

论 著

双源CT双能量成像对痛风性关节炎的临床诊断价值*

陈宗桂 魏宁宁 唐琦
李舟帆 董晓军*

湖南医药学院(湖南怀化418000)

【摘要】目的 探讨双源CT双能量成像技术对痛风性关节炎的临床诊断价值。**方法** 对122例关节炎患者的影像学数据和临床数据进行回顾性分析。比较血尿酸水平、常规CT影像检查和双源CT影像检查对痛风性关节炎患者的检出情况。**结果** 双源CT双能量成像检测痛风性关节炎患者尿酸盐结晶的特异性、灵敏度、假阳/阴性率、阳/阴性预测值和诊断符合率分别为85.71%、87.04%、14.29%和12.96%、97.92%和46.15%、86.89%，ROC曲线下面积是0.895。血尿酸正常患者尿酸盐结晶检出率低于高尿酸患者，二者差异无统计学意义($P>0.05$)。常规CT影像检查对关节积液和尿酸盐结晶不敏感，痛风患者检出率低于双源CT双能量成像。**结论** 双源CT双能量成像技术在痛风性关节炎的临床诊断中具有较高的准确性和敏感性，相比于血尿酸水平和常规CT影像检查，其独特的能量成像能有效检测痛风性关节炎患者的尿酸盐结晶，为早期诊断和治疗提供可靠的影像学支持。

【关键词】 双源CT；尿酸盐沉积；特异性；敏感度；痛风性关节炎

【中图分类号】 R589.7

【文献标识码】 A

【基金项目】 湖南省自然科学基金青年项目(2021JJ40385)；
湖南省教育厅一般项目(22C1183)；
2022年湖南省青年骨干教师专项经费的资助(湘教通〔2022〕287号)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.01.057

Clinical Diagnostic Value of Dual-Source CT Dual-energy Imaging in Gouty Arthritis*

CHEN Zong-gui, WEI Ning-ning, TANG Qi, LI Zhou-fan, DONG Xiao-jun*.
Hunan University of Medicine, Huaihua 418000, Hunan Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the clinical diagnostic value of dual-source CT dual-energy imaging for gouty arthritis. **Methods** Imaging and clinical data of 122 patients with gouty arthritis were retrospectively analyzed. Blood uric acid level, conventional CT imaging and dual-source CT imaging were compared for the detection of gouty patients. **Results** The specificity, sensitivity, false positive/negative rate, diagnostic compliance rate, and positive/negative predictive value of urate crystals in patients with gouty joints analyzed by dual-source CT dual-energy gout post-processing software were 85.71%, 87.04%, 14.29%, and 12.96%, 97.92%, 46.15%, and 86.89%, respectively, and the ROC area under the curve was 0.895. Patients with normal blood uric acid had a higher urate Salt crystals were detected less frequently than in patients with high blood uric acid, and the difference was not statistically significant ($P>0.05$). Conventional CT imaging was not sensitive to joint effusion and urate crystals, and the detection efficiency was lower than that of dual-source CT dual-energy imaging. **Conclusion** Dual-source CT single-energy imaging has high accuracy and sensitivity in the clinical diagnosis of gouty arthritis, and compared with blood uric acid level and conventional CT imaging, its unique energy imaging characteristics make it effective in detecting urate crystals in patients with gouty joints, which provides reliable imaging support for early diagnosis and treatment.

Keywords: Dual Source CT; Urate Deposition; Specificity; Sensitivity; Gouty Arthritis

痛风性关节炎是一种由尿酸代谢紊乱引起的慢性关节炎^[1-2]，其在全球范围内的患病率逐年增加，成为影响人类健康的重要疾病之一^[3]。尽管传统的医学影像学在痛风性关节炎的诊断中发挥了关键作用，但在对病变的准确性和特异性方面仍存在一定的限制。近年来，随着医学影像技术的不断发展，双源CT双能量成像作为一种新型医学影像技术在临床诊断中得到广泛关注。双源CT双能量成像是一种基于不同能量的X射线对组织进行成像的技术，通过获取不同能量的图像，能够更清晰地显示组织的微小差异。在痛风性关节炎的临床诊断中，尤其是对尿酸结晶的定位和鉴别，传统的影像学技术存在一定的局限性，因为尿酸与周围组织的密度相近，不易被传统CT成像准确鉴别。而双源CT双能量成像具有较高的分辨率和对软组织显像的特异性，使其在痛风性关节炎的诊断中具有独特的优势。此外，双源CT双能量成像还能够提供更丰富信息，包括炎症程度、关节周围软组织的受累情况和尿酸盐结晶的含量等，这对于制定个体化的治疗方案具有重要的指导意义^[4-8]。通过对尿酸盐结晶标记和测得其含量，医生可以更准确地定位和评估病变，为患者提供更精准的治疗方案。然而，尽管双源CT双能量成像在痛风性关节炎的临床诊断中表现出潜在的优势，但其在临床实践中的应用仍然较新，尚需进一步的研究和验证。因此，本研究旨在探讨双源CT双能量成像在痛风性关节炎临床诊断中的准确性和可行性，为其在临床实践中的应用提供更为充分的科学依据。通过深入分析双源CT双能量成像在痛风性关节炎诊断中的临床价值，以提高病变检出率、减少漏诊率以及改善治疗效果提供新的方法和思路。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集2023年1月至2023年12月来我院就医的关节炎患者122例。其中，男性患者为94例，女性为28例。这些患者的年龄范围从18岁到85岁，平均年龄为(45.8±23.5)岁。血尿酸水平在182.4~902.5μmol/L之间，平均血尿酸为423±287μmol/L。

本研究纳入研究的标准包括：接受DSCT检查，确保临床数据和影像学数据完整；患者表现为不同程度的关节疼痛。排除标准：依从性较差的患者；继发于铅中毒、肾功能衰竭，以及血液病等的痛风患者；无法配合医生采集病史和体格检查的严重精神病患者；伴有其他疾病或严重症状的患者。

1.2 检查方法 所有患者均通过西门子Force双源CT扫描仪进行影像检查。患者取仰卧位，依次扫描足部、膝关节、肘关节，以及腕关节。在扫描足、踝部时，要踮屈双足，从踝关节上方5cm处开始扫描，远端扫描包括足趾甲。然后让患者仰卧，扫描依次为患者的膝关节、肘关节、双腕以及双手。对手部和腕部进行扫描时，需向前屈曲肩膀，两手掌心朝上，前臂和手腕抬起，扫描从距桡腕关节2cm处开始。为了获得更为精确的定位影像，扫描范围要尽量对准感兴趣区。双源CT双能量成像的扫描参数为A、B球管的管电压各为140kV和80 kV，管电流根据曝光剂量实时动态调节，范围是125 mAs至250 mAs。扫描野为250mm×250mm，旋转时间为0.5s/转，螺距为0.7，扫描层数和扫描层厚为64×0.8mm，重建层厚0.55mm、卷积值B20s，A和B两组图像的融合系数为0.3。在结束扫描之后，通过Dual-energy GOUT软件处理分析，斜率设为1.25，软

*第一作者：陈宗桂，男，主管技师，主要研究方向：双源CT双能量成像技术对痛风性关节炎的应用研究。E-mail: zonggui1129@163.com

通讯作者：董晓军，男，主治医师，主要研究方向：CT图像金属伪影的抑制和三维重建。E-mail: 365407126@qq.com

件自动标记尿酸盐沉积区，并计算扫描范围内尿酸盐结晶体积之和，生成彩色标记图。通过图像后处理获得了尿酸盐晶体的多平面重建(MPR)伪彩图像及容积再现(VR)的尿酸盐结晶伪彩图，其中MPR和VR图像中的绿色部分表示尿酸盐结晶。

1.3 观察指标 评价双源CT双能量诊断效果：①对双源CT双能量成像检查技术的特异性、敏感性、准确性、假阳/阴性率以及阳/阴性预测值等展开分析。特异性=真阴数/(真阴数+假阳数)×100%，特异性可以有效区分该病与其他关节病变，提高准确性，也为鉴别诊断提供更全面、可靠的影像学依据。敏感性=真阳数/(真阳数+假阴数)×100%，敏感性可以反映双源CT双能量成像在检测早期痛风性关节炎的灵敏度，为早期诊断提供有力支持。假阳性率=假阳数/(真阴数+假阳数)×100%，假阳性率可以评估双源CT双能量成像对痛风性关节炎的临床诊断价值，突出该技术在排除非痛风性疾病时的特异性，以评估其在正确识别该病变方面的准确性。假阴性率=假阴数/(真阳数+假阴数)×100%，假阴性率可以评估双源CT双能量成像在痛风性关节炎病变检测中的敏感性，反映的是双源CT双能量成像对痛风关节的漏诊情况。阳性预测值=真阳数/(真阳数+假阳数)×100%，通过分析阳性预测值，可深入了解双源CT双能量成像在痛风性关节炎临床诊断中对阳性结果的预测准确性，尤其在确诊痛风性关节炎方面的可靠性。阴性预测值=假阴数/(真阴数+假阴数)×100%。通过分析阴性预测值，有助于评估该成像技术在排除痛风性关节炎时对阴性结果的预测性能，突出该技术识别非痛风性疾病方面的准确性。准确率=(真阳数+真阴数)/总例数×100%，②血尿酸升高与DSCT对痛风患者的检出情况对比。③DSCT与常规CT影像检查对痛风患者的检出情况对比。④痛风关节周围物质检出或改变情况。

1.4 统计学方法 在本研究中，采用SPSS 21.0软件对双源CT双能量成像在痛风性关节炎临床诊断中的应用情况进行统计分析。计数资料和计量资料分别以频数百分比(n%)和平均值±标准差($\bar{x} \pm s$)进行描述，以呈现样本特征和数据分布情况。为了探讨不同成像参数之间的差异，采用了卡方检验和独立样本t检验，分别对分类和连续变量进行比较。当检验结果P值<0.05时，则两组之间的差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 DSCT尿酸盐晶体检出情况 DSCT检测痛风性关节炎患者尿酸盐晶体的特异性、灵敏度、假阳/阴性率、阳/阴性预测值和诊断符合率分别为85.71%、87.04%、14.29%和12.96%、97.92%和46.15%、86.89%。对DSCT尿酸盐晶体检出情况行 χ^2 检验， $\chi^2=39.12$ ， $P<0.05$ ，说明该检查方法对于区别痛风性关节炎和非痛风性关节炎具有一定的差异性，二者具有统计学意义，见表1。

表1 DSCT 尿酸盐晶体检出率情况对比情况(例)

组别	结晶(+)	结晶(-)	合计
痛风性关节炎	94	14	108
非痛风性关节炎	2	12	14
总计	96	26	122

2.2 血尿酸升高患者和血尿酸正常患者的尿酸盐结晶检出对比 痛风多是因为体内尿酸过多导致。因此，患者体内的血尿酸水平是判断痛风性关节炎的重要指征之一。根据血尿酸水平检出痛风性关节炎患者行 χ^2 检验， $\chi^2=0.102$ ， $P=0.749>0.05$ ，表明两组数据不存在统计学差异，见表2。血尿酸水平检出痛风性关节炎患者的特异性、灵敏度、假阳/阴性率、阳/阴性预测值和诊断符合率分别为35.71%、68.52%、64.28%/31.48%、93.67%/11.63%和63.93%。通过表1和表2比较，说明了患者的血尿酸水平对痛风性关节炎患者的检出情况明显低于双源CT双能量成像技术。本研究中有79例高血尿酸患者，研究结果表明83.54%的患者(66例)检测出尿酸盐结晶。在43名血尿酸正常的患者中，69.76%的患者(30例)检测出尿酸盐结晶。与高血尿酸患者相比，血尿酸正常患者的尿酸盐结晶检出率略高。

表2 血尿酸升高及正常患者尿酸盐结晶检出情况对比(例)

尿酸	高尿酸	正常尿酸	合计
痛风性关节炎	74	34	108
非痛风性关节炎	9	5	14
总计	79	43	122

通过ROC曲线下面积(AUC)以量化评估双源CT在痛风性关节炎检测中的特异性。ROC曲线下面积越接近1，则说明该检查方法对于区分真正痛风病变与非痛风病变具有良好的鉴别能力。本研究中DSCT检查得到ROC曲线下面积是0.859，而血尿酸检查得到ROC曲线下面积是0.521。

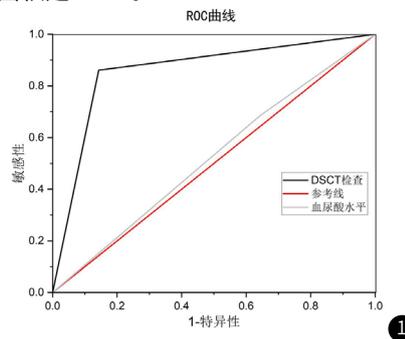


图1 DSCT检查和血尿酸检查的ROC曲线。

2.3 DSCT检查及CT影像检查对关节及关节周边物质的检出情况对比

对108例已经确诊痛风患者行常规CT和DSCT影像检查，对比分析两种影像检查情况，见表3。DSCT可清晰、准确地显示出患者的痛风结节、关节积液、软组织肿胀、骨质破坏、关节积液以及尿酸盐结晶，而且还能量化患者的尿酸盐结晶体积。相较于DSCT检查，常规CT影像检查也能检出痛风性关节炎患者，但是检测出的痛风患者人数明显要低于DSCT检查且无法定量检测关节中尿酸盐结晶的含量(χ^2 值分别为31.76、77.43、43.2、118.89、166.43， $P<0.005$)。虽然常规CT影像在晚期痛风患者中展现出较高的分辨率，清晰地显示了骨质破坏和痛风结节(见图2A、2B)。然而，在早期痛风患者中，常规CT影像检查的灵敏度相对较低，容易导致漏诊。在双源CT检查中，痛风关节中的尿酸盐结晶以绿色显示，提高了对早期痛风关节病变诊断的准确率(见图2C、2D)。这表明DSCT双能量成像对尿酸盐结晶具有更高的敏感性，在早期痛风的临床诊断中发挥重要作用。

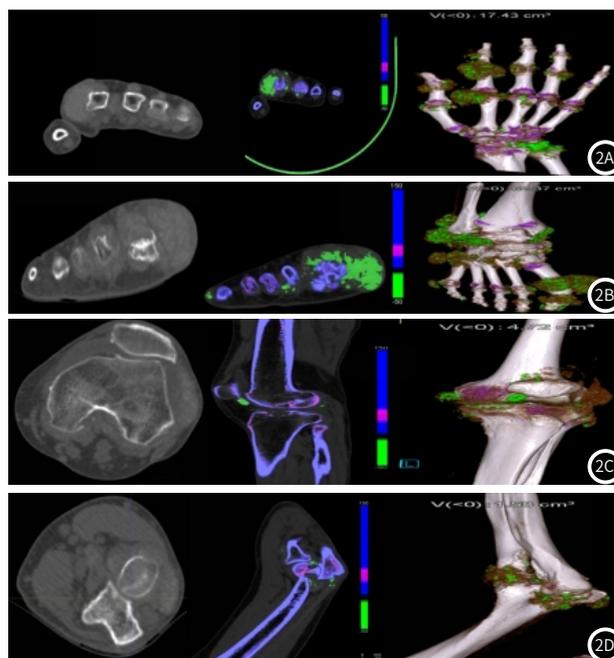


图2A-图2D 尿酸盐结晶的DSCT表现。图2A：手和腕关节的CT影像和双源CT影像检查结果。图2B：足和踝关节的CT影像和双源CT影像检查结果。图2C：膝关节的CT影像和双源CT影像检查结果。图2D：肘关节的CT影像和双源CT影像检查结果。

表3 DSCT和CT对关节及关节周边物质的检出情况对比(个)

检查方法	骨质破坏	痛风结节	软组织肿胀	关节积液	尿酸盐结晶
CT检查	48	51	72	11	0
双源CT检查	88	108	108	91	94
χ^2	31.76	77.43	43.2	118.89	166.43
P	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

2.4 DSCT检查检测不同关节尿酸盐沉积情况 对108位患者行DSCT扫描,结果显示尿酸盐结晶沉积在不同的关节部位。其中87例患者显示尿酸结晶主要分布在足踝关节,而45例患者显示尿酸盐结晶分布在膝关节。14例患者显示尿酸结晶分布在手和腕关节;6例患者显示尿酸结晶分布在肘关节。大部分尿酸盐沉积部位表现为软组织肿胀和痛风结节,部分关节部位出现了骨质破坏。在尿酸盐沉积部位中,足、踝关节尿酸盐沉积量最大可达86.37cm³,膝关节尿酸盐沉积量次之可达35.68cm³,其余关节尿酸盐沉积量最大可达17.39cm³,尿酸盐沉积部位与疼痛部位一致。

3 讨论

痛风是最常见的关节炎性疾病之一,主要特征是尿酸钠晶体的沉积,而其病理基础主要是由炎症小体的过度激活、嘌呤代谢紊乱以及高尿酸血症等构成^[9-11]。痛风的临床症状多表现为高尿酸血症、关节畸形、痛风石形成、痛风性肾病、慢性关节炎以及反复急性关节炎等。近几年,由于我国经济发展迅猛,广大民众的生活方式和饮食习惯都发生了巨大的改变,痛风患者的人数也在大幅度增加。另外,痛风患者多伴有体内代谢异常,比较容易合并代谢综合征、高血压、肥胖以及高脂血症等疾病,从而导致患者出现心血管疾病的风险,如:深静脉血栓、冠心病、肺栓塞,以及心力衰竭等^[12-15]。患者的生活质量也会随着病情的恶化而大幅度下降。所以,早诊断和干预痛风的治疗非常重要,这样能最大程度降低患者出现关节功能障碍的风险,还能减少并发症的发生。

DSCT检测痛风性关节炎患者尿酸盐晶体的特异性、灵敏度、假阳/阴性率、阳/阴性预测值和诊断符合率分别为85.71%、87.04%、14.29%/12.96%、97.92%/46.15%和86.89%,见表1。这说明了双源CT双能量成像可有效检测到早期患者的尿酸结晶,有助于早期干预和治疗。高特异度说明双源CT双能量成像能及时确诊痛风患者和避免了对非痛风患者进行不必要治疗的风险。在痛风的诊断中,血尿酸水平的升高是一个重要的指标。血尿酸升高会增加痛风性关节炎及尿酸性结石的发生率。在本研究中,108例痛风患者中,74例患者血尿酸值高于正常范围,而34例血尿酸水平正常。通过双源CT检查发现血尿酸值高的患者里面不一度能检测尿酸盐结晶。而血尿酸正常的患者中反而检测到尿酸盐结晶,见表2。对血尿酸水平检测痛风患者采用卡方检验比较($P>0.05$),患者血尿酸水平对痛风患者的检测差异不具有统计学意义。这说明了血尿酸水平对痛风患者检测的特异性和敏感性不高,也就是说存在高尿酸的患者,并不一定会发展为痛风,痛风患者也不一定都是高尿酸水平。但是对血尿酸水平高的患者来说,有一定的预警作用。此外,双源CT双能量成像对痛风患者的ROC曲线下面积是0.895,而患者的血尿酸检查得到ROC曲线下面积是0.521,见图1。这进一步说明双源CT双能量成像对痛风患者检测具有更高的诊断准确性和可靠性。

在本研究中,通过比较双源CT双能量检查与常规CT影像检查对痛风患者的检测情况。对于早期痛风患者尿酸盐沉积少,且多分布于肉眼难以直接观察的区域或穿刺无法到达的部位。虽然尿酸盐晶体较小,但仍会引发痛风性关节炎,并破坏关节骨质,甚至直接造成骨折。虽然CT影像检查也能检测到痛风关节中骨质破坏、痛风结节、软组织肿胀和关节积液^[16-19],但是其特异性和敏感性明显低于双源CT。通过卡方检验两种检查方式对痛风患者的检测差异($P<0.05$),见表3。这进一步说明双源CT相对常规CT影像检查能够更准确地区分痛风患者和正常患者。在诊断亚临床痛风

和早期痛风病变,双源CT双能量检查具有显著优势。尽管超声、CT和MRI等影像学检查方法均可用于痛风的诊断。然而,对于深部关节或是受软组织遮挡的部位超声检查可能受限。常规CT影像检查能够清晰显示骨质破坏、痛风结节和软组织肿胀,为早期痛风患者的病情评估提供了依据,但对于关节滑液和尿酸盐结晶的敏感性相对较低,见表3。双源CT可以清晰地显示患者出现的痛风结节、骨质破坏和软组织肿胀等症状,特别是对于尿酸盐结晶的检测具有特异性。它不仅能够检测尿酸盐结晶的含量,还能清楚显示患者尿酸盐结晶的沉积情况,为诊断痛风性关节炎提供有效的影像学依据,而且还能评估治疗期间尿酸盐晶体沉积的变化。在本研究中,对108名患者进行观察发现,尿酸盐主要在足踝关节沉积,其中距趾关节沉积最多,其次为膝关节。相较之下,腕、肩和肘关节的沉积较为有限,这与国内相关文献报道一致^[20-21]。

总体而言,双源CT双能量成像作为一种安全、非侵入性的检查方法,不仅在痛风性关节炎的诊断上表现出显著的敏感性和特异性,同时能够直观呈现尿酸盐结晶的大小、位置以及骨质破坏情况。与常规CT影像检查相比,双源CT双能量成像技术在关节积液和尿酸盐结晶的敏感性方面表现更为出色,为临床提供了一种更准确的检查手段。

参考文献

- [1] Zhang WZ. Uric acid en route to gout[J]. *Adv Clin Chem*, 2023, 116: 209-275.
- [2] Copur S, Demiray A, Kanbay M. Uric acid in metabolic syndrome: does uric acid have a definitive role? [J]. *Eur J Intern Med*, 2022, 103: 4-12.
- [3] 方珈文, 冯天元, 周志衡, 等. 1990—2019年中国痛风疾病负担趋势及未来十年预测研究[J]. *中国全科医学*, 2024, 27(2): 245-252.
- [4] 李正兴, 温泽迎, 徐先岚, 等. 高尿酸血症患者关节双源CT影像价值[J]. *风湿病与关节炎*, 2021, 10(11): 35-38.
- [5] 刘悦, 张贺诚, 鲁春磊, 等. 痛风性关节炎X线和双源CT诊断价值比较分析[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2017, 15(10): 119-121.
- [6] Shang J, Li XH, Lu SQ, et al. Gout of feet and ankles in different disease durations: diagnostic value of single-source DECT and evaluation of urate deposition with a novel semi-quantitative DECT scoring system[J]. *Adv Rheumatol*, 2021, 61(1): 36-42.
- [7] Dössing A, Müller FC, Becce F, et al. Dual-energy computed tomography for detection and characterization of monosodium urate, calcium pyrophosphate, and hydroxyapatite: a phantom study on diagnostic performance[J]. *Invest Radiol*, 2021, 56(7): 417-424.
- [8] 胡尊英, 韩琳, 王鹤翔, 等. 双源CT与超声对痛风的诊断价值对比研究[J]. *放射学实践*, 2023, 38(2): 194-197.
- [9] 杜时雨, 郝晨晖, 官鑫, 等. 汤小虎教授治疗高尿酸血症的临床经验总结[J]. *风湿病与关节炎*, 2023, 12(10): 35-38.
- [10] 白雪, 邱洪斌, 王景涛, 等. 原发性痛风和高尿酸血症相关基因研究现状[J]. *海南医学院学报*, 2019, 25(16): 1275-1280.
- [11] Erna I, Amra L, Muhamed, et al. Comorbidity and gout: association between hyperuricemia and blood parameters as a predictor of gout[J]. *Journal of IMAB*, 26(2), 3092-3097.
- [12] 陈玥桥, 刘静, 於一凡, 等. 痛风患者合并高血压现状及其相关因素分析[J]. *现代预防医学*, 2022, 49(18): 3277-3282.
- [13] 王荣, 薛晓梅, 贺王伟. 痛风合并2型糖尿病危险因素分析[J]. *青岛大学学报(医学版)*, 2023, 59(5): 720-724.
- [14] 段瑞. 男性高尿酸血症和痛风患者代谢指标和外周血淋巴细胞水平的相关性研究[D]. 山西医科大学, 2022.
- [15] 张先恒, 刘健, 周琴, 等. 基于数据挖掘分析黄芩清热除痹胶囊对痛风合并高脂血症患者生化检测指标的影响[J]. *湖南中医药大学学报*, 2021, 41(9): 1389-1394.
- [16] 方培. 骨质疏松与恶性骨质破坏致椎体压缩性骨折的CT磁共振成像特点及鉴别诊断[J]. *实用医学影像杂志*, 2022, 23(1): 18-20.
- [17] 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.
- [18] Ma Y, Sang P, Chen B, et al. The role of prevertebral soft tissue swelling in dysphagia after anterior cervical corpectomy fusion: change trends and risk factors[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2023, 24(1): 720-726.
- [19] Florkow MC, Willemsen K, Zijlstra F, et al. MRI-based synthetic CT shows equivalence to conventional CT for the morphological assessment of the hip joint[J]. *J Orthop Res*, 2022, 40(4): 954-964.
- [20] 王士朋, 李春雷, 刘志伟. 急性痛风性关节炎512例发病情况调查[J]. *河北北方学院学报(自然科学版)*, 2020, 36(12): 32-34.
- [21] 朱聪聪, 杨青. 痛风性关节炎的影像学研究进展[J]. *中国医学影像学杂志*, 2020, 28(2): 156-160.

(收稿日期: 2024-01-16)

(校对编辑: 韩敏求)