

doi:10.3969/j.issn.1005-3697.2024.03.015

❖ 临床研究 ❖

能谱 CT 检测下肢关节周围尿酸盐结晶沉积的应用研究

许志强¹, 朱建伟²

(内江市中医医院, 1. 放射科; 2. 外一科, 四川 内江 641000)

【摘要】目的: 探讨应用能谱 CT 成像技术检测下肢关节周围尿酸盐 (MSU) 结晶沉积的临床价值。**方法:** 选取 90 例拟诊断为痛风性关节炎 (GA) 的患者作为研究对象, 均接受下肢节能谱 CT 成像技术及常规实验室检查, 以后者检查结果为准, 分析能谱 CT 成像技术对 GA 的诊断价值。**结果:** 应用能谱 CT 成像技术检查, 有 77 例见 MSU 结晶沉积, 其与常规实验室检查的一致性较强 ($Kappa = 0.732$)。77 例 GA 患者中检查出膝关节 44 例 (218 处 MSU 结晶沉积区), 足踝关节 48 例 (162 处 MSU 结晶沉积区)。77 例 GA 患者重度 MSU 沉积组 ($n = 11$)、中度 MSU 沉积组 ($n = 36$)、轻度 MSU 沉积组 ($n = 30$) 间的 MSU 结晶数积分和临床症状积分均有统计学差异 ($P < 0.05$), 均表现为重度 MSU 沉积组 $>$ 中度 MSU 沉积组 $>$ 轻度 MSU 沉积组 ($P < 0.05$)。Pearson 分析显示, GA 患者 MSU 结晶计数与临床症状正相关 ($r = 0.739, P < 0.05$)。**结论:** 能谱 CT 成像技术对下肢关节周围 MSU 结晶沉积有较高显示率, 在 GA 早期诊断中具有重要价值。

【关键词】 尿酸盐结晶; 痛风性关节炎; 能谱 CT 成像; 痛风石; 膝关节; 足踝关节; 诊断价值

【中图分类号】 R684.3; R589.7 **【文献标志码】** A

Application of energy spectrum CT in detecting urate crystal deposition around lower limb joints

XU Zhi-qiang¹, ZHU Jian-wei²

(1. Department of Radiology; 2. Department of Surgery I, Neijiang Hospital of Traditional Chinese Medicine, Neijiang 641000, Sichuan, China)

【Abstract】Objective: To explore the clinical value of applying energy spectrum CT imaging technology on detecting monosodium urate (MSU) crystal deposition around lower limb joints. **Methods:** 90 patients who were diagnosed with possible gouty arthritis (GA) received energy spectrum CT imaging technology of lower limb joints and conventional laboratory examination. The diagnostic value of energy spectrum CT imaging technology on conventional laboratory examination was analyzed based on the results of the latter examination. **Results:** There were 77 cases of MSU crystal deposition by energy spectrum CT imaging, and the consistency with conventional laboratory examination was strong ($Kappa = 0.732$). Among the 77 patients with GA, 44 cases of knee joints (218 MSU crystal deposition areas) and 48 cases of ankle joints (162 MSU crystal deposition areas) were detected. There were significant differences in score of MSU crystal count and score of clinical symptom among 77 GA patients of severe MSU deposition group ($n = 11$), moderate MSU deposition group ($n = 36$) and mild MSU deposition group ($n = 30$) ($P < 0.05$), which were manifested as severe MSU deposition group $>$ moderate MSU deposition group $>$ mild MSU deposition group ($P < 0.05$). Pearson analysis showed that the MSU crystal count in patients with GA was positively correlated with clinical symptom ($r = 0.739, P < 0.05$). **Conclusion:** Energy spectrum CT imaging technology has a high display rate of MSU crystal deposition around the lower limb joints, and it is of great value in the early diagnosis of GA.

【Key words】 Monosodium urate crystal; Gouty arthritis; Energy spectrum CT imaging; Gout stone; Knee joint; Ankle joint; Diagnostic value

痛风性关节炎 (gouty arthritis, GA) 指人体骨关节组织因单钠尿酸盐 (monosodium urate, MSU) 晶体长期沉积导致局部或全身多处骨关节及其周围软组织出现炎性病症, 是最常见的风湿性疾病之一, 可引

发多种严重并发症^[1-2]。以往临床诊断 GA 的金标准为通过偏振光显微镜从穿刺抽吸到的受累关节滑液中找到特征性的 MSU 结晶, 虽能有效诊断 GA, 但这种检查方法属于侵入性、有创性操作, 存在出血、

感染等风险,且对部分不典型病例如穿刺部位难以到达或滑液结晶数量少等的确诊存在困难^[3]。随着影像学技术的不断发展,能谱 CT 成像的临床应用日益受到重视,为非侵入性诊断早期 GA 提供了独特能力,但不同技术的能谱 CT 成像用于诊断 GA 存在较大差异^[4]。因此,本研究旨在探讨在 GA 诊断中应用能谱 CT 成像技术检测下肢关节周围 MSU 结晶沉积的价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2020 年 2 月至 2023 年 2 月内江市中医医院收治的 90 例拟诊断为 GA 的患者作为研究对象。纳入标准:(1)有急性痛风发作史;正常饮食状态下,均为高尿酸血症,即两次(非同日)空腹血尿酸水平男性 $>420 \mu\text{mol/L}$,女性 $>360 \mu\text{mol/L}$ ^[5];(2)年龄 >18 岁;(3)入院后均接受下肢关节能谱 CT 成像技术及常规实验室(痛风石穿刺活检、关节液、X 射线、核磁共振、常规 CT 等)检查,且相关临床资料完整;(4)已签署知情同意书。排除标准:(1)发病时间 ≥ 7 d;(2)因淋巴增生性疾病、肾功能不全、铅中毒、骨髓增生性疾病、肿瘤等导致的继发性痛风;(3)关节炎晚期重度畸形者;(4)心肺肝肾等功能严重不全不宜进行检测者。其中,男性 76 例,女性 14 例;年龄 (56.06 ± 10.82) 岁;病程 5 ~ 13 年,平均 (8.76 ± 1.69) 年;血尿酸 $(474.34 \pm 89.34) \mu\text{mol/L}$; 体质量指数(BMI)为 $(25.44 \pm 1.68) \text{kg/m}^2$;超重或肥胖者 73 例;高脂血症 47 例;有痛风家族史者 30 例。

1.2 方法

1.2.1 检查方法 患者取仰卧位,使用 GE 公司宝石能谱 CT (Discovery CT-750HD) 对患者下肢关节(包括双侧膝关节、踝关节及双足)进行扫描,诸关节扫描参数:管电流 600 mA;管电压 80 kV、140 kV, 0.5 ms 瞬时切换;球管转速 0.8 s/圈;探测器宽度 $64 \times 0.625 \text{mm}$;螺距 0.984:1;扫描层厚 5 mm,层间距 5 mm;重建层厚 0.625 mm,层间距 0.5 mm。

1.2.2 图像后处理及分析 扫描完成后将扫描图像传输至工作站,图像分析使用 GSI Volume Viewer 软件,生成有无 MSU 结晶沉积的容积再现图和伪彩图,并以软组织为基准,设置检测阈值和限比率区分开 MSU 结晶区和骨皮质、骨松质,同时结合获取的重建容积再现图和伪彩图全方位观察 MSU 结晶形态、部位等。所有能谱 CT 扫描图像均由两位高资历影像科医师采用双盲法独立分析诊断,意见不一致时经科室讨论进行判定,以两位一致结果为最终结论。

1.3 观察指标

(1)诊断准确性:以常规实验室(痛风石穿刺活检、关节液、X 射线、核磁共振、常规 CT 等)检查结果为准,参照 GA 诊断标准^[6],分析能谱 CT 成像技术诊断 GA 的准确性。(2)MSU 结晶沉积分布:依据能谱 CT 成像得到的影像学图像,统计并记录下肢关节 MSU 沉积分布情况。(3)量化患者 MSU 结晶数和临床症状,其中 MSU 结晶数量化方式为沉积于一个关节计 1 分,累计积分,按积分高低分为轻度(积分为 1 ~ 5 分)、中度(积分为 6 ~ 10 分)和重度(积分 >10 分)MSU 沉积^[7]。临床症状量化中,针对出现的主要症状(关节疼痛、肿胀、关节发凉、活动障碍、关节发麻)计 2 分;次要症状(如肢体沉重、关节发热、晨僵、畏寒等)计 1 分;症状累及单侧第一跖趾或拇指关节加 1 分;累计双侧加 2 分,累计多个关节加 3 分^[8]。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 21.0 统计学软件进行数据分析。计数资料以 $[n(\%)]$ 表示,组间比较行独立样本 χ^2 检验;计量资料先进行正态分布检验,数据均符合正态分布,以 $(\bar{x} \pm s)$ 形式表示,组间比较行独立样本 t 检验,多组间行单因素方差分析,两两比较用 SNK- q 检验;相关性分析采用 Pearson 相关检验;采用 Kappa 检验分析能谱 CT 成像技术检测与痛风石穿刺活检或关节液检查结果的一致性。分为一致性差 ($Kappa \leq 0.19$)、一致性一般 ($Kappa$ 值为 $0.20 \sim 0.39$)、一致性中等 ($Kappa$ 值为 $0.40 \sim 0.59$)、一致性较强 ($Kappa$ 值为 $0.60 \sim 0.79$)、一致性强 ($Kappa \geq 0.80$)。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 能谱 CT 成像技术诊断 GA 的价值分析

经痛风石穿刺活检或关节液或常规影像学检查结果证实,90 例患者中有 82 例可见 MSU 结晶沉积确诊为 GA,8 例未发现 MSU 结晶;应用能谱 CT 成像技术有 77 例可见 MSU 结晶沉积,漏诊 5 例,另有 8 例未发现 MSU 结晶;能谱 CT 成像技术诊断 GA 的灵敏度、特异度及准确率分别为 93.90%、100%、94.44%;Kappa 检验显示,能谱 CT 成像技术对 GA 诊断的一致性较强 ($Kappa = 0.732$)。

2.2 膝关节 MSU 结晶沉积分布

77 例 GA 患者中检查出膝关节结晶沉积 44 例,共发现 218 处 MSU 结晶沉积区,以外侧副韧带 (17.89%)、交叉韧带 (17.43%)、内侧副韧带 (13.30%)、髌韧带 (11.47%) 及肌腱 (17.43%) 为主要分布区。见表 1。

表 1 膝关节 MSU 结晶沉积分布 [n(%)]

沉积区	结晶数
外侧副韧带	39(17.89)
交叉韧带	38(17.43)
内侧副韧带	29(13.30)
髌韧带	25(11.47)
关节腔内	17(7.80)
关节软骨	12(5.50)
髌上囊	12(5.50)
半月板	8(3.67)
股四头肌肌腱	12(5.50)
其余肌腱	26(11.93)
合计	218(100.00)

2.3 双足踝关节 MSU 结晶沉积分布

77 例 GA 患者中检查出足踝关节结晶沉积 48 例,共发现 162 处 MSU 结晶沉积区,以第一跖趾关节(25.93%)、踝关节(16.67%)、其余跖趾关节(12.96%)、软组织(9.26%)及肌腱(9.25%)为主要分布区。见表 2。

表 2 足踝关节 MSU 结晶沉积分布 [n(%)]

沉积区	结晶数
第一跖趾关节	42(25.93)
踝关节	27(16.67)
其余跖趾关节	21(12.96)
软组织	15(9.26)
关节腔内	10(6.17)
腓骨下段	9(5.56)
距骨	8(4.94)
胫骨下段	8(4.94)
跟骨	7(4.32)
跟腱	2(1.23)
其余肌腱	13(8.02)
合计	162(100.00)

2.4 GA 患者 MSU 结晶数与临床症状的关系

77 例 GA 患者中轻度 MSU 沉积 30 例;中度 MSU 沉积 36 例;重度 MSU 沉积 11 例。MSU 结晶数积分和临床症状积分均表现为重度 MSU 沉积组 > 中度 MSU 沉积组 > 轻度 MSU 沉积组 ($P < 0.05$)。且 Pearson 分析显示,GA 患者 MSU 结晶计数与临床症状正相关 ($r = 0.739, P < 0.05$)。见表 3。

表 3 各组患者 MSU 沉积部位计数与临床症状比较 ($\bar{x} \pm s$, 分)

组别	MSU 结晶数积分	临床症状积分
轻度 MSU 沉积组 ($n = 30$)	2.62 ± 0.54	5.23 ± 1.07
中度 MSU 沉积组 ($n = 36$)	7.35 ± 1.49*	8.16 ± 1.65*
重度 MSU 沉积组 ($n = 11$)	16.74 ± 3.38**	11.71 ± 2.36**
F 值	42.814	18.810
P 值	< 0.001	< 0.001

* $P < 0.05$,与轻度 MSU 沉积组比较;# $P < 0.05$,与中度 MSU 沉积组比较。

3 讨论

GA 初期临床表现不典型,多数患者仅血尿酸增高,无关节症状,而随着 MSU 不断沉积增多,病情逐渐加重,病变关节数、发作频率及持续时间均会随之增加,晚期不仅关节区疼痛加剧,还可引起关节破坏、功能障碍等不可逆损害,严重影响患者日常生活和工作^[9]。加之受快餐饮食、肥胖、代谢综合征、缺乏锻炼等因素影响,该病发病率逐年上升^[10]。因此,早期发现 GA 并及时诊断治疗对延缓疾病进展改善患者预后具有重要意义。

以往对 GA 的诊断除关节滑膜液检查外,多采用 X 射线、磁共振成像、常规 CT 等方法,但都有一定的局限性^[11-13]。为此,本研究采用能谱 CT 成像技术检测下肢关节周围 MSU 结晶沉积,结果显示,相比经痛风石穿刺活检或关节液或常规影像学检查,能谱 CT 成像技术诊断 GA 的灵敏度、特异度及准确率分别为 93.90%、100%、94.44%,且诊断一致性较强,提示能谱 CT 成像技术用于诊断 GA 具有较高价值,与余锡煌等^[14]研究结论一致。分析其可能原因,CT 成像的原理是不同组织对 X 线的衰减能力不同,即组织对不同能量谱的 X 线具有特征性吸收曲线,而不同能量级 X 线穿透同一种组织时其衰减系数也存在差异,因此,需同时在两个不同能级上成像才能对组织进行区分鉴别^[15]。本研究采用宝石能谱 CT 对患者下肢关节进行扫描,管电压为 80 kV、140 kV,切换时间是 0.5 ms,可做到瞬时切换两种能量同步进行扫描,产生双能数据,获得多个有用参数,如基物质图像、能谱曲线、有效原子序数等,为定性诊断提供依据;该技术将两种已知物质密度的基物质进行配对,形成可以产生相同衰减的组合物质,当组合物质与被检测物体内的组成成分相似时,可获得能够反映该物质内相应成分含量的物质密度图像^[16]。因痛风受累关节主要由痛风石及其周围骨性关节炎面组成,故本研究以尿酸/钙作为配对基物质图像,既能在尿酸基图像上检测是否有 MSU 结晶存在,又能通过钙基图像评估周围关节骨质的破坏程度,从而提高 GA 早期整体诊断准确性^[17]。

柴岚等^[18]研究显示,较好显示 GA 患者 MSU 分布范围与数量,利于制定最佳治疗方案和治疗时机,从而最大程度改善患者预后。本研究发现,膝关节 MSU 结晶沉积主要分布于韧带和肌腱,足踝关节中 MSU 结晶最易沉积于第一跖趾关节,其次为踝关节、软组织和肌腱,且 Pearson 分析显示,GA 患者 MSU 结晶计数与临床症状呈正相关,可为 GA 临床诊疗提供更多依据,与张艳等^[19]研究结论有较高一

致性。考虑与能谱 CT 成像技术的影像学显影特点有关,该技术可以广角度、多方位观察 MSU 结晶沉积区,并以高亮绿色显示 MSU 结晶以区分关节周围组织,同时还能自主调节视窗大小,有助于发现极微量沉积的 MSU 结晶,一定程度上缩小了由于晶体沉积量不足导致的视觉局限性及盲区,利于探究下肢关节周围 MSU 结晶沉积规律,以帮助对非典型或复杂型 GA 进行更准确的病情评估^[20]。

综上,能谱 CT 成像技术对下肢关节周围 MSU 结晶沉积有较高显示率,在 GA 早期诊断中具有重要价值。

参考文献

[1] Liu YF, Xing GL, Chen Z, *et al.* Long non-coding RNA HOTAIR knockdown alleviates gouty arthritis through miR-20b upregulation and NLRP3 downregulation [J]. *Cell Cycle (Georgetown, Tex)*, 2021, 20(3): 332 - 344.

[2] 冯硕. 关节周围尿酸盐沉积能谱 CT 在痛风诊断中的价值研究 [D]. 青岛: 青岛大学, 2017.

[3] 杨婷, 张晓朦, 张冰, 等. 国内外痛风性关节炎的研究现状——基于 CiteSpace 软件的可视化分析 [J]. *中国实验方剂学杂志*, 2020, 26(20): 169 - 177.

[4] Zhu J, Li A, Jia E, *et al.* Monosodium urate crystal deposition associated with the progress of radiographic grade at the sacroiliac joint in axial SpA: a dual-energy CT study [J]. *Arthritis Research & Therapy*, 2017, 19(1): 83.

[5] Wallace SL, Robinson H, Masi AT, *et al.* Preliminary criteria for the classification of the acute arthritis of primary gout [J]. *Arthritis and Rheumatism*, 1977, 20(3): 895 - 900.

[6] Neogi T, Th A, Jansen TL, Dalbeth N, *et al.* 2015 Gout classification criteria: an American College of Rheumatology/European League Against Rheumatism collaborative initiative [J]. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 2015, 74(10): 1789 - 1798.

[7] 赵荻, 张玮婧, 魏淑萍, 等. 老年不同时期痛风性关节炎超声半定量评分与临床表现的相关性分析 [J]. *老年医学与保健*, 2021, 27(2): 330 - 332, 342.

[8] 国家中医药管理局. 中药新药临床研究指导原则 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2005: 119.

[9] Li X, Liu Y, Luo C, *et al.* Z1456467176 alleviates gouty arthritis by allosterically modulating P2X7R to inhibit NLRP3 inflammasome activation [J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2022, 13: 979939.

[10] Chen L, Luo Z, Wang M, *et al.* The efficacy and mechanism of Chinese herbal medicines in lowering serum uric acid levels: a systematic review [J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2021, 11: 578318.

[11] Kupfer S, Winklhofer S, Becker AS, *et al.* Gouty arthritis: can we avoid unnecessary dual-energy CT examinations using prior radiographs? [J]. *PLoS One*, 2018, 13(7): e0200473.

[12] Yang Y, Guo Y, Yu S, *et al.* Computed tomography and magnetic resonance imaging findings in gouty arthritis involving large joints of the upper extremities [J]. *BMC Medical Imaging*, 2022, 22(1): 167.

[13] 刘丹. 痛风性关节炎患者超声特征及与 CT、MRI 的对比分析 [J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2020, 18(11): 150 - 152.

[14] 余锡煌, 杜立新, 陈仲平, 等. 双能 CT 成像技术在痛风性关节炎早期诊断中的应用价值 [J]. *医学影像学杂志*, 2019, 29(1): 124 - 126, 155.

[15] Klauser AS, Halpern EJ, Strobl S, *et al.* Dual-energy computed tomography detection of cardiovascular monosodium urate deposits in patients with gout [J]. *JAMA Cardiology*, 2019, 4(10): 1019 - 1028.

[16] 田璐, 黄红云, 范杰. 双能 CT 螺距和迭代重建权重对单能衰减和有效原子序数的影响: 体模研究 [J]. *中国医学影像技术*, 2023, 39(1): 99 - 103.

[17] Schwabl C, Taljanovic M, Widmann G, *et al.* Ultrasonography and dual-energy computed tomography: impact for the detection of gouty deposits [J]. *Ultrasonography (Seoul, Korea)*, 2021, 40(2): 197 - 206.

[18] 柴岚, 徐森胤, 袁放, 等. 肌骨超声与能谱 CT 对急性痛风性关节炎首次发作尿酸盐结晶沉积的检测价值 [J]. *新医学*, 2022, 53(10): 727 - 732.

[19] 张艳, 贺振东, 袁慧书. 双能 CT 足踝部尿酸盐结晶解剖部位沉积特点与痛风病程相关性研究 [J]. *中国医学计算机成像杂志*, 2022, 28(4): 407 - 412.

[20] Singh JA, Budzik JF, Becce F, *et al.* Comment on: dual-energy computed tomography versus ultrasound, alone or combined, for the diagnosis of gout: a prospective study of accuracy: reply [J]. *Rheumatology (Oxford, England)*, 2021, 60(10): e372 - e374.

(收稿日期: 2023 - 09 - 28

修回日期: 2023 - 11 - 27)