

# Diagnostic Value of Low-dose Dual-energy CT and MRI in Anterior Cruciate Ligament Injury\*

TANG Chuan-ji, CHEN Si-min, LI Liang, LIN Jian-kun, CHEN Peng-peng, LIU Chang-hua\*.  
Medical Imaging Department of the 73rd Group Military Hospital of the People's Liberation Army of China, Xiamen 361001, Fujian Province, China

## ABSTRACT

**Objective** To analyze the diagnostic value of low-dose dual-energy CT and MRI in anterior cruciate ligament (ACL) injury. **Methods** A total of 92 patients with ACL injury in the hospital were enrolled between January 2022 and June 2023. The clinical manifestations and imaging characteristics were analyzed. **Results** Among the 92 patients, clinical diagnosis showed that there were 53 cases with ACL injury and 39 cases with ACL cysts. The sensitivity, sensitivity, positive predictive value, negative predictive value, accuracy and kappa values of low-dose dual-energy CT, MRI and combined detection were [94.34%, 74.36%, 83.33%, 90.63%, 85.87% (79/92), 0.704], (96.23%, 87.17%, 91.07%, 94.44%, 92.39%, 0.843) and (98.11%, 92.31%, 94.55%, 97.30%, 95.65%, 0.910), respectively. **Conclusion** The diagnostic sensitivity, specificity and accuracy of combined detection are higher than that of MRI and low-dose dual-energy CT alone. Both low-dose dual-energy CT and MRI have high sensitivity in the diagnosis of ACL injury, and they can be mutually alternate.

**Keywords:** Low-dose Dual-energy CT; MRI; Anterior Cruciate Ligament Injury; Diagnostic Value

论 著

## 低剂量双能量CT及MRI 诊断前交叉韧带损伤的 价值观察\*

唐传姬 陈思敏 李 亮  
林建坤 陈鹏鹏 刘昌华\*

中国人民解放军陆军第七十三集团军医院  
医学影像科(福建 厦门 360001)

**【摘要】目的** 分析低剂量双能量CT及MRI在前交叉韧带(ACL)损伤中的诊断价值。**方法** 选取2022年1月-2023年6月我院前交叉韧带损伤患者92例,分析其临床表现及影像学特征。**结果** 纳入92例患者临床确诊ACL损伤者53例,排除ACL损伤39例。低剂量双能量CT检查结果显示,灵敏度94.34%,特异度74.36%,阳性预测值83.33%,阴性预测值90.63%,准确率85.87%(79/92),kappa值为0.704;MRI检查结果显示,灵敏度96.23%,特异度87.17%,阳性预测值91.07%,阴性预测值94.44%,准确率92.39%,kappa值0.843。联合检测结果显示,灵敏度98.11%,特异度92.31%,阳性预测值94.55%,阴性预测值97.30%,准确率95.65%,kappa值0.910。**结论** 两者联合诊断灵敏度、特异度及准确度高于MRI诊断效果,高于低剂量双能量CT诊断效果。低剂量双能量CT与MRI诊断前交叉韧带损伤均有较高的灵敏度,可以互为备用方案。

**【关键词】** 低剂量双能量CT; MRI;  
前交叉韧带损伤; 诊断价值

**【中图分类号】** R686

**【文献标识码】** A

**【基金项目】** 厦门市科学技术项目  
(3502Z20224ZD1240)

**DOI:**10.3969/j.issn.1672-5131.2024.01.048

前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)是维持膝关节稳定及运动功能的重要结构,在人体运动中具有重要作用。其损伤主要原因在于急停、方向改变等运动状态改变过程中。如果不及时治疗对患者日常生活及运动功能都有一定的阻碍,及时有效的诊断治疗,避免加重损伤对ACL损伤患者具有重要意义<sup>[1-2]</sup>。因此,对ACL损伤的诊断抑制备受临床关注。常见临床检查方式有常规CT、MRI及高频超声检查等<sup>[3-4]</sup>,但各种检查方式均存在一定限制,如常规CT对肌腱及韧带软组织分辨率不高,高频超声准确率相对较低,MRI存在着扫描时间长、患者禁忌较多等缺陷,在急诊应用中存在局限性<sup>[5-6]</sup>。开发完善CT应用成为影像检查研究方向之一。低剂量双能量CT是临床CT设备发展延伸,可以对交叉韧带进行多角度、方位的细节展示。且在标本研究中展示了低剂量参数条件下双源CT对ACL损伤标本的良好成像效果,在优化影像质量的同时降低了辐射剂量<sup>[7]</sup>。但是在ACL损伤诊断临床日常工作中诊断效果如何,能否作为MRI诊断的补充或替代手段,需要进一步研究。本文对疑ACL损伤患者进行MRI及双能量低剂量CT扫描及分析,探讨低剂量双能量CT与MRI在ACL损伤中的诊断价值,以完善相关临床数据。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 回顾性分析2022年1月至2023年6月我院92例ACL患者,于关节镜术前实施双源CT低剂量参数双能量技术扫描及MRI检查。

**纳入标准:** 均为疑似ACL损伤患者,伴有膝关节疼痛和不同程度的肿胀。临床资料完整。排除标准: 合并骨髓瘤或骨瘤病变; 存在关节畸形和各类关节炎。其中男48例,女44例,其中左膝32例、右膝60例。年龄28~45岁,平均(36.32±4.35)岁。

**1.2 检查方法** 低剂量双能量CT检查: 采用SIEMENS 第五代 FORCE 进行CT检查,患者仰卧位,双膝关节靠拢,固定双足。A管电压150KV, B管电压80KV,管电流78~115mA,分辨率512×512像素,视野扫描25cm×25cm,球管转速0.5s/转,层厚1mm,层间距1mm,容积扫描范围160mm,算法D30s,有效辐射剂量1.878mSV。扫描范围股骨踝上缘至腓骨小头下缘与胫骨踝下缘。传输所有图像至图像后处理站,2名医师共同实施低剂量双源CT双能量数据分析。

MRI: 采用Discovery MR7503.0T(厂家GE)核磁共振,患者仰卧位,膝关节伸直外旋15°,层厚设: 3mm,间隔: 0mm,将患肢放入表面线圈,冠状位扫描参数TR/TE为2000ms/40ms; 冠斜位扫描参数TR/TE为1200ms/64ms; 横状位扫描参数TR/TE为2500ms/28ms; 矢状位扫描参数TR/TE为2000ms/39ms; 矢状面T1FSE序列扫描参数TR/TE为580ms/13ms。

**1.3 观察指标** 以关节镜诊断结果为“金标准”。比较分析纳入患者CT诊断结果和MRI结果,并对MRI或CT诊断的特异性、敏感性、阴性、阳性预测值进行计算。

**1.4 统计学方法** 采用SPSS 22.0统计学软件对研究数据进行分析,对收集数据进行正态性检验,符合正态分布计量资料以( $\bar{x} \pm s$ )表示,行t检验,计数资料以(%)表示,比较采取 $\chi^2$ 检验,诊断价值一致性检测采用Kappa检验。 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 临床确诊情况** 92例患者经关节镜确诊为ACL损伤者53例,排除ACL损伤39例。

**2.2 低剂量双能量CT检查结果显示** 本研究纳入病例92例,其中阳性60例,阴性

**【第一作者】** 唐传姬,女,主治医师,主要研究方向: 骨骼系统疾病的研究。E-mail: sxhhd8847@163.com

**【通讯作者】** 刘昌华,男,副主任医师,主要研究方向: 肺部微小肿瘤的精准诊断与鉴别。E-mail: liuxingc@126.com

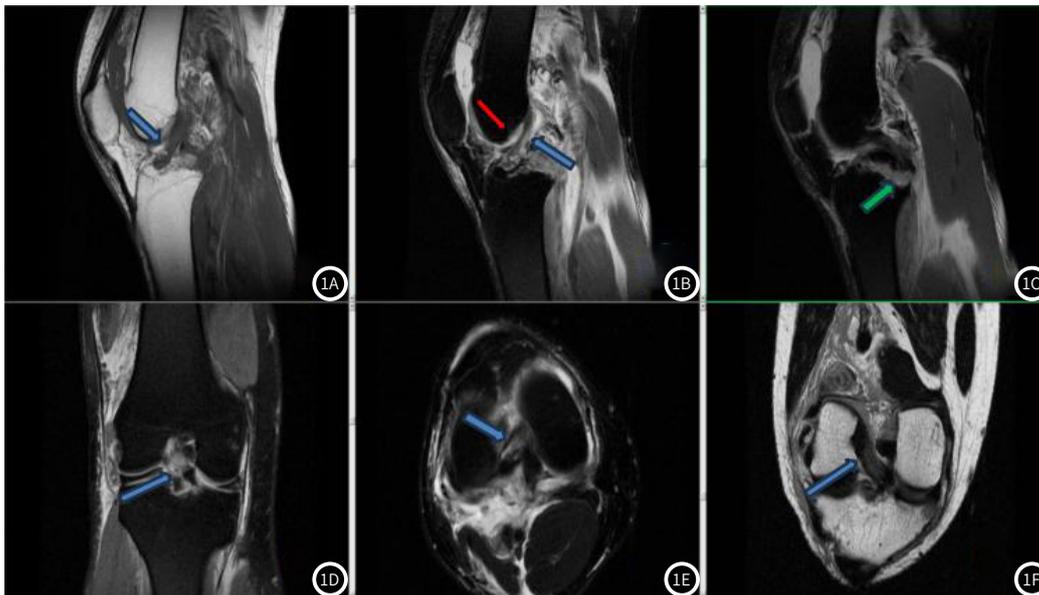
32例。灵敏度94.34%(50/53)，特异度74.36%(29/39)，阳性预测值83.33%(50/60)，阴性预测值90.63%(29/32)，准确率85.87%(79/92)。kappa值0.704。见表1。

**2.3 MRI检查结果显示** MRI检查结果显示，阳性56例，阴性36例。灵敏度96.23%(51/53)，特异度87.17%(34/39)，阳性预测值91.07%(51/56)，阴性预测值94.44%(34/36)，准确率92.39%(85/92)。kappa值0.843。见表2。

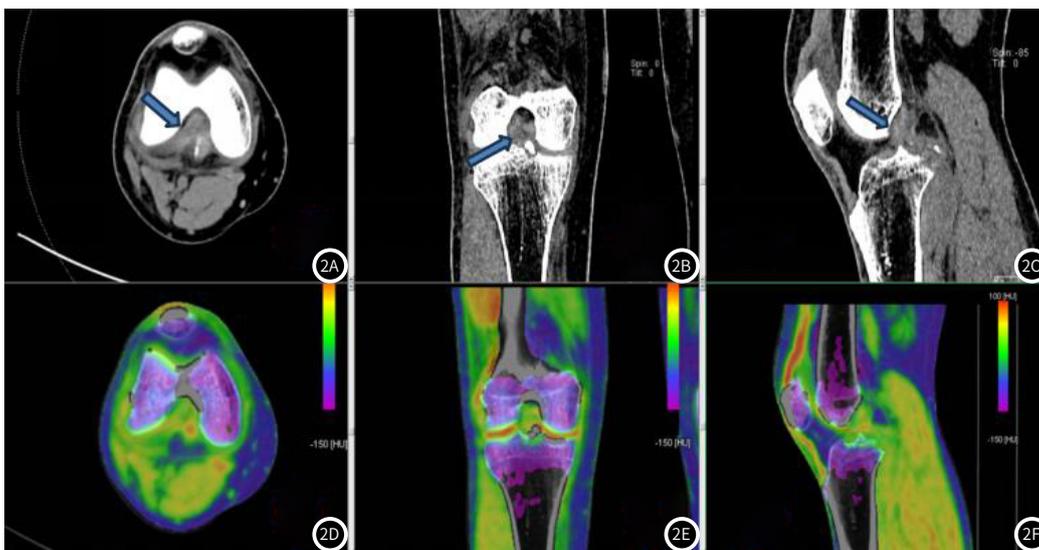
**2.4 低剂量双能量CT和MRI对ACL损伤联合诊断** 联合诊断结果显示，阳性55例，阴性37例。灵敏度98.11%(52/53)，特

异度92.31%(36/39)，阳性预测值94.55%(52/55)，阴性预测值97.30%(36/37)，准确率95.65%(88/92)，kappa值0.910。见表3。

**2.5 低剂量双能量CT和MRI对ACL损伤联合诊断效能分析** 低剂量双能量CT检查kappa值0.704，MRI检查kappa值0.843，联合检测kappa值0.910，且联合检查的灵敏度98.11%高于MRI检查灵敏度96.23%及低剂量双能量CT检查灵敏度94.34%。特异度92.31%高于MRI检查87.17%，及低剂量双能量CT检查74.36%。见表4。



**图1A-图1F** MRI检查成像；患者男性，42岁，摔伤致右膝部肿痛、活动受限，图1A为T<sub>1</sub>WI矢状位，图1B-C为T<sub>2</sub>WI压脂矢状位，图1D为T<sub>2</sub>WI压脂冠状位，图1E为T<sub>2</sub>WI压脂横断位，图1F为T<sub>2</sub>WI冠斜位，磁共振检查T<sub>1</sub>WI、T<sub>2</sub>WI右膝前交叉韧带肿胀增粗，T<sub>2</sub>WI压脂前交叉韧带信号增高，膝关节软组织肿胀，脂肪间隙模糊，关节积液；图1A-1F蓝色箭头为肿胀增粗前交叉韧带，图1C胫骨平台骨质不连续；图1B-C红色箭头、绿色箭头分别为股骨远端及胫骨平台斑片状高信号。



**图2A-图2F** 同一患者1月后CT复查成像，图2A-2C分别为双能谱CT检查平扫横断位、冠状位、矢状位，蓝色箭头显示前交叉韧带肿胀增粗，图2B-2C显示胫骨平台骨质不连续；图2D-2F分别为双能谱CT检查骨髓成像横断位、冠状位、矢状位骨髓成像图示前交叉韧带增粗水肿、关节积液，图2E-2F显示胫骨平台骨髓不连续、骨髓水肿。

**表1 低剂量双能量CT检查结果**

低剂量双能量CT	临床确诊		合计
	阳性	阴性	
阳性	50	10	60
阴性	3	29	32
合计	53	39	92

**表2 MRI检查结果**

MRI	临床确诊		合计
	阳性	阴性	
阳性	51	5	56
阴性	2	34	36
合计	53	39	92

表3 低剂量双能量CT和MRI联合检查结果

低剂量双能量CT+MRI	临床确诊		合计
	阳性	阴性	
阳性	52	3	55
阴性	1	36	37
合计	53	39	92

表4 低剂量双能量CT和MRI联合诊断效能

检查方法	特异度	灵敏度	kappa值
低剂量双能量CT	74.36%(29/39)	94.34%(50/53)	0.704
MRI	87.17%(34/39)	96.23%(51/53)	0.843
低剂量双能量CT+MRI	92.31%(36/39)	98.11%(52/53)	0.910

### 3 讨论

ACL又被成为又称为十字韧带,负责连接胫骨与股骨,限制胫骨过度前移,与其他膝关节结构相互协作,保障膝关节稳定性。但膝关节部位负重较大,ACL承载能力有限,易于过度荷载时发生断裂。一旦ACL损伤,不仅会使膝关节肿胀、活动受限,严重者可导致瘫痪,对膝关节的稳定性损害极大<sup>[8-9]</sup>。因此,一旦发生疑似ACL损伤需要尽快确诊,采取治疗措施。但ACL位于膝关节内偏后位置,由滑膜组织包裹,空间结构较为复杂,给诊断带来一定难度。因此,准确、高效及安全的诊断方式对ACL损伤早期诊断具有重要意义。

MRI因为其无创、无放射、无疼痛等优点成为关节运动受损的重要影像诊断方法。且MRI具有较高的软组织分辨率,可以从横状面、冠状面等多种角度,通过对病变部位扫描成像,明确ACL损伤情况。其机制在于,ACL主要成分为纤维组织,其氢质子锚定固定,不参与磁共振成像,因此在任何序列中显示低信号。但ACL损伤后韧带纤维组织氢质子的固定受到干扰,在所有序列中显示信号增高<sup>[10-11]</sup>。ACL损伤在MRI诊断图像中多呈现低信号T1和高信号T2。其中,ACL完全断裂:ACL韧带失去正常形态,损伤部位出现扭曲,撕裂痕迹或韧带中断,韧带及周围信号明显异常,段端有明显移位。ACL部分损伤:韧带连续未中断,部分韧带形态呈波浪状或弯曲状,有异常的信号强度,局部韧带变细,但股骨、胫骨止点可辨认<sup>[12-13]</sup>。当前部分研究报告已经显示MRI在ACL损伤诊断,尤其是韧带撕裂方面的作用<sup>[14-15]</sup>。本研究结果显示,其在MRI诊断在ACL损伤中阳性58例,阴性34例,错诊5例。灵敏度96.23%,特异度87.17%,kappa值0.843与关节镜检查具有良好的一致性。与Brady<sup>[16]</sup>及Nakagawa<sup>[17]</sup>等研究具有一致性。但MRI在ACL损伤诊断中也存在一定缺陷。(1)由于黏液变性等原因导致其他ACL疾病出现与撕裂水肿相似的高信号。(2)技术特点限制使ACL中下段受损时,或韧带走行与扫描层面不平行时,诊断准确性受影响。(3)损伤后ACL滑膜结构有时也会比较完整,导致误诊<sup>[18]</sup>。另外,如幽闭恐惧症或者存在抗磁金属植入物等检查禁忌。都为MRI在ACL损伤中的诊断作用增加了限制。因此在ACL受损影像学检查中,需要增加其他备选方法。

在传统CT影像学中ACL损伤显示韧带部位明显增厚增宽,并伴有痉挛、肿胀或断裂特征。但传统CT对不同物质无法区分,造成CT值重叠,部分软组织图像难以清晰显示,存在一定的局限性。双能CT最大优势在于通过一次扫描得到两组能力成像,并且根据不同物质的双能指出不同区分物质结构,图像成像清晰精细<sup>[19-20]</sup>。低剂量CT主要机制在于通过降低降低球管的管电压、管电流或增加螺距等,以降低CT辐射剂量,减少对人体性器官及腺体能的损害。但是低剂辐射剂同时会造图像质量下降,从而影响诊断<sup>[21]</sup>。CT技术水平的提高,低剂量双能量CT在韧带和肌腱成像取得较高技术进步。通过滤掉无法穿透人体的无效射线,加用多种重建算法,保证图像质量的前提下,降低所需辐射剂量。能够多方位/角度清晰显示交叉韧带的形状、走行和边缘。本研究结果显示,低剂量双能量CT诊断ACL损伤的灵敏度94.34%,特异度74.36%,与关节镜检查结果具有较高的一致性。但其灵敏度与特异度均低于MRI诊断。本研究结果显示二者联合检查其灵敏度98.11%高于MRI检查灵敏度96.23%及低剂量双能量CT检查灵敏度94.34%。特异度92.31%高于MRI检查87.17%,及低剂量双能量CT检查74.36%。且联合检测kappa值0.910与关节镜检查具有高度一致性。提示低剂量双能量CT及MRI联合检测准确性结果高于单一检测。

综上所述,低剂量双能量CT与MRI对于ACL损伤诊断均具有较高的灵敏度及特异度,而两者联合检测诊断灵敏度又高于单一检测。低剂量双能量CT可以作为无法接受MRI检测患者的备用方案。MRI检测也可以作为低剂量双能量CT诊断的补充诊断。由于样本类型限制,本研究存在一定局限性,两种不同诊断方式对于ACL损伤不同侧束及是损伤程度的诊断效果比较,仍需要进一步进行深入研究。

### 参考文献

- [1]周巍,张立波,付苗语,等. CT三维重建评价成人髌股关节稳定性与前交叉韧带断裂关系[J]. 临床军医杂志, 2022, 50(9): 908-910.
- [2]李慧. MRI三维超短回波时间双回波脉冲序列联合增强评估前交叉韧带重建术后肌腱恢复[J]. 罕少疾病杂志, 2022, 29(7): 94-96, 101.
- [3]王忠,文明,刘成渝,等. 高分辨率CT诊断膝关节半月板及交叉韧带损伤的价值观察[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(12): 153-155.
- [4]孙小煜,宋璐,张雪峰,等. 应用MRI、MSCT检查在外伤性膝关节交叉韧带损伤诊治中临床价值研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19(9): 180-182.
- [5]李晶,叶清岚,蔡磊,等. 膝关节韧带、关节软骨及半月板损伤的多层螺旋CT与MRI诊断分析[J]. 实用放射学杂志, 2023, 39(8): 1314-1317.
- [6]黄昀策,陈兵,程松苗,等. CT多平面重建后处理对指导膝关节交叉韧带MRI的临床价值[J]. 川北医学院学报, 2022, 37(11): 1432-1435.
- [7] Bai R, Li X, Li R, et al. Optimization of low-dose scan parameters in dual-energy computed tomography for displaying the anterior cruciate ligament[J]. J Int Med Res, 2020, 48(7): 300060520927874.
- [8]杨天,张罗飞,王晋东. 前交叉韧带非接触性损伤与膝关节解剖学因素的相关性[J]. 国际骨科学杂志, 2023, 44(2): 89-94.
- [9]李剑,王渭君,孙明辉,等. 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[J]. 中国骨伤, 2023, 36(4): 329-335.
- [10]代文. 3D-MRI PDWI-SPAIR在诊断膝关节ACL损伤的价值观察[J]. 中国CT和MRI杂志, 2020, 18(4): 136-138.
- [11]顾东明,王志华,王树云,等. 三维磁共振成像(3D-MRI)在ACL损伤分级诊断中的应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2020, 18(10): 163-165.
- [12]王海杰,高明勇,涂滨. 超声与MRI检查对前交叉韧带损伤诊断的对比研究[J]. 中国超声医学杂志, 2020, 36(7): 651-653.
- [13]杨严伟,杜君,黄军,等. 薄层斜矢状位MRI对前交叉韧带损伤的诊断价值[J]. 实用放射学杂志, 2021, 37(12): 2031-2034.
- [14]赵琦. 探讨MRI在膝关节外伤后前后交叉韧带损伤诊断中的临床应用[J]. 中国伤残医学, 2021, 29(5): 35-36.
- [15]常丽鹏,赵敏,龚国龄,等. MRI在膝关节半月板损伤、前交叉韧带损伤诊断中的应用价值研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2020, 18(8): 164-167.
- [16]Brady MP, Weiss W. Clinical diagnostic tests versus mri diagnosis of acl tears[J]. J Sport Rehabil, 2018, 27(6): 596-600.
- [17]Nakagawa Y, Mukai S, Sakai S, et al. Preoperative diagnosis of knee cartilage, meniscal, and ligament injuries by magnetic resonance imaging[J]. J Exp Orthop, 2023, 10(1): 47.
- [18]柏瑞,黄俊成,何小华,等. 低剂量双能量CT诊断膝关节前交叉韧带损伤的临床对照分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(10): 157-159.
- [19]田川,张治平,李振辉,等. 双能CT临床应用现状[J]. 医学综述, 2019, 25(16): 3264-3268, 3273.
- [20]Liu D, Hu P, Cai ZJ, et al. Valid and reliable diagnostic performance of dual-energy CT in anterior cruciate ligament rupture[J]. Eur Radiol, 2023, 12.
- [21]Qi Y, He P, Zhu J, et al. Application of low-dose CT and MRI in the evaluation of soft tissue injury in tibial plateau fractures[J]. Scanning, 2022, 2022: 7686485.

(收稿日期: 2023-10-09)

(校对编辑: 韩敏求)