

论 著

MRI评估膝关节前外侧韧带损伤的价值研究*

姜昱林¹ 邓 进^{2,*} 田智勇¹
陈晓英³1.贵阳市第四人民医院骨关节外科
(贵州 贵阳 550002)

2.贵州医科大学附属医院 (贵州 贵阳 550000)

3.宜宾市中医院骨伤科 (四川 宜宾 644007)

【摘要】目的 探讨膝关节前交叉韧带(ACL)撕裂的前外侧韧带(ALL)在超声和MRI上的病理表现。**方法** 这项前瞻性研究包括30名疑似急性前交叉韧带撕裂的患者。分别对伤侧和健侧膝关节进行X线片、US和MRI检查。两名放射科医生在MRI和US检查中对ALL进行了评估,并kappa评估这些检查者的发现之间的一致性。**结果** 超声检查发现ALL受损率为63%(19/30; k=0.93)。50%的病例(15/30; k=1)出现了末端撕裂,所有病例的撕裂都位于胫骨附着处。MRI检查发现ALL受损率为53%(16/30; k=0.93)。13%的病例(4/30; k=0.76)出现末端撕裂,所有病例的撕裂均位于胫骨附着处(k=0.93)。**结论** 前交叉韧带撕裂伤多发生在胫骨末端。它们通常与末端的骨撕脱有关,在US上看起来更好。**【关键词】** 膝关节前交叉韧带; 前外侧韧带; 超声; MRI**【中图分类号】** R445.1**【文献标识码】** A**【基金项目】** 2020年四川省中医药管理局科学技术研究专项课题——高能量激光生物刺激穴位治疗膝骨关节炎的临床疗效研究(2020LC0238)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.01.055

The Value of MRI in Evaluating Anterior Lateral Ligament Injury of the Knee Joint*

JIANG Yu-Lin¹, DENG Jin^{2,*}, TIAN Zhi-yong¹, CHEN Xiao-Ying³, ZHOU Jing⁴.

1.Department of Bone and Joint Surgery, the Fourth People's Hospital of Guiyang, Guiyang 550002, Guizhou Province, China

2.The Affiliated Hospital of Guizhou Medical University, Guiyang 550000, Guizhou Province, China

3.Department of Orthopedics and Traumatology, Yibin Hospital of T.C.M, Yibin 644007, Sichuan Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the pathological manifestations of anterior lateral ligament (ALL) in anterior cruciate ligament (ACL) tear of the knee joint on ultrasound and MRI. **Methods** This prospective study included 30 patients suspected of acute anterior cruciate ligament tear. Perform X-ray, US, and MRI examinations on the injured and healthy knee joints respectively. Two radiologists evaluated ALL in MRI and US examinations, and kappa assessed the consistency between the findings of these examiners. **Results** Ultrasound examination revealed a damage rate of 63% (19/30; k=0.93) in ALL. 50% of cases (15/30; k=1) experienced distal tearing, and all cases had tears located at the attachment of the tibia. MRI examination revealed a damage rate of 53% (16/30; k=0.93) in ALL. 13% of cases (4/30; k=0.76) experienced distal tearing, and all cases had tears located at the attachment of the tibia (k=0.93). **Conclusion** Anterior cruciate ligament tears often occur at the end of the tibia. They are usually associated with bone avulsion at the end and appear better on the US.**Keywords:** Anterior Cruciate Ligament of Knee Joint; Anterior Lateral Ligament; Ultrasound; MRI膝关节前外侧韧带(ALL)损伤诊断一直是影像科及骨科研究的热点问题^[1]。目前还没有分析活体ALL的“金标准”; 尽管与高级轴移试验有很强的相关性,但它没有特异性,使用关节镜很难看到ALL^[2]。在非损伤的膝关节中,MRI可以检测到97-100%的ALL。有研究发现^[3],ALL在超声检查(US)上100%可见。在前交叉韧带撕裂后,在一项研究中发现26%的病例ALL受伤^[4],在另一项研究中发现62%的病例受伤^[5]。US具有比MRI更高的空间分辨率,并允许实时动态成像,从未被用于分析前交叉韧带撕裂后的全部情况^[6]。明确ALL的病理形态是影像面临的新挑战。本研究的目的是描述使用前交叉韧带TEA的膝关节ALL的超声和MRI的病理表现。

1 资料与方法

1.1 研究资料 这项研究得到了医院研究伦理委员会的批准,患者在参与之前提供了书面同意。我们前瞻性地随机招募了30名患者(22名男性,8名女性),平均年龄为29.3±11.6岁,这些患者在2023年1月至2024年1月期间因MRI诊断为前交叉韧带撕裂而计划在我们的设施进行前交叉韧带重建。纳入标准为18岁或以上的患者,其近期(小于3个月)的前交叉韧带撕裂在MRI上得到证实。排除标准是两侧膝关节的损伤或手术史。**1.2 研究方法** 每个患者都接受标准X光-受伤膝关节的MRI-在前一天进行前交叉韧带重建手术的双膝US。使用正交式前后X射线(55千伏,10 mA)和双平面工作台在患者仰卧状态下进行X线片。1.5T装置与膝关节专用线圈一起使用;检查时将膝关节置于10°屈曲状态。采用以下方案:脂肪饱和质子密度加权成像(PD Fat SAT)(TR3907ms; TE 42ms, 3.5 mm层厚, 224×320 mm矩阵, 160 mm视野(FOV))和矢状位T1加权(TR620ms, TE 13ms, 3.5 mm层厚, 无层间间隙, 224×380 mm矩阵, 160 mm视野)序列。伤后平均(25±18.65)天接受MRI检查。使用高频探头(Aplio 500 Toshiba, 14-18 MHz探头)对ALL进行探查,患者仰卧,膝盖部分弯曲(70°),脚部内旋--一个对ALL施加张力的位置。在其长轴上的冠状切片上对ALL进行分析。US技术包括在Gerdy结节上定位髌胫束的起始处,然后将探头向后平移以定位ALL的胫骨附着点。探头的上端旋转了约20°,以便更容易看到其长轴上的全貌。患者在进行核磁共振检查后平均50.65±29.15天接受超声检查。

放射照片和MRI图像由两名专科医生使用PACS工作站进行盲法分析。MRI分析前交叉韧带撕裂是基于前交叉韧带两束纤维外观的丢失而确认的,这两束纤维在具有纤维连续性的PD脂肪卫星序列上信号增加。第二步包括分析ALL及其股骨、半月板和胫骨附着点。如果在股骨上髌和胫骨平台之间可见低强度的线性结构,则认为ALL是正常的。如果撕裂或轮廓不规则的高信号信号,ALL被认为是损伤。胫骨止点的ALL撕脱被认为是Segond骨折。如果胫骨末端存在骨水肿,如果其最宽处直径小于5mm,则标记为1级,如果直径大于5mm,则标记为2级。

1.3 统计学方法 描述性分析包括计算平均值和标准差值,观察者之间的一致性用科恩的kappa(K)系数来确定。配对t检验被用来比较测量的所有膝盖之间的厚度。使用受试者工作特征(ROC)方法用皮尔逊卡方检验分析ALL的超声表现与MRI表现的相关性、股骨

【第一作者】姜昱林,男,主治医师,主要研究方向:髌膝关节。E-mail: wetklike@yeah.net

【通讯作者】邓 进,男,汉族,主任医师,主要研究方向:创伤骨科。E-mail: 70242895@qq.com

头末端撕脱征与MRI表现的相关性以及ALL表现与骨水肿程度的关系。统计软件采用SPSS 27.0, $P < 0.05$ 被认为是有统计学意义。

2 结果

2.1 前外侧韧带(ALL)的MRI表现分析 如图1所示, 显示了MRI上正常和受伤ALL的例子。超声分析对ALL的韧带中间体、股骨、半月板和胫骨附着点进行分析。如果可见纤维各向异性结构, ALL被认为是正常的。如果韧带撕裂、拉伸或低回声, 轮廓不规则, 周围积液, 则认为ALL受伤。在胫骨平台水平测量损伤侧和对侧膝关节ALL的厚度。胫骨附着处的ALL撕脱被认为是Segond骨折, 并被标记为“超声Segond”。

2.2 前外侧韧带(ALL)的超声表现分析 如图2所示, 显示了正常和受伤的ALL例子。前外侧韧带(ALL)的超声表现。膝关节前外侧韧带的长轴; 在长轴上显示韧带的冠状平面图像。(2A)正常ALL的超

声(箭头): 膝下动脉(箭头)和肌腱(星形)表面的低回声、纤维状、薄结构。(2B)受损ALL的超声检查: 胫骨附着点呈低回声增厚(箭头), 韧带周围软组织积液。(2C)受损ALL的超声检查: 胫骨附着点回声低且增厚(箭头), 胫骨末端有骨撕脱(箭头), 即Segond骨折。

2.3 前外侧韧带(ALL)的超声和核磁共振表现不同分析 如图3所示, 单超声和核磁共振表现不同的一例。MRI冠状PD Fat Sat序列(3A)显示S胫骨附着点前外侧韧带(粗箭头)处增厚, 其末端骨皮质未见损伤, 为1级水肿区。超声在冠状面(3B)显示ALL的胫骨附着处(细箭头)增厚, 在其末端皮质不连续(粗箭头)。总的来说, 超声检查发现ALL受损率为63%(19/30; $k=0.93$)。50%的病例(15/30; $k=1$)出现了末端撕裂, 所有病例的撕裂都位于胫骨附着处。MRI检查发现ALL受损率为53%(16/30; $k=0.93$)。13%的病例(4/30; $k=0.76$)出现末端撕裂, 所有病例的撕裂均位于胫骨附着处($k=0.93$)。

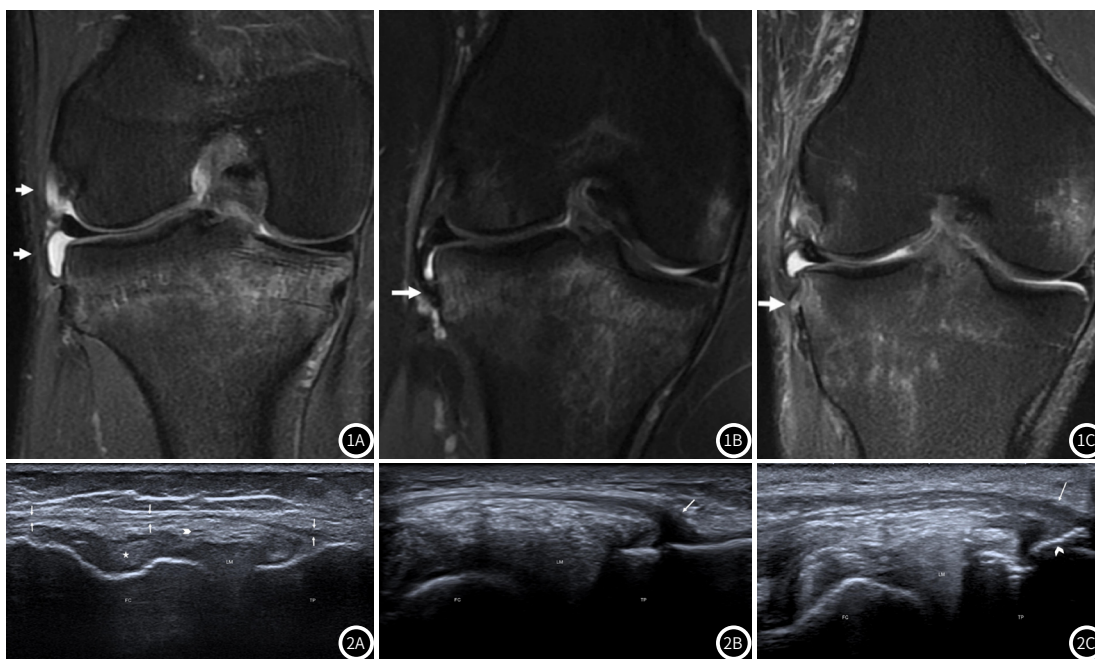


图1A-图1C 前外侧韧带(ALL)的MRI表现。膝关节前外侧韧带在脂肪饱和的质子密度加权序列中位于冠状面。(1A)全部正常。(1B)损伤ALL: 胫骨附着点高信号, 增厚。(1C) Segond骨折: 胫骨末端的骨撕脱合并增厚的胫骨附着点的高信号。

图2A-图2C 前外侧韧带(ALL)的超声表现。

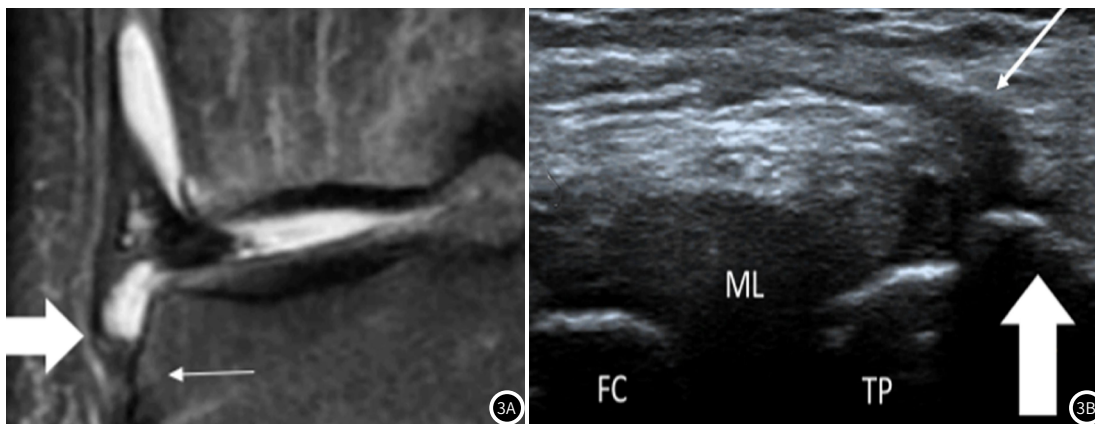


图3A-图3B 单超声和核磁共振表现不同例。

3 讨论

这项研究描述了ALL在超声和核磁共振上与交叉韧带撕裂相关的病理表现, 这两种成像方式之间有很强的相关性($P < 0.001$)^[7]。US能够检测到比MRI多3例的所有损伤。这可以用这样一个事实来解释, 即US有更好的空间分辨率, 因此对检测这种通常测量

几毫米的小韧带更敏感, 在这项研究中最大厚度为2.1毫米^[8]。另一个原因与MRI方法有关: 采集是在严格的冠状平面上进行的, 而不是在ALL平面上进行的, ALL平面是向前和向下倾斜的。三维各向同性序列可以提高MRI对所有损伤的检测^[9]; 这些序列已经用

于非损伤的膝盖, 100%的病例都能检测到。我们发现MRI的ALL损伤率为43%, US的ALL损伤率为53%, 这些结果与发表的与前交叉韧带撕裂相关的所有损伤率的结果一致^[10]。

在我们的研究中, 所有的损伤都发生在胫骨附着处, 研究发现分别有71.8%和77.8%的病例受累于胫骨末端^[11]。3%的患者在X线片上发现Segond骨折, 13%的患者在MRI上发现, 50%的患者在US上发现。在我们研究的US部分发现的Segond骨折的比率比在MRI部分发现的要大, 因为US的超高空间分辨率使检测到骨撕脱成为可能, 即使是小的撕脱^[12]。这项研究中使用的MRI方案与我们在设施中常规使用的评估膝关节损伤的方案相同^[13]; 它包括矢状面的T1加权序列。冠状面图像可以提供更好的全牙槽骨皮质的图像, 并使磁共振诊断更多的Segond骨折成为可能^[14]。我们的研究还发现, 胫骨末端骨水肿的存在与所有损伤之间存在统计学上的显著相关性, 但骨水肿的程度与Segond骨折的存在之间没有相关性^[15]。在我们的研究中, 所有受伤的ALL在Gerdy的结节上也有骨水肿。在MRI发现的4个Segond骨折中, 3个有2级水肿度, 1个有1度水肿度。这比在核磁共振上更容易看到, 正如有研究可以100%确定ALL病例。而在我们的研究中, 96%的病例可以看到股骨插入, 而在有研究中, 这一比例分别为100%和77%。ALL的半月板插入在US上是不可见的, 因为US探头与插入在半月板上的ALL的纤维垂直^[16]。在我们的研究中, 核磁共振诊断了96%的ALL患者。其他几个团队已经用核磁共振对ALL进行了分析; 共识是, ALL很难沿着整个长度进行分析^[17]。在76%的病例中能完全识别ALL, 71.7%的病例(股骨部分89.7%、半月板部分94%、胫骨部分79.4%)能识别出全部ALL, 而只有11%的病例能在MRI上识别全部ALL。确定MR上的ALL的挑战可归因于该韧带的方向性和薄薄, 以及它与邻近韧带结构的接近, 这使得分析其近端的骨附着变得困难^[18]。有研究报告说^[19], ALL在MRI上100%可见, 但在分析所有损伤时, 观察者之间的重复性很差。US对ALL的诊断能力(100%)高于MRI(96%), 这也可以从检查的位置来解释: US是在膝关节弯曲和内旋(对ALL施加张力)的情况下进行的, 而MRI是在10°屈膝和中性旋转的情况下进行的。当在US上测量ALL的厚度时, 观察者间的相关性良好(k在0.93到1之间)。MRI没有测量厚度, 因为它太薄了, 用现有的方法无法可靠地测量^[20]。有研究在MRI上报告ALL的厚度为1.3毫米^[21], 而有研究在身体研究中发现厚度为0.83毫米。经超声检查, 健侧膝关节胫骨平台上方平均厚度为 0.97 ± 0.13 mm(最小值为0.7, 最大值为1.3mm), 与上述研究结果一致^[22]。我们的研究发现, ALL厚度大于1.1毫米与其损伤之间存在统计学意义上的相关性, 合并Segond骨折时, ALL的平均厚度较大。

综上所述, 我们发现, 在有前交叉韧带损伤的患者中, 43%的病例基于MRI, 53%的病例基于US。US使我们能够检测到比MRI更多的被称为“节段性骨折”的胫骨末端分离; 所有的损伤都发生在胫骨末端。根据我们的研究结果, 胫骨平台厚度超过1.1毫米的ALL可被认为是损伤, US可以作为膝关节前外侧不稳定的辅助评估发挥重要作用。

参考文献

- [1] 肖辉, 陈乐, 郭新明, 等. 256层螺旋CT与MRI对膝关节隐性创伤骨折的诊断价值观察[J]. 中国CT和MRI杂志, 2024, 22(10): 156-157+173.
- [2] JANSEN N, MOLENDIJK E, SCHIPHOF D, et al. Metabolic syndrome and the progression of knee osteoarthritis on MRI[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2023, 31(5): 647-655.
- [3] CHANG A H, ALMAGOR O, MUHAMMAD L N, et al. Ambulatory support moment contribution patterns and MRI-detected tibiofemoral and patellofemoral disease worsening in adults with knee osteoarthritis: a preliminary study[J]. J Orthop Res, 2023, 41(6): 1206-1216.
- [4] HIRVASNIEMI J, RUNHAAR J, van der HEIJDEN R A, et al. The KNee OsteoArthritis Prediction (KNAP2020) challenge: an image analysis challenge to predict incident symptomatic radiographic knee osteoarthritis from MRI and X-ray images[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2023, 31(1): 115-125.
- [5] SEKIYA I, KATANO H, GUERMAZI A, et al. Association of AI-determined Kellgren-Lawrence grade with medial meniscus extrusion and cartilage

- thickness by AI-based 3D MRI analysis in early knee osteoarthritis[J]. Sci Rep, 2023, 13(1): 20093.
- [6] YE Q, HE D, DING X, et al. Quantitative evaluation of the infrapatellar fat pad in knee osteoarthritis: MRI-based radiomic signature[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2023, 24(1): 326.
- [7] ZHAO S, WEN C, ZHANG Y. Letter to editor regarding article "knee osteoarthritis: clinical and MRI outcomes after multiple intra-articular injections with expanded autologous adipose-derived stromal cells or platelet-rich plasma" [J]. Cartilage, 2023: 778651873.
- [8] CUI T, LIU R, JING Y, et al. Development of machine learning models aiming at knee osteoarthritis diagnosing: an MRI radiomics analysis[J]. J Orthop Surg Res, 2023, 18(1): 375.
- [9] REN B, CHANG Y, LIU R, et al. Clinical phase I/II trial of SVF therapy for cartilage regeneration: A cellular therapy with novel 3D MRI imaging for evaluating chondral defect of knee osteoarthritis[J]. Front Cell Dev Biol, 2023, 11: 1106279.
- [10] LOMBARDI A F, MA Y, JANG H, et al. AcidoCEST-UTE MRI reveals an acidic microenvironment in knee osteoarthritis[J]. Int J Mol Sci, 2023, 24(15): 12346.
- [11] LIN T, PENG S, LU S, et al. Prediction of knee pain improvement over two years for knee osteoarthritis using a dynamic nomogram based on MRI-derived radiomics: a proof-of-concept study[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2023, 31(2): 267-278.
- [12] WANG Z, WINZENBERG T, SINGH A, et al. Effect of Curcuma longa extract on serum inflammatory markers and MRI-based synovitis in knee osteoarthritis: secondary analyses from the CurKOA randomised trial[J]. Phytomedicine, 2023, 109: 154616.
- [13] KHOURY M A, CHAMARI K, TABBEN M, et al. Knee osteoarthritis: clinical and MRI outcomes after multiple intra-articular injections with expanded autologous adipose-derived stromal cells or platelet-rich plasma[J]. Cartilage, 2023, 14(4): 433-444.
- [14] KHOURY M A, CHAMARI K, TABBEN M, et al. Response to Comments by Zhao et al. Regarding "Knee osteoarthritis: clinical and MRI outcomes after multiple intra-articular injections with expanded autologous adipose-derived stromal cells or platelet-rich plasma" [J]. Cartilage, 2023: 778651872.
- [15] WANG Z Y, GAO W F, SHAO Y M, et al. [Clinical evaluation of platelet-rich plasma in the treatment of early and middle stage knee osteoarthritis under 3.0T MRI T2 mapping sequence] [J]. Zhonghua Wai Ke Za Zhi, 2023, 61(2): 138-144.
- [16] O'CONNELL D, GOLIGHTLY Y, LISEE C, et al. Interlimb differences in T1rho MRI relaxation times linked with symptomatic knee osteoarthritis following anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Knee, 2023, 41: 353-359.
- [17] ECKSTEIN F, WLUKA A E, WIRTH W, et al. 30 Years of MRI-based cartilage & bone morphometry in knee osteoarthritis: from correlation to clinical trials[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2024.
- [18] WEN D, ZHOU X, HOU B, et al. 3D-DESS MRI with CAIPIRINHA two- and fourfold acceleration for quantitatively assessing knee cartilage morphology[J]. Skeletal Radiol, 2024.
- [19] ZBYN S, LUDWIG K D, WATKINS L E, et al. Changes in tissue sodium concentration and sodium relaxation times during the maturation of human knee cartilage: Ex vivo (23) Na MRI study at 10.5 T[J]. Magn Reson Med, 2024, 91(3): 1099-1114.
- [20] 许建生, 崔金涛. 基于广义估计方程探讨三维MRI联合CT影像学检查对膝关节性关节病诊断价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2024, 22(03): 168-170.
- [21] ROTTINGER T, LISITANO L, ABELMANN-BROCKMANN J, et al. The trochlear paradox in native knees and its potential impact on total knee arthroplasty: an MRI-based correlation study investigating the effect of varying posterior femoral condyle angles on the patellofemoral joint[J]. J Clin Med, 2024, 13(3).
- [22] HOLM P M, BLANKHOLM A D, NIELSEN J L, et al. Effects of neuromuscular control and strengthening exercises on MRI-measured thigh tissue composition and muscle properties in people with knee osteoarthritis - an exploratory secondary analysis from a randomized controlled trial[J]. Semin Arthritis Rheum, 2024, 65: 152390.

(收稿日期: 2024-07-04)

(校对编辑: 韩敏求)