

# 基于MRI评估非接触性ACL损伤的骨挫伤模式

张乐刚, 李斌, 项帅, 王英振\*

青岛大学附属医院关节外科, 山东 青岛

收稿日期: 2024年1月27日; 录用日期: 2024年2月21日; 发布日期: 2024年2月28日

## 摘要

目的: 基于磁共振成像技术(MRI), 本文采用一种新的标测技术, 来可靠的描述非接触性前交叉韧带(ACL)损伤的骨挫伤模式, 并进一步验证文献中最常见的ACL损伤的机制, 包括外翻应力、胫骨前平移和胫骨内旋转。方法: 根据相同的标准纳入100名在2021~2023年期间进行ACL重建手术的患者, 在脂肪抑制T2加权冠状位和矢状位图像上标测出骨挫伤的位置。结果: 股骨外侧髁(LFC)的骨挫伤与股骨内侧髁(MFC)相比更多(72.7% vs 27.3%;  $P < 0.001$ ), 胫骨外侧平台(LTP)的骨挫伤与胫骨内侧平台(MTP)相比更多(72.4% vs 27.6%;  $P < 0.001$ )。股骨的骨挫伤几乎完全位于股骨髁的前部/中央部区域(94.1%), 而不是后部区域(5.9%) ( $P < 0.001$ )。胫骨的骨挫伤局限于两个平台的后部区域(74.9%), 而不是前部/中央区域(25.1%) ( $P < 0.001$ )。结论: 新的标测技术为描述非接触性ACL损伤中的骨挫伤模式提供了一种标准化且可靠的方法, 使用该技术确定的骨挫伤模式表明了非接触性ACL损伤最常见的机制。

## 关键词

前交叉韧带, MRI, 骨挫伤, 骨髓水肿

## Evaluation of Bone Bruising Patterns Associated with Noncontact ACL Ruptures Based on MRI

Legang Zhang, Bin Li, Shuai Xiang, Yingzhen Wang\*

Department of Joint Surgery, Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

Received: Jan. 27<sup>th</sup>, 2024; accepted: Feb. 21<sup>st</sup>, 2024; published: Feb. 28<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

**Objective:** Based on magnetic resonance imaging (MRI), a new mapping technique was used to de-  
\*通讯作者。

文章引用: 张乐刚, 李斌, 项帅, 王英振. 基于 MRI 评估非接触性 ACL 损伤的骨挫伤模式[J]. 临床医学进展, 2024, 14(2): 3858-3865. DOI: 10.12677/acm.2024.142537

scribe the bone bruising patterns of noncontact anterior cruciate ligament (ACL) injury, and verify the most commonly reported mechanisms for ACL injury in the literature, including valgus stress, anterior tibial translation and internal tibial rotation. **Methods:** According to the same criteria, 100 patients who underwent ACL reconstruction from 2021 to 2023 were enrolled. The location of bone bruising was mapped on fat suppression T2-weighted coronal and sagittal images. **Results:** There were more bone bruising in the lateral femoral condyle than in the medial femoral condyle (72.7% vs 27.3%,  $P < 0.001$ ), and there were more bone bruising in the lateral tibial plateau than in the medial tibial plateau (72.4% vs 27.6%,  $P < 0.001$ ). The bone bruising of the femur is almost entirely located in the anterior/central area of the femoral condyle (94.1%), rather than in the posterior area of the femoral condyle (5.9%) ( $P < 0.001$ ). The bone bruising of the tibia is limited to the posterior area of the both plateaus (74.9%), as opposed to the anterior/central area (25.1%) ( $P < 0.001$ ). **Conclusion:** The new mapping system provides a standardized and reliable method for describing the pattern of bone bruising in noncontact anterior cruciate ligament injury. The bone bruising pattern determined by this technique indicates the most common mechanism of noncontact ACL injury.

## Keywords

Anterior Cruciate Ligament, MRI, Bone Bruise, Bone Marrow Edema

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)损伤可以通过接触性或非接触性机制发生。其中非接触性机制是最常见的,被归类为在改变方向或着陆运动时突然减速导致的韧带断裂[1] [2]。接触性机制通常是直接作用于膝关节外侧的力使其外翻而发生的韧带断裂[2]。对非接触性损伤机制的准确推断,这对于了解 ACL 损伤危险因素和制定有效的预防策略是必不可少的[2] [3] [4]。

在前交叉韧带损伤过程中,较大的外力导致股骨和胫骨之间发生剧烈撞击,力量转移到软骨下骨,骨小梁损伤后发生出血、水肿,形成骨挫伤[1] [5] [6],见于 80%~99%的急性 ACL 损伤[2] [5] [6]。这些隐匿性骨损伤可以清晰的在磁共振成像(MRI)扫描中被发现,在脂肪抑制 T2 加权图像上表现为软骨下的高信号,称为骨髓水肿或水肿样骨髓信号强度[7]。膝关节骨挫伤的分布代表了 ACL 损伤时股骨和胫骨发生碰撞性损伤的位置,通过评估骨挫伤模式可以更深入的了解 ACL 损伤机制[5] [8] [9]。

Patel 等人[8]在 ACL 损伤后 MRI 采集期的研究中,其所有纳入的研究中, MRI 采集期从 6 天到 9 周不等。Graf 等人[10]研究发现,他们的 ACL 损伤患者的骨挫伤在损伤后大约 6 周就消失了。Tung 等人[11]的报道中,他们的受试者在最初损伤后平均 4.3 周接受了 MRI 检查。由于骨挫伤可能在一段时间后消退,为了准确的将骨挫伤模式与损伤机制联系起来,在受伤后 30 内进行 MRI 检查是本研究获得最准确数据的严格纳入标准。

如何来准确、可靠的描述急性 ACL 损伤膝关节内骨挫伤的模式,目前公认的标测方法有限。本研究的目的是采用 Jay Moran 等人[2]提出的一种新的标测技术,来更可靠的描述非接触性前交叉韧带(ACL)损伤的骨挫伤模式,并进一步来验证文献中最常见的 ACL 损伤的机制,包括外翻应力、胫骨前平移和胫骨内旋转。

## 2. 方法

### 2.1. 研究对象

在 2021~2023 年期间，查找出数百名患者于青岛大学附属医院关节外科及运动医学科接受前交叉韧带重建手术，其中 100 名患者符合本研究的以下纳入标准：(1) 损伤日期和 MRI 检查日期之间 < 30 天；(2) 在冠状位和矢状位均有脂肪抑制 T2 加权图像的 MRI 序列；(3) 损伤机制有记录；(4) 非接触性前交叉韧带损伤；(5) 没有前交叉韧带损伤既往史；(6) 单纯前交叉韧带损伤，无伴随的后交叉韧带及内、外侧副韧带损伤。

### 2.2. 研究方法

根据病历中患者对受伤过程的描述，损伤机制被记录为非接触性或接触性。同时记录患者的性别、年龄、BMI、损伤日期和 MRI 检查日期。所有 100 名患者均在本院 3.0TMR 仪器上按标准膝关节操作规程进行了膝关节 MRI 检查。所有影像学研究均由同一名有丰富经验的医师进行回顾性审查，记录脂肪抑制 T2 加权冠状位和矢状位图像中骨髓水肿的位置。

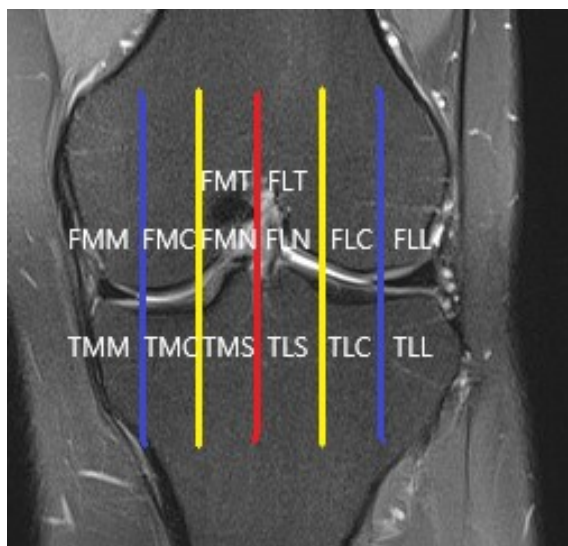
### 2.3. 骨髓水肿定位

本研究中采用的标测技术，在描述骨髓水肿位置这方面，区域数量更多，定位更明确。以下分别在冠状位及矢状位对病变位置进行分区。

#### 2.3.1. 冠状位

在冠状位股骨和胫骨的分区如图 1。

通过股骨髁间切迹中央的一条线(红线)将股骨和胫骨分为内侧和外侧，分别记录为股骨内侧髁(medial femoral condyle, MFC)、股骨外侧髁(lateral femoral condyle, LFC)、胫骨内侧平台(medial tibial plateau, MTP)与胫骨外侧平台(lateral tibial plateau, LTP)。其中内侧、外侧半月板的外周和内侧游离边缘(蓝线)之间的区域，分别记录为股骨内髁内侧(femoral-medial-medial, FMM)、股骨外髁外侧(femoral-lateral-lateral, FLL)、胫骨内侧平台内侧(tibia-medial-medial, TMM)和胫骨外侧平台外侧(tibia-lateral-lateral, TLL)。



**Figure 1.** Femoral and tibial zones in the coronal plane  
**图 1.** 股骨、胫骨冠状位分区

更中央部经过胫骨内、外侧髁间棘的斜坡起点处的一条线(黄线)将中央部进一步细分。图中蓝线和黄线之间的区域分别为: 股骨内侧髁中央(femoral-medial-central, FMC)、股骨外侧髁中央(femoral-lateral-central, FLC)、胫骨内侧平台中央(tibia-medial-central, TMC)和胫骨外侧平台中央(tibia-lateral-central, TLC)。图中黄线与正中红线之间的区域分别记录为: 股骨髁间切迹内侧(femoral-medial-notch, FMN)、股骨髁间切迹外侧(femoral-lateral-notch, FLN)、胫骨内侧棘下区(tibia-medial-subspine, TMS)和胫骨外侧棘下区(tibia-lateral-subspine, TLS)。

在冠状面上以髁间切迹为界, 其近端被正中红线分为: 股骨滑车内侧(femoral-medial-trochlea, FMT)和股骨滑车外侧(femoral-lateral-trochlea, FLT)。

### 2.3.2. 矢状位

记录冠状位的位置后, 采用矢状位描述病变位置在股骨和胫骨的前后位置(如图 2、图 3)。

股骨区将股骨内、外侧髁分为滑车区域(T)、中央部(C)和后部(P)。股骨的矢状位标志首先将每个股骨髁关节软骨的最近端相连, 其连线(白线)的中点(白色五角星)被认为是股骨矢状位的中心轴, 从该点延伸到胫骨平台最前(红线)和最后(蓝线)的线将股骨髁分为 T、C 和 P。从中心轴延伸到股骨和胫骨关节软骨接触区域的最前侧的一条线(黄线), 将股骨中央部进一步细分出前中央部(A)。

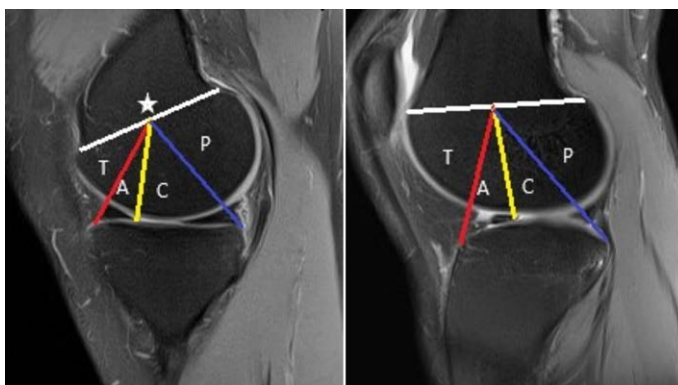


Figure 2. Femoral and tibial zones in the sagittal plane  
图 2. 股骨矢状位分区

胫骨区将胫骨内、外侧平台分为 3 个区域: 前部(A)、中央部(C)和后部(P)。其分界线经过股骨和胫骨关节软骨接触区域的最前侧(红线)以及每个半月板后角游离边缘的最前侧(黄线)。

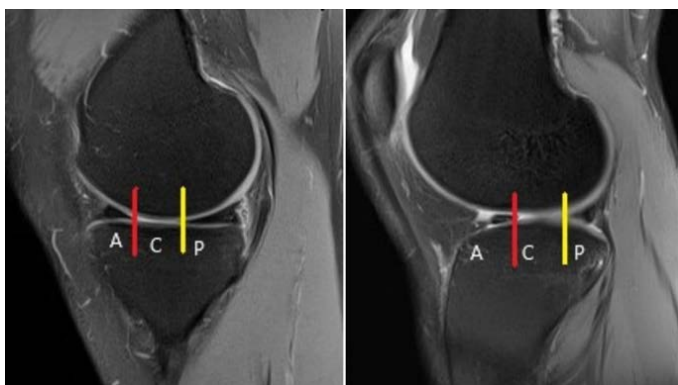


Figure 3. Tibial zones in the sagittal plane  
图 3. 胫骨矢状位分区

## 2.4. 数据收集

记录患者的性别、年龄、BMI、损伤日期和 MRI 检查日期。

记录每位患者在冠状位及矢状位的骨髓水肿位置。如果病灶位于多个区域，则对其延伸到的每个单独区域进行计数。如果单个区域内存在多个病灶，则只计数其所跨越的单个区域。并不记录骨髓水肿的信号强度和体积。

对相同的数据集进行两次回顾性审查，两侧次审查之间的时间间隔为 6 周。

## 2.5. 统计学分析

计量数据采用( $\bar{x} \pm s$ ), 使用组内相关系数(ICC)评估两次骨挫伤位置记录的可靠性。ICC 值解释如下: <0.5 差, 0.5 至 0.75 中等, 0.75 至 0.9 良好, >0.90 优秀。对骨挫伤模式的分析, 使用卡方检验来分析研究队列中骨挫伤频率, 以描述损伤的机制。所有统计数据均使用 SPSS 统计学软件进行分析。有意义的阈值设定为  $P < 0.05$ 。

## 3. 结果

在我们的研究队列中, 年龄平均值为  $29.66 \pm 9.65$  岁, 男性与女性比例为 76/24, BMI 平均值为  $25.05 \pm 3.73$ , 损伤时间和 MRI 检查时间之间平均为 9.59 天。

对相同数据集的两次回顾性审查过程中, 记录股骨侧病灶位置时, 两次记录间的 ICC 值分别为 0.983, 胫骨侧的 ICC 值为 0.986, 所有 ICC 值均表明描述 ACL 损伤中骨髓水肿位置的可靠性极高。

综合全部的数据, 有 86% 患者至少有 1 处骨髓水肿。其中 47% 的膝关节( $n = 47$ )在 MFC 至少有 1 个病变, 60% 的膝关节( $n = 60$ )在 LFC 至少有 1 个病变, 这些差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。同样, MTP 与 LTP 至少有 1 个病变的膝关节数量分别为 44、79, 这没有统计学显著性差异(44% vs 79%;  $P > 0.05$ )。

在评估冠状面总病灶数时, 发现股骨外侧髁相对于内侧髁病灶更多(221 vs 83;  $P < 0.001$ ), 同样在胫骨平台处, 与内侧平台相比, 外侧平台的病灶数更多(254 vs 97;  $P < 0.001$ ) (如表 1)。

**Table 1.** The total bone lesions in the medial and lateral compartment zones for the femur and tibia

**表 1.** 股骨、胫骨内外侧间室病灶分布

	内侧	外侧	P 值
股骨	83 (27.3%)	221 (72.7%)	<0.001
胫骨	97 (27.6%)	254 (72.4%)	<0.001

在矢状面, 股骨的病灶几乎完全位于股骨髁的前部/中央部区域(286; 94.1%), 而不是后部区域(18; 5.9%)。与之相反的是, 胫骨的病灶局限于两个平台的后部区域(263; 74.9%), 而不是前部/中央区域(88; 25.1%) (如表 2)。

**Table 2.** The total bone lesions at the femur and tibia in the anterior/central and posterior zones

**表 2.** 股骨胫骨前/中部及后部病灶分布

	前/中央部	后部	P 值
股骨	286 (94.1%)	18 (5.9%)	<0.001
胫骨	88 (25.1%)	263 (74.9%)	<0.001

结合冠状位及矢状位对股骨侧病灶位置的进行分析,发现股骨外侧病灶多位于 FLL 前部(40%)及 FLC 前部(12%),而在股骨内侧病灶多位于 FMM 中央部(如表 3)。

**Table 3.** The bone lesions at the femur  
**表 3.** 股骨侧的病灶分布

	股骨							
	FMM	FMC	FMN	FMT	FLT	FLN	FLC	FLL
T	8	2	2	2	2	1	5	13
A	15	1	1	0	5	8	40	52
C	47	2	0	1	10	15	23	31
P	2	0	0	0	4	2	6	4

在胫骨平台病灶的研究中,发现病灶部位明显局限于两侧胫骨平台的后部区域。胫骨内侧平台后部由内到外分别是 TMM 后部 30%、TMC 后部 29%以及 TMS 后部 23%,胫骨外侧平台后部由内到外分别是 TLS 后部 43%、TLC 后部 71%以及 TLL 后部 67% (如表 4)。

**Table 4.** The bone lesions at the tibia  
**表 4.** 胫骨侧的病灶分布

	胫骨					
	TMM	TMC	TMS	TLS	TLC	TLL
A	2	1	0	4	5	10
C	3	2	7	11	18	25
P	30	29	23	43	71	67

## 4. 讨论

目前公认的对骨挫伤模式的标测技术有限,Patel 等人[8]对前交叉韧带损伤的骨挫伤模式进行了系统评价,并指出很少有研究一致、准确地报告了挫伤的位置。大多数研究将水肿局限于 LFC、LTP、MFC 或 MTP,没有进一步描述在各个股骨髁和胫骨平台的具体位置[5] [8] [12]。本文是根据 Jay Moran 等人[2]研究的一种新的标测技术,其结合了国际软骨修复学会(ICRS)的胫股关节软骨手术病变图[13]以及全器官磁共振成像评分(WORMS)映射系统[14],这两种系统在评估骨关节炎中膝关节软骨病变、半月板撕裂和骨髓病变具有出色的可靠性。Peterfy 等人[14]的对 WORMS 评分的研究中,在冠状位将股骨和胫骨分为内侧和外侧两个间室,将胫骨额外添加一个胫骨棘区域,矢状位将股骨和胫骨分为前、中、后三部分,其观察者间对 WORMS 评分的一致性很高(大多数 ICC 值为 > 0.80)。与 WORMS 相比,ICRS 方法在冠状位具有更多区域,并且国际软骨研究学会承认了这种膝关节病变定位的精确性问题[13] [15]。本研究进一步将股骨远端冠状位分为 8 个区,矢状位分为 4 个区,将胫骨近端在冠状位和矢状位分别分为 6 个区和 4 个区。冠状位的进一步分区并与矢状位从前到后的位置相结合,可以更精准的对骨挫伤模式进行描述[16]。

采用这种新的标测技术对相同数据集的两次回顾性审查中,所有 ICC 值均 > 0.9,这表明其用来描述非接触性前交叉韧带损伤中骨髓水肿位置的可靠性极高。急性 ACL 损伤膝关节骨髓水肿精准定位有助于进一步阐明损伤机制。

本研究中确定的骨挫伤模式与文献中报告的非接触性前交叉韧带损伤的机制相一致,进一步支持了这种新的标测技术的使用。我们发现,与膝关节胫股内侧间室相比,膝关节胫股外侧间室内的骨挫伤明显更多,这表明在 ACL 损伤时, LFC 和 LTP 之间的碰撞比 MFC 和 MTP 之间的碰撞更剧烈,与先前文献报道的 ACL 损伤骨挫伤模式的研究结果一致[5] [8] [12] [17] [18] [19]。这种骨挫伤模式归因于损伤期间膝关节的外翻应力,导致股骨和胫骨的外侧受压,与胫股内侧间室相比,胫股外侧间室内的碰撞更强烈。

通过矢状面分析,我们发现两个股骨髁上的骨挫伤局限于前部和中央部,而两个胫骨平台上的骨挫伤局限于后部区域[20]。这些发现表明,在损伤过程中,双侧胫骨平台的后部区域与内、外侧股骨髁的前/中央部相碰撞,这需要胫骨后部在内侧和外侧都必须相对于股骨向前平移,这种矢状面骨挫伤模式与先前研究报告的胫骨前平移相吻合[5] [8] [12] [19] [21] [22]。

研究 MFC 和 LFC 上矢状面骨挫伤模式的不同有助于了解胫骨内旋或外旋的程度。我们发现 LFC 上骨挫伤局限于前部,而在 MFC 上观察到的骨挫伤局限于中央区域。在单纯胫骨前平移且没有胫骨内外旋转的情况下, MFC 和 LFC 上的矢状面骨挫伤模式位于相同的矢状面区域。而当胫骨内旋转时, LTP 的后部区域向前旋转, MTP 的后部区域向后旋转,导致 LTP 后部与 LFC 的碰撞比 MTP 后部与 MFC 的碰撞更靠前,这与我们发现的骨挫伤模式一致,同时之前研究报道 ACL 损伤时伴随着胫骨的旋转这一结论相符合[5] [8] [12]。

本研究中确定的骨挫伤模式表明,在非接触性前交叉韧带损伤中,胫骨内旋时发生外翻和前平移,这些结果与先前的研究相一致,进一步支持了这种新的标测技术的使用[12] [23] [24]。

## 5. 结论

新的标测为描述非接触性 ACL 损伤中的骨挫伤模式提供了一种标准化且可靠的方法,使用该技术确定的骨挫伤模式表明了非接触性 ACL 损伤最常见的机制:外翻应力、胫骨前平移和胫骨内旋转。

## 致 谢

感谢王英振教授、项帅博士对文章的指导并提出修改建议。

## 参考文献

- [1] Dai, R., Wu, Y., Jiang, Y., *et al.* (2023) Comparison of Bone Bruise Pattern Epidemiology between Anterior Cruciate Ligament Rupture and Patellar Dislocation Patients-Implications of Injury Mechanism. *Bioengineering (Basel)*, **10**, 1366. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10121366>
- [2] Moran, J., Katz, L.D., Schneble, C.A., *et al.* (2022) A Novel MRI Mapping Technique for Evaluating Bone Bruising Patterns Associated With Noncontact ACL Ruptures. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, **10**, 4. <https://doi.org/10.1177/23259671221088936>
- [3] Boden, B.P. and Sheehan, F.T. (2022) Mechanism of Non-Contact ACL Injury: OREF Clinical Research Award 2021. *Journal of Orthopaedic Research*, **40**, 531-540. <https://doi.org/10.1002/jor.25257>
- [4] Rodriguez, K., Soni, M., Joshi, P.K., *et al.* (2021) Anterior Cruciate Ligament Injury: Conservative versus Surgical Treatment. *Cureus*, **13**, e20206. <https://doi.org/10.7759/cureus.20206>
- [5] Zhang, L., Hacke, J.D., Garrett, W.E., Liu, H. and Yu, B. (2019) Bone Bruises Associated with Anterior Cruciate Ligament Injury as Indicators of Injury Mechanism: A Systematic Review. *Sports Medicine*, **49**, 453-462. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01060-6>
- [6] Ward, P., Chang, P., Radtke, L. and Brophy, R.H. (2022) Clinical Implications of Bone Bruise Patterns Accompanying Anterior Cruciate Ligament Tears. *Sports Health*, **14**, 585-591. <https://doi.org/10.1177/19417381211029583>
- [7] Maraghelli, D., Brandi, M.L., Matucci Cerinic, M., Peired, A.J. and Colagrande, S. (2021) Edema-Like Marrow Signal Intensity: A Narrative Review with a Pictorial Essay. *Skeletal Radiology*, **50**, 645-663. <https://doi.org/10.1007/s00256-020-03632-4>

- [8] Patel, S.A., Hageman, J., Quatman, C.E., Wordeman, S.C. and Hewett, T.E. (2014) Prevalence and Location of Bone Bruises Associated with Anterior Cruciate Ligament Injury and Implications for Mechanism of Injury: A Systematic Review. *Sports Medicine*, **44**, 281-293. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0116-z>
- [9] Moran, J., Katz, L.D., Schneble, C.A., et al. (2021) Injury to the Meniscomfemoral Portion of the Deep MCL Is Associated with Medial Femoral Condyle Bone Marrow Edema in ACL Ruptures. *JBJS Open Access*, **6**, e21.00069. <https://doi.org/10.2106/JBJS.OA.21.00069>
- [10] Graf, B.K., Cook, D.A., De Smet, A.A. and Keene, J.S. (1993) "Bone Bruises" on Magnetic Resonance Imaging Evaluation of Anterior Cruciate Ligament Injuries. *The American Journal of Sports Medicine*, **21**, 220-223. <https://doi.org/10.1177/036354659302100210>
- [11] Tung, G.A., Davis, L.M., Wiggins, M.E. and Fadale, P.D. (1993) Tears of the Anterior Cruciate Ligament: Primary and Secondary Signs at MR Imaging. *Radiology*, **188**, 661-667. <https://doi.org/10.1148/radiology.188.3.8351329>
- [12] Shi, H., Ding, L., Jiang, Y., et al. (2020) Bone Bruise Distribution Patterns after Acute Anterior Cruciate Ligament Ruptures: Implications for the Injury Mechanism. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, **8**. <https://doi.org/10.1177/2325967120911162>
- [13] Brittberg, M. and Winalski, C.S. (2003) Evaluation of Cartilage Injuries and Repair. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, **85**, 58-69. <https://doi.org/10.2106/00004623-200300002-00008>
- [14] Peterfy, C.G., Guermazi, A., Zaim, S., et al. (2004) Whole-Organ Magnetic Resonance Imaging Score (WORMS) of the Knee in Osteoarthritis. *Osteoarthritis and Cartilage*, **12**, 177-190. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2003.11.003>
- [15] Hunt, N., Sanchez-Ballester, J., Pandit, R., Thomas, R. and Strachan, R. (2001) Chondral Lesions of the Knee: A New Localization Method and Correlation with Associated Pathology. *Arthroscopy*, **17**, 481-490. <https://doi.org/10.1053/jars.2001.19977>
- [16] Kia, C., Cavanaugh, Z., Gillis, E., et al. (2020) Size of Initial Bone Bruise Predicts Future Lateral Chondral Degeneration in ACL Injuries: A Radiographic Analysis. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, **8**. <https://doi.org/10.1177/2325967120916834>
- [17] Temponi, E.F., de Carvalho Júnior, L.H., Saithna, A., Thauinat, M. and Sonnery-Cottet, B. (2017) Incidence and MRI Characterization of the Spectrum of Posterolateral Corner Injuries Occurring in Association with ACL Rupture. *Skeletal Radiology*, **46**, 1063-1070. <https://doi.org/10.1007/s00256-017-2649-y>
- [18] Shi, H., Ding, L., Jiang, Y., et al. (2021) Comparison between Soccer and Basketball of Bone Bruise and Meniscal Injury Patterns in Anterior Cruciate Ligament Injuries. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, **9**. <https://doi.org/10.1177/2325967121995844>
- [19] Tan, L., Liang, J., Feng, J., et al. (2023) Medial Meniscus Tears Are Most Prevalent in Type I ACL Tears, While Type I ACL Tears Only Account for 8% of All ACL Tears. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **31**, 2349-2357. <https://doi.org/10.1007/s00167-022-07068-2>
- [20] Calvo-Gurry, M., Hurley, E.T., Withers, D., Vioreanu, M. and Moran, R. (2019) Posterior Tibial Bone Bruising Associated with Posterior-Medial Meniscal Tear in Patients with Acute Anterior Cruciate Ligament Injury. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **27**, 3633-3637. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05490-7>
- [21] Kim-Wang, S.Y., Spritzer, C.E., Owusu-Akyaw, K., et al. (2023) The Predicted Position of the Knee Near the Time of ACL Rupture Is Similar between 2 Commonly Observed Patterns of Bone Bruising on MRI. *The American Journal of Sports Medicine*, **51**, 58-65. <https://doi.org/10.1177/03635465221131551>
- [22] Willinger, L., Athwal, K.K., Williams, A. and Amis, A.A. (2021) An Anterior Cruciate Ligament *In Vitro* Rupture Model Based on Clinical Imaging. *The American Journal of Sports Medicine*, **49**, 2387-2395. <https://doi.org/10.1177/03635465211017145>
- [23] Song, G.Y., Zhang, H., Wang, Q.Q., Zhang, J., Li, Y. and Feng, H. (2016) Bone Contusions after Acute Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury Are Associated with Knee Joint Laxity, Concomitant Meniscal Lesions, and Anterolateral Ligament Abnormality. *Arthroscopy*, **32**, 2331-2341. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2016.03.015>
- [24] Choi, W.R., Yang, J.H., Jeong, S.Y. and Lee, J.K. (2019) MRI Comparison of Injury Mechanism and Anatomical Factors between Sexes in Non-Contact Anterior Cruciate Ligament Injuries. *PLOS ONE*, **14**, e0219586. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219586>