医学影像学 DOI：10.13406/j.cnki.cyxb.003569

MRI评估胫股关节形态对前交叉韧带撕裂的影响

王静宇[1]，袁　亮[1]，林小慧[1]，杨海涛[2]，吕云云[1]，陶奉明[2]，李晓兰[1]
（1.重庆医科大学附属大学城医院放射科，重庆　401331；2.重庆医科大学附属第一医院放射科，重庆　400042）

【摘　要】目的：通过膝关节磁共振成像（magnetic resonance imaging，MRI）探究股骨远端和胫骨近端形态与前交叉韧带（anterior cruciate ligament，ACL）撕裂的相关性。**方法：**选择2018年1月1日至2023年1月31日于重庆医科大学附属第一医院行膝关节MRI平扫检查的患者，最终选择81例ACL完全撕裂患者（病例组）和82例ACL正常患者（对照组），比较2组患者股骨和胫骨相关解剖学参数，包括髁间窝高度（intercondylar notch height，INH）、髁间窝宽度（intercondylar notch width，INW）、股骨髁宽度（notch width，NW）、髁间窝角（intercondylar notch angle，INA）、股骨内侧髁宽度（medial condyle width，MCW）、股骨内侧髁前后径（medial condyle length，MCL）、股骨外侧髁宽度（lateral condyle width，LCW）、股骨外侧髁前后径（lateral condyle length，LCL）、胫骨内侧平台宽度（medial tibial plateau width，MPW）、胫骨内侧平台前后径（medial tibial plateau length，MPL）、胫骨外侧平台宽度（lateral tibial plateau width，LPW）、胫骨外侧平台前后径（lateral condyle length，LPL）、胫骨髁间嵴角（intercondylar eminence angle，IEA）、内侧胫骨平台角（medial tibial plateau angle，MPA）、外侧胫骨平台角（lateral tibial plateau angle，LPA），计算髁间窝宽度指数（intercondylar notch width index，NWI），采用MCW/LCW、MCL/LCL、MPW/LPW、MPL/LPL描述股骨及胫骨内外侧骨形态学的相对差异，采用MCL/MPL、LCW/LPW、LCW/LPW、LCL/LPL、INA/IEA描述胫股关节之间的一致性；对2组患者进行单因素和多因素logistic分析，对筛选出的独立危险因素进行Logistis联合建模，并行接受者操作特征曲线（receiver operating characteristic curve，ROC）曲线分析。**结果：**①病例组患者INW、NWI、INA、MCL/MPL小于对照组（$P<0.05$）；病例组患者MCL、MPL、MPW、MCL/LCL、MPL/LPL大于对照组（$P<0.05$）；②多因素分析显示，MCL/MPL、NWI是ACL撕裂的独立危险因素（$P<0.05$）；ROC曲线显示，MCL/MPL、NWI及联合模型对ACL撕裂具有一定的预测价值，曲线下面积（area under curve，AUC）分别为0.672、0.671、0.734；③2组患者NW、INH、MCW、LCW、LCL、LPW、LPL、MCW/LCW、MPW/LPW、MCW/MPW、LCW/LPW、LCL/LPL、INA/IEA、IEA、MPA、LPA比较差异无统计学意义（$P>0.05$）。**结论：**胫股关节形态与ACL撕裂具有相关性；MCL/MPL越大，NWI越小，ACL撕裂的危险程度越高。

【关键词】前交叉韧带；磁共振成像；膝关节；胫股关节
【中图分类号】R445.2；R686.5；R322.7+2　　**【文献标志码】**A　　**【收稿日期】**2023-09-25

Effect of tibiofemoral joint morphology evaluated by magnetic resonance imaging on the tear of anterior cruciate ligament

Wang Jingyu[1]，*Yuan Liang*[1]，*Lin Xiaohui*[1]，*Yang Haitao*[2]，*Lü Yunyun*[1]，*Tao Fengming*[2]，*Li Xiaolan*[1]
（*1. Department of Radiology，University-Town Hospital of Chongqing Medical University；*
2. Department of Radiology，The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University）

【Abstract】*Objective*：To investigate the correlation between tibiofemoral joint morphology and the tear of anterior cruciate ligament（ACL）based on knee joint magnetic resonance imaging（MRI）. ***Methods*：**Among the patients who underwent knee joint MRI in The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University from January 1，2018 to January 31，2023，81 patients with complete ACL tear were enrolled as case group，and 82 patients with normal ACL were enrolled as control group. The two groups were compared in terms of the anatomical parameters of the femur and tibia，including intercondylar notch height（INH），intercondylar notch width（INW），notch width（NW），intercondylar notch angle（INA），medial condyle width（MCW），medial condyle length（MCL），lateral condyle width（LCW），lateral condyle length（LCL），medial tibial plateau width（MPW），medial tibial plateau length（MPL），lateral tibial plateau width（LPW），lateral tibial plateau length（LPL），intercondylar eminence angle（IEA），medial tibial plateau angle（MPA），and lateral tibial plateau angle（LPA），and intercondylar notch width index（NWI）was calculated. MCW/LCW，MCL/LCL，MPW/LPW，

作者介绍：王静宇，Email：1085970753@qq.com，
研究方向：膝关节运动与损伤影像。
通信作者：李晓兰，Email：283783653@qq.com。
优先出版：https://link.cnki.net/urlid/50.1046.R.20240819.0909.034
（2024-08-19）

and MPL/LPL ratios were used to describe the relative differences in bone morphology of the medial and lateral sides of the femur and tibia, and MCL/MPL, LCW/LPW, LCW/LPW, LCL/LPL, and INA/IEA ratios were used to describe the consistency of the tibiofemoral joint. The univariate and multivariate logistic analyses were performed for the two groups, and a logistic joint model was established based on the independent risk factors obtained. A receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was also performed. ***Results***: Compared with the control group, the case group had significantly lower INW, NWI, INA, and MCL/MPL ratio (P<0.05) and significantly higher MCL, MPL, MPW, MCL/LCL ratio, and MPL/LPL ratio (P<0.05). The multivariate analysis showed that MCL/MPL ratio and NWI were independent risk factors for ACL tear (P<0.05). The ROC curve analysis showed that MCL/MPL ratio, NWI and joint model had a certain value in predicting ACL tear, with an area under the ROC curve of 0.672, 0.671 and 0.734, respectively. There were no significant differences between the two groups in NW, INH, MCW, LCW, LCL, LPW, LPL, MCW/LCW ratio, MPW/LPW ratio, MCW/MPW ratio, LCW/LPW ratio, LCL/LPL ratio, INA/IEA ratio, IEA, MPA, and LPA (P>0.05). ***Conclusion***: The morphology of the tibiofemoral joint is associated with ACL tear, and the risk of ACL increases with the increase in MCL/MPL ratio and the reduction in NWI.

【Key words】anterior cruciate ligament; magnetic resonance imaging; knee joint; tibiofemoral joint

膝关节是人体最大最复杂的关节。前交叉韧带（anterior cruciate ligament，ACL）起自股骨外侧髁内面后部，穿过髁间窝，止于胫骨髁间嵴前方，是维持膝关节前向和旋转稳定的重要结构。ACL损伤在膝关节损伤中最为常见[1]。大部分ACL损伤为非接触性损伤，多为各种急停、变向等运动过程中突然减速或改变方向、股四头肌收缩产生的过度轴向应力和扭转剪切应力共同引起的胫骨异常前移和内旋所致，在足球、篮球、滑雪等运动项目中多见[2]。ACL完全撕裂是ACL损伤最严重的状态，ACL完全撕裂时ACL功能的缺失会使患者膝关节稳定性降低，生物力学改变，导致膝关节功能障碍，并可能产生骨性关节炎等严重后果，影响患者生活质量[3]。

相关研究表明，ACL完全撕裂受个体解剖、遗传内分泌、神经肌肉因素等多种因素的影响，其中，股骨远端和胫骨近端的形态及相互作用与ACL完全撕裂密切相关，如股骨髁形态、髁间窝形态、胫骨平台形态等[4-6]。然而，之前诸多相关研究多是集中于单一的股骨、胫骨形态学改变或结合X线、计算机断层扫描（computed tomography，CT）和磁共振成像（magnetic resonance imaging，MRI）等多种影像学手段来评估股骨与胫骨解剖改变对ACL完全撕裂的影响，但股骨和胫骨内外侧及胫股关节骨形态学的差异对ACL完全撕裂的影响尚不完全明确[7]；且因为MRI具有无创、软组织分辨率高等特点，所以临床上对于怀疑有ACL完全撕裂的患者多采用MRI进行诊断，而非X线或CT检查。因此，本研究拟基于诊断ACL完全撕裂常用的膝关节MRI图像，多方位地测量股骨远端和胫骨近端形态学参数，进一步探讨股骨和胫骨内外侧骨形态学的差异及胫股关节之间的一致性对ACL完全撕裂的影响，并比较与ACL完全撕裂之间的相关性，为临床预防和治疗ACL完全撕裂提供参考。

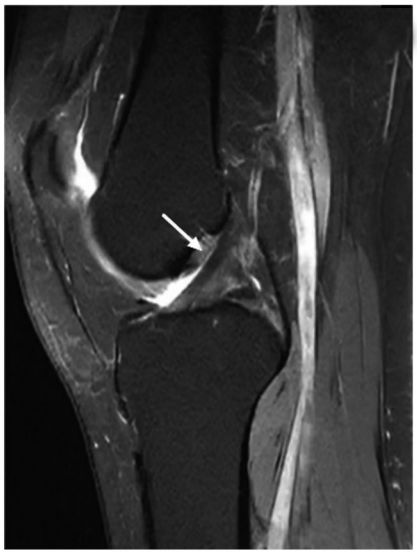
1 资料与方法

1.1 资料收集

收集2018年1月至2023年1月于重庆医科大学附属第一医院行膝关节MRI检查18～55岁患者的影像资料。病例组纳入标准：①因快跑中急停、急转等非接触机制导致膝关节损伤或不适的患者，病程≤6个月；②经MRI检查或关节镜手术明确存在ACL完全撕裂的患者；③膝关节除ACL撕裂外不存在其他韧带及肌肉损伤的患者；④患者门诊或住院病历完整，MRI图像完整、清晰。排除标准：①既往有膝关节骨质增生、骨关节炎、关节感染、关节骨折、骨肿瘤等膝关节疾病或膝关节手术史的患者；②有股骨滑车发育不良等膝关节明显发育异常的患者。最终纳入ACL完全撕裂的患者为病例组，男性52例，女性29例，膝关节共81例，平均年龄（34.32±8.94）岁。另选取同时期膝关节MRI平扫无明显异常的患者作为对照组，男性41例，女性41例，膝关节共82例，平均年龄（36.22±8.24）岁。研究对象均已签署MRI检查知情同意书。

1.2 ACL完全撕裂的MRI诊断

正常的ACL在MRI矢状位质子密度加权成像（proton density weighted imaging，PDWI）序列图像上表现为连续的带状低信号；ACL完全撕裂时，在MRI矢状位PDWI序列上表现为ACL增粗，韧带低信号纤维不连续、韧带内出现高信号；ACL走行异常；ACL断端挛缩等征象[8]，见图1。



注：箭头示正常的ACL为连续带状低信号

A. 正常ACL



注：箭头示ACL完全撕裂，带状低信号不连

B. ACL完全撕裂

图1 正常ACL及ACL完全撕裂

1.3 *方法*

1.3.1 膝关节MRI扫描参数 所有患者均使用1.5 T磁共振检查设备（MAGNETOM ESSENZA）及膝关节专用线圈进行检查。患者仰卧位、足先进，膝关节伸直、足中立。扫描膝关节横轴位、矢状位、冠状位。扫描参数：T1加权成像（T1 weighted imaging，T1WI）：重复时间（repetition time，TR）277 ms，回波时间（echo time，TE）13 ms；T2加权成像（T2weighted imaging，T2WI）：TR 3350 ms，TE 116 ms；PDWI：TR 2200 ms，TE 39 ms；扫描野（field of view，FOV）16 cm，矩阵 256 mm × 256 mm，层厚4 mm。扫描范围：以髌骨下缘为中心，包括股骨下段1/3至胫骨上段1/3水平。

1.3.2 图像评估及测量方法 由2名经验丰富的影像科医师分别独立完成ACL完全撕裂的评估及形态学参数的测量。对ACL是否完全撕裂的评估出现分歧时，以2名医师讨论结果为最终结果。膝关节MRI形态学数据在T1WI序列的冠状面及矢状面上进行测量，测量数据取2名医生测量结果的平均值进行统计学分析。T1WI冠状位测量参数包括股骨髁宽度（notch width，NW）、股骨髁间窝宽度（intercondylar notch width，INW）、股骨髁间窝高度（intercondylar notch height，INH）、股骨髁间窝角（intercondylar notch angle，INA）、股骨内侧髁宽度（medial condyle width，MCW）、股骨外侧髁宽度（lateral condyle width，LCW）、胫骨内侧平台宽度（medial tibial plateau width，MPW）、胫骨外侧平台宽度（lateral tibial plateau width，LPW）、胫骨髁间嵴角（intercondylar eminence angle，IEA）、胫骨内侧平台角（medial tibial plateau angle，MPA）、胫骨外侧平台角（lateral tibial plateau angle，LPA）；T1WI矢状位测量参数包括股骨内侧髁前后径（medial condyle length，MCL）、股骨外侧髁前后径（lateral condyle length，LCL）、胫骨内侧平台前后径（medial tibial plateau length，MPL）、胫骨外侧平台前后径（lateral tibial plateau length，LPL），见图2。测量后计算相关参数，包括股骨髁间窝宽度指数（intercondylar notch width index，NWI）即INW/NW，以及MCW/LCW、MCL/LCL、MPW/LPW、LCL/LPL、MCW/MPW、MCL/MPL、LCW/LPW、LCL/LPL、INA/IEA。

1.4 *统计学方法*

采用SPSS 25.0统计学软件对数据进行统计学分析，计量资料以均数 ± 标准差（$\bar{x} \pm s$）表示，对计量资料是否服从正态分布采用Shapiro-Wilk检验，正态性资料组间比较采用完全随机设计独立样本t检验；计数资料采用例数与百分比表示，组间比较采用卡方检验。将2组间有显著差异的参数进行共线性诊断。对筛选出无多重共线性的参数进行Z-Score标准化处理，然后进行多因素logistic回归分析，筛选出ACL断裂的影响因素并计算*OR*值；若筛选出多个因素，则联合logistic回归分析建模，通过接受者操作特征曲线（receiver operating characteristic curve，ROC）曲线进一步分析参数对ACL完全撕裂预测价值，得出最佳截断值。用MedCalc软件进行ROC曲线分析和Delong法比较ROC曲线。检验水准α=0.05。

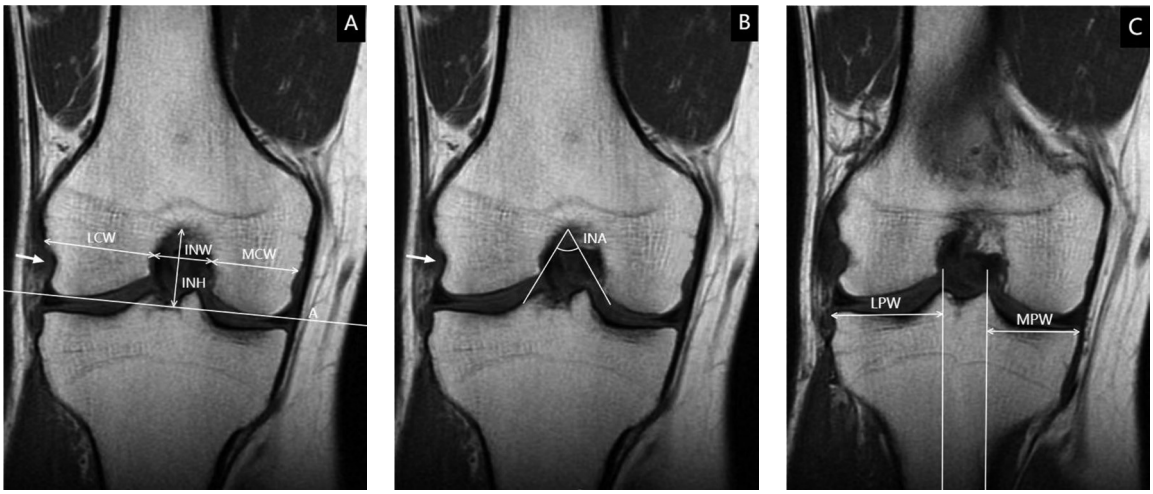
2 结 果

2.1 *各组基线资料比较*

ACL完全撕裂组（病例组）和ACL正常组（对照组）患者的年龄、性别、侧别相比差异均无统计学意义（P>0.05），见表1。

2.2 *2组患者间膝关节影像学参数比较*

2组患者NW、INH、MCW、LCW、LCL、LPW、LPL、MCW/LCW、MPW/LPW、MCW/MPW、LCW/LPW、LCL/LPL、INA/IEA、IEA、MPA、LPA比较差异无统计学意义（P>0.05）。病例组患者INW、NWI、INA、MCL/MPL低于对照组（P<0.05）；



A. INW、INH、MCW、LCW测量　B. INA测量　C. MPW、LPW测量

D. MPA、LPA、IEA测量　E. MCL、MPL测量　F. LCL、LPL测量

注：A~B，选取T1WI冠状位股骨腘肌腱切迹层面测量[9]；A，A线为股骨内外侧髁下缘的切线；INH，髁间窝顶点到A线的距离；INW，INH上1/3水平髁间窝内外侧边缘的距离；MCW和LCW，INW同一水平，股骨内、外侧髁边缘到髁间窝边缘的距离；NW，INW、MCW、LCW之和；B，INA，髁间窝顶部至股骨内外侧髁的切线的夹角；C~D，选取T1WI冠状面胫骨髁间嵴显示最佳层面测量[10]，MPW和LPW，胫骨内、外侧平台关节软骨覆盖的骨边缘至胫骨长轴方向过内、外侧胫骨髁间嵴顶点的直线的距离；IEA，胫骨髁间嵴切线的夹角；MPA和LPA，胫骨内、外侧髁间嵴与胫骨内、外侧平台切线的夹角；E~F，选取T1WI矢状位股骨内、外侧髁最大层面测量[11]；MCL，股骨滑车至股骨内侧髁后缘最凸点的距离；MPL，同层面胫骨内侧平台被关节软骨覆盖的最大距离；LCL，股骨滑车至股骨外侧髁后缘最凸点的距离；LPL，同层面胫骨内侧平台被关节软骨覆盖的最大距离

图2　膝关节解剖学参数的测量

表1　2组患者基本资料的比较（$\bar{x}\pm s$；n，%）

组别	病例组（n=81）	对照组（n=82）	t/χ^2值	P值
年龄（岁）	34.32 ± 8.94	36.22 ± 8.24	−1.347	0.178
性别（男/女）	52/29	41/41	3.352	0.067
侧别（左/右）	36/45	39/43	0.159	0.690

病例组患者MCL、MPW、MPL、MCL/LCL、MPL/LPL大于对照组（P<0.05），见表2。

2.3　多因素logistic回归分析结果

对上述单因素分析P<0.05的所有阳性指标进行共线性诊断，相关参数容忍度大于0.1、VIF<2可以认为组内参数之间不存在多重共线性。筛选后，为进一步减小数据离散误差和不均衡性，将数据进行Z-Score标准化处理；最终将INA、NWI、MPW、MCL/LCL、MPL/LPL、MCL/MPL纳入多因素Logistic回归分析模型中。结果显示，MCL/MPL及NWI减小是ACL撕裂的独立危险因素，见表3。

表2 2组患者膝关节影像学参数的比较（$\bar{x} \pm s$）

项目	病例组（n=81）	对照组（n=82）	t值	P值
NW（mm）	73.66 ± 5.68	73.11 ± 6.03	−0.543	0.587
INW（mm）	15.85 ± 1.43	16.68 ± 1.64	−3.421	0.001
INH（mm）	22.55 ± 2.06	22.43 ± 2.22	0.358	0.721
NWI	0.22 ± 0.02	0.23 ± 0.02	−4.120	<0.001
INA（°）	57.31 ± 10.75	59.94 ± 8.27	−2.670	0.008
IEA（°）	85.81 ± 12.26	86.57 ± 8.66	−1.281	0.200
MPA（°）	124.61 ± 6.70	126.16 ± 5.86	−1.525	0.129
LPA（°）	139.04 ± 8.33	139.43 ± 7.38	−0.317	0.752
MCW（mm）	26.48 ± 2.91	26.6 ± 5.97	−1.016	0.310
LCW（mm）	31.12 ± 3.79	30.24 ± 3.18	−1.784	0.074
MCL（mm）	47.53 ± 3.87	45.91 ± 3.95	−2.637	0.008
LCL（mm）	62.83 ± 4.36	61.64 ± 4.61	−1.749	0.080
MPW（mm）	28.61 ± 2.47	28.30 ± 2.39	−2.580	0.010
LPW（mm）	30.89 ± 3.26	30.07 ± 2.87	1.710	0.089
MPL（mm）	42.63 ± 4.44	39.21 ± 4.76	−4.395	<0.001
LPL（mm）	39.90 ± 5.72	38.16 ± 4.35	−1.902	0.057
INA/IEA	0.68 ± 0.12	0.70 ± 0.12	−1.267	0.207
MCW/LCW	0.86 ± 0.13	0.88 ± 0.18	−1.168	0.243
MCL/LCL	0.76 ± 0.04	0.74 ± 0.04	2.063	0.041
MPW/LPW	0.93 ± 0.10	0.93 ± 0.06	−0.607	0.787
MPL/LPL	1.08 ± 0.12	1.03 ± 0.12	−2.157	0.031
MCW/MPW	0.93 ± 0.09	0.96 ± 0.18	−0.624	0.533
MCL/MPL	1.12 ± 0.08	1.18 ± 0.10	−3.774	<0.001
LCW/LPW	1.00 ± 0.11	1.00 ± 0.09	−0.078	0.552
LCL/LPL	1.59 ± 0.15	1.63 ± 0.15	−1.178	0.239

表3 多因素logistic回归分析结果

相关参数	OR值	95%CI	P值
INA	0.815	0.567~1.171	0.269
NWI	0.574	0.382~0.862	0.007
MPW	0.889	0.597~1.322	0.560
MCL/LCL	1.464	0.961~2.228	0.076
MPL/LPL	0.816	0.509~1.308	0.398
MCL/MPL	0.389	0.227~0.665	0.001

2.4 ROC曲线分析

基于表3分析的结果，采用ACL完全撕裂的独立危险因素MCL/MPL及NWI进行logistic联合建模，并行ROC曲线分析。结果显示，该联合模型最佳截断值为0.46，灵敏度79%，特异度57.3%，AUC=0.734，95%CI=0.660~0.800，P<0.01。另外，ROC曲线分析结果显示，MCL/MPL最佳截断值为1.09，灵敏度44.44%，特异度82.93%，AUC=0.672，95%CI=0.593~0.743，P<0.01；NWI最佳截断值为0.22，灵敏度53.09%，特异度74.39%，AUC=0.671，95%CI=0.593~0.742，P<0.01。进一步Delong法ROC曲线比较结果显示，MCL/MPL和NWI的ACU相比，Z=0.106，P=0.912；MCL/MPL和联合模型的AUC相比，Z=1.713，P=0.087；NWI和联合模型的AUC相比，Z=1.876，P=0.061，见图3。

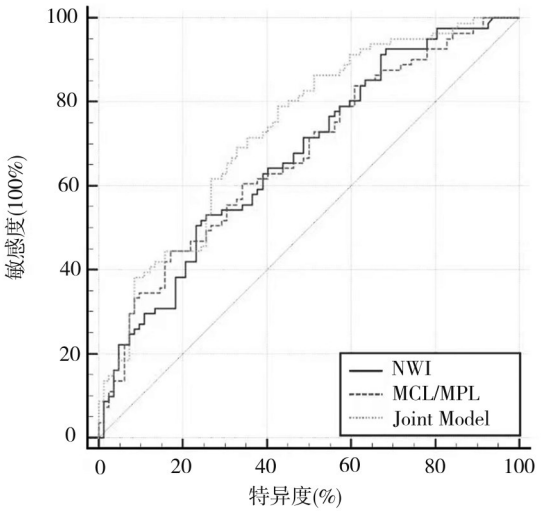


图3 联合模型、MCL/MPL及NWI的ROC曲线

3 讨 论

ACL损伤是最常见的膝关节损伤之一，ACL完全撕裂是最严重的ACL损伤。ACL完全撕裂会导致患者膝关节运动能力下降，并引起继发关节软骨及半月板等组织的损伤。关节镜下ACL重建术是目前治疗ACL完全撕裂的主要手段，但重建术后患者膝关节运动水平仍然不能恢复到损伤前，且重建失败率居高不下[2]。虽然ACL损伤的风险多而复杂，且多种因素往往同时存在、相互影响；但相对应地，当发现ACL损伤的危险因素时，可以通过干预其中的某些因素而降低ACL完全撕裂的发生率[12]。因此，正确识别ACL损伤的危险因素并有效预防ACL完全撕裂十分重要。

学者们常用INW及NWI描述髁间窝的狭窄程度，且NWI可以减小个体差异的影响。本研究发现，ACL撕裂组患者的INW及NWI更小，NWI减小是ACL撕裂的危险因素，AUC为0.671，95%CI=0.593~0.742，最佳截断值为0.22，这与之前的多数学者研究结果一致，这可能是因为狭窄的髁间窝易与ACL发生撞击，加之狭窄髁间窝内ACL的尺寸更小，从而使得薄弱的ACL更易发生损伤[13]。且狭窄的髁间窝也是ACL重建术失败的危险因素，故有学

者主张在ACL重建时对狭窄的髁间窝进行成形手术[14]。但 Muneta T 等[15]则认为 NWI≤0.20 和 NWI>0.20 的髁间窝的 ACL 各测量指标间无明显差异，NWI 小的髁间窝其 ACL 并不一定就小。考虑这可能与研究人种、测量方法等不同有关。Al-Saeed O 等[5]和 Kızılgöz V[16]认为 A 型髁间 ACL 损伤发生率最高，髁间窝角在一定程度上也可以体现不同形态的髁间窝。此次研究结果显示，ACL 撕裂组的 INA 髁间窝角较对照组更小，这表明狭窄的髁间窝侧壁突出导致 ACL 受到慢性损伤，所以在膝关节过伸或外翻等导致 ACL 张力过大的动作时更容易造成 ACL 的撕裂。

ACL 对限制胫骨前移及内旋有重要作用。股骨与胫骨相对旋转的增加，使 ACL 张力增大，可能是导致 ACL 损伤的关键因素。Pradhan P 等[17]认为，胫骨内侧髁间嵴体积的减少可能与其楔形形状的减少有关，从而使胫骨相对于股骨的平移限制减少，这就要求 ACL 对胫骨位移的约束作用更大，增加了 ACL 的负荷和受伤的风险。Cay N 等[10]的研究显示，所有 ACL 病理组的 LPA 和 INA 平均值均显著升高，这表明较浅的外侧胫骨平台会导致 ACL 的张力增加，这可能是 ACL 损伤的危险因素。而本次研究发现 ACL 撕裂与胫骨平台角之间无明显相关性，这可能与二维测量导致对胫骨髁间嵴三维结构评估不足有关，需要进一步经不同方法的对比验证以及多中心研究明确。

本研究单因素分析结果表明，ACL 撕裂与较大的 MCL 有关。为降低个体差异的影响并探究股骨内侧与外侧髁形态差异的大小，本研究计算了 MCL/LCL，发现病例组该比值大于对照组，这提示 ACL 撕裂患者与 ACL 正常患者相比，股骨内侧髁相对更长、外侧髁相对更短。对于胫骨内外侧平台形态学参数的测量及计算也得到了类似的结果，ACL 撕裂组 MPW、MPL 及 MPL/LPL 大于对照组。这可能是因为较大的股骨内侧髁和较小的外侧髁可能使股骨相对于胫骨外旋，影响股骨与胫骨的相对运动，产生额外的胫骨内旋力矩，增加 ACL 的张力[18]。

之前的研究用关节一致性衡量组成关节的骨骼是否配合良好[4,19]。关节一致性取决于关节面的三维形状。在健康膝关节中，胫股关节的关节一致性较低。胫股关节一致性增加会导致膝关节外侧更多地平移运动；且内侧关节接触面积的增大可以造成关节松弛，影响股骨与胫骨的相对运动，使步态和负重位点的变化，最终造成 ACL 张力负荷过大[20]。本研究结果显示，ACL 撕裂组患者 MCL/MPL 更小，更接近于 1，其也是 ACL 撕裂的独立危险因素，AUC 为 0.672，95%CI=0.593~0.743，最佳截断值为 1.09，这说明 ACL 撕裂组患者股骨与胫骨内侧关节一致性较高，接触面积的较大。因此本研究认为，更大的股骨内侧髁和胫骨内侧平台增加了胫股关节的一致性，这可能使股骨与胫骨之间产生更大的旋转，从而增加了 ACL 撕裂的风险。

本研究在对参数进行共线性诊断时，发现多个参数之间存在明显的多重共线性。为减小个体差异以及探讨股骨与胫骨之间一致性对 ACL 撕裂危险程度的影响，在具有共线性的参数间只保留了 MCL/MPL 及 NWI。本研究用 DeLong 法将 MCL/MPL、NWI 及 MCL/MPL 与 NWI 联合模型对 ACL 完全撕裂的预测效能进行比较，结果显示，联合模型的 AUC 高于单独指标 MCL/MPL 及 NWI，但该联合模型与 MCL/MPL 及 NWI 的 AUC 差异无明显统计学意义（P>0.05）。因此，本研究结果表明，该联合模型对于提高 ACL 完全撕裂的预测效果价值有限，MCL/MPL 和 NWI 单指标也可以较好地对 ACL 完全撕裂进行预测。

本次研究尚存在不足之处。本研究是回顾性研究，未能够充分收集患者的查体资料，如身体质量指数（body mass index，BMI）等，而 BMI 也与膝关节的形态相关。半月板作为股骨与胫骨之间的结构，其形态与二者之间力的传递密切相关，本研究缺乏对其形态学的评估，尚需在后续的研究中补充。本研究采用二维 MRI 参数评估股骨及胫骨相关形态学参数，而这些结构是三维立体结构，二维参数不能准确估计其形态，但可以大致体现其形态变化的趋势。在以后的研究中，可使用三维 MRI 图像进行比较，以得到更准确的信息。

综上所述，股骨远端和胫骨近端形态学参数、股骨和胫骨内外侧骨形态学的差异及股骨与胫骨形态学之间的一致性与 ACL 完全撕裂有关，MCL/MPL 比值越低，表明股骨与胫骨之间的一致性越高，NWI 越小，表明股骨髁间窝越窄；MCL/MPL 和 NWI 是 ACL 完全撕裂的独立危险因素，对 ACL 完全撕裂具有一定的预测价值。因此，本研究结果提示，临床应该关注这些具有 ACL 完全撕裂独立危险因素的患者，为早期预防 ACL 完全撕裂提供参考。

参 考 文 献

[1] Bayer S, Meredith SJ, Wilson KW, et al. Knee morphological risk factors for anterior cruciate ligament injury: a systematic review[J]. J Bone Joint Surg Am, 2020, 102(8): 703-718.

[2] Wilson WT, Hopper GP, Banger MS, et al. Anterior cruciate ligament repair with internal brace augmentation: a systematic review[J]. Knee, 2022, 35: 192-200.

[3] Arumugam A, Björklund M, Mikko S, et al. Effects of neuromuscular training on knee proprioception in individuals with anterior cruciate ligament injury: a systematic review and GRADE evidence synthesis[J]. BMJ Open, 2021, 11(5): e049226.

[4] Lansdown D, Ma CB. 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.

[5] Al-Saeed O, Brown M, Athyal R, et al. Association of femoral intercondylar Notch morphology, width index and the risk of anterior cruciate ligament injury[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2013, 21(3): 678-682.

[6] Jagadeesh N, Paidipati R, Parameshwar A, et al. Correlation of tibial parameters like medial, lateral posterior tibial slope and medial plateau depth with ACL injuries: randomized control study[J]. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2023, 33(4): 1267-1274.

[7] 张 伟, 刘云鹏, 王星亮, 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.
Zhang W, Liu YP, Wang XL, et al. Imaging analysis of risk factors for knee anterior cruciate ligament injury[J]. Chin J Tissue Eng Res, 2022, 26(15): 2361-2366.

[8] Wu FB, Colak C, Subhas N. Preoperative and postoperative magnetic resonance imaging of the cruciate ligaments[J]. Magn Reson Imaging Clin N Am, 2022, 30(2): 261-275.

[9] 范 宁, 藏 磊, 郑永辰, 等. 髁间窝形态及胫骨平台倾斜角与后十字韧带胫骨止点撕脱骨折的相关性[J]. 中华骨科杂志, 2020, 40(17): 1197-1205.
Fan N, Zang L, Zheng YC, et al. The correlation between posterior cruciate ligament avulsion fracture and intercondylar Notch and tibial slope [J]. Chin J Orthop, 2020, 40(17): 1197-1205.

[10] Cay N, Acar HI, Dogan M, et al. Radiological evaluation of femoral intercondylar Notch and tibial intercondylar eminence morphometries in anterior cruciate ligament pathologies using magnetic resonance imaging[J]. Indian J Orthop, 2022, 56(2): 327-337.

[11] Musahl V, Ayeni OR, Citak M, et al. The influence of bony morphology on the magnitude of the pivot shift[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2010, 18(9): 1232-1238.

[12] 祝 叶, 舒 晴, 余达蔚, 等. 基于神经肌肉控制理论探讨本体感觉与前交叉韧带损伤的关系[J]. 华西医学, 2022, 37(5): 688-692.
Zhu Y, Shu Q, Yu DW, et al. Relationship between proprioception and anterior cruciate ligament injury based on neuromuscular control theory [J]. West China Med J, 2022, 37(5): 688-692.
祝 叶, 舒 晴, 余达蔚, 等. 基于神经肌肉控制理论探讨本体感觉与前交叉韧带损伤的关系[J]. 华西医学, 2022, 8(5): 688-692.
Zhu Y, Shu Q, Yu DW, et al. Relationship between proprioception and anterior cruciate ligament injury based on neuromuscular control theory [J]. West China Med J, 2022, 8(5): 688-692.

[13] Jha V, Pandit A. Notch volume measured on magnetic resonance imaging is better than 2-dimensional Notch parameters for predicting noncontact anterior cruciate ligament injury in males[J]. Arthroscopy, 2021, 37(5): 1534-1543.

[14] Wilson WT, Hopper GP, O'Boyle M, et al. Quantifying graft impingement in anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Knee, 2022, 34: 270-278.

[15] Muneta T, Takakuda K, Yamamoto H. Intercondylar Notch width and its relation to the configuration and cross-sectional area of the anterior cruciate ligament. A cadaveric knee study[J]. Am J Sports Med, 1997, 25(1): 69-72.

[16] Kızılgöz V, Sivrioğlu AK, Ulusoy GR, et al. Analysis of the risk factors for anterior cruciate ligament injury: an investigation of structural tendencies[J]. Clin Imaging, 2018, 50: 20-30.

[17] Pradhan P, Kaushal SG, Kocher MS, et al. Development of anatomic risk factors for ACL injuries: a comparison between ACL-injured knees and matched controls[J]. Am J Sports Med, 2023, 51(9): 2267-2274.

[18] Fu CX, Fan XG, Jiang SG, et al. Increased lateral and medial femoral posterior radius ratios are risk factors for anterior cruciate ligament injury[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2022, 23(1): 114.

[19] Stockton DJ, Schmidt AM, Yung A, et al. Tibiofemoral contact and alignment in patients with anterior cruciate ligament rupture treated nonoperatively versus reconstruction: an upright, open MRI study[J]. Bone Joint J, 2021, 103-B(9): 1505-1513.

[20] Küpper JC, Zandiyeh P, Ronsky JL. Empirical joint contact mechanics: a comprehensive review[J]. Proc Inst Mech Eng H, 2023, 237(2): 147-162.

（责任编辑：周一青）