ACL 损伤的肢体侧别再分为 2 个亚组: ACL 患侧组 (ACL 损伤病例患侧肢体组, 88 膝)、ACL 健侧组 (ACL 损伤病例健侧肢体组, 88 膝)。以及 51 例 (51 膝) 非 ACL 损伤正常对照组: 因单侧半月板损伤、单下肢疼痛、异响、骨折后骨性愈合行 EOS 检查的研究对象的对侧 (健侧) 肢体, 男 28 例, 女 23 例; 年龄 20~44 (31.6 \pm 5.5) 岁; 左侧 26 例, 右侧 25 例。

1.3 EOS 三维重建

采用 EOS 双平面成像系统 (EOS Imaging, 法国巴黎) 拍摄双下肢全长正侧位像。患者双足于 EOS 系统摄片舱地板基准点中心对称前后分开自然站立 (通常为患侧左足大拇趾端部位于右足第 1 跖骨水平), 两脚内侧间距约 20 cm, 双侧上肢放置于胸前或扶持于栏杆, 患者足尖位置进行微调, 以使双侧髌骨朝向正前方。调整照射区的上、下部界限, 范围包含患者骨盆及双下肢全长。

所有研究对象的 EOS 图像均以 DICOM 格式上传至 SterEOS (V.1.6.6.8201, EOS Imaging, 法国巴黎) 工作站。由 2 名接受过 SterEOS 操作培训的专科医生作为观察者对已获得的图像分别进行骨盆、双下肢全长的 2D 测量和 3D 建模。选择 SterEOS 工作站中的下肢完整三维建模模式, 测量步骤如下: (1) 下肢参数设定。(2) 髌骨、髌髌关节、髌臼窝识别。(3) 下肢整体定位 (股骨、胫骨识别)。(4) 精准微调。(5) 骨骼外层轮廓修正。双下肢定位、建模完成, SterEOS 工

工作站依据定位建模计算重建下肢 3D 轮廓及解剖轴线、机械轴线。见图 1。

1.4 观察项目与方法

1.4.1 FMBL 角 使用 SterEOS 工作站 3D 工具软件包, 在 EOS 图像上沿股骨髁间切迹顶部做 Blumensaat 线, 并用 3D“线-线”角度工具测量股骨机械轴与 Blumensaat 线之间的夹角, 即 FMBL 角。见图 2。

1.4.2 α 角 依照 IWASAKI 等^[14]描述的方法测量平面 α 角: 在 2D 侧位片上分别于股骨远端关节面

向近端 5 cm 和 10 cm 处做圆(与股骨前后骨皮质相切), 两圆心连线(即股骨远端轴线)与 Blumensaat 线之间的夹角即为 α 角。见图 3。若 2 位医师测量角度结果相差 $\leq 2^\circ$, 则取平均值纳入统计, 相差 $> 2^\circ$ 的研究对象则由第 3 名高年资医师复核评定。

1.5 统计学处理

采用 SPSS 23.0 软件进行统计学分析。采用 Shapiro-Wilk 检验年龄、FMBL 角、 α 角等符合正态分布的定量资料以均值 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示。采用独立样本 *t* 检验比较 ACL 损伤组与正常对照组的年龄差异; 性别、侧别等定性资料比较采用 χ^2 检验。对 FMBL 角、 α 角进行方差齐性检验, 不同组间比较采用单因素方差分析, 组间多重比较采用 LSD-*t* 检验法。将差异有统计学意义的变量进行 Logistic 回归统计分析并构建受试者工作特征(receiver operating characteristic curve, ROC) 曲线研究其对于预测非接触性 ACL 损伤状态(0, 正常; 1, 损伤)易发的敏感性和特异度及诊断临界值。影像学参数测量结果一致性检验采用组内相关系数 (intra-class correlation coefficient, ICC) 进行评价。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

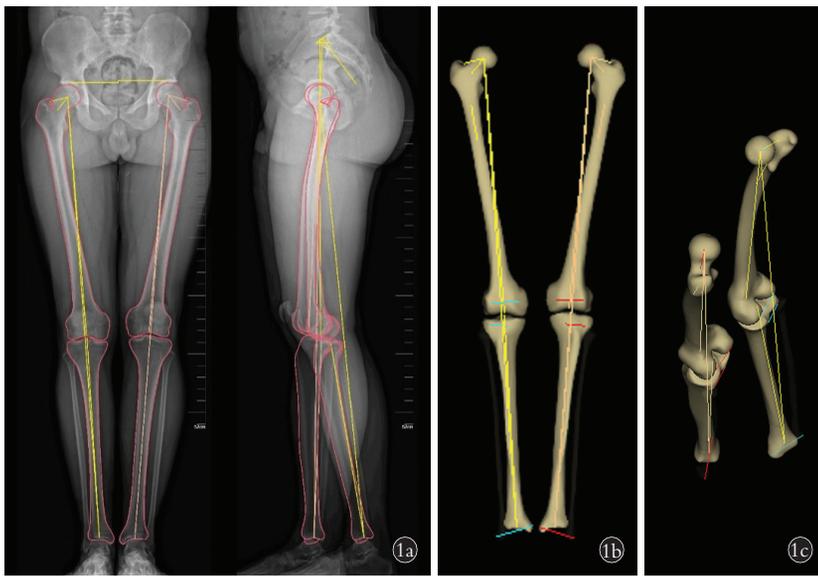


图 1 EOS 系统采集图像经 SterEOS 3D 重建后的双下肢轴线示意图 1a. 标记后的 2D 图像 1b. 3D 重建后的冠状面视图 1c. 3D 重建后的任意视图

Fig.1 Demonstration of lower extremity axis generated by SterEOS 3D software base on images acquired by EOS imaging system 1a. Two-dimensional labeled image 1b. Coronal view of corresponding sterEOS 3D reconstruction 1c. A view of corresponding sterEOS 3D reconstruction from any desired angle

立样本 *t* 检验比较 ACL 损伤组与正常对照组的年龄差异; 性别、侧别等定性资料比较采用 χ^2 检验。对 FMBL 角、 α 角进行方差齐性检验, 不同组间比较采用单因素方差分析, 组间多重比较采用 LSD-*t* 检验法。将差异有统计学意义的变量进行 Logistic 回归统计分析并构建受试者工作特征(receiver operating characteristic curve, ROC) 曲线研究其对于预测非接触性 ACL 损伤状态(0, 正常; 1, 损伤)易发的敏感性和特异度及诊断临界值。影像学参数测量结果一致性检验采用组内相关系数 (intra-class correlation coefficient, ICC) 进行评价。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般情况比较

本研究共纳入非接触性 ACL 损伤患者 88 例, 男 53 例, 女 35 例;

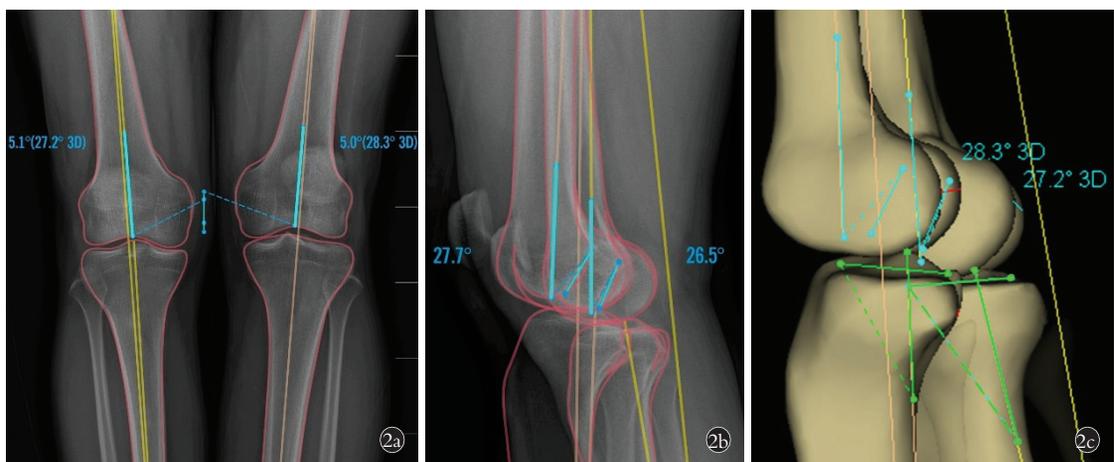


图 2 EOS 3D 图像 FMBL 角的测量 2a, 2b. EOS 2D 正侧位图像上 Blumensaat 线和股骨机械轴(显示为蓝线) 2c. 相应的 SterEOS 3D 重建图像

Fig.2 Demonstration of FMBL angle measurement on EOS 3D image 2a, 2b. Making Blumensaat line and femoral mechanical axis (showed with blue lines) on anteroposterior and lateral EOS 2D images 2c. Corresponding SterEOS 3D reconstruction



注:α角为双圆心定位股骨轴线与 Blumensaat 线之间的夹角

图 3 股骨远端 α 角测量示意图

Fig.3 Demonstration of Alpha angle (α) measured on lateral EOS 2D image

正常对照组患者 51 例,男 28 例,女 23 例。两组年龄、性别、侧别比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。见表 1。

表 1 前交叉韧带损伤组与正常对照组一般情况比较

Tab.1 Comparison of general data between ACL-injured group and normal control group

组别	例数	膝数	年龄 ($\bar{x}\pm s$)/岁	性别/例		侧别/膝	
				男	女	左侧	右侧
ACL 损伤组*	88	176	30.3±6.2	53	35	48 ^a /40 ^b	40 ^a /48 ^b
正常对照组	51	51	31.6±5.5	28	23	26	25
检验值			$t=-1.230$	$\chi^2=0.377$		$\chi^2=1.470$	
P 值			0.221	0.539		0.480	

注: *ACL 损伤组中的下肢参数依据损伤的肢体侧别分为 2 个亚组: ACL 患侧组、ACL 健侧组; a, ACL 患侧组数据; b, ACL 健侧组数据

2.2 FMBL 角

ACL 患侧组 FMBL 角(32.8 ± 2.3)°,与正常对照组 FMBL 角(37.0 ± 2.0)°比较,差异有统计学意义($P<0.001$); ACL 健侧组 FMBL 角(32.5 ± 2.3)°与正常对照组 FMBL 角(37.0 ± 2.0)°比较,差异有统计学意义($P<0.001$); ACL 患侧组与 ACL 健侧组 FMBL 角比较,差异无统计学意义($P=0.357$)。见表 2。

将 FMBL 角构建二分类 Logistic 回归方程,表明 FMBL 角越小将增加非接触性 ACL 损伤的风险,具有显著相关性[$OR=0.433, 95\%CI(0.330, 0.569), P<0.001$]。

表 2 各组膝关节 FMBL 角与 α 角比较($\bar{x}\pm s$)

Tab.2 Comparison of FMBL angle and α angle among three groups($\bar{x}\pm s$)

组别	膝数	FMBL 角	单位:°	
			α 角	
ACL 患侧组	88	32.8±2.3*	37.9±3.0	
ACL 健侧组	88	32.5±2.3 ^Δ	37.7±3.1	
正常对照组	51	37.0±2.0	38.2±3.0	
F 值		74.851	0.491	
P 值		<0.001	0.613	

注:与正常对照组比较, * $t=-10.630, P<0.001$; ^Δ $t=-11.420, P<0.001$; ACL 患侧组与 ACL 健侧组 FMBL 角比较, $LSD-t=0.9222, P=0.357$

2.3 平面 α 角

ACL 患侧组、健侧组、和正常对照组 α 角分别为(37.9 ± 3.0)°、(37.7 ± 3.1)°和(38.2 ± 3.0)°, 3 组间比较差异无统计学意义($F=0.491, P=0.613$)。见表 2。

2.4 ROC 曲线结果

以 ACL 的病理状态作为状态变量建立的 ROC 曲线见图 4。FMBL 角度预测 ACL 损伤易发的 ROC 曲线下面积为 0.909 [95% CI (0.861, 0.958), $P<0.001$], 对应的诊断界点值 FMBL 角为 33.7°, 敏感度为 70.5%, 特异度 98.0%, 约登指数(Youden's index)为 0.685。

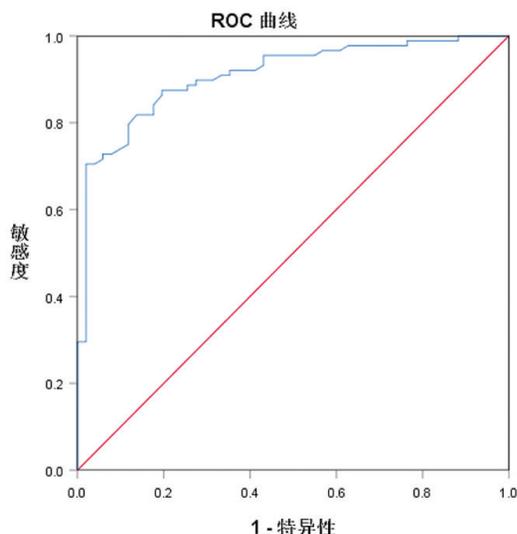


图 4 FMBL 角预测 ACL 损伤易发的 ROC 曲线

Fig.4 Receiver operating characteristic curve identifying people prone to ACL injury by the FMBL angle of knee joint

2.5 组内相关系数

基于 EOS 测量 FMBL 角的观察者间一致性的 ICC 均在 0.82 以上, 短节段膝关节股骨远端双圆心法测量平面 α 角的观察者间一致性 ICC 在 0.75 以上。见表 3。

表 3 FMBL 角及 α 角测量组内相关系数
Tab.3 Interclass correlation coefficient for FMBL angle and α angle

测量参数	组别	膝数	观察者 A 观测角度($\bar{x}\pm s$)/°	观察者 B 观测角度($\bar{x}\pm s$)/°	ICC	95% CI 值	P 值
FMBL 角	ACL 患侧组	88	32.9±2.5	32.8±2.3	0.932	0.898, 0.955	<0.001
	ACL 健侧组	88	32.6±2.4	32.4±2.2	0.872	0.811, 0.914	<0.001
	正常对照组	51	36.6±1.9	37.4±2.2	0.821	0.502, 0.921	<0.001
α 角	ACL 患侧组	88	38.0±3.1	37.7±3.4	0.755	0.649, 0.832	<0.001
	ACL 健侧组	88	37.6±3.1	37.7±3.5	0.752	0.644, 0.830	<0.001
	正常对照组	51	37.9±3.5	38.5±2.9	0.769	0.627, 0.861	<0.001

3 讨论

本研究采用 EOS 3D 成像技术测量 FMBL 角, 并重现性验证既往文献报道的平面 α 角^[14], 评估这两种角度对反映 Blumensaat 线倾斜度与非接触性 ACL 损伤相关性的预测准确度。结果显示本研究提出的 FMBL 角是非接触性 ACL 损伤的危险因素之一, 具有良好的预测准确性, 而平面 α 角的测量差异无统计学意义。

3.1 EOS 成像技术在骨骼测量中的应用重现性与准确性

EOS 双平面成像技术依靠其特殊的两组联动狭槽宽幅线性 X 射线束管和可检测单个光子辐射的探测技术, 可捕获相互校准的正交、高对比清晰度骨骼图像^[15-17], 国内外多项研究证实^[18-20]其三维测量的骨骼参数与 CT 比较的准确性与重现性, 并具备短时间内超低辐射剂量下全身骨骼扫描及可负重位下检查的优势。佟志忠等^[21]认为采用 EOS 成像摄取 ACL 损伤患者的下肢全长影像可精确评估胫骨平台后倾角。

本研究 2 名观察者在采用 EOS 3D 测量 FMBL 角时, 数据结果之间表现出很高的观察者间一致性, 也表明了利用 EOS 双平面 3D 成像测量 FMBL 角度具有很好的重现性。在利用 EOS 进行侧位片上 α 角测量时, ICC 值较三维测量有所下降, 笔者以为这与依照以往文献^[14]所述测量二维平面上的 α 角的方法有关, EOS 2D 测量时与常规下肢侧位 X 线片一样, 均于股骨关节面向近端 5 cm、10 cm 处做 2 个相切于股骨前后骨皮质的圆, 增加了观察者的主观操作步骤, 且没有 EOS 3D 技术中的骨骼整体定位识别及轮廓精准微调修正, 从而使观察者间的 2D 测量数据 α 角之间 ICC 较 3D 成像测量 FMBL 角的 ICC 稍有下降, 但依然具有良好信度。

3.2 α 角、FMBL 角与非接触性 ACL 损伤的相关性

既往文献^[12-14, 22]采用膝关节侧位 X 线片、CT、MRI 等在二维平面测量 α 角的方法研究股骨髁间顶部 Blumensaat 线与非接触性 ACL 损伤的相关性, 但

结论一直存在争议: HUANG 等^[23]通过 MRI 测量 ACL 损伤患者的平面 α 角比正常人群更小, 平均为 38.46°; 其另一项对 Blumensaat 线的研究^[11]认为平面 α 角减小只是男性 ACL 损伤患者的危险因素之一; BOURAS 等^[24]通过 MRI 测量显示平面 α 角并不是 ACL 损伤的危险因素, 有必要对 Blumensaat 线的解剖关系进一步深入研究; 而 FERNÁNDEZ-JAÉN 等^[12]分析 α 角时得出与 HUANG 等^[11, 23]的研究完全相反的结论, 认为 ACL 损伤是与 α 角的增大有关, 其危险程度与该角度的增大成正相关性。

本研究对既往报道的平面 α 角进行了重复性验证, 数据分析显示 3 组间平面 α 角比较, 差异无统计学意义, 未发现 α 角与非接触性 ACL 损伤存在相关性。BOURAS 等^[24]的研究结论也证实了这一点。出现上述对 α 角结论的争议, 笔者认为可能与以下因素有关: (1) 研究对象种族、地区差异。(2) 探究 Blumensaat 线与 ACL 损伤相关性时所采用的平面 α 角的科学性、重现性有待考证。既往各研究报道均为分析患者的影像矢状面(侧位片)图像, 其极易受研究对象肢体摆放位置的影响, 导致肢体的实际解剖矢状面并不是影像扫描断面(即同一患者的不同次扫描, 出现多种影像扫描矢状面), 从而在扫描呈现的矢状切面(侧位片)上绘制出错误的“Blumensaat 线”以及“股骨远端轴线”, 造成“平面 α 角”数据的不可避免的偏倚。

因此, 本研究提出使用不受肢体摆放位置影响的股骨力线及可三维重建的 EOS 3D 系统对新命名的 FMBL 角与 ACL 损伤的相关性进一步探究, 发现 ACL 损伤患者的患侧与健侧肢体的 FMBL 角均比正常对照组小, 而患者两侧肢体间 FMBL 角比较, 差异无统计学意义, 结果说明: (1) FMBL 角度的减小与 ACL 损伤存在相关性。(2) ACL 损伤患者的双下肢 FMBL 角的解剖参数是对称的, 并无明显区别。(3) FMBL 角度减小只是 ACL 损伤的危险因素之一——患者健侧肢体并未发生 ACL 损伤, 表明 FMBL 角的减小具有潜在危险性, 在其他因素共同作用

下才会导致 ACL 的损伤。

3.3 Blumensaat 线的空间倾斜度对非接触性 ACL 损伤的影响机制

目前关于 Blumensaat 线倾斜度导致非接触性 ACL 损伤的运动生物力学研究虽未见明确报道,但多数学者认为韧带撞击可能是 ACL 损伤的重要机制之一^[12,24]。本研究通过 FMBL 角研究 Blumensaat 线的空间倾斜度后认为膝关节处于相同屈伸角度下(即股骨机械轴与胫骨机械轴间角度变量),FMBL 角较小的患者其股骨髁间顶部向股骨髁正前方移行处的空间结构曲度(非股骨髁间切迹移行处解剖曲度)较 FMBL 角大的正常人群更加陡峭,ACL 上段处于更接近于垂直的状态,因 ACL 的胫骨止点位于前下方股骨髁间嵴,且其位置比例固定不随股骨远端解剖结构的髁间切迹顶角(平面 α 角)的大小而变化^[25],ACL 在股骨髁间切迹移行拐角处发生向前下方的曲折,频繁的与前方股骨髁间切迹拐角支点处的撞击导致 ACL 损伤的概率增加。当 FMBL 角较大时,ACL 处于相对斜缓位置,其向胫骨止点端移行所弯曲的角度平缓或未受股骨髁间切迹的支点碰撞影响。因此,在运动过程中,膝关节要达到相同的活动范围时,FMBL 角小的人群 ACL 易受到股骨髁间切迹移行处拐角支点的切割式撞击,其 ACL 的张力也相应升高,更易发生损伤断裂。

3.4 本研究的局限性

本研究的局限性:(1) 本试验为回顾性分析,设置严格的纳入、排除标准以及研究对象进行 EOS 检查时因多种原因(诊断需要、疾病限制、患者依从性等)使得本研究样本数量较小。(2) 由于缺乏人体测量的基础数据,无法将身高、体重、BMI 纳入本次研究中。(3) 只进行了 ACL 股骨止点处的 FMBL 角因素分析,胫骨髁间棘止点是否也具有重要影响有待进一步研究。本团队将在临床工作中继续收集病例进行非接触性 ACL 损伤因素的后续补充、验证,以及其他相关因素的探索。

综上所述,Blumensaat 线与股骨机械轴间的 FMBL 角减小是非接触性 ACL 损伤的危险因素之一,具有良好的预测准确性。临床医生对于 FMBL 角度较小的患者行关节镜下 ACL 重建骨隧道位置选择时需予以重视,尽可能避免或减小重建韧带与股骨髁间切迹移行处的撞击。

参考文献

[1] 王新民,刘飞,王巍,等. 关节镜下三隧道股骨端带鞘挤压钉固定双束重建前十字韧带的临床研究[J]. 中华骨科杂志,2018(1):38-45.
WANG X M,LIU F,WANG W,et al. Clinical research of anterior cruciate ligament anatomic reconstruction using three-tunnel double-

bundle methods with femoral-intrafix system[J]. Chin J Orthop, 2018(1):38-45. Chinese.

[2] GIANOTTI S M,MARSHALL S W,HUME P A,et al. Incidence of anterior cruciate ligament injury and other knee ligament injuries : a national population-based study[J]. J Sci Med Sport,2009,12(6):622-627.

[3] 韩啸,宋笑笑,宋凯,等. 前交叉韧带断裂合并半月板损伤手术方式选择的影响因素[J]. 中华骨与关节外科杂志,2019,12(3):211-215.
HAN X,SONG X X,SONG K,et al. Influential factors of surgical approach for anterior cruciate ligament rupture combined with meniscus injury[J]. China J Bone Joint Surg,2019,12(3):211-215. Chinese.

[4] 吴毅,蔡道章,赵畅,等. 成人前交叉韧带断裂并半月板损伤的临床研究[J]. 中华关节外科杂志(电子版),2015,9(4):483-487.
WU Y,CAI D Z,ZHAO C,et al. Clinical study on adult anterior cruciate ligament rupture in combination with meniscus injuries[J]. Chin J Joint Surg (Electronic Edition),2015,9(4):483-487. Chinese.

[5] 马勇,敖英芳. 前交叉韧带断裂后股骨髁间窝变化的影像学研究[J]. 中华关节外科杂志(电子版),2009,3(2):175-178.
MA Y,AO Y F. Imaging research of femoral intercondylar notch stenosis induced by anterior cruciate ligament tears[J]. Chin J Joint Surg (Electronic Edition),2009,3(2):175-178. Chinese.

[6] 刘伟乐,易瑜华,孙春汉,等. 关节滑液血管活性肠肽水平与膝前交叉韧带损伤后关节软骨退变相关性研究[J]. 中华关节外科杂志(电子版),2015,9(4):1-4.
LIU W L,YI Y H,SUN C H,et al. Association of synovial fluid vasoactive intestinal peptide levels with cartilage damage following anterior cruciate ligament injury[J]. Chin J Joint Surg (Electronic Edition),2015,9(4):1-4. Chinese.

[7] NEBELUNG W,WUSCHECH H. Thirty-five years of follow-up of anterior cruciate ligament-deficient knees in high-level athletes[J]. Arthroscopy,2005,21(6):696-702.

[8] SMITH H C,VACEK P,JOHNSON R J,et al. Risk factors for anterior cruciate ligament injury : a review of the literature-part 1 : neuromuscular and anatomic risk[J]. Sports Health,2012,4(1):69-78.

[9] PFEIFFER T R,BURNHAM J M,HUGHES J D,et al. An increased lateral femoral condyle ratio is a risk factor for anterior cruciate ligament injury[J]. J Bone Joint Surg Am,2018,100(10):857-864.

[10] SHEN X Y,XIAO J L,YANG Y H,et al. Multivariable analysis of anatomic risk factors for anterior cruciate ligament injury in active individuals[J]. Arch Orthop Trauma Surg,2019,139(9):1277-1285.

[11] HUANG M Q,LI Y B,LI H D,et al. Correlation between knee anatomical angles and anterior cruciate ligament injury in males[J]. Radiol Med,2021,126(9):1201-1206.

[12] FERNÁNDEZ-JAÉN T,LÓPEZ-ALCOROCHO J M,RODRIGUEZ-IÑIGO E,et al. The importance of the intercondylar Notch in anterior cruciate ligament tears[J]. Orthop J Sports Med,2015,3(8):2325967115597882.

[13] JOYNER P W,MILLS F B 4th,BROTHERTON S,et al. Blumensaat line as a prediction of native anterior cruciate ligament length[J]. Orthop J Sports Med,2020,8(8):2325967120943185.

- [14] 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.
- [15] MELHEM E, ASSI A, EL RACHKIDI R, et al. EOS® biplanar X-ray imaging: concept, developments, benefits, and limitations [J]. *J Child Orthop*, 2016, 10(1): 1-14.
- [16] 李青, 翁文杰, 王渭君, 等. EOS 成像系统的介绍及其评估下肢力线临床价值的研究现状 [J]. *中国骨伤*, 2019, 32(9): 875-878.
LI Q, WENG W J, WANG W J, et al. Introduction of EOS imaging system and its current research status in evaluating clinical value of lower limb force line [J]. *China J Orthop Traumatol*, 2019, 32(9): 875-878. Chinese.
- [17] LAW M, MA W K, CHAN E, et al. Evaluation of cumulative effective dose and cancer risk from repetitive full spine imaging using EOS system: impact to adolescent patients of different populations [J]. *Eur J Radiol*, 2017, 96: 1-5.
- [18] 鲍虹达, 施健, 刘树楠, 等. 重力对女性青少年特发性脊柱侧凸患者椎体的影响 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2018, 28(2): 164-168.
BAO H D, SHI J, LIU S N, et al. The influence of gravity to the vertebral rotation in AIS patients: a study based on EOS imaging system [J]. *Chin J Spine Spinal Cord*, 2018, 28(2): 164-168. Chinese.
- [19] ASSI A, SAURET C, MASSAAD A, et al. Validation of hip joint center localization methods during gait analysis using 3D EOS imaging in typically developing and cerebral palsy children [J]. *Gait Posture*, 2016, 48: 30-35.
- [20] ROSSKOPF A B, BUCK F M, PFIRRMANN C W, et al. Femoral and tibial torsion measurements in children and adolescents: comparison of MRI and 3D models based on low-dose biplanar radiographs [J]. *Skeletal Radiol*, 2017, 46(4): 469-476.
- [21] 佟志忠, 蒋雯, 程晓光, 等. 利用 EOS X 线影像系统评估前交叉韧带损伤患者的胫骨平台后倾角 [J]. *骨科临床与研究杂志*, 2020, 5(5): 268-271.
TONG Z Z, JIANG W, CHENG X G, et al. The evaluation on posterior tibial slope of tibial plateau in patients with anterior cruciate ligament injury by using EOS X-ray imaging system [J]. *J Clin Orthop Res*, 2020, 5(5): 268-271. Chinese.
- [22] 程相允, 冯江峰, 路雁惠, 等. Blumensaat 角对诊断前交叉韧带损伤的参考价值 [J]. *中国骨伤*, 2017, 30(8): 726-730.
CHENG X Y, FENG J F, LU Y H, et al. Diagnostic value of Blumensaat angle for anterior cruciate ligament injury [J]. *China J Orthop Traumatol*, 2017, 30(8): 726-730. Chinese.
- [23] HUANG M Q, LI Y B, GUO N M, et al. Relationship between intercondylar Notch angle and anterior cruciate ligament injury: a magnetic resonance imaging analysis [J]. *J Int Med Res*, 2019, 47(4): 1602-1609.
- [24] 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.
- [25] SCHEFFEL P T, HENNINGER H B, BURKS R T. Relationship of the intercondylar roof and the tibial footprint of the ACL: implications for ACL reconstruction [J]. *Am J Sports Med*, 2013, 41(2): 396-401.

(收稿日期: 2022-12-26 本文编辑: 李宜)