

新型关节韧带数字体查仪量化评估前交叉韧带部分损伤后的膝关节松弛度

朱哲越, 张 晨, 葛 莹, 薛 晗, 李若尘, 吴光伟, 马 瑞

<https://doi.org/10.12307/2025.184>

投稿日期: 2024-03-11

采用日期: 2024-05-18

修回日期: 2024-06-13

在线日期: 2024-06-28

中图分类号:

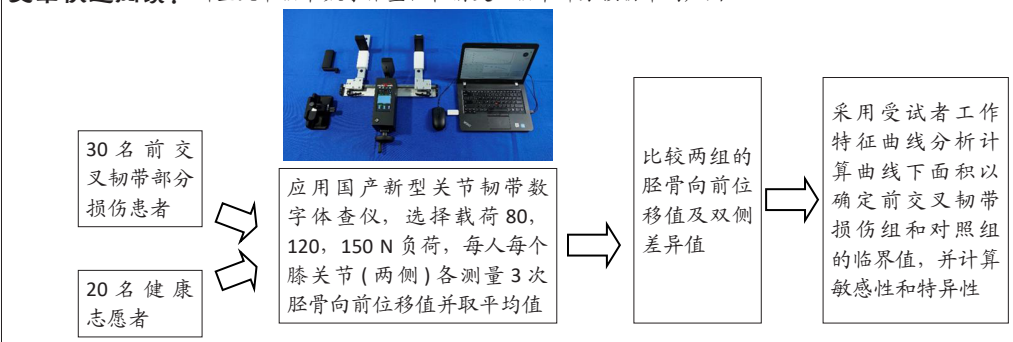
R459.9; R318; R686.5

文章编号:

2095-4344(2025)27-05795-07

文献标识码: A

文章快速阅读: 新型关节韧带数字体查仪在前交叉韧带部分损伤中的应用



文题释义:

前交叉韧带部分损伤:这一概念在近50年前被首次描述, 目前关于前交叉韧带部分损伤的定义尚未达成共识。在此次研究中, 用前交叉韧带未完全断裂者对其进行定义, 即前交叉韧带部分损伤是指Lachmann试验阳性、存在膝关节松弛、MRI上出现前交叉韧带纤维内的超强信号以及关节镜下部分断裂结果相结合的损伤。

胫骨向前位移值:常用于膝关节前向不稳的量化测量。可在受试者坐位屈膝90°时, 分别于前抽屉试验和自然放松状态下拍摄膝关节侧位X射线片, 将前抽屉试验状态与自然放松状态下的胫骨位置重叠, 观察并测量两个X射线片之间胫骨的位置关系, 是一项可用来量化膝关节松弛程度的指标。

摘要

背景:前交叉韧带部分损伤后膝关节松弛程度的量化测量对于及时诊断、后期治疗和康复非常重要。现缺乏应用关节韧带测量仪进行前交叉韧带部分损伤诊断的相关研究。

目的:探讨新型关节韧带数字体查仪在前交叉韧带部分损伤中的诊断价值。

方法:纳入30名单侧前交叉韧带部分损伤患者及20名健康志愿者作为研究对象, 应用国产新型关节韧带数字体查仪测量80, 120, 150 N三种负荷下每侧膝关节的胫骨向前位移值, 比较前交叉韧带部分损伤组和对照组的胫骨向前位移值和双侧差异值, 分析受试者工作特征曲线, 计算曲线下面积, 并确定新型关节韧带数字体查仪的诊断灵敏度及特异度。

结果与结论:①前交叉韧带部分损伤组和对照组在年龄、性别、体质指数和病程方面差异均无显著性意义($P > 0.05$); ②前交叉韧带部分损伤组胫骨向前位移值的双侧差异值明显高于对照组($P < 0.05$), 且前交叉韧带部分损伤组患侧的胫骨向前位移值明显高于健侧($P < 0.05$); ③施加负荷在80 N时的诊断准确性最高(cutoff值=10.45 mm), 曲线下面积为0.813(95%CI: 0.708–0.919), 敏感性和特异性分别为76.7%和70.0%; ④提示新型关节韧带数字体查仪可以客观量化评估前交叉韧带部分损伤后的膝关节松弛度, 可为怀疑前交叉韧带部分损伤的患者提供客观的诊断依据。

关键词:前交叉韧带; 前交叉韧带损伤; 膝关节松弛; 胫骨前移; 数字化关节测量

Quantitative evaluation of knee laxity after partial anterior cruciate ligament injury with a novel digital arthrometer

Zhu Zheyue, Zhang Chen, Ge Ying, Xue Han, Li Ruochen, Wu Guangwei, Ma Rui

Joint and Foot Ankle Ward of Orthopedic Center, Second Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710004, Shaanxi Province, China

Zhu Zheyue, Master candidate, Joint and Foot Ankle Ward of Orthopedic Center, Second Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710004, Shaanxi Province, China

Corresponding author: Ma Rui, MD, Associate researcher, Joint and Foot Ankle Ward of Orthopedic Center, Second Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710004, Shaanxi Province, China

Abstract

BACKGROUND: Quantitative measurement of knee laxity after partial anterior cruciate ligament injury is crucial for timely diagnosis, post-treatment, and rehabilitation. There is a lack of research on the use of articular ligament digital arthrometer in the diagnosis of partial anterior cruciate ligament injury.

OBJECTIVE: To investigate the diagnostic value of a new articular ligament digital arthrometer in partial anterior cruciate ligament injury.

西安交通大学第二附属医院骨科中心关节与足踝病区, 陕西省西安市 710004

第一作者:朱哲越, 男, 1998年生, 陕西省渭南市人, 汉族, 西安交通大学医学部在读硕士, 主要从事运动医学临床研究。

通讯作者:马瑞, 博士, 副研究员, 西安交通大学第二附属医院骨科中心关节与足踝病区, 陕西省西安市 710004

<https://orcid.org/0000-0002-3367-674X> (马瑞)

引用本文:朱哲越, 张晨, 葛莹, 薛晗, 李若尘, 吴光伟, 马瑞. 新型关节韧带数字体查仪量化评估前交叉韧带部分损伤后的膝关节松弛度 [J]. 中国组织工程研究, 2025, 29(27):5795-5801.



METHODS: Totally 30 patients with partial anterior cruciate ligament injury and 20 healthy volunteers were included. The anterior tibial translation values under 80, 120, and 150 N loads were measured by a homebred digital arthrometer. The anterior tibial translation and side-to-side difference were compared between the partial anterior cruciate ligament group and control group. The receiver operating characteristic curve was analyzed and area under curve was calculated, and the diagnostic sensitivity and specificity of the digital arthrometer were determined.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) There was no significant difference in age, sex, body mass index, and course of disease between the partial anterior cruciate ligament injury group and control group ($P > 0.05$). (2) The side-to-side difference values of the partial anterior cruciate ligament injury group were significantly higher than those of the control group ($P < 0.05$), and the anterior tibial translation values of the injured side were significantly higher than those of the healthy side in the partial anterior cruciate ligament injury group ($P < 0.05$). (3) When the load was applied at 80 N, the diagnostic accuracy was highest (cutoff value=10.45 mm); the area under curve was 0.813 (95%CI:0.708–0.919), and the sensitivity and specificity were 76.7% and 70.0%, respectively. (4) It is indicated that the digital arthrometer can objectively and quantitatively evaluate knee laxity after partial anterior cruciate ligament injury, and provide objective diagnostic basis for patients with partial anterior cruciate ligament injury.

Key words: anterior cruciate ligament; anterior cruciate ligament injury; knee laxity; anterior tibial translation; digital arthrometer

How to cite this article: ZHU ZY, ZHANG C, GE Y, XUE H, LI RC, WU GW, MA R. Quantitative evaluation of knee laxity after partial anterior cruciate ligament injury with a novel digital arthrometer. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2025;29(27):5795–5801.

0 引言 Introduction

前交叉韧带损伤是一种常见的膝关节损伤，会引起膝关节不稳^[1]，增加膝关节继发性骨关节炎的风险^[2]，影响患者日常活动和生活质量。前交叉韧带部分损伤占前交叉韧带损伤的10%–27%，在没有手术干预时愈合的可能性很低^[3]。临床上，在接受非手术治疗的年轻活跃的前交叉韧带部分损伤患者中14%–56%会进展为完全撕裂^[4]，前交叉韧带撕裂会导致膝关节部分功能丧失，即使行前交叉韧带重建手术，关节的损伤也是不可逆的^[5]。因此，前交叉韧带部分损伤后的实时精准诊断和评估，对尽早选择最优的治疗方案以避免损伤加剧具有重要意义。

前交叉韧带损伤的诊断方法可结合患者的病史和体格检查（前抽屉试验、Lachmann 试验、轴移试验等）以及MRI检查^[6]。但是，体格检查受查体医生主观影响较大，且患者肌肉力量的差异也会对查体产生影响，无法精确量化，故容易产生漏诊和误诊。而MRI又面临需要预约等待、价格较高、无法定量且受图像质量和体位影响的问题。因此，亟需一种能够实时量化提供客观结果，以便临床医生尽快精准诊断的测量设备。

近年来，在膝关节松弛度的客观评估中使用关节韧带测量仪越来越普遍^[7]。市面上出现的关节韧带测量仪包括KT-1000/KT-2000、Rolimeter、Telos 设备、KLT 及 KiRA 等。然而，KT-1000/KT-2000 及 Rolimeter 仪器已不再市售^[7]。RUNER 等^[7]测试了4种不同的膝关节韧带测量仪（KLT、KiRA、KT1000 和 Rolimeter），发现它们的可靠性组内相关系数范围仅为0.49–0.70。临床上需要一种更为准确可靠、易于使用的关节韧带测量仪。

近年推出的国产新型关节韧带数字体查仪是一款数字化、无辐射、非侵入性的便携式关节韧带测量仪，可用于膝、踝等关节松弛度的定量评估。已有报道使用新型关节韧带数字体查仪对慢性踝关节不稳的前抽屉试验进行量化，获得了令人满意的结果^[8]。也有文献报道，新型关节韧带数字体查仪可量化膝关节前向松弛度，在90，120，150 N 载荷下对前交叉韧带完全断裂具有较高的诊

断价值^[9]。但是，截至目前未见新型关节韧带数字体查仪在评估前交叉韧带部分损伤诊断价值方面的报道。

此次研究的目的是评估新型关节韧带数字体查仪在前交叉韧带部分损伤中的诊断价值，应用新型关节韧带数字体查仪量化胫骨向前位移值，以此评估其在前交叉韧带部分损伤诊断中的潜力。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 病例 – 对照试验，独立样本 t 检验、 χ^2 检验、配对样本 t 检验；受试者工作特征曲线分析计算曲线下面积以确定相关临界值，并计算数据的敏感性和特异性。

1.2 时间及地点 试验于2022年3月至2024年1月在西安交通大学第二附属医院骨科中心关节与足踝病区完成。

1.3 对象 共纳入50名受试者，其中包括30名经由运动医学专家根据临床症状与MRI结果诊断为单侧前交叉韧带部分损伤患者（2022年3月至2024年1月于西安交通大学第二附属医院骨科中心关节与足踝病区门诊就诊）及20名健康志愿者（互联网招募，年龄、性别与前交叉韧带部分损伤患者匹配）。

前交叉韧带部分损伤患者纳入标准：①年龄18–50岁；②单侧前交叉韧带部分损伤；③前交叉韧带损伤时间至就诊时间 ≤ 3 个月；④Lachmann 试验(+)；⑤体质量指数 $< 30 \text{ kg/m}^2$ 。

前交叉韧带部分损伤患者排除标准：①年龄 < 18 岁或 > 50 岁；②前交叉韧带撕脱性骨折或前交叉韧带完全断裂；③慢性前交叉韧带损伤（受伤时间到就诊时间 > 3 个月）；④既往存在受累膝关节的手术或原发性疾病；⑤膝关节周围的肌肉、肌腱、韧带或软骨损伤（前交叉韧带损伤除外）；⑥存在退行性膝关节疾病；⑦体质量指数 $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ 。

此次研究经西安交通大学第二附属医院医学伦理委员会批准（医院伦理批件号：20220313，审批时间：2022年4月），所有受试者均知情同意并自愿参与此次研究。

1.4 材料 新型关节韧带数字体查仪，型号：DPE-LKA，购自上海逸动医学科技有限公司，见图1。



图 1 | 新型关节韧带数字体查仪照片 (逸动医学, 上海)
Figure 1 | General image of novel digital arthrometer (Escape Medicine, Shanghai, China)

1.5 方法 所有受试者在检查前 48 h 内无剧烈活动。受试者保持侧卧位, 双侧下肢暴露, 受试膝关节弯曲 30°(图 2)。固定器一侧的组件放置在髌骨附近的前方以限制股骨运动, 胫骨前方与滑杆平行, 髌骨侧使用 L 型挡杆, L 型挡杆位于下部两个横杆之间, 凹面朝向髌骨, 髌骨侧支架位于 120 mm 处; 胫骨侧使用 I 型挡杆, 挡杆凸面对准胫骨, 胫骨侧支架处于限制器滑轨最远端。主框架末端的推进器以恒定速度从小腿胫骨后部逐渐施加推力使胫骨向前移位, 仪器内置的 PC 系统能够对收集的数据进行处理和分析, 以获得显示在屏幕上的应力-位移曲线(图 3)。为减轻肌肉组织的影响, 该设备设置为当压力超过 10 N 时记录位移, 当力达到设定值时发出提示音。在此次研究中负载上限阈值设置为 150 N。选择载荷 80, 120, 150 N 三个负荷, 每人每个膝关节(健侧和患侧)各测量 3 次胫骨向前位移值并取平均值, 计算同一名受试者的双侧差异值(双侧差异值 = 患侧胫骨向前位移值 - 健侧胫骨向前位移值), 对照组的双侧差异值通过从优势侧减去非优势侧的胫骨向前位移值来计算。胫骨向前位移值和双侧差异值的技术尺寸以 mm 为单位。载荷精度为 1 N, 位移为 0.1 mm。

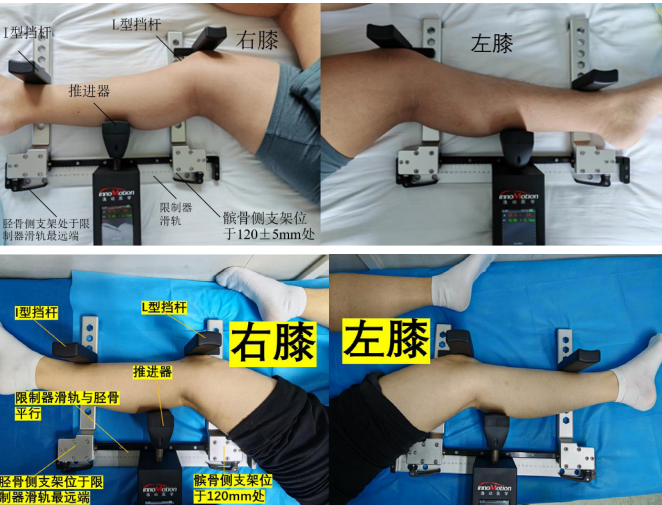


图 2 | 右膝、左膝测量现场图
Figure 2 | Right and left knee measurement sites

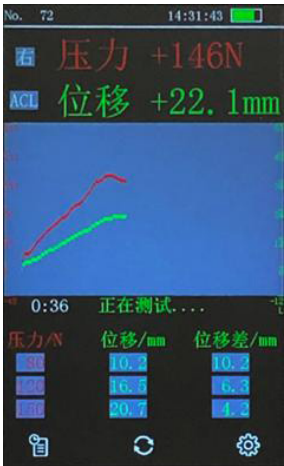


图 3 | 新型关节韧带数字体查仪的屏幕显示及应力-位移曲线生成图例
Figure 3 | Screen display and stress-displacement curve generation legend of novel digital arthrometer

1.6 主要观察指标 使用新型数字关节体查仪对全体受试者进行胫骨向前位移值测量。

1.7 统计学分析 使用 SPSS 25.0 统计学软件进行统计学分析。所有计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 年龄、体质量指数和病程比较采用独立样本 t 检验, 性别的比较采用 χ^2 检验。采用独立样本 t 检验比较对照组和前交叉韧带部分损伤组在 80, 120, 150 N 负荷下胫骨向前位移值的双侧差异值; 采用配对样本 t 检验比较前交叉韧带部分损伤组在 80, 120, 150 N 负荷下患侧和健侧的平均胫骨向前位移值; 采用受试者工作特征曲线分析计算曲线下面积以确定前交叉韧带部分损伤组和对照组的临界值, 并计算敏感性和特异性。 $P < 0.05$ 被认为差异有显著性意义。此文统计学方法已经西安交通大学医学部生物统计学专家审核。

2 结果 Results

2.1 参与者数量分析 此次研究纳入 30 名前交叉韧带部分损伤患者及 20 名健康志愿者, 所有受试者均参与试验流程并进入结果分析, 无脱落。

2.2 试验流程图 见图 4。



图 4 | 两组受试者分组流程图
Figure 4 | Flow chart of group assignment

2.3 一般资料 比较基线资料发现, 两组在年龄、性别、体质量指数和病程方面差异均无显著性意义 ($P > 0.05$), 见表 1。

2.4 双侧差异值比较 前交叉韧带部分损伤组和对照组在不同负荷下的双侧差异值比较结果见表 2。在 80, 120,

表 1 | 两组患者的基线资料比较

Table 1 | Comparison of baseline data between the two groups

组别	n	年龄 ($\bar{x}\pm s$, 岁)	男 / 女 (n)	体质量指数 ($\bar{x}\pm s$, kg/m ²)	左侧 / 右侧 (n)	病程 ($\bar{x}\pm s$, d)
前交叉韧带部分 损伤组	30	29.7±8.4	13/17	23.3±2.9	16/14	33.4±27.5
对照组	20	30.4±8.1	8/12	23.2±2.3	11/9	28.9±23.4
P 值		0.777	0.815	0.144		0.548

表 2 | 前交叉韧带部分损伤组和对照组的双侧差异值比较 ($\bar{x}\pm s$, mm)

Table 2 | Comparison of side-to-side difference between partial anterior cruciate ligament injury group and control group

负荷	前交叉韧带部分损伤组 (n=30)	对照组 (n=20)	P 值	95%CI 值
80 N	3.0±1.3	1.8±1.4	0.003	0.43–2.00
120 N	3.6±1.7	2.0±1.6	0.024	0.13–1.81
150 N	4.3±1.9	1.8±1.7	0.000	1.40–3.55

150 N 时, 前交叉韧带部分损伤组的双侧差异值明显高于对照组, 差异均有显著性意义 ($P < 0.05$)。

2.5 前交叉韧带部分损伤组患侧和健侧的胫骨向前位移值对比 表 3 显示了前交叉韧带部分损伤组患者患侧和健侧在不同负荷下的胫骨向前位移值对比结果。在 80, 120, 150 N 时, 前交叉韧带部分损伤组患者患侧的胫骨向前位移值明显高于健侧, 且差异均有显著性意义 ($P < 0.05$)。图 5 展示了前交叉韧带部分损伤组患者患侧和健侧膝关节的应力-位移曲线。从图中可以看出, 与健侧相比, 患侧的应力-位移曲线更陡峭, 说明患侧的松弛程度更大。另外, 患侧和健侧的胫骨向前位移值随着应力的增加都有逐渐升高的趋势, 双侧差异值也在随着应力的增加而缓慢升高。

表 3 | 前交叉韧带部分损伤组患者患侧和健侧的胫骨向前位移值对比

($\bar{x}\pm s$, n=30, mm)

Table 3 | Comparison of anterior tibial translation values between the injured side and the healthy side in the partial anterior cruciate ligament injury group

负荷	患侧	健侧	P 值	95%CI 值
80 N	12.8±2.6	9.8±2.1	0.000	2.49–3.49
120 N	16.2±3.3	12.6±2.6	0.000	2.94–4.19
150 N	19.5±3.9	15.2±3.1	0.000	3.58–5.02

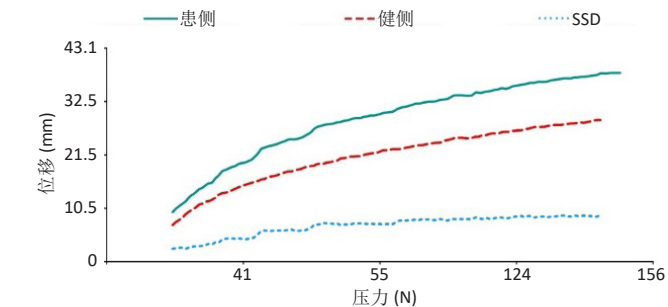


图 5 | 前交叉韧带部分损伤组患者患侧和健侧膝关节的应力-位移曲线
Figure 5 | Stress-displacement curves of the knee joint on the affected side and the healthy side in the partial anterior cruciate ligament injury group

2.6 诊断准确性评价 通过软件绘制了 80, 120, 150 N 应力时的受试者工作特征曲线 (图 6)。统计学上可将不同曲线下面积的诊断值分为 0 (曲线下面积 = 0.5)、信息量较差 ($0.5 < \text{曲线下面积} \leq 0.7$)、信息量相当 ($0.7 < \text{曲线下面积} \leq 0.9$)、信息量大 ($0.9 < \text{曲线下面积} < 1$) 和完美 (曲线下面积 = 1), 即曲线下面积越大, 其代表的信息量就越大, 诊断价值就越高。结果显示, 此次研究中 80 N 时的受试者工作特征曲线的曲线下面积最大 (cutoff 值 = 10.45 mm), 曲线下面积 = 0.813 (95%CI: 0.708–0.919), 见表 4, 敏感性为 0.767, 特异性为 0.700。基于此得出 80 N 时的诊断准确性最高的结论。

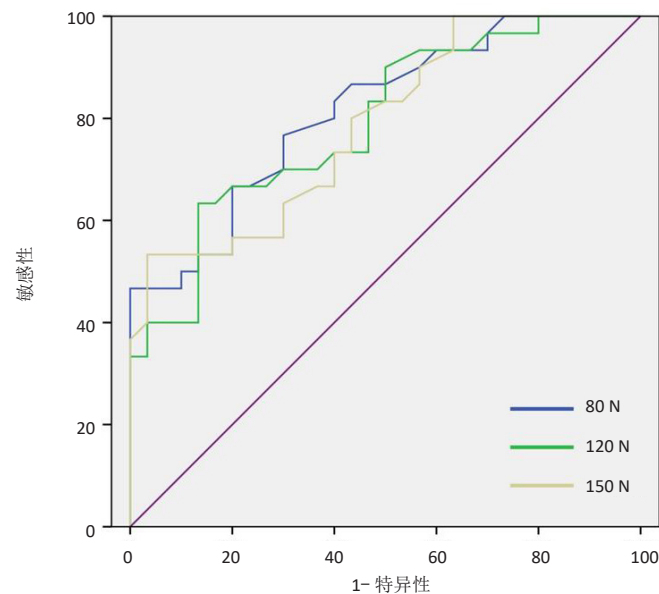


图 6 | 前交叉韧带部分损伤组不同负荷时胫骨向前位移值的受试者工作特征曲线

Figure 6 | Receiver operating characteristic curves of anterior tibial translation value of partial anterior cruciate ligament injury group under different loads

表 4 | 不同负荷下的受试者工作特征曲线的曲线下面积比较

Table 4 | Comparison of areas under receiver operating characteristic curves under different loads

负荷	曲线下面积	95%CI 值
80 N	0.813	0.708–0.919
120 N	0.791	0.679–0.903
150 N	0.787	0.674–0.899

2.7 不良事件 此次研究过程中所有患者及健康志愿者未出现任何不耐受及后续不良反应。

3 讨论 Discussion

前交叉韧带是膝关节最常见的损伤韧带之一。前交叉韧带损伤占膝关节损伤的 50% 以上, 每年影响美国超过 200 000 人, 每年的直接和间接治疗成本超过 70 亿美

元^[10]。近年来随着国内全民健身的兴起,高强度、不合理的体育运动导致前交叉韧带损伤愈发常见。前交叉韧带损伤可能会产生多种短期和长期的不良后果,例如运动参与减少、超重/肥胖风险增加、生活质量下降以及受伤后骨关节病的发生率增加等^[11-13]。值得注意的是,在美国,14-18岁青少年前交叉韧带损伤发生率最高^[14],而骨骼发育不成熟的青少年前交叉韧带损伤和相关手术治疗更会导致生长异常等更严重的问题^[15]。然而,人们对于前交叉韧带损伤,特别是前交叉韧带部分损伤,会出现诊疗诊断不及时、盲目保守治疗等问题,导致病情延误、影响预后。已有研究表明,与及时进行手术治疗的患者相比,选择非手术治疗的前交叉韧带损伤患者在最终随访时膝关节松弛程度更高,且半月板损伤发生更多^[16]。早期接受前交叉韧带重建与后期重建的患者相比,后者内侧半月板和内侧胫股软骨损伤的发生率更高^[17-18]。因此,早诊断、早治疗对于前交叉韧带部分损伤的预后非常重要。

长时间以来,临床初诊前交叉韧带损伤常用的Lachman试验被认为具有高可靠性^[19],但有长时间运动医学临床经验的医生时常会发现其结果常与术中关节镜下所见不一致。对于前交叉韧带部分损伤,Lachman试验的合并敏感性较低且变化更大,临床环境(患者清醒与非清醒)和损伤程度(部分与完全损伤)对诊断准确性均有影响^[20]。另据报道,Lachman试验对诊断前交叉韧带损伤的敏感性为42%,而前抽屉试验的敏感性仅为19%^[21-22]。此外,Lachman试验和前抽屉试验较依赖检查者的主观感受和临床经验。早年一项研究比较了外科医生和物理治疗师进行Lachman试验的临床准确性,发现外科医生的敏感性为77%,特异性为50%;而物理治疗师的敏感性仅为65%,特异性仅为42%^[23]。除了检查者的经验水平外,许多其他因素也会影响检查的可重复性,例如膝关节积液、肌肉痉挛、大腿围、检查者手的大小以及检查时间等,也可能导致敏感性和特异性存在较大差异^[20]。临床上,MRI被认为是前交叉韧带损伤诊断的金标准^[24]。然而,国内患者大多面临着预约等待时间长、检查价格相对较高、无法定量且受图像质量和体位影响等问题。另外,前交叉韧带部分撕裂的MRI诊断准确率并不高,仅为25%-53%^[3, 25]。因此,能够在第一时间量化检查数据,提供客观结果,使临床医生尽快给出可靠诊断的测量设备的价值就不言而喻了。

KT1000关节计曾经是测量关节韧带松弛度最为常用的仪器,被认为具有较高的灵敏度和特异度^[26-29]。然而,KT-1000关节计会受到检查者手部优势的影响,进而影响其测量的可靠性。经过进一步的实验评估,人们对其可重复性及可靠性提出了质疑^[30-31],认为KT-1000关节计即

使对同一对象重复测量时也会出现可靠性不足的问题。在健康对照组中,与左手占主导地位的物理治疗师相比,右手占主导地位的物理治疗师测量的右膝胫骨向前位移值明显更高,而左手占主导地位的物理治疗师测量的胫骨向前位移值明显更高^[32]。此次研究使用的新型关节韧带数字体查仪设备可以通过主机末端的手摇杆均匀施加负载,故检查结果不会受到惯用手的影响。

Rolimeter要求检查者以最大手力进行Lachman测试来记录膝关节前部松弛情况^[33],具有足够的灵敏度^[34];但该设备的负载不受控制、可重复性尚有争论^[35]。该仪器相比于Rolimeter的优势在于能够稳定施加精度为1 N的负荷,负载可控。

Telos设备作为应力射线照相系统可以直接评估胫骨前移,具有高重复性且不会损伤软组织,是治疗完全性前交叉韧带损伤导致膝关节松弛的可靠方法。但其X射线片增加了就医成本,且患者需承受一定量的辐射暴露^[36-38]。相对于Telos设备,该新型关节韧带数字体查仪可以在不借助X射线片的情况下通过内置PC系统实时处理分析收集的数据,并同步获得显示在屏幕上的应力-位移曲线,患者无需暴露在辐射下。

KLT(Karl Storz, Tuttlingen, 德国)或KiRA(I+, 意大利)是近年来问世的新设备^[39],它们的测量能力被证实与KT-1000相当,测量结果显示二者的胫骨向前位移值侧向差异相当,被认为是量化疑似前交叉韧带损伤的有效工具^[39]。但已有研究显示,KiRA对不当处理较敏感,因此要求使用者具备一定经验^[7]。相较于KLT(Karl Storz, Tuttlingen, 德国)或KiRA(I+, 意大利),新型关节韧带数字体查仪可操作性更强且更易上手,且为减轻肌肉组织的影响,该设备设置为当压力超过10 N时记录位移,在力达到设定值时可发出提示音,杜绝了设备对不当处理过于敏感的问题。

此次研究所使用的新型关节韧带数字体查仪具有便携式、数字化、无辐射、非侵入性的优点。该设备具有内置压力负载和位移传感器,可以根据需要提供连续或恒定的负载并记录实时负载和位移,必要时可在放射设备的帮助下进行同步应力射线照相^[9]。在测量过程中,新型关节韧带数字体查仪的推杆从平行于胫骨结节的小腿后部对胫骨施加垂直载荷,精度为1 N;相对位移由推杆顶部的位移传感器实时自动采集,精度为0.1 mm,采样频率为30 Hz,使用内置PC系统对收集的数据进行处理和分析,以获得显示在屏幕上的力-位移曲线。其负载可控、精度高、量程大、可重复性好、不损伤软组织,具有高重复性且无照射X射线的要求,节省了就医成本,避免了患者和医者的辐射暴露,是一种可靠的关节韧带

定量检查设备。

评估前交叉韧带损伤患者的膝关节松弛程度，测量胫骨向前位移值是诊断前交叉韧带损伤的一种简便而客观的方法^[40]。新型关节韧带数字体查仪可精确测量在不同负荷下的胫骨向前位移值，已有报道称使用新型关节韧带数字体查仪对前交叉韧带断裂受试者施加 80，120，150 N 载荷时胫骨向前位移值明显更大，且胫骨向前位移值在 150 N 负载下对前交叉韧带完全断裂具有最高的诊断准确性^[41]。然而，未见使用新型关节韧带数字体查仪针对前交叉韧带部分损伤诊断价值的相关研究。

此次研究测量并比较了前交叉韧带部分损伤患者患侧和健侧胫骨向前位移值，并计算患侧和健侧胫骨向前位移值的差值（双侧差异值），所得的双侧差异值再与健康人做对比。此次研究结果表明：前交叉韧带部分损伤组在不同负荷下的双侧差异值显著高于对照组，前交叉韧带损伤患者患侧的胫骨向前位移值明显高于健侧，说明新型关节韧带数字体查仪可以通过精确测量胫骨向前位移值将前交叉韧带部分损伤的患者区分出来。前交叉韧带部分损伤组在 80 N 的曲线下面积最大 (0.813，95% CI 为 0.708–0.919)，说明 80 N 时的诊断准确性最高 (cutoff 值 = 10.45 mm)，敏感性和特异性分别为 0.767 和 0.700。以上这些结果证明在较低负载下使用胫骨向前位移值即可以识别前交叉韧带部分损伤的存在，因此，建议使用 80 N 作为最佳负荷来量化前交叉韧带部分损伤的诊断。

此次研究的局限性在于样本量较小，受试者不包括不同类型前交叉韧带损伤的患者，人群特征未细分，因而未能丰富前交叉韧带损伤的定量结果，故尚不能达成新型关节韧带数字体查仪诊断前交叉韧带部分损伤的诊断标准。

结论：综上所述，新型关节韧带数字体查仪可以通过测量胫骨向前位移值客观量化前交叉韧带部分损伤后的膝关节松弛度，通过与健侧比较来综合判断前交叉韧带部分损伤存在与否，同时建议施加负荷选择 80 N，可为临床环境中前交叉韧带部分损伤的诊断提供客观的诊断依据。

致谢：感谢西安交通大学第二附属医院护理部对该研究的支持。

作者贡献：第一、二作者和通讯作者构思并设计试验，第一、第三、第四作者收集并整理数据，第一、通讯作者共同分析实验数据并撰写论文，第一作者及通讯作者对此文负责。

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：该研究遵守《非随机对照临床试验研究报告指南》(TREND 声明)。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稿宗旨。

4 参考文献 References

- [1] 吴秀霖, 徐俊杰, 叶梓鹏, 等. 前交叉韧带损伤合并髌骨不稳研究进展 [J]. 国际骨科学杂志, 2024,45(1):11-14,18.
- [2] KHAN T, ALVAND A, PRIETO-ALHAMBRA D, et al. ACL and meniscal injuries increase the risk of primary total knee replacement for osteoarthritis: a matched case-control study using the Clinical Practice Research Datalink (CPRD). Br J Sports Med. 2019;53(15):965-968.
- [3] STONE AV, MARX S, CONLEY CW, et al. Management of Partial Tears of the Anterior Cruciate Ligament: A Review of the Anatomy, Diagnosis, and Treatment. J Am Acad Orthop Surg. 2021;29(2):60-70.
- [4] DALLO I, CHAHLA J, MITCHELL JJ, et al. Biologic approaches for the treatment of partial tears of the anterior cruciate ligament: A current concepts review. Orthop J Sports Med. 2017;5(1):2325967116681724.
- [5] 吕琦, 马春辉, 王培军, 等. 3.0T MRI 评估青年人群膝关节前交叉韧带 (ACL) 损伤的危险相关因素 [J]. 复旦学报 (医学版), 2014, 41(5):667-672.
- [6] FILBAY SR, GRINDEM H. Evidence-based recommendations for the management of anterior cruciate ligament (ACL) rupture. Best Pract Res Clin Rheumatol. 2019;33(1):33-47.
- [7] RUNER A, SARSINA TRD, STARKE V, et al. The evaluation of Rolimeter, KLT, KiRA and KT-1000 arthrometer in healthy individuals shows acceptable intra-rater but poor inter-rater reliability in the measurement of anterior tibial knee translation. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2021;29(8):2717-2726.
- [8] LI JQ, TANG JX, YAO L, et al. The validity of the Ligs digital arthrometer at different loads to evaluate complete ACL ruptures. Front Bioeng Biotechnol. 2023;11:1049100.
- [9] CHEN Y, CAO S, WANG C, et al. Quantitative analysis with load-displacement ratio measured via digital arthrometer in the diagnostic evaluation of chronic ankle instability: a cross-sectional study. J Orthop Surg Res. 2022;17(1):287.
- [10] KAEDING CC, LÉGER-ST-JEAN B, MAGNUSSEN RA. Epidemiology and diagnosis of anterior cruciate ligament injuries. Clin Sports Med. 2017;36:1-8.
- [11] WHITTAKER JL, WOODHOUSE LJ, NETTEL-AGUIRRE A, et al. Outcomes associated with early post-traumatic osteoarthritis and other negative health consequences 3–10 years following knee joint injury in youth sport. Osteoarthritis Cartilage. 2015;23:1122-1129.
- [12] JOHNSON VL, ROE JP, SALMON LJ, et al. Does age influence the risk of incident knee osteoarthritis after a traumatic anterior cruciate ligament injury? Am J Sports Med. 2016;44:2399-2405.
- [13] FILBAY SR, ACKERMAN IN, RUSSELL TG, et al. Return to sport matters—longer-term quality of life after ACL reconstruction in people with knee difficulties. Scand J Med Sci Sports. 2017;27:514-524.
- [14] SANDERS TL, MARADIT KREMERS H, BRYAN AJ, et al. Incidence of anterior cruciate ligament tears and reconstruction. Am J Sports Med. 2016;44:1502-1507.

- [15] ARDERN CL, EKÅS G, GRINDEM H, et al. 2018 International Olympic Committee consensus statement on prevention, diagnosis and management of paediatric anterior cruciate ligament (ACL) injuries. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018;26:989-1010.
- [16] MUSAHL V, KARLSSON J. Anterior Cruciate Ligament Tear. *N Engl J Med.* 2019;380:2341-2348.
- [17] MAGNUSSEN RA, PEDROZA AD, DONALDSON CT, et al. Time from ACL injury to reconstruction and the prevalence of additional intra-articular pathology: is patient age an important factor? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21:2029-2034.
- [18] SRI-RAM K, SALMON LJ, PINCZEWSKI LA, et al. The incidence of secondary pathology after anterior cruciate ligament rupture in 5086 patients requiring ligament reconstruction. *Bone Joint J.* 2013;95-B: 59-64.
- [19] MULLIGAN EP, MCGUFFIE DQ, COYNER K, et al. The reliability and diagnostic accuracy of assessing the translation endpoint during the Lachman test. *Int J Sports Phys Ther.* 2015;10:52-61.
- [20] LEBLANC MC, KOWALCZUK M, ANDRUSZKIEWICZ N, et al. Diagnostic accuracy of physical examination for anterior knee instability: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(10): 2805-2813.
- [21] SOKAL PA, NORRIS R, MADDOX TW, 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. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2022; 30(10):3287-3303.
- [22] LELLI A, TURI RPD, SPENCINER DB, et al. The “Lever Sign”: A new clinical test for the diagnosis of anterior cruciate ligament rupture. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(9):2794-2797.
- [23] COOPERMAN JM, RIDDLE DL, ROTHSTEIN JM. Reliability and validity of judgments of the integrity of the anterior cruciate ligament of the knee using the Lachman's test. *Phys Ther.* 1990;70(4):225-233.
- [24] GUNAYDIN B, SAHIN GG, SARI A, et al. Corrigendum to “A new method for diagnosis of anterior cruciate ligament tear: MRI with maximum flexion of knee in the prone position: A case control study” [*Int. J. Surg.* 68 (2019) 142-147]. *Int J Surg.* 2020;73:123.
- [25] VAN DYCK P, DE SMET E, VERYSER J, et al. Partial tear of the anterior cruciate ligament of the knee: injury patterns on MR imaging. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012;20(2):256-261.
- [26] TORZILLI PA, PANARIELLO RA, FORBES A, et al. Measurement reproducibility of two commercial knee test devices. *J Orthop Res.* 1991;9:730-737.
- [27] BACH BR, WARREN RF, FLYNN WM, et al. Arthrometric evaluation of knees that have a torn anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am.* 1990;72:1299-1306.
- [28] BALLANTYNE BT, FRENCH AK, HEIMSOTH SL, et al. Influence of examiner experience and gender on interrater reliability of KT-1000 arthrometer measurements. *Phys Ther.* 1995;75:898-906.
- [29] ROBNETT NJ, RIDDLE DL, KUES JM. Intertester reliability of measurements obtained with the KT-1000 on patients with reconstructed anterior cruciate ligaments. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1995;21(2):113-119.
- [30] WIERTSEMA SH, VAN HOOFF HJ, MIGCHELSEN LA, et al. Reliability of the KT1000 arthrometer and the Lachman test in patients with an ACL rupture. *Knee.* 2008;15(2):107-110.
- [31] BOYER P, DJIAN P, CHRISTEL P, et al. Reliability of the KT-1000 arthrometer (Medmetric) for measuring anterior knee laxity: comparison with Telos in 147 knees. *Rev Chir Orthopédique Réparatrice Appar Mot.* 2004;90(8):757-764.
- [32] SERNERT N, HELMERS J, KARTUS C, et al. Knee-laxity measurements examined by a left-hand- and a right-hand-dominant physiotherapist, in patients with anterior cruciate ligament injuries and healthy controls. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15(10): 1181-1186.
- [33] PAPANDREOU MG, ANTONOGIANNAKIS E, KARABALIS C, et al. Inter-rater reliability of Rolimeter measurements between anterior cruciate ligament injured and normal contra lateral knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2005;13(7):592-597.
- [34] HATCHER J, HATCHER A, ARBUTHNOT J, et al. An investigation to examine the inter-tester and intra-tester reliability of the Rolimeter knee tester, and its sensitivity in identifying knee joint laxity. *Randomized Controlled Trial.* 2005;23(6):1399-1403.
- [35] ERICSSON D, ÖSTENBERG AH, ANDERSSON E, et al. Test-retest reliability of repeated knee laxity measurements in the acute phase following a knee trauma using a Rolimeter. *J Exerc Rehabil.* 2017;13(5):550-558.
- [36] ROHMAN EM, MACALENA JA. Anterior cruciate ligament assessment using arthrometry and stress imaging. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2016;9(2):130-138.
- [37] RYU SM, NA HD, SHON OJ, et al. Diagnostic Tools for Acute Anterior Cruciate Ligament Injury: GNRB, Lachman Test, and Telo. *Knee Surg Relat Res.* 2018;30(2):121-127.
- [38] KIM SH, PARK YB, HAM DW, et al. Stress radiography at 30° of knee flexion is a reliable evaluation tool for high-grade rotatory laxity in complete ACL-injured knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(7):2233-2244.
- [39] RAGGI F, SARSINA TRD, SIGNORELLI C, et al. Triaxial accelerometer can quantify the Lachman test similarly to standard arthrometers. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019;27:2698-2703.
- [40] MASSEY PK, HARRIS JD, WINSTON LA, et al. Critical Analysis of the Lever Test for Diagnosis of Anterior Cruciate Ligament Insufficiency. *Arthroscopy.* 2017;33(8):1560-1566.
- [41] WU D, WANG DH, HAN YJ, et al. A novel digital arthrometer to measure anterior tibial translation. *J Orthop Surg Res.* 2023;18(1):101.

(责任编辑: LIY, GD, ZN, QY)