

双能量CT在痛风诊断中的临床应用价值分析

成雪^{1*}, 周之琳², 张阔², 杨云燕², 李正亮^{1#}

¹大理大学第一附属医院放射科, 云南 大理

²大理大学医学部, 云南 大理

收稿日期: 2026年6月24日; 录用日期: 2026年7月18日; 发布日期: 2026年7月27日

摘要

目的: 探究双能量CT (DECT)在痛风诊断中的应用价值, 为临床痛风诊断及病程评估提供影像学依据, 提高诊疗效果及患者的生活质量。方法: 选取2024年9月~2025年12月本院收治的100例高尿酸血症和痛风患者, 均分别采用金标准检查和双能量CT扫描检查, 采用DECT Gout软件识别标记尿酸盐结晶, 统计DECT诊断痛风的敏感度、特异度, 并对照分析DECT在患者不同发病阶段关节病变检出率。结果: 100例患者中金标准阳性87例, 双能量CT阳性89例, 真阳性、假阳性分别为84例、5例, 真阴性、假阴性分别为8例、3例, AUC值为0.79, 诊断灵敏度为96.55%、特异度为61.54%; 按照病程分为无症状高尿酸血症期、急性发作期、发作间歇期及慢性痛风石病变期, 随病程不断进展, 患者尿酸盐结晶检出率及骨质破坏发生率整体呈上升趋势, 组间差异均存在统计学意义($P < 0.05$)。结论: 双能量CT对痛风尿酸盐结晶具有高度敏感性, 且该检查无创、辐射剂量低, 能为临床病情评估与治疗方案制定提供影像依据, 可评估痛风尿酸盐结晶和骨质破坏情况, 判断病程进展风险, 指导降尿酸治疗。

关键词

双能量CT, 痛风, 尿酸盐结晶

Analysis of the Clinical Application Value of Dual-Energy CT in the Diagnosis of Gout

Xue Cheng^{1*}, Zhilin Zhou², Kuo Zhang², Yunyan Yang², Zhengliang Li^{1#}

¹Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of Dali University, Dali Yunnan

²Health Science Center, Dali University, Dali Yunnan

Received: June 24, 2026; accepted: July 18, 2026; published: July 27, 2026

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 成雪, 周之琳, 张阔, 杨云燕, 李正亮. 双能量 CT 在痛风诊断中的临床应用价值分析[J]. 临床医学进展, 2026, 16(7): 2172-2178. DOI: 10.12677/acm.2026.1672746

Abstract

Objective: To explore the application value of dual-energy CT (DECT) in the diagnosis of gout, provide imaging evidence for clinical diagnosis and disease course evaluation of gout, and improve diagnosis and treatment efficacy as well as patients' quality of life. **Methods:** A total of 100 patients with hyperuricemia and gout admitted to our hospital from September 2024 to December 2025 were enrolled. All patients underwent examination by the gold standard and DECT scanning respectively. The DECT Gout software was applied to identify and label monosodium urate (MSU) crystals. The sensitivity and specificity of DECT for gout diagnosis were calculated, and the detection rates of joint lesions detected by DECT in patients at different disease stages were compared and analyzed. **Results:** Among the 100 patients, 87 were positive by the gold standard and 89 were positive by DECT. There were 84 true-positive cases, 5 false-positive cases, 8 true-negative cases and 3 false-negative cases. The AUC value was 0.79, with a diagnostic sensitivity of 96.55% and specificity of 61.54%. Patients were stratified into asymptomatic hyperuricemia stage, acute attack stage, intercritical period and chronic tophaceous gout stage according to disease course. With the progression of disease course, the detection rate of MSU crystals and incidence of bone erosion showed an overall upward trend, and the differences between groups were statistically significant ($P < 0.05$). **Conclusion:** DECT presents high sensitivity for detecting MSU crystals in gout. As a non-invasive examination with low radiation dose, it can supply imaging support for clinical condition assessment and therapeutic regimen formulation. It is capable of evaluating MSU crystal deposition and bone destruction, predicting the risk of disease progression, and guiding urate-lowering therapy.

Keywords

Dual-Energy Computed Tomography, Gout, Urate Crystals

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(gout)与高尿酸血症(hyperuricemia, HUA)直接相关,是一种与嘌呤代谢异常所导致的局部炎症反应和组织破坏疾病,当血尿酸水平升高到超过其在血液或组织液的饱和度时,单钠尿酸盐(monosodium urate, MSU)晶体沉积在关节局部从而诱发痛风[1][2]。近年来,痛风在我国的发生率逐年上升,高尿酸状态下尿酸盐结晶的长期沉积不仅会引发关节不可逆性损伤,还会增加慢性肾脏病、心血管疾病、糖尿病等多脏器损伤风险,严重降低患者生活质量,因此早期诊断与干预成为痛风临床诊疗的核心要点[2][3]。

影像学检查作为痛风的诊断方法之一,不仅可以监测病情,还能评估降尿酸治疗的效果。目前临床痛风诊断的传统影像学方法包括超声、X线、磁共振成像(MRI)等,其中痛风的超声诊断特征和报告规范不统一,且操作医师主观因素及操作技术的影响非常大,都会限制超声对痛风的诊断效果;X线仅能发现痛风中晚期的骨质破坏,对早期结晶沉积无明显效果;MRI对软组织病变敏感性较高,还能详细评估患者骨质破坏及是否并发骨质感染,但检查耗时久、成本高[4]。关节液穿刺镜检属于有创操作,患者接受度低,且若关节液较少或未精准穿刺到尿酸盐结晶沉积部位时难以诊断,对于早期无症状高尿酸血症期筛查效果欠佳[5]。双能量CT作为新型无创影像学技术,可实现尿酸盐结晶的特异性识别与定位,2015年ACR和欧洲抗风湿联盟(ACR/European league against rheumatism, ACR/EULAR)已将其纳入痛风分类标

准,为痛风影像学诊断提供了新方向[4]。

2. 方法

2.1. 研究对象

选取 2024 年 9 月至 2025 年 12 月大理大学第一附属医院收治的 100 例高尿酸血症和痛风患者作为研究对象。纳入标准: (1) 符合原发性高尿酸血症、痛风相关诊断标准,即血尿酸浓度 $\geq 420 \mu\text{mol/L}$ (不分男性女性);或参照 2015 年 ACR/EULAR 痛风分类标准诊断准入条件,即至少出现 1 次关节肿胀、疼痛或触痛症状[6]; (2) 依据临床病程、症状体征及影像学表现,可明确划分为无症状高尿酸血症期、急性发作期、发作间歇期、慢性痛风石病变期 4 个阶段; (3) 年龄 18~80 岁,性别不限。排除标准: (1) 近 3 个月内所服用药物对血尿酸代谢有影响者,合并继发性高尿酸血症或严重肝、肾、心功能衰竭者; (2) 存在 DECT 检查禁忌证者,如体内金属植入物影响成像、幽闭恐惧症、妊娠期女性、CT 检查过敏者; (3) 既往有目标检查关节手术史者;合并其他关节疾病者,如假性痛风、类风湿关节炎、骨关节炎、强直性脊柱炎等; (4) DECT 影像图像模糊无法诊断,或临床资料缺失,无法纳入统计分析师。

根据痛风临床病程标准,分为以下四组[7] [8]: (1) 无症状高尿酸血症期组:患者血尿酸水平升高,但尚无急性痛风性关节炎、尿酸性肾结石临床表现。(2) 急性发作期组:典型发作起病急骤,关节及周围软组织出现明显的红肿热痛,累及大关节时可见渗液。(3) 发作间歇期组:两次急性痛风性关节炎发作之间的阶段。(4) 慢性痛风石病变期组:慢性、持续性关节疼痛,出现关节畸形,在关节附近形成痛风结节或痛风石,并出现痛风性肾病等高尿酸血症的并发症。

2.2. 检查方法

采用 SOMATOM Force 双源 CT 检查设备进行目标关节扫描,对无症状高尿酸血症期患者扫描部位为足踝部。扫描体位:双足踝关节及双膝关节采用仰卧位,足膝并拢、足先进;双手腕关节采用俯卧位,手掌向下置于头顶,头先进;扫描全程对甲状腺、性腺等敏感器官实施铅防护屏蔽。扫描参数: A 球管电压 80 kV,参考管电流 210 mAs; B 球管电压 150 kV,启用设备内置锡(Sn)能谱纯化滤过,参考管电流 160 mAs;启用 CARE Dose4D 自动毫安调控;准直 $32 \text{ mm} \times 0.6 \text{ mm}$,膝关节 FOV 362 mm,腕、足踝关节 FOV 300 mm;采用 ADMIRE Level 3 迭代重建(Advanced Modeled Iterative Reconstruction, ADMIRE),分别采用 D30 软组织卷积核、B60 骨组织卷积核重建,重建层厚 0.6 mm、重建间隔 0.3 mm,行 50%重叠重建;D30 序列导入 syngo.via 内置 DECT Gout 软件,采用双物质分解算法识别尿酸盐结晶。

2.3. 图像后处理及观察指标

将扫描完成后得到的数据上传至后台,采用 syngo.via 工作站内置 DECT Gout 软件处理,根据不同物质在 80 kV 和 Sn150kV 条件下 CT 衰减差异不同,自动分析生成有无尿酸盐结晶的彩色标记图,阅片时人工排除骨皮质硬化、指甲等假性绿色伪影后,检测到尿酸结晶绿色标记,判定为 DECT 阳性,未检出结晶则为阴性;同时观察是否有骨质破坏。由两名具有 5 年以上阅片经验影像科医师分别盲法独立阅片后得出一致结论,意见不一致时结合第三位影像科医师的判断结果进行判定。两名观察者间一致性检验显示: Cohen's Kappa = 0.751, $P < 0.001$,二者诊断一致性良好。

以 2015 年 ACR/EULAR 痛风分类标准为金标准,计算双能量 CT 诊断尿酸盐结晶的灵敏度、特异度。无症状高尿酸血症患者因不满足金标准,归入金标准阴性组。

2.4. 统计学处理

统计分析软件为 SPSS 26.0。计量资料满足正态分布以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,不满足正态分布

以中位数(四分位数) [M(P₂₅, P₇₅)]描述, 计数资料以例数、百分比(%)表示。多组正态分布计量资料比较采用单因素方差分析, 组间两两比较采用 LSD 法; 多组计数资料比较采用 Pearson χ^2 检验, 理论频数不足时采用 Fisher 确切概率法; 多组非正态分布计量资料比较采用 Kruskal-Wallis H 非参数检验, 组间两两比较采用 Dunn 检验并校正多重比较。采用四格表计算 DECT 诊断尿酸盐结晶的灵敏度、特异度。检验水准 $\alpha = 0.05$, $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

3. 结果

3.1. 双能量 CT 与诊断金标准结果对比

以 2015 年 ACR/EULAR 痛风分类标准为金标准, 无症状高尿酸血症患者不满足该痛风标准, 纳入金标准阴性组。100 例患者金标准与双能量 CT 检查痛风的四格表结果详见表 1。

Table 1. 2 × 2 contingency table for gout diagnosis: gold standard versus DECT (n)
表 1. 金标准与双能量 CT 检查痛风的四格表结果(例)

组别	金标准阳性	金标准阴性	合计
DECT 阳性	84	5	89
DECT 阴性	3	8	11
合计	87	13	100

对 DECT 定性结果采用受试者工作特征(Receiver Operating Characteristic, ROC)曲线、曲线下面积 (Area Under Curve, AUC)、灵敏度(Sensitivity, SE)、特异度(SP)、阳性预测值(Positive Predictive Value, PPV)、阴性预测值(Negative Predictive Value, NPV)、阳性似然比(Positive Likelihood Ratio, LR+)、阴性似然比(Negative Likelihood Ratio, LR-) 进行诊断效能评估, 结果详见图 1 和表 2。

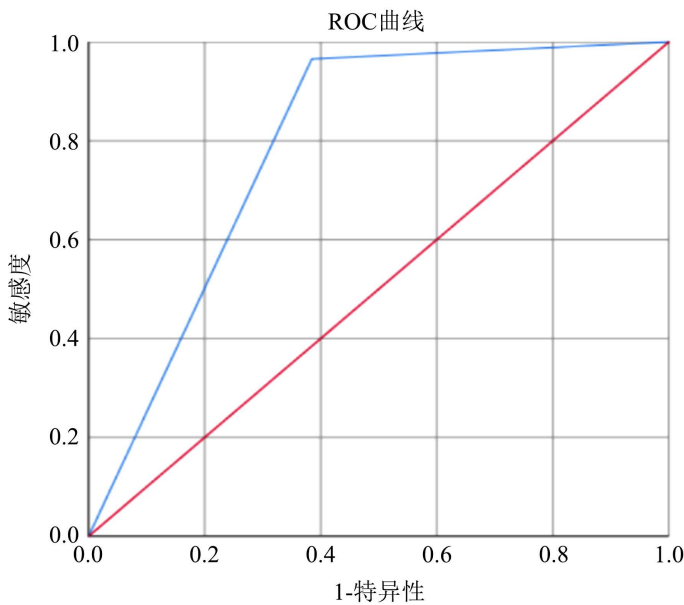


Figure 1. ROC curve of DECT
图 1. DECT 的 ROC 曲线

Table 2. DECT diagnostic assessment results
表 2. DECT 诊断评估结果

评估指标	结果
AUC	0.79
SE	96.55%
SP	61.54%
PPV	94.38%
NPV	72.73%
LR+	2.51
LR-	0.06

3.2. 不同病程痛风患者各项检查指标比较

100 例研究对象结果显示, 随着病程进展, 患者年龄、病程逐渐延长, DECT 尿酸盐结晶检出率及骨质破坏发生率整体呈上升趋势, 组间差异均存在统计学意义($P < 0.05$)。其中, 无症状高尿酸血症期患者 DECT 尿酸盐结晶检出率为 22.22%, 提示部分无症状患者已存在亚临床结晶沉积; 急性发作期与慢性痛风石病变期 DECT 尿酸盐结晶检出率均为 100.00%, 骨质破坏发生率分别为 17.78%和 92.59%。详见表 3。

Table 3. Comparison of general data and DECT lesion detection among gout patients in different disease stages
表 3. 各期组痛风患者一般资料及 DECT 病变检出情况比较

组别	例数	性别(例)		年龄(岁)	病程(月)	血尿酸增高	DECT 尿酸盐 结晶阳性	骨质破坏 阳性
		男	女					
无症状高尿酸 血症期组	9	7	2	35.56 ± 10.56	4.0 (2.5, 5.9)	9 (100.00)	2 (22.22)	0 (0.00)
急性发作期组	45	43	2	39.56 ± 12.36	3.0 (1.0, 11.0)	24 (53.33)	45 (100.00)	8 (17.78)
发作间歇期组	19	16	3	49.37 ± 11.56	32.0 (24, 43.5)	11 (57.89)	15 (78.95)	15 (78.95)
慢性痛风石病 变期组	27	24	3	58.85 ± 9.37	180.0 (150.0, 210.0)	21 (77.78)	27 (100.00)	25 (92.59)
χ^2 值	-	-	-	-	-	9.898	-	-
F 值	-	-	-	21.377	-	-	-	-
H 值	-	-	-	-	75.360	-	-	-
P 值	-	0.173	-	$P < 0.001$	$P < 0.001$	0.019	$P < 0.001$	$P < 0.001$

注: $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

4. 讨论

痛风是尿酸盐单钠结晶在关节及周围组织沉积导致的炎症反应, 早期发现尿酸盐结晶是实现疾病早

期干预、延缓病情进展的关键。DECT 作为新型无创影像学技术, 凭借双能量扫描与专用软件分析的技术优势, 实现了尿酸盐结晶的特异性、可视化识别, 为痛风的诊断提供了新的技术路径。

本研究以 2015 年 ACR/EULAR 痛风分类标准为金标准参照, 对 100 例高尿酸血症及痛风患者开展双能量 CT 检查, 结果显示其 AUC 值为 0.79, 灵敏度为 96.55%、特异度为 61.54%, 提示双能量 CT 对痛风的具有较好诊断效能, 且阳性识别能力强, 漏诊风险低, 可作为痛风筛查手段。高敏感度的核心机制在于, DECT 通过两种不同能量的 X 线对关节组织进行扫描, 利用尿酸盐结晶与周围软组织、骨组织的 X 线衰减系数差异, 结合专用的痛风分析软件实现尿酸盐结晶的伪彩色标记与定量识别, 这使其在痛风早期筛查中具备独特优势[9]。本研究 5 例假阳性患者, 其中 2 例为无症状高尿酸血症期组, 提示双能量 CT 可发现临床尚未出现症状的亚临床尿酸盐沉积, 打破了传统影像学仅能识别中晚期痛风病变的局限, 为痛风的早期预警与干预提供了影像学依据; 此外急性发作期 1 例、发作间歇期 2 例, 可能是伪影干扰原因[10]。

本研究结果显示, 随着痛风病程从无症状高尿酸血症期向急性发作期、发作间歇期、慢性痛风石病变期推进, 患者 DECT 尿酸盐结晶检出率及骨质破坏发生率整体呈显著上升趋势, 组间对比差异均存在统计学意义($P < 0.05$)。同时, 急性发作期、慢性痛风石病变期患者尿酸盐结晶检出率达 100.00%, 慢性痛风石病变期患者骨质破坏发生率高达 92.59%, 进一步证实双能量 CT 不仅可实现痛风的定性诊断, 还能通过结晶负荷、骨质破坏程度直观反映疾病进展阶段, 为临床分期提供客观量化的影像学指标。

本研究中双能量 CT 的敏感度处于文献报道的较高水平, 这可能与以下因素相关: 其一, 纳入病例中中晚期痛风患者占比相对较高, 该阶段患者关节内尿酸盐结晶负荷大、分布广泛, 更易被 DECT 识别; 其二, 本研究采用了优化的扫描参数与标准化的后处理流程, 结合专用的痛风分析软件对结晶进行精准标记, 有效减少了结晶漏判的可能。但本研究中 DECT 的特异度为 61.54%, 略低于部分文献报道的 78.6%~92.31% 水平[11] [12], 分析其可能原因包括: ① 早期痛风患者关节内尿酸盐结晶体积微小, 部分结晶与周围滑膜增生、软组织水肿的衰减系数差异较小, DECT 易将软组织硬化伪影或关节钙化灶误判为尿酸盐结晶, 导致假阳性结果; ② 纳入的无症状高尿酸血症患者中, 部分已存在亚临床尿酸盐沉积, 这类患者尚未达到临床痛风的诊断标准, 但 DECT 可识别出微量结晶, 进而导致金标准判定为阴性的患者中出现 DECT 阳性结果, 间接降低了特异度; ③ 部分患者关节内存在焦磷酸钙沉积等其他类型的晶体, 这类晶体的衰减特性与尿酸盐结晶存在部分重叠, 可能被 DECT 误识别为尿酸盐结晶, 进一步影响特异度。

与传统影像学检查相比, 双能量 CT 还具备无创、适用范围广、成像直观等优势, 无需进行关节穿刺等有创操作, 适用于各类疑似痛风患者的筛查与诊断, 对于无症状高尿酸血症患者的早期筛查及定期复查具有良好效能[10]; 其多方位重建图像可清晰呈现结晶与周围组织的解剖关系, 便于临床医生与患者的沟通, 提高患者对病情的认知与治疗的依从性。

本研究仍存在一定局限性: ① 本研究为单中心回顾性研究, 样本量有限, 且纳入病例中中晚期痛风患者占比偏高, 可能存在选择偏倚; ② 未对患者进行长期随访, 无法评估 DECT 结晶负荷与患者治疗反应、疾病预后的相关性; ③ 本研究未纳入焦磷酸钙沉积病等晶体性关节炎的对照病例, 无法全面评估 DECT 对不同类型关节晶体的鉴别诊断价值。未来需深入研究方面: ① 开展 DECT 结晶定量分析与临床指标、治疗反应的相关性研究, 构建基于影像学的痛风病情评估与疗效预测模型; ② 扩大样本量, 纳入不同病程、不同合并症的患者, 进一步验证 DECT 在痛风早期诊断、病情分期中的应用价值; ③ 优化后处理技术以区分钙化等伪影与尿酸盐病灶。

5. 结论

本研究证实, 双能量 CT 对痛风的诊断具有较高的敏感度, 可精准识别关节内尿酸盐结晶, 尤其对中

晚期痛风的诊断价值显著,同时可检出无症状高尿酸血症期的微量尿酸盐沉积,且随疾病病程进展,尿酸盐结晶沉积及骨质破坏检出率呈逐步升高趋势。双能量 CT 可检出痛风亚临床及各病程阶段的病变特征,可为痛风早期筛查、病情评估及临床分层管理提供可靠影像学依据,可帮助临床提高痛风的诊断和疗效。此外,双能量 CT 具有无创、成像精准、辐射剂量低的优势,患者接受度高,可作为痛风临床筛查与诊断的优选影像学手段,具备重要的临床推广应用价值。

伦理声明

本研究获得大理大学第一附属医院医学伦理委员会批准(审批号:DFY20240909002)。

基金项目

云南省地方高校基础研究联合专项(202101BA070001-128)、大理市 2024 年科技计划项目(2024KBG055)、大理大学 2024 年大学生创新训练计划项目(S202410679108)。

参考文献

- [1] 贺雅萌,王镁.国内外最新痛风诊疗指南的解读和比较[J].风湿病与关节炎,2022,11(8):53-57+62.
- [2] 姜泉,韩曼,唐晓娟,等.痛风和高尿酸血症病证结合诊疗指南[J].中医杂志,2021,62(14):1276-1288.
- [3] 中华预防医学会风湿病预防专业委员会,朱小霞,段利华,等.痛风抗炎治疗指南(2025版)[J].中国预防医学杂志,2025,26(11):1302-1328.
- [4] 李笑石,秦越.影像学技术在痛风诊断及疾病监测中的应用研究进展[J].诊断学理论与实践,2023,22(3):311-318.
- [5] Thom, C., Pozner, J., Kongkatong, M. and Moak, J. (2021) Ultrasound-Guided Talonavicular Arthrocentesis. *The Journal of Emergency Medicine*, **60**, 633-636. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2020.12.019>
- [6] Neogi, T., Jansen, T.L.T.A., Dalbeth, N., Fransen, J., Schumacher, H.R., Berendsen, D., et al. (2015) 2015 Gout Classification Criteria: An American College of Rheumatology/European League against Rheumatism Collaborative Initiative. *Annals of the Rheumatic Diseases*, **74**, 1789-1798. <https://doi.org/10.1136/annrheumdis-2015-208237>
- [7] 吴东海,壹图.痛风的治疗[J].中老年保健,2021(8):4-6.
- [8] 张汀,王丁一,魏晓伟,等.痛风不同临床分期的肌骨超声特征及应用价值[J].中国超声医学杂志,2025,41(4):462-465.
- [9] 冯艳,杨奕,陆方林,等.256排双源CT对痛风性关节炎的诊断效能及与其他影像学检查的对比[J].西部医学,2021,33(8):1234-1238.
- [10] 庞华卿,龙林俊,黄海澄,等.双能CT在痛风临床病程中的诊断价值[J].中国临床新医学,2021,14(11):1087-1091.
- [11] 黄万建,彭光明,李瑾,等.双能量CT在无症状高尿酸血症患者筛查尿酸盐沉积中的诊断价值[J].影像研究与医学应用,2025,9(23):150-152+155.
- [12] 王阳阳,潘元飞.双源CT双能量成像在痛风性关节炎诊断中的价值[J].影像研究与医学应用,2024,8(13):149-151.