

双能CT诊断膝关节痛风性骨髓水肿的诊断价值

王 锴*, 魏耀宁, 张清源, 刘金玲#

青岛大学附属医院放射科, 山东 青岛

收稿日期: 2026年3月13日; 录用日期: 2026年4月6日; 发布日期: 2026年4月14日

摘要

目的: 评估双能计算机断层扫描(DECT)虚拟去钙(VNCa)技术在痛风性膝关节骨髓水肿(BME)诊断中的准确性。方法: 前瞻性连续纳入50例男性痛风患者, 所有患者均在7天内完成膝关节DECT与3.0T MRI检查。以MRI表现作为诊断BME的金标准, 采用改良WORMS系统将膝关节划分为7个解剖区域。由两名高资历放射科医师对VNCa图像进行定性评分(二分类法)及定量分析(测量ROI的CT值), 评价者对临床及MRI结果设盲。通过受试者工作特征(ROC)曲线确定诊断BME的最佳CT截断值, 并计算DECT诊断BME的敏感性、特异性、阳性预测值、阴性预测值及准确度。结果: 在50例患者的350个解剖区域中, MRI共检出42个BME区域。定性分析显示, 两名医师利用DECT-VNCa图像诊断BME的敏感性分别为83.3%和85.7%, 特异性分别为95.4%和96.8%, 准确度分别为94.0%和95.4%, 两名医师间的诊断性能无统计学差异($p = 0.387$)。定量分析显示, BME受累区与正常区之间的密度差异具有统计学意义($p < 0.001$); 基于ROC曲线分析, 其诊断BME的敏感性为88.1%, 特异性为91.2%, 准确度为90.9%。结论: DECT-VNCa成像能准确识别痛风膝关节BME。

关键词

双能CT, 磁共振, 骨髓水肿, 膝关节, 痛风

Diagnostic Value of Dual-Energy CT for Bone Marrow Edema in the Knee of Patients with Gout

Kai Wang*, Yaoning Wei, Qingyuan Zhang, Jinling Liu#

Department of Radiology, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

Received: March 13, 2026; accepted: April 6, 2026; published: April 14, 2026

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 王锴, 魏耀宁, 张清源, 刘金玲. 双能 CT 诊断膝关节痛风性骨髓水肿的诊断价值[J]. 临床医学进展, 2026, 16(4): 2875-2882. DOI: 10.12677/acm.2026.1641543

Abstract

Objective: To evaluate the diagnostic accuracy of dual-energy computed tomography (DECT) virtual non-calcium (VNCa) imaging for detecting bone marrow edema (BME) in the knees of patients with gout. **Methods:** Fifty male patients with gout were prospectively and consecutively enrolled. All patients underwent both knee DECT and 3.0T MRI examinations within a 7-day interval. Using MRI findings as the gold standard, the knee joint was divided into seven anatomical regions according to the modified Whole-Organ Magnetic Resonance Imaging Score (WORMS). Two senior radiologists, blinded to clinical and MRI data, performed qualitative scoring (using a binary system) and quantitative analysis (measuring CT values in regions of interest [ROIs]) on the VNCa images. The optimal CT cutoff value for BME diagnosis was determined via receiver operating characteristic (ROC) curve analysis. The sensitivity, specificity, positive predictive value (PPV), negative predictive value (NPV), and accuracy of DECT for BME detection were calculated. **Results:** Among 350 anatomical regions in 50 patients, 42 regions (12.0%) were identified as BME by MRI. Qualitative analysis showed that for Reader 1 and Reader 2, the sensitivities were 83.3% and 85.7%, specificities were 95.4% and 96.8%, and accuracies were 94.0% and 95.4%, respectively, with no significant difference in diagnostic performance between the two readers ($p = 0.387$). Quantitative analysis demonstrated a significant difference in density between BME-affected and normal regions ($p < 0.001$). Based on ROC curve analysis, the sensitivity, specificity, and accuracy for diagnosing BME were 88.1%, 91.2%, and 90.9%, respectively. **Conclusion:** DECT-VNCa imaging can accurately identify bone marrow edema in the knees of patients with gout.

Keywords

Dual-Energy Computed Tomography, Magnetic Resonance Imaging, Bone Marrow Edema, Knee Joint, Gout

Copyright © 2026 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

痛风是由单钠尿酸盐(MSU)晶体沉积于关节及其周围组织引起的炎症性疾病,是临床最常见的晶体性关节炎[1]。当尿酸浓度升高并超过其饱和点(在生理温度和pH条件下,该值 >6.8 mg/dL)时,即可导致此类结晶的形成[2]。MSU晶体常沉积于关节内,覆盖关节软骨,不仅能激发炎症级联反应[3],同时对关节基质细胞(如软骨细胞和成骨细胞)具有显著分解代谢作用[4],进而驱动软骨下骨改变,包括骨髓病变等一系列骨性重构。

骨髓水肿(BME)是肌肉骨骼系统损伤的一种生物标志物,其病理学特征主要表现为微骨折,以及伴有出血的骨小梁脂肪成分减少[5]。膝关节BME在成年外伤患者中较为常见[6]。然而,多种非创伤性病理状态亦可表现为BME,包括骨软骨损伤、缺血性坏死以及一过性骨髓水肿综合征[7]。膝关节内BME的存在与分布,对选择最适宜的治疗方案具有决定性意义[7]。磁共振成像(MRI)是评估BME的首选影像学检查方法,也是评估BME的“金标准”,同时可评估韧带、肌腱、半月板、软骨缺损等[8]。然而,由于MRI的可用性有限、存在禁忌证和/或金属伪影,无法常规用于所有患者[9]。

在此背景下,双能CT(DECT)在评估无法行MRI检查的膝关节痛风患者中发挥着关键作用。其相较于常规CT的诸多显著优势已得到广泛研究,包括图像质量优化、伪影去除以及提供组织成分相关信息

的能力[10]。在 DECT 的多种应用中, 虚拟去钙(VNcCa)技术因其能够从解剖结构中剔除钙质成分, 从而提高对常规 CT 中易被遮盖的多种病变的评估能力, 而受到日益广泛的关注[11]。VNcCa 技术于 2009 年首次提出, 目前其主流应用包括去除血管内的钙化斑块, 以及显示松质骨和骨髓的病理改变[12]。DECT 已成功应用于外伤患者膝部 BME 的识别[13], 而对于痛风引起的非创伤性的 BME 研究较少, 对于非创伤患者(即患有痛风性关节炎的患者)而言, 膝关节 BME 的识别可能在 MRI 不可用或禁忌时的临床管理中具有重要优势。

因此, 本研究旨在以 MRI 作为参考标准, 评估 DECT 在检测痛风患者膝关节 BME 的诊断准确性。

2. 材料与方法

2.1. 患者人群

前瞻性收集自 2025 年 6 月至 2025 年 12 月期间, 于青岛大学附属医院就诊的痛风患者。纳入标准包括: 1) 依据 2015 年 ACR/EULAR 发布的痛风分类指南确诊的痛风患者; 2) 所有患者均在最长 7 天的时间间隔内接受膝关节 DECT 和 MRI 检查。排除标准: 1) 存在金属内固定物; 2) 既往手术史及肿瘤性疾病; 3) MRI 检查缺失。本研究最终纳入 50 名患者, 均为男性, 年龄为 22 岁~71 岁, 平均年龄 45.76 ± 12.77 岁。

2.2. DECT 检查

本研究采用西门子 Somatom Definition Flash 双源 CT 进行膝关节扫描。受试者取仰卧位, 移除金属及敷料后以泡沫垫固定患肢; 扫描范围自髌骨上缘 5 cm 延伸至胫骨平台下 5 cm, 完整覆盖膝关节骨骼及周边软组织。采集参数设定如下: 准直 0.6 mm, 螺距 ≤ 0.7 , 旋转时间 0.5 s; 双球管电压/电流分别为 140 kV/125mAs 与 80 kV/330mAs。

采用专用工作站(SyngoVia VB10; 西门子医疗, 德国埃朗根)对 DECT 图像进行后处理。应用三物质分解算法分离红骨髓、黄骨髓及骨矿物质成分。参数设定: 分辨率为 3, 阈值设为 100 HU, 最大 CT 值限制为 800 HU。图像色彩编码规则为: 绿色代表骨髓水肿区域, 蓝色代表正常骨质。

2.3. MRI 检查

使用西门子 Prisma 3.0T 超导型磁共振仪(Siemens Healthcare GmbH, Erlangen, Germany), 应用同厂家配装的膝关节专用线圈行膝关节 MRI 检查。采取仰卧位、足先进。扫描序列为 2D 常规序列, 具体扫描参数设置见表 1。

Table 1. MR imaging parameters

表 1. MRI 参数

序列名称	FS-FSE PDWI	FSE T1WI	FS-FSE T2WI	FS-FSE T2WI
方位	SAG	SAG	AXI	COR
层厚(mm)	3.0	2.5	5.0	3.0
FOV (mm)	280 × 280	280 × 280	200 × 200	200 × 200
TR (ms)	3000	570	2200	3200
TE (ms)	35	12	33	30

注: FS: Fat Suppression, 脂肪抑制; FSE: Fast Spin Echo, 快速自旋回波; PDWI: Proton Density Weighted Imaging, 质子密度加权成像; T1WI: T1 Weighted Imaging, T1 加权成像; T2WI: T2 Weighted Imaging, T2 加权成像; SAG: Sagittal, 矢状位; COR: Coronal, 冠状位; AXI: Axial, 横轴位; FOV: Field of View, 视野范围; TR: Repetition time, 重复时间; TE: Echo time, 回波时间。

2.4. 图像分析

在 MRI 及 DECT 图像中, 采用二分类评分法判定 BME 的有无: 1 分为存在 BME, 0 分为无 BME。

为了方便研究 BME, 选择采用改良 WORMS 系统[14], 该系统将解剖分区数量从 15 个减少至 7 个(髌骨内侧、髌骨外侧、滑车、股骨内侧、胫骨内侧、股骨外侧和胫骨外侧)。以 MRI 作为参考标准。所有 MR 图像首先由两名经验丰富的放射科医师(从业经验分别为 20 年和 16 年)以随机顺序进行评估; 两人在不知晓临床资料及 CT 结果的情况下进行盲法评价, 评估结果由双方协商一致达成, 以协商后结果作为本研究中 BME 诊断的金标准。MRI 中骨髓水肿(BME)的判定标准为: TIRM 序列呈高信号, 且 T1 加权成像(T1WI)呈低信号。随后的阅片环节中, 由两位独立放射科医师(分别具有 15 年与 5 年从业经验)在专用 SyngoVia 工作站上以随机顺序评估 DECT 图像, 同样设盲于临床及 MRI 检查结果。

由两位医师协商一致后对 VNCa 图像上 BME 进行定量分析。在每个受累区域放置两个圆形感兴趣区(ROI), 每个 ROI 面积不小于 0.3 cm², 读取 CT 值并取其平均值用于后续分析。ROI 的放置参考相应 MRI 图像中 BME 受累区及未受累区(正常区)的分布范围。

2.5. 统计学方法

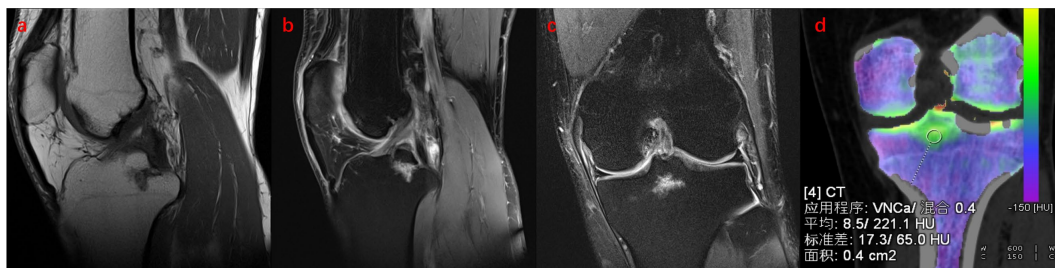
所有统计学分析均采用 SPSS 26.0 软件进行。符合正态分布的变量以均数 ± 标准差表示, 两组间比较采用独立样本 t 检验; 不符合正态分布的连续变量则以中位数(四分位间距) [M (IQR)]表示, 两组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。数据采用受试者工作特征(ROC)曲线及 95%置信区间(CI)进行分析, 通过 ROC 曲线计算出诊断 BME 时准确度最高的 VNCa 图像 CT 值。以 p < 0.05 为差异有统计学意义。以 MRI 作为诊断标准, 分别对每个患者的每个分区的数据集进行定性与定量评估, 计算敏感性、特异性、阳性预测值(PPV)、阴性预测值(NPV)及准确度(Acc)。

3. 结果

3.1. 患者信息及 MRI 结果

初步筛选 67 例患者, 排除 17 例后, 最终共有 50 例患者纳入本研究, 均为男性, 年龄范围 22 岁~71 岁, 平均年龄 45.76 ± 12.77 岁。排除 17 例患者, 其中 14 例因缺乏 DECT 或 MRI 检查数据被排除。另有 3 例患者因 MRI 检查方案不完整(n = 1)、植入起搏器(n = 1)及幽闭恐惧症(n = 1)被排除。

50 个膝关节共划分为 350 个区域, MRI 显示 42 个区域存在骨髓水肿改变, 具体表现为 T1WI 为低信号, 脂肪抑制 T2WI 为高信号。其中外侧胫股上端 11 处; 胫骨髁间嵴下方 9 处; 内骨股骨下端 7 处; 外侧股骨下端 5 处; 内侧髌骨 5 处; 内侧胫骨上端 5 处。具体表现详见图 1。



注: 一名 38 岁男性患者主诉膝关节疼痛, 有饮酒史。(a)~(c) 分别为矢状位 T1WI、矢状位脂肪抑制 T2WI 及冠状位脂肪抑制 T2WI 序列, 显示胫骨髁间嵴下方存在骨髓水肿信号; (d) 为冠状位虚拟平扫去钙(VNCa)图像, 关节面下绿色区域示意 BME, 其感兴趣区(ROI)的平均密度值为 8.5 HU。

Figure 1. MRI and DECT images of knee gout with BME
图 1. 存在 BME 表现的膝关节痛风 MRI 及 DECT 图像

3.2. DECT-VNCa 成像诊断 BME 的性能

两名医师按照分区评估 BME, 分析显示, 医师 A (AUC 为 0.894, 95% CI: 0.836~0.952)与医师 B (AUC 为 0.912, 95% CI: 0.858~0.967)的 AUC 值之间差异无统计学意义(图 2), Delong 检验 $p = 0.387$ 。DECT-VNCa 图像在 BME 分析中的诊断效能详见表 2。

Table 2. Diagnostic performance of DECT maps and VNCa CT values: a per-partition analysis

表 2. 基于分区的 DECT 图谱及 VNCa-CT 值的诊断效能分析

参数	医师 A (%)	医师 B (%)	VNCa-CT 值(%)
敏感性	83.3	85.7	88.1
特异性	95.4	96.8	91.2
PPV	71.4	78.3	57.8
NPV	97.7	98.0	98.3
准确度	94.0	95.4	90.9

注: PPV 阳性预测值, NPV 阴性预测值。

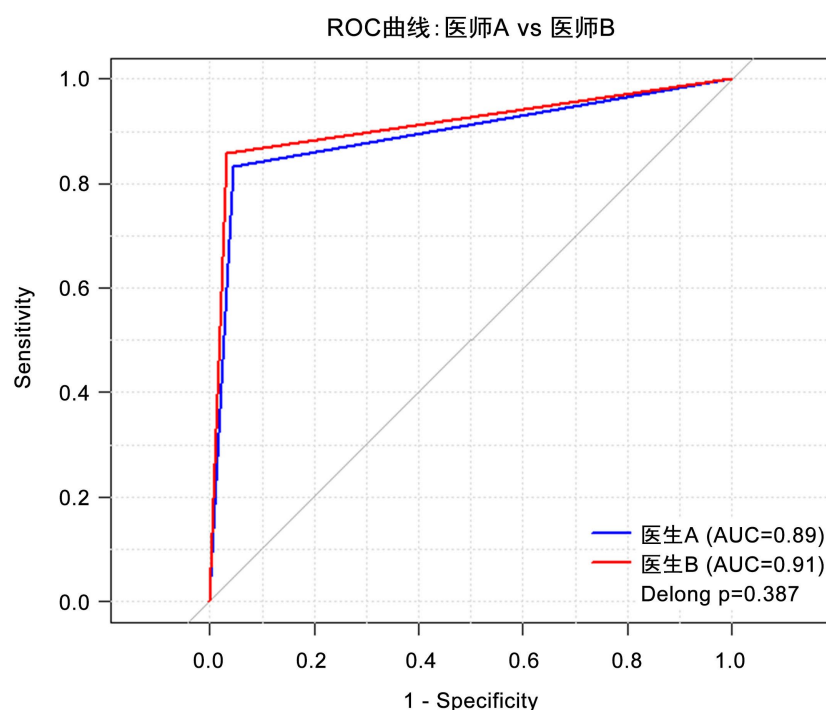


Figure 2. ROC curves of two readers for the assessment of BME using VNCa images

图 2. 两名医生通过 VNCa 图像评估 BME 的 ROC 曲线

3.3. DECT-VNCa 定量参数诊断性能

定量分析显示, 骨髓水肿(BME)受累区 -51.6 ($-56.9, -41.7$) HU 与未受累区 -81.3 ($-88, -76.9$) HU 之间的差异有统计学意义($p < 0.001$), 具体详见表 3。ROC 曲线分析显示其 AUC 为 0.892 (95%置信区间: 0.834~0.949)。通过约登指数确定 -61.2 HU 作为诊断 BME 的截断值, DECT 在分区层面分析中的敏感度、特异度、阳性预测值(PPV)、阴性预测值(NPV)及准确度分别为 88.1%、91.2%、57.8%、98.3%和 90.9%。

Table 3. Comparison of VNCA quantitative parameters in knee joints with gouty bone marrow edema
表 3. 痛风 BME 膝关节 VNCA 定量参数比较

组别	n	CT 值(HU)
总体	350	-80.2 (-87.5, -72.3)
存在骨髓水肿	42	-51.6 (-56.9, -41.7)
不存在骨髓水肿	308	-81.3 (-88, -76.9)
Z 值		-8.235
p 值		<0.001

4. 讨论

本研究采用 DECT 的 VNCA 技术, 对一组痛风患者进行了膝关节 BME 评估, 结果显示该诊断方法的性能优秀。DECT 图像的定性与定量评估获得了较高准确率, 在基于分区分析中医师 A 为 94%、医师 B 为 95.4% 及定量评估为 90.9%。研究数据证实, DECT 能够准确识别痛风患者膝关节骨皮质下 BME。

DECT 技术最早于 20 世纪 70 年代提出[15]。DECT 利用不同组织在两种 X 射线能量水平(通常为 80~90 keV 和 140~150 keV)下表现出的具有能量依赖性的差异化衰减特征进行成像, 其先进的后处理能力使得其在肌肉骨骼成像中新兴且日益成熟的临床应用得以实现, 如骨髓水肿检测、金属伪影减少、尿酸钠分析以及韧带、半月板和椎间盘损伤的胶原蛋白分析[16]。VNCA 成像模式依靠特定算法对骨矿物质及红黄骨髓执行拆解, 在剔除了原本的钙化背景干扰后, 所得图像能精准聚焦于髓质细节。这种处理流程是达成 BME 区域高效显示的关键。Booz 等人[17]研究了 57 例患者, 报告在急性创伤情况下识别股骨 BME 的敏感性为 94%, 特异性为 95%。Wang 等人[18]通过研究指出, DECT 对骨髓水肿的识别具有优异的灵敏度与特异度均达到 90.4%。本研究的结果与既往研究诊断效能接近, 进一步佐证了 VNCA 技术在评价骨髓病变时具有较好的影像学诊断价值, 能够作为 MRI 检查的有效补充或替代手段。

在本研究中, 与定量评估相比, DECT 图像的定性评估使我们在整体准确性上取得了更高水平(医师 A 为 94%、医师 B 为 95.4% 及定量评估为 90.9%)。这些结果可能源于软骨下区域骨硬化引起的 CT 密度细微变化, 从而改变 CT 数值。在定量分析方面, 对膝关节的研究提出了以 -61.2 HU 作为诊断 BME 的截断值。Booz 等[17]提出的 -51 HU 截断值在维持高特异度(97%)的同时, 展现了极高的敏感度(96%), 有效降低了漏诊率。与我们研究的最佳截断值不同, 这种不同研究间截断值的波动, 反映了 DECT 数值对扫描方案及临床变量的高度敏感性。Booz 等采用 90 kV 和 150 kV, Wang 等采用 80 kV 和 150 kV, 而我们采用 80 kV 和 140 kV。此外, 既往研究多集中于创伤性 BME, 可能存在创伤背景(特别是长骨骨折), 常伴随微骨折、出血及骨小梁结构的机械性破坏, 对 DECT 评估有较大影响[18]。而痛风性 BME 主要由炎症反应引起, 表现为毛细血管通透性增加, 出血及骨小梁断裂相对少见。这种现象可能部分反映了两种病变在组织成分上的异质性。未来研究应致力于多中心、标准化的扫描协议构建, 明确不同设备与扫描参数下的正常参考值范围与诊断阈值。

BME 对痛风急性发作具有一定提示作用, 痛风急性发作的病理机制是由尿酸波动诱导 MSU 晶体沉积, 进而触发的一系列复杂免疫炎症反应[19]。首先, 单核及巨噬细胞作为核心炎症细胞, 通过 Toll 样受体(TLR2/4)等模式识别受体识别并吞噬 MSU 晶体, 导致炎症小体激活并释放关键促炎因子 IL-1 β [20]。随后, 补体系统的激活通过经典及替代途径进一步放大了炎症级联反应, 并诱导滑膜细胞产生趋化因子[21]。在此过程中, 大量中性粒细胞在 IL-8 等因子的介导下向关节腔募集, 并由于凋亡延迟和超氧化物的产生, 维持并增强了局部炎症的强度与时长[22]。上述细胞激活、补体放大及炎症浸润的协同作用, 最

终导致了痛风急性期 BME 等改变。综上所述, 利用 DECT 对 BME 进行评估, 可为痛风的临床分期提供重要依据。

本研究的局限性主要体现在以下几个方面: 第一, 样本缺乏性别多样性, 入组患者均为男性, 因此所得结论在女性群体中的有效性尚待考证; 第二, 受限单中心研究设计, 样本来源的局限性及筛选环节的潜在偏倚可能对研究结果产生影响; 第三, 本研究样本规模较小(仅 40 例), 其统计效能有待提高, 未来应通过多中心、大样本研究对目前的发现进行补充与完善。

总之, 我们的研究结果证实, 与 MRI 相比, DECT-VNCa 技术在识别痛风患者膝关节骨髓水肿上具有良好的诊断性能。鉴于 DECT 已逐渐成为痛风诊断的常规手段, 通过单次扫描获取更丰富的病理信息具有显著的卫生经济学价值。同时, DECT 可作为 MRI 的有效补充或替代方案, 为存在 MRI 禁忌症的患者提供了更多影像学选择。

声 明

本研究获得青岛大学附属医院伦理委员会批准(审批号: QYFY WZLL 30209), 患者均签署知情同意书。

参考文献

- [1] Dalbeth, N., Gosling, A.L., Gaffo, A. and Abhishek, A. (2021) Gout. *The Lancet*, **397**, 1843-1855. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(21\)00569-9](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(21)00569-9)
- [2] Loeb, J.N. (1972) The Influence of Temperature on the Solubility of Monosodium Urate. *Arthritis & Rheumatism*, **15**, 189-192. <https://doi.org/10.1002/art.1780150209>
- [3] Hwang, H., Yang, C., Park, S. and Kim, H. (2015) Monosodium Urate Crystal-Induced Chondrocyte Death via Autophagic Process. *International Journal of Molecular Sciences*, **16**, 29265-29277. <https://doi.org/10.3390/ijms161226164>
- [4] Chhana, A., Callon, K.E., Pool, B., Naot, D., Watson, M., Gamble, G.D., et al. (2011) Monosodium Urate Monohydrate Crystals Inhibit Osteoblast Viability and Function: Implications for Development of Bone Erosion in Gout. *Annals of the Rheumatic Diseases*, **70**, 1684-1691. <https://doi.org/10.1136/ard.2010.144774>
- [5] Boks, S.S., Vroegindewei, D., Koes, B.W., Hunink, M.G.M. and Bierma-Zeinstra, S.M.A. (2006) Follow-Up of Occult Bone Lesions Detected at MR Imaging: Systematic Review. *Radiology*, **238**, 853-862. <https://doi.org/10.1148/radiol.2382050062>
- [6] Kang, S., Gao, F., Han, J., Mao, T., Sun, W., Wang, B., et al. (2018) Extracorporeal Shock Wave Treatment Can Normalize Painful Bone Marrow Edema in Knee Osteoarthritis: A Comparative Historical Cohort Study. *Medicine*, **97**, e9796. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000009796>
- [7] Gorbachova, T., Melenevsky, Y., Cohen, M. and Cerniglia, B.W. (2018) Osteochondral Lesions of the Knee: Differentiating the Most Common Entities at MRI. *RadioGraphics*, **38**, 1478-1495. <https://doi.org/10.1148/rg.2018180044>
- [8] Mandalia, V. and Henson, J.H.L. (2008) Traumatic Bone Bruising—A Review Article. *European Journal of Radiology*, **67**, 54-61. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2008.01.060>
- [9] Foti, G., Faccioli, N., Silva, R., Oliboni, E., Zorzi, C. and Carbognin, G. (2020) Bone Marrow Edema around the Hip in Non-Traumatic Pain: Dual-Energy CT vs MRI. *European Radiology*, **30**, 4098-4106. <https://doi.org/10.1007/s00330-020-06775-z>
- [10] D'Angelo, T., Cicero, G., Mazziotti, S., Ascenti, G., Albrecht, M.H., Martin, S.S., et al. (2019) Dual Energy Computed Tomography Virtual Monoenergetic Imaging: Technique and Clinical Applications. *The British Journal of Radiology*, **92**, Article ID: 20180546. <https://doi.org/10.1259/bjr.20180546>
- [11] D'Angelo, T., Albrecht, M.H., Caudo, D., Mazziotti, S., Vogl, T.J., Wichmann, J.L., et al. (2021) Virtual Non-Calcium Dual-Energy CT: Clinical Applications. *European Radiology Experimental*, **5**, Article No. 38. <https://doi.org/10.1186/s41747-021-00228-y>
- [12] Akisato, K., Nishihara, R., Okazaki, H., Masuda, T., Hironobe, A., Ishizaki, H., et al. (2020) Dual-Energy CT of Material Decomposition Analysis for Detection with Bone Marrow Edema in Patients with Vertebral Compression Fractures. *Academic Radiology*, **27**, 227-232. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2019.02.015>
- [13] Suh, C.H., Yun, S.J., Jin, W., Lee, S.H., Park, S.Y. and Ryu, C. (2018) Diagnostic Performance of Dual-Energy CT for

- the Detection of Bone Marrow Oedema: A Systematic Review and Meta-Analysis. *European Radiology*, **28**, 4182-4194. <https://doi.org/10.1007/s00330-018-5411-5>
- [14] Alizai, H., Virayavanich, W., Joseph, G.B., Nardo, L., Liu, F., Liebl, H., *et al.* (2014) Cartilage Lesion Score: Comparison of a Quantitative Assessment Score with Established Semiquantitative MR Scoring Systems. *Radiology*, **271**, 479-487. <https://doi.org/10.1148/radiol.13122056>
- [15] Millner, M.R., McDavid, W.D., Waggener, R.G., Dennis, M.J., Payne, W.H. and Sank, V.J. (1979) Extraction of Information from CT Scans at Different Energies. *Medical Physics*, **6**, 70-71. <https://doi.org/10.1118/1.594555>
- [16] Cheong, S.C.W., Yan, Y.Y., Sheikh, A., Ouellette, H.A., Munk, P.L., Murray, N., *et al.* (2024) Dual-Energy CT Applications in Musculoskeletal Disorders. *British Journal of Radiology*, **97**, 705-715. <https://doi.org/10.1093/bjr/tqae023>
- [17] Booz, C., Nöske, J., Lenga, L., Martin, S.S., Yel, I., Eichler, K., *et al.* (2019) Color-Coded Virtual Non-Calcium Dual-Energy CT for the Depiction of Bone Marrow Edema in Patients with Acute Knee Trauma: A Multireader Diagnostic Accuracy Study. *European Radiology*, **30**, 141-150. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06304-7>
- [18] Wang, M., Zhang, X., Xu, L., Feng, Y., Xu, Y., Qi, L., *et al.* (2019) Detection of Bone Marrow Oedema in Knee Joints Using a Dual-Energy CT Virtual Non-Calcium Technique. *Clinical Radiology*, **74**, 815.e1-815.e7. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2019.06.020>
- [19] Martin, W.J. and Harper, J.L. (2010) Innate Inflammation and Resolution in Acute Gout. *Immunology & Cell Biology*, **88**, 15-19. <https://doi.org/10.1038/icb.2009.89>
- [20] Chen, C.J., Shi, Y., Hearn, A., *et al.* (2006) MyD88-Dependent IL-1 Receptor Signaling Is Essential for Gouty Inflammation Stimulated by Monosodium Urate Crystals. *Journal of Clinical Investigation*, **116**, 2262-2271. <https://doi.org/10.1172/jci28075>
- [21] Tramontini, N., Huber, C., Liu-Bryan, R., Terkeltaub, R.A. and Kilgore, K.S. (2004) Central Role of Complement Membrane Attack Complex in Monosodium Urate Crystal-Induced Neutrophilic Rabbit Knee Synovitis. *Arthritis & Rheumatism*, **50**, 2633-2639. <https://doi.org/10.1002/art.20386>
- [22] Chia, E.W., Grainger, R. and Harper, J.L. (2008) Colchicine Suppresses Neutrophil Superoxide Production in a Murine Model of Gouty Arthritis: A Rationale for Use of Low-Dose Colchicine. *British Journal of Pharmacology*, **153**, 1288-1295. <https://doi.org/10.1038/bjp.2008.20>