

DOI: 10.12235/E20240769

文章编号: 1007-1989 (2026) 03-0018-10

论著

关节镜下前交叉韧带重建术后对侧韧带损伤的风险预警可视化模型的研究及其应用价值*

屈伟¹, 张云鹏², 皮秀敏¹, 胡宏宇²

(唐山市第二医院 1.手术室; 2.手一科, 河北 唐山 063000)

摘要: 目的 构建关节镜下前交叉韧带 (ACL) 重建术后对侧韧带损伤的风险预警可视化模型, 并对预警模型行内部验证, 以期为医护人员评估 ACL 损伤患者术后对侧韧带损伤风险提供简洁、直观和高效的个体化评估工具。**方法** 选取2021年1月—2024年1月该院所有行关节镜下 ACL 重建术治疗的 ACL 损伤患者 583 例, 排除失访和资料不完整的 51 例患者后, 最终纳入 532 例患者。根据是否发生关节镜下 ACL 重建术后对侧韧带损伤, 将患者分为发生组 ($n = 42$) 与未发生组 ($n = 490$), 采用单因素分析比较两组患者临床资料, 采用 R 软件, 通过多因素二分类 Logistic 回归分析, 获取预测因子和回归系数, 建立可视化列线图预警模型, 并采用校准曲线、C 指数和决策曲线, 进行一致性、区分度和临床适用性等内部验证和外部验证。**结果** 多因素 Logistic 回归分析显示, 运动员、女性、膝关节内扣、术后 6 周 Lachman 试验阳性、术后 3 个月国际膝关节文献委员会 (IKDC) 评分、年龄 < 20 岁和术前胫骨平台后倾角 (PTS) 是关节镜下 ACL 重建术后对侧韧带损伤的影响因素 ($P < 0.05$); 在此基础上, 应用 R 软件建立可视化列线图预警模型, 经 Bootstrap 检验后显示, C 指数为 0.892; 绘制受试者操作特征曲线 (ROC curve), 该模型在内部验证集和外部验证集中的曲线下面积 (AUC) 分别为: 0.820 (95%CI: 0.751~0.890) 和 0.799 (95%CI: 0.712~0.886); 绘制校准曲线, 该模型内部验证集和外部验证集中的斜率均近似为 1; 决策曲线中, 该模型内部验证集和外部验证集均具有明显净获益。**结论** 关节镜下 ACL 重建术后, 对侧韧带损伤受年龄、性别、术后 6 周 Lachman 试验阳性、膝关节内扣、术后 3 个月 IKDC 评分、术前 PTS 和运动员的影响, 据此构建的可视化预警模型, 具有良好的临床应用价值, 可指导临床工作者开展针对性干预。

关键词: 前交叉韧带 (ACL); 关节镜; 重建术; 对侧; 韧带; 风险预警

中图分类号: R684; R619

Research and application of risk warning visualization model for contralateral ligament injury after arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction surgery*

Qu Wei¹, Zhang Yunpeng², Pi Xiumin¹, Hu Hongyu²

(1.Department of Operating Room; 2.Department of Hand Surgery, the Second Hospital, Tangshan, Hebei 063000, China)

Abstract: Objective To construct a visualized model for early warning of contralateral ligament injury risk after arthroscopic anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction, and to conduct internal validation of the warning model, with a view to providing a concise, intuitive, and efficient individualized assessment tool for medical staff to evaluate the risk of contralateral ligament injury in patients with ACL injury after surgery. **Methods** 583 patients

收稿日期: 2024-12-25

* 基金项目: 河北省卫生健康委项目 (20250213)

with ACL injuries who underwent arthroscopic ACL reconstruction surgery from January 2021 to January 2024 were selected. Excluding 51 cases those were lost to follow-up or had incomplete data, clinical data of 532 patients were finally included. According to whether there was a contralateral ligament injury, patients were categorized into an occurrence group ($n = 42$) and a non-occurrence group ($n = 490$). Data from the two groups of patients were compared using single-factor analysis. R software was employed to obtain predictive factors and regression coefficients through multivariate binary Logistic regression analysis. A visual nomogram early warning model was established, and internal and external validations were conducted using calibration curves, C index, and decision curves to assess consistency, discrimination, and clinical utility. **Results** Multivariate Logistic regression analysis revealed that athletes, females, knee joint buckling, positive Lachman test results at 6 weeks post-surgery, International Knee Documentation Committee (IKDC) score at 3 months post-surgery, age < 20 years, and preoperative posterior tibial slope (PTS) were influencing factors for contralateral ligament injury after arthroscopic ACL reconstruction ($P < 0.05$). Based on this, a visual nomogram warning model was established using R software. After Bootstrap testing, the model demonstrated a C index of 0.892. Draw the receiver operating characteristic curve (ROC curve), the model's area under the curve (AUC) values in the internal and external validation sets were 0.820 (95%CI: 0.751 ~ 0.890) and 0.799 (95%CI: 0.712 ~ 0.886), respectively. The calibration curves indicated that the slopes in both the internal and external validation sets were approximately 1. In the decision curve, the model demonstrated significant net benefit in both the internal and external validation sets. **Conclusion** The contralateral ligament injury after arthroscopic ACL reconstruction is influenced by age, gender, positive Lachman test at 6 weeks postoperatively, knee joint buckling, IKDC score at 3 months postoperatively, preoperative PTS, and athlete status. The visualized early warning model constructed based on these factors has good clinical application value and can guide clinicians to carry out targeted interventions.

Keywords: anterior cruciate ligament (ACL); arthroscopy; reconstruction technique; contralateral; ligament; risk warning

前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 损伤是一种常见的运动相关损伤, 多因膝关节伸直位急停扭转所致^[1]。近年来, 随着全民健身运动的开展, ACL 损伤逐渐受到临床的关注。ACL 损伤不可自愈, 早期接受关节镜下 ACL 重建术是普遍共识和主要治疗方式。该术式具有微创、损伤小、快速恢复膝关节稳定性和帮助患者重返运动等特点^[2]。但膝关节周围血管较多, 且神经分布丰富, 术中需精准定位、钻孔和韧带固定, 对术者要求较高, 且 ACL 损伤与不良下肢运动习惯有关, 若术后患者不能有效地纠正不良习惯, 可能造成同侧或对侧 ACL 再损伤^[3]。术后康复过程中, 由于长期存在膝关节力量平衡失调的状态, ACL 对侧损伤与同侧损伤概率相近。国外研究^[4]指出, ACL 对侧损伤发生率为 8.00%, 同侧和对侧再损伤总发生率为 15.00%。既往关于 ACL 的研究^[5], 多集中于运动员群体, 缺乏对普通患者的调查分析。本研究通过分析关节镜下 ACL 重建术后对侧韧带损伤的影响因素, 并构建可视化风险预警模型, 以期为临床提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2021 年 1 月—2024 年 1 月本院收治的, 接受关节镜下 ACL 重建术治疗的 ACL 损伤患者 583 例, 排除失访和资料不完整的 51 例, 最终纳入 532 例患者。回顾性分析其临床病例资料特点。

纳入标准: 符合 ACL 损伤评估标准^[6]; 年龄 10 ~ 45 岁; 均为非接触性损伤; 初次接受关节镜下 ACL 重建术; 对侧膝关节功能正常; 均接受为期 1 年的随访; 临床资料完整。排除标准: 对侧膝关节不稳者; 合并其他韧带损伤或骨折; 有关节周围骨折病史; 有结核、化脓性关节炎、风湿和/或类风湿性关节炎史; 骨髓未闭合者; 合并重要器官功能障碍; 合并精神类疾病和/或恶性肿瘤者; 孕期或妊娠期女性; 未完成随访或资料不全者。

1.2 方法

1.2.1 术前准备 术前进行体检和影像学检查, 确定损伤程度, 评估患者整体健康状况, 指导其合理禁水和禁食。

1.2.2 关节镜下 ACL 重建术 所有手术由同一高年资关节镜医师主刀完成。由专业麻醉医生实施硬膜外麻醉，完全暴露术区，其余部位用毛毯覆盖。于膝关节周围划开切口后，置入关节镜，以观察关节内部结构。在关节镜引导下，清除关节内炎症组织和多余碎片，取自体韧带置于损伤处，采用自体腘绳肌腱或异体肌腱移植，股骨端用可吸收界面螺钉固定，胫骨端用可吸收锚钉固定，韧带重建后，缝合切口，清理消毒并包扎，完成手术。

1.2.3 术后处理 术后指导患者规范饮食和适当运动，出院后定期门诊复查。术后随访1年，记录对侧韧带损伤的情况。

1.2.4 测量胫骨平台后倾角的方法 根据术前胫骨近端标准侧位X线片，由放射科3名中级及以上职称医师独立在计算机X线图像中绘图测量。首先，以胫骨平台关节面的最高点为基点，分别向远端定位10和15 cm处，在两个平面上绘制垂直于胫骨长轴且连接胫骨前后皮质的连线，分别取两条连线中点为A、B点，连接A、B点，构建胫骨轴线，再测定垂直于胫骨轴线与胫骨外侧平台切线间的夹角，记为胫骨平台后倾角（posterior tibial slope, PTS）。取3名医师测量的平均值。

1.2.5 ACL 损伤评估标准 根据指南^[6]进行评估：1) 主诉存在明确病因，包括：扭伤和运动不当等；2) 出现关节疼痛、肿胀、活动受限和/或不稳定感等症状；3) 影像学检查确定出现ACL损伤，且排除骨折及其他组织损伤。

1.3 观察指标

报备医院伦理中心获得批准后[批件号：(2024)伦审第(49)号]，调取所需病例的临床资料信息，包括：性别、是否为运动员、体重指数（body mass index, BMI）、年龄、文化程度、受伤性质、有无膝关节内扣、Lachman试验（术前和术后6周）、有无半月板损伤、术前PTS、髌间窝宽度、股骨双髌宽度、胫骨髌间隆起宽度、胫骨髌间隆起内侧高度、胫骨髌间隆起外侧高度和术后3个月膝关节功能等。其中，膝关节功能采用国际膝关节文献委员会（International Knee Documentation Committee, IKDC）评分量表进行评估，量表包括：症状、运动功能、日常活动能力和膝关节功能整体感知4个方面，共18个

项目，总分100分，评分越高，表示膝关节功能恢复越好。

1.4 样本量计算

参照影响因素样本量估算方法^[7]，样本量应为结局变量数的5~10倍，本研究结合临床观察经验，预计筛选出6个影响因素，考虑20%样本无效率，并查阅既往文献^[3]，预估对侧韧带损伤发生率8%，计算最小样本量 $n = 6 \times 5 \div (1 - 0.2) \div 8\% = 469$ 。本研究纳入样本量532例，符合样本量要求。

1.5 统计学方法

采用SPSS 28.0统计学软件分析数据，计量资料以均数 \pm 标准差（ $\bar{x} \pm s$ ）表示，组间比较行独立样本 t 检验；计数资料以例（%）表示，比较行 χ^2 检验；采用多因素Logistic回归模型分析影响关节镜下ACL重建术后对侧韧带损伤的独立危险因素，并构建可视化列线图预警模型，绘制受试者操作特征曲线（receiver operating characteristic curve, ROC curve），采用C指数、校准曲线和决策曲线进行内部验证和外部验证。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 影响关节镜下ACL重建术后对侧韧带损伤的危险因素

2.1.1 单因素分析 两组患者性别、年龄、运动员、膝关节内扣、术前PTS、术后6周Lachman试验和术后3个月IKDC评分比较，差异均有统计学意义（ $P < 0.05$ ）；两组患者文化程度、术前Lachman试验、半月板损伤、受伤性质、BMI、髌间窝宽度和股骨双髌宽度、胫骨髌间隆起宽度、胫骨髌间隆起内侧高度和胫骨髌间隆起外侧高度比较，差异均无统计学意义（ $P > 0.05$ ）。见表1。

2.1.2 多因素 Logistic 回归分析 将单因素分析中差异有统计学意义（ $P < 0.05$ ）的变量纳入多因素Logistic回归模型，结果显示：女性、年龄 < 20 岁、运动员、膝关节内扣、术前PTS和术后6周Lachman试验阳性，是影响关节镜下ACL重建术后对侧韧带损伤的独立危险因素（ $P < 0.05$ ），术后3个月IKDC评分是影响关节镜下ACL重建术后对侧韧带损伤的保护性因素（ $P < 0.05$ ）。见表2和3。

表1 影响关节镜下ACL重建术后对侧韧带损伤的单因素分析

Table 1 Univariate analysis of contralateral ligament injuries after arthroscopic ACL reconstruction

组别	性别 例(%)		年龄 例(%)			文化程度 例(%)		
	男	女	< 20岁	20~35岁	> 35岁	初中及以下	高中/中专	大专及以上
发生组(n = 42)	13(30.95)	29(69.05)	21(50.00)	10(23.81)	11(26.19)	6(14.29)	13(30.95)	23(54.76)
未发生组(n = 490)	282(57.55)	208(42.45)	130(26.53)	208(42.45)	152(31.02)	74(15.10)	162(33.06)	254(51.84)
t/χ^2 值	11.08		2.13			1.96		
P值	0.001		0.034			0.050		

组别	运动员 例(%)		膝关节内扣 例(%)		术后6周Lachman试验阳性 例(%)		半月板损伤 例(%)	
	是	否	有	无	是	否	有	无
发生组(n = 42)	16(38.10)	26(61.91)	8(19.05)	34(80.95)	10(23.81)	32(76.19)	6(14.29)	36(85.71)
未发生组(n = 490)	95(19.39)	395(80.61)	42(8.57)	448(91.43)	31(6.33)	459(93.67)	58(11.84)	432(88.16)
t/χ^2 值	8.20		4.99		14.26		0.22	
P值	0.004		0.026		0.000		0.640	

组别	BMI/(kg/m ²)	术前PTS/(°)	术前Lachman试验 例(%)			股骨双髁宽度/mm	髁间窝宽度/mm
			1度阳性	2度阳性	3度阳性		
发生组(n = 42)	23.76±2.18	12.03±2.10	7(16.67)	16(38.10)	19(45.24)	75.82±3.85	19.65±1.53
未发生组(n = 490)	23.81±2.39	8.56±1.96	92(18.78)	180(36.73)	218(44.49)	76.10±4.32	19.32±1.74
t/χ^2 值	0.13 [†]	10.95 [†]	0.19			0.41 [†]	1.19 [†]
P值	0.896	0.000	0.848			0.685	0.235

组别	受伤性质 例(%)			胫骨髁间隆起 内侧高度/mm	胫骨髁间隆起 外侧高度/mm	胫骨髁间隆起 宽度/mm	术后3个月 IKDC评分/分
	接触性损伤	非接触性损伤	其他				
发生组(n = 42)	22(52.38)	17(40.48)	3(7.14)	11.32±2.47	9.68±1.85	13.45±2.44	76.42±6.10
未发生组(n = 490)	274(55.92)	187(38.16)	29(5.92)	11.27±2.56	9.57±1.64	13.47±2.75	84.35±5.25
t/χ^2 值	0.24			0.12 [†]	0.41 [†]	0.15 [†]	9.27 [†]
P值	0.888			0.903	0.680	0.964	0.000

注:†为t值。

表2 变量赋值

Table 2 Variable assignment

变量	赋值
因变量	
对侧韧带损伤	未发生 = 0, 发生 = 1
自变量	
性别	男 = 0, 女 = 1
年龄	< 20岁 = 1, 20~35岁 = 2, > 35岁 = 3
运动员	否 = 0, 是 = 1
膝关节内扣	无 = 0, 有 = 1
术前PTS	连续变量输入实际值
术后6周Lachman试验阳性	否 = 0, 是 = 1
术后3个月IKDC评分	连续变量输入实际值

2.2 可视化列线图预警模型的构建及应用价值

2.2.1 模型的构建 采用R软件, 以Logistic回归模型内各个自变量的回归系数为基础, 绘制关节镜下ACL重建术后对侧韧带损伤的可视化列线图预警模型。见图1。

2.2.2 预警模型的应用价值 若接受关节镜下ACL重建术的ACL损伤患者为男性, 年龄为19岁, 是运动员, 存在膝关节内扣, 术前PTS为9°, 术后6周Lachman试验阳性, 术后3个月IKDC评分为72分, 则这名患者术后对侧韧带损伤的概率评分为: 0分(男性) +14分(年龄<20岁) +8分(运动员) +18分(膝关节内扣) +32分(术前PTS 9°) +13分(术后6周Lachman试验阳性) +69分(术后3个月IKDC

表 3 影响关节镜下 ACL 重建术后对侧韧带损伤的多因素分析

Table 3 Multivariate analysis of contralateral ligament injuries after arthroscopic ACL reconstruction

因素	B	SE	OR 值	95%CI		Wald χ^2 值	P 值
				下限	上限		
常量	11.712	2.329	-	-	-	15.108	0.000
女性	1.666	0.315	5.290	1.326	21.107	27.969	0.000
年龄 < 20 岁	1.170	0.412	3.223	1.418	7.326	8.069	0.000
运动员	1.410	0.376	4.094	1.560	10.746	14.055	0.000
膝关节内扣	1.272	0.278	3.569	1.035	12.304	20.941	0.013
术前 PTS	0.028	0.012	1.028	1.021	1.036	5.474	0.000
术后 6 周 Lachman 试验阳性	1.389	0.328	4.010	1.368	11.756	17.929	0.000
术后 3 个月 IKDC 评分	-0.207	0.042	0.813	0.678	0.975	24.282	0.000

评分为 72 分) = 154 分, 该患者术后对侧韧带损伤的可能性为 58.00%。见图 2。

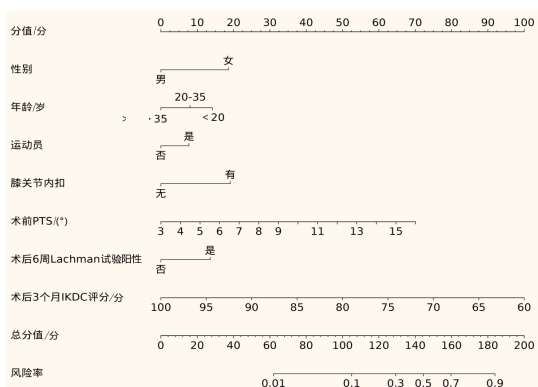


图 1 关节镜下 ACL 重建术后对侧韧带损伤的可视化列线图预警模型

Fig.1 Visualised nomogram early warning model of contralateral ligament injury after arthroscopic ACL reconstruction

2.3 列线图预测模型验证

在训练集中采用 Bootstrap 重复抽样法, 进行 1 000 次自抽样, 以抽样后的数据为依据, 计算 C 指数 (0.5 ~ 1.0), 以验证模型的准确性。结果显示: C 指数为 0.892, 说明该模型对关节镜下 ACL 重建术后对侧韧带损伤的预测准确性良好。选取 2024 年 2 月—2024 年 5 月于本院行关节镜下 ACL 重建术治疗的 ACL 损伤患者 185 例作为外部验证集, ROC curve 显示: 模型在内部验证集与外部验证集的曲线下面积 (area under the curve, AUC) 分别为: 0.820 (95%CI:

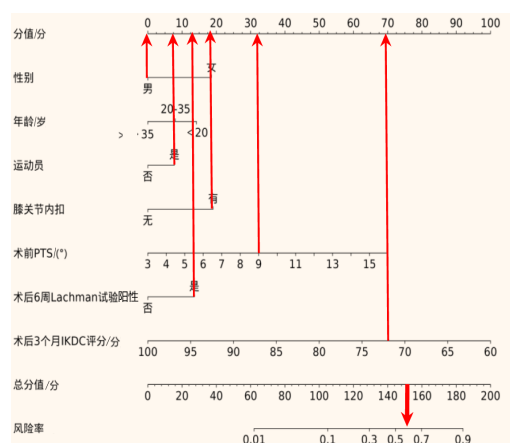
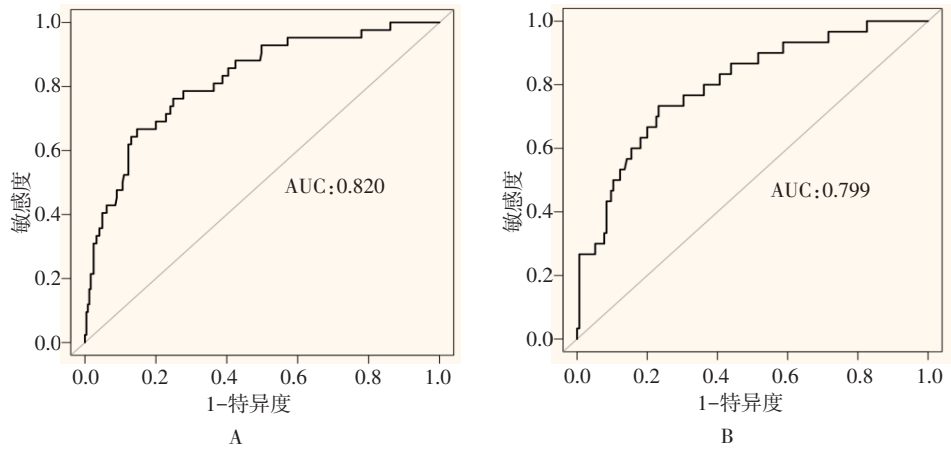


图 2 可视化列线图预警模型的应用价值

Fig.2 Application value of visualised nomogram early warning model

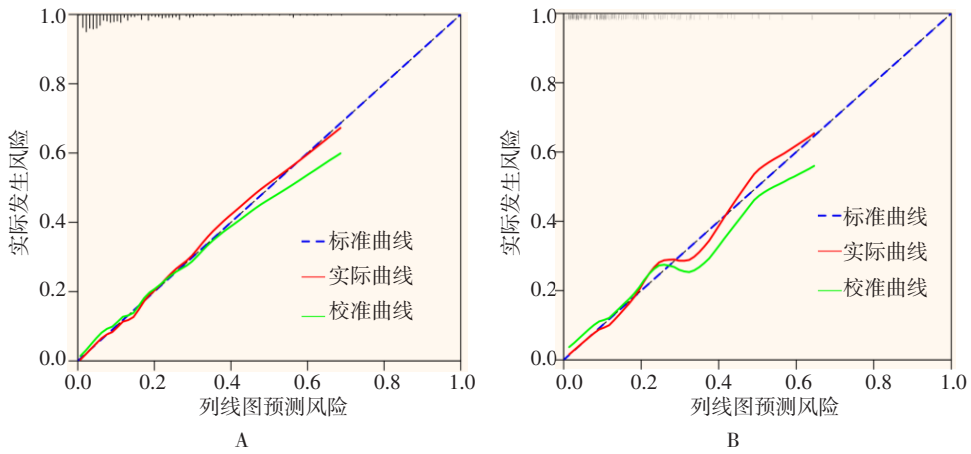
0.751 ~ 0.890) 和 0.799 (95%CI: 0.712 ~ 0.886), 具有良好的预测效能。见图 3。在校准曲线中, X 轴代表模型预测的对侧韧带损伤发生概率, Y 轴代表对侧韧带损伤的实际概率, 斜率代表预测概率与实际概率的比例关系, 模型在内部验证集与外部验证集中斜率均近似为 1, 说明该模型预测情况与实际情况一致性良好。见图 4。利用 R 软件, 以概率阈值为横坐标, 以临床净获益情况为纵坐标, 绘制决策曲线。见图 5。蓝色曲线表示患者净获益, 在内部验证集与外部验证集中, 大部分蓝色曲线位于“全部线”和“无线”的右上方, 表明: 本研究构建的预警模型中, 接受关节镜下 ACL 重建术的 ACL 损伤患者存在一定净获益。



A: 内部验证集; B: 外部验证集。

图3 模型的ROC curve

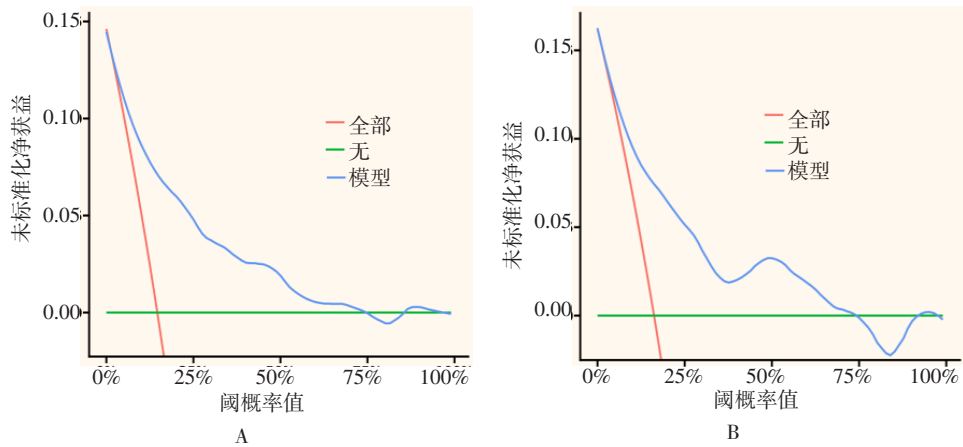
Fig.3 ROC curve of the model



A: 内部验证集; B: 外部验证集。

图4 模型的校准曲线

Fig.4 Calibration curve of the model



A: 内部验证集; B: 外部验证集。

图5 模型的决策曲线

Fig.5 Decision curve of the model

3 讨论

3.1 关节镜下 ACL 重建术治疗 ACL 损伤的临床发展现状

关节镜下 ACL 重建术是一种微创术式, 在治疗 ACL 损伤方面, 具有重要价值^[8]。但术后部分患者可能出现韧带再损伤, 影响康复进程, 给患者的生活和运动功能带来极大的挑战^[9]。关节镜下 ACL 重建术后同侧损伤与陈旧病情相关, 但对侧损伤发生率也较高。若双侧 ACL 均出现损伤, 不仅严重影响膝关节稳定性, 还会进一步干扰正常步态和运动模式, 不利于患者开展日常活动。探究对侧再损伤的影响因素, 做好风险预警, 对临床采取针对性措施, 减少 ACL 对侧再损伤的发生, 具有重要意义。目前, 临床关于 ACL 对侧再损伤的研究较少。因此, 本研究调查分析关节镜下 ACL 重建术后对侧韧带损伤的影响因素, 并构建预警模型, 以期为临床提供参考。

3.2 影响关节镜下 ACL 重建术后对侧韧带损伤的相关因素

本研究中, 多因素 Logistic 回归分析发现: 女性、运动员、膝关节内扣、年龄 < 20 岁、术前 PTS、术后 3 个月 IKDC 评分和术后 6 周 Lachman 试验阳性与术后对侧韧带损伤独立相关 ($P < 0.05$)。

3.2.1 年龄 < 20 岁 年龄越小, 关节镜下 ACL 重建术后越易出现对侧韧带损伤。对于年龄 < 20 岁的人群, 生长发育尚未完全, 其韧带和肌肉的生物力学稳定性较差, 且年轻群体更热衷于篮球和足球等高强度和高对抗性的体育运动, 日常活动多, 急停、急转和跳跃等动作频繁且剧烈, 导致膝关节承受较大的冲击力和扭转力, 增加了对侧韧带损伤风险^[10]。CRISTIANI 等^[11]研究表明, 年龄 ≥ 25 岁者, 对侧 ACL 重建的风险降低, 与本研究观点存在相似之处。随着年龄增加, 患者高强度运动参与度降低, 减少了对侧韧带损伤的诱因, 其发生率亦随之降低^[12]。

3.2.2 女性患者 临床研究^[13-14]已证实, 女性出现 ACL 损伤的风险高于男性。本研究中, 女性患者关节镜下 ACL 重建术后, 出现对侧韧带损伤的风险是男性的 5.290 倍, 分析原因, 可能与性别间的生物力学和激素水平等不同有关。生理期、孕期和绝经期是女性必经的生理阶段, 此时, 机体内激素水平会发生明

显变化, 影响韧带松弛度和强度, 增加受伤风险^[15]。有研究^[16]指出, 女性患骨关节炎的风险较高, 这与绝经后雌激素水平变化相关。女性肌肉力量较为薄弱, 运动中, 肌肉组织对膝关节的稳定支撑不如男性, 导致膝关节更易出现异常受力和位移, 在关节镜下 ACL 重建术后且患侧膝关节未恢复运动功能前, 对侧韧带需承受更大压力, 易引发对侧韧带损伤^[17]。

3.2.3 运动员 相较于普通患者, 运动员在关节镜下 ACL 重建术后, 更易出现再次韧带损伤。相关研究^[18-19]显示, 职业足球运动员 ACL 损伤中, 有 25.00% 为同侧再断裂 (15.00%) 或对侧损伤 (10.00%)。运动员作为特殊群体, 对肢体功能的要求较高, 患者在康复重返运动后, 仍需长期进行高强度和重复性的专项训练及比赛, 膝关节在经常性高负荷状态下, 周围韧带和肌肉等组织更易疲劳及损伤^[20-21]。运动员专项训练的动作幅度较大, 速度较快, 膝关节面对的受力情况复杂且多变。若在 ACL 重建术后, 患者身体平衡和运动模式出现改变, 可能增加对侧韧带应力负担, 导致韧带损伤^[22-23]。运动员面临的同侧和对侧韧带损伤风险远高于普通患者, 临床需重视该类人群术后的生物学结构变化, 以避免不当训练导致的二次损伤。

3.2.4 膝关节内扣 膝关节内扣会增加关节镜下 ACL 重建术后对侧韧带损伤发生风险。ACL 负责限制胫骨对股骨的前后移动, 参与膝关节的内旋和外旋。膝关节内扣会导致下肢力线异常, 使得膝关节内外侧的受力分布不均, 内侧压力增加而外侧相对松弛。在异常受力的情况下, 膝关节的稳定性不足, 对侧韧带需代偿受力以维持平衡, 长期异常应力, 增加了对侧韧带损伤的风险^[24-25]。

3.2.5 术前 PTS 本研究显示, 术前 PTS 是关节镜下 ACL 重建术后对侧韧带损伤的独立危险因素。王勇等^[26]研究指出, 发生对侧 ACL 损伤的 PTS 截断值为 10.92° 。术前较大的 PTS, 表明患者胫骨平台的解剖结构存在异常, 膝关节生物力学性能改变, 导致胫骨相对股骨的位置和运动轨迹发生变化^[27-28]。此类患者尽管接受了重建术治疗, 术后膝关节稳定性也难以完全恢复正常, 而对侧韧带在日常活动和运动中承受较多负荷和异常应力, 增加了韧带损伤概率^[29]。

3.2.6 术后6周Lachman试验和术后3个月IKDC评分

膝关节功能恢复情况与对侧韧带损伤有关。Lachman 试验是评估 ACL 损伤可靠且敏感的检验方式, 术后6周结果仍为阳性, 则表明 ACL 存在损伤或移植物愈合不良^[30]。IKDC 评分评估的内容包括: 关节损伤相关症状、日常活动能力和膝关节整体感觉等, 术后3个月 IKDC 评分可更为全面地反映患者术后膝关节的恢复情况, 分数越低, 表示膝关节功能恢复越差^[31]。术后6周 Lachman 试验阳性和术后3个月 IKDC 评分较低, 均提示关节镜下 ACL 重建术后膝关节功能恢复不佳。患侧膝关节持续不稳定, 患者日常活动和运动时, 步态和膝关节受力改变, 使得对侧膝关节应力异常, 增加其负荷, 导致膝关节损伤风险增加^[32]。

3.3 可视化列线图预警模型的临床应用价值

本研究通过 R 软件建立可视化列线图预警模型, 可直观和清晰地展示各变量对发生对侧韧带损伤的影响程度。采用 Bootstrap 重复抽样法验证发现, C 指数为 0.892, 内部和外部验证的 AUC 分别为 0.820 和 0.799, 且校准曲线斜率均近似为 1, 这提示: 预测概率与实际概率的一致性良好, 该预警模型预测关节镜下 ACL 重建术后对侧韧带损伤发生的准确度较高。绘制决策曲线, 在内部验证集和外部验证集中, 大部分蓝色曲线均位于“全部线”和“无线”的右上方, 这提示: 该模型具有一定净获益。

3.4 本研究的局限性

本研究仅选取本院住院患者, 且为回顾性研究, 纳入的相关因素有限, 未来还需进行多中心合作, 纳入更多可控变量, 进一步优化对侧韧带损伤风险预警模型。

综上所述, 关节镜下 ACL 重建术后对侧韧带损伤的发生, 与性别、年龄、术前 PTS、膝关节内扣、术后3个月 IKDC 评分、术后6周 Lachman 试验阳性和运动员等因素有关, 以此为基础构建的预警模型, 应用价值良好, 对临床医护人员实施针对性干预, 具有指导意义。

参 考 文 献 :

[1] 亚森·依米提, 排尔哈提·亚生, 阿布都热苏力·图尔孙, 等. 应用 MRI T₂ mapping 成像量化急性前交叉韧带损伤患者患侧与

对侧胫股关节软骨的分析[J]. 医学影像学杂志, 2024, 34(6): 121-124.

- [1] YASEN Y M T, PAIERHATI Y S, ABUDURESULI T E S, et al. Application of MRI T₂ mapping to quantify the affected versus contralateral tibiofemoral cartilage in patients with acute anterior cruciate ligament injury[J]. Journal of Medical Imaging, 2024, 34(6): 121-124. Chinese
- [2] FRADIN T, HAIDAR I M, RAYES J, et al. Arthroscopic ACL reconstruction after failed ACL repair[J]. Arthrosc Tech, 2021, 10(4): e1001-e1005.
- [3] D'AMBROSI R, MEENA A, ARORA E S, et al. Reconstruction of the anterior cruciate ligament: a historical view[J]. Ann Transl Med, 2023, 11(10): 364.
- [4] WIGGINS A J, GRANDHI R K, SCHNEIDER D K, et al. Risk of secondary injury in younger athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and Meta-analysis[J]. Am J Sports Med, 2016, 44(7): 1861-1876.
- [5] FÄLTSTRÖM A, KVIST J, BITTENCOURT N F N, et al. Clinical risk profile for a second anterior cruciate ligament injury in female soccer players after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Am J Sports Med, 2021, 49(6): 1421-1430.
- [6] ISHIBASHI Y, ADACHI N, KOGA H, et al. Japanese Orthopaedic Association (JOA) clinical practice guidelines on the management of anterior cruciate ligament injury-Secondary publication[J]. J Orthop Sci, 2020, 25(1): 6-45.
- [7] MOONS K G M, ROYSTON P, VERGOUWE Y, et al. Prognosis and prognostic research: what, why, and how[J]. BMJ, 2009, 338: b375.
- [8] SHAH M D, SHAH B R, DESAI S, et al. Arthroscopic reconstruction of ACL and LCL tear with combined asymmetric hamstring graft using single femoral tunnel-a case report[J]. J Orthop Case Rep, 2022, 12(8): 33-37.
- [9] ZHENG T, SONG G Y, LI Y, et al. Clinical, radiographic, and arthroscopic outcomes of surgical repair for radial and avulsed lesions on the lateral meniscus posterior root during ACL reconstruction: a systematic review[J]. Orthop J Sports Med, 2021, 9(3): 2325967121989678.
- [10] REIJMAN M, EGGERDING V, VAN E S E, et al. Early surgical reconstruction versus rehabilitation with elective delayed reconstruction for patients with anterior cruciate ligament rupture: COMPARE randomised controlled trial[J]. BMJ, 2021, 372: n375.
- [11] CRISTIANI R, FORSSBLAD M, EDMAN G, et al. Age, time from injury to surgery and hop performance after primary ACLR affect the risk of contralateral ACLR[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2022, 30(5): 1828-1835.
- [12] 冯建豪, 徐一宏, 徐卫东. 儿童及青少年前交叉韧带损伤治疗的研究进展[J]. 中华小儿外科杂志, 2024, 45(4): 377-382.

- [12] FENG J H, XU Y H, XU W D. Advances in the management of anterior cruciate ligament injury in children and adolescents[J]. Chinese Journal of Pediatric Surgery, 2024, 45(4): 377-382. Chinese
- [13] BRADSELL H, FRANK R M. Anterior cruciate ligament injury prevention[J]. Ann Jt, 2022, 7: 1.
- [14] SABER B, BRIDGER D, AGRAWAL D K. A critical analysis of the factors contributing to anterior cruciate ligament injuries in female athletes[J]. J Orthop Sports Med, 2024, 6(4): 203-209.
- [15] 崔成文, 石秀秀, 李小娅, 等. 前交叉韧带损伤术后患者骨密度及骨代谢标志物特征学分析[J]. 中国骨与关节杂志, 2024, 13(4): 275-279.
- [15] CUI C W, SHI X X, LI X Y, et al. An analysis of bone mineral density and bone metabolic markers for patients with anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Chinese Journal of Bone and Joint, 2024, 13(4): 275-279. Chinese
- [16] 陈威, 苏耀辉, 周明旺, 等. 雌激素及其受体在骨关节炎中的研究进展[J]. 中国矫形外科杂志, 2022, 30(3): 235-239.
- [16] CHEN W, SU Y H, ZHOU M W, et al. Research progress on estrogen and estrogen receptors in osteoarthritis[J]. Orthopedic Journal of China, 2022, 30(3): 235-239. Chinese
- [17] 张鑫, 胡婧, 朱伟平, 等. 两组不同离心训练背景的女性运动员在跳深动作中下肢生物力学的差异及对 ACL 损伤预防的启示[J]. 中国体育科技, 2022, 58(11): 85-91.
- [17] ZHANG X, HU J, ZHU W P, et al. Differences in lower extremity biomechanics during drop jump between two groups of female jumpers with different centrifugal training backgrounds and implications for ACL injury prevention[J]. China Sport Science and Technology, 2022, 58(11): 85-91. Chinese
- [18] GRASSI A, MACCHIAROLA L, FILIPPINI M, et al. Epidemiology of anterior cruciate ligament injury in Italian first division soccer players[J]. Sports Health, 2020, 12(3): 279-288.
- [19] 张嘉源, 马小远, 周志鹏, 等. 非预期条件下前交叉韧带重建术后运动员侧切动作下肢运动生物力学特征[J]. 医用生物力学, 2023, 38(6): 1127-1133.
- [19] ZHANG J Y, MA X Y, ZHOU Z P, et al. Biomechanical characteristics of lower limbs for athletes with anterior cruciate ligament reconstruction during side cutting under unanticipated condition[J]. Journal of Medical Biomechanics, 2023, 38(6): 1127-1133. Chinese
- [20] 赵亚豪, 钱驿, 贺忱, 等. Hefti 中高等级运动项目优秀青少年运动员前交叉韧带初次损伤与膝关节解剖结构的相关性分析[J]. 中国运动医学杂志, 2022, 41(12): 920-926.
- [20] ZHAO Y H, QIAN Y, HE C, et al. Relationship between the anatomic risk factors and the primary anterior cruciate ligament injury of elite adolescent athletes in Hefti medium and high-level sports[J]. Chinese Journal of Sports Medicine, 2022, 41(12): 920-926. Chinese
- [21] 姜文斌, 于胜波, 隋鸿锦. 前交叉韧带损伤的研究进展[J]. 中国临床解剖学杂志, 2022, 40(3): 369-371.
- [21] JIANG W B, YU S B, SUI H J. Research progress of anterior cruciate ligament injury[J]. Chinese Journal of Clinical Anatomy, 2022, 40(3): 369-371. Chinese
- [22] JOHNSON J L, CAPIN J J, ARUNDALE A J H, et al. A secondary injury prevention program may decrease contralateral anterior cruciate ligament injuries in female athletes: 2-year injury rates in the ACL-Sports randomized controlled trial[J]. J Orthop Sports Phys Ther, 2020, 50(9): 523-530.
- [23] CHIA L, DE OLIVEIRA SILVA D, WHALAN M, et al. Non-contact anterior cruciate ligament injury epidemiology in team-ball sports: a systematic review with Meta-analysis by sex, age, sport, participation level, and exposure type[J]. Sports Med, 2022, 52(10): 2447-2467.
- [24] D'ONOFRIO R, ALASHRAM A R, ANNINO G, et al. Prevention of secondary injury after anterior cruciate ligament reconstruction: relationship between pelvic-drop and dynamic knee valgus[J]. Int J Environ Res Public Health, 2023, 20(4): 3063.
- [25] KOHN L, REMBECK E, RAUCH A. Anterior cruciate ligament injury in adults: diagnostics and treatment[J]. Orthopade, 2020, 49(11): 1013-1028.
- [26] 王勇, 余泽平, 李箭, 等. 初次前交叉韧带重建术后发生对侧前交叉韧带损伤危险因素分析[J]. 中国修复重建外科杂志, 2023, 37(5): 578-583.
- [26] WANG Y, YU Z P, LI J, et al. Risk factors for contralateral anterior cruciate ligament injury after primary anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery, 2023, 37(5): 578-583. Chinese
- [27] CHUNG J H, CHOI C H, KIM S H, et al. Effect of the osteotomy inclination angle in the sagittal plane on the posterior tibial slope of the tibiofemoral joint in medial open-wedge high tibial osteotomy: three-dimensional computed tomography analysis[J]. J Clin Med, 2021, 10(18): 4272.
- [28] 黄希萌, 王信杰, 毛子木, 等. 胫骨平台后倾角与前交叉韧带灰度、体积和横截面积的相关性分析[J]. 中国微创外科杂志, 2023, 23(3): 192-196.
- [28] HUANG X M, WANG X J, MAO Z M, et al. Correlation between posterior tibial slope and the gray scale, volume and cross-sectional area of anterior cruciate ligament[J]. Chinese Journal of Minimally Invasive Surgery, 2023, 23(3): 192-196. Chinese
- [29] 郝琳, 李正远, 陈圣洪, 等. 前交叉韧带完整性对内侧活动平台膝关节单髁置换术短中期疗效的影响[J]. 中国修复重建外科杂志, 2024, 38(9): 1071-1078.
- [29] HAO L, LI Z Y, CHEN S H, et al. Effect of anterior cruciate

- ligament integrity on short- to mid-term outcomes of medial mobile-bearing unicompartmental knee arthroplasty[J]. Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery, 2024, 38(9): 1071-1078. Chinese
- [30] SOKAL P A, NORRIS R, MADDOX T W, et al. The diagnostic accuracy of clinical tests for anterior cruciate ligament tears are comparable but the Lachman test has been previously overestimated: a systematic review and Meta-analysis[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2022, 30(10): 3287-3303.
- [31] SHEPHARD L, ABED V, NICHOLS M, et al. International Knee Documentation Committee (IKDC) is the most responsive patient reported outcome measure after meniscal surgery[J]. Arthrosc Sports Med Rehabil, 2023, 5(3): e859-e865.
- [32] CHARLES S, PRESTON N. Osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review of contributing factors and potential treatments[J]. Cureus, 2024, 16(10): e71188. (吴静 编辑)

本文引用格式:

屈伟, 张云鹏, 皮秀敏, 等. 关节镜下前交叉韧带重建术后对侧韧带损伤的风险预警可视化模型的研究及其应用价值[J]. 中国内镜杂志, 2026, 32(3): 18-27.

QU W, ZHANG Y P, PI X M, et al. Research and application of risk warning visualization model for contralateral ligament injury after arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction surgery[J]. China Journal of Endoscopy, 2026, 32(3): 18-27. Chinese