

论 著

单源能谱CT对膝关节急性骨损伤中骨髓水肿的诊断价值*

李 微 耿进朝 回 瑾
王 丹 周 宇*
中国中医科学院望京医院放射科
(北京 100102)

【摘要】目的 探讨单源能谱CT(NECT)对膝关节急性骨损伤中骨髓水肿的诊断价值。方法 纳入2020年10月-2021年10月我院收治的105例膝关节急性骨损伤患者,行膝关节MRI和NECT扫描,获得MRI图像和虚拟去钙(VNCa)图。将每个膝关节划分为股骨下端(6个)和胫骨上端(6个)共12个区域,由2名放射科医师采用盲法对MRI和VNCa图像进行评估,测定常规CT和VNCa图中的CT值,绘制受试者工作特征(ROC曲线)评估VNCaCT值对膝关节急性骨损伤中骨髓水肿的诊断效能。结果 105个膝关节共1260个区域,股骨上端和胫骨上端各630个区域。MRI图显示股骨下端194个区域出现骨髓损伤,胫骨上端440个区域出现骨髓损伤,VNCa图像显示股骨下端202个区域出现骨髓水肿,胫骨上端449个区域出现骨髓水肿。以MRI为诊断金标准,NECT诊断股骨下端、胫骨上端骨髓水肿的灵敏度(Sen)、特异度(Spe)、阳性预测值(PPV)、阴性预测值(NPV)和准确度(ACC)分别为91.75%、94.50%、88.12%、96.26%、93.65%和92.05%、76.84%、90.20%、80.66%、87.46%,与MRI诊断的一致性良好(Kapaa值=0.823、0.698, $P<0.05$)。定量分析VNCa图像股骨下端骨髓水肿阳性区域平均CT值为 (90.36 ± 14.97) Hu,高于阴性区域的 (68.56 ± 12.03) Hu($P<0.05$),胫骨上端阳性区域平均CT值为 (100.94 ± 16.51) Hu,高于阴性区域的 (68.71 ± 11.80) Hu($P<0.05$)。ROC曲线显示,VNCaCT值诊断股骨下端、胫骨上端骨髓水肿的ROC曲线下面积(AUC)分别为0.845、0.936($P<0.01$)。结论 SECT对膝关节急性骨损伤中骨髓水肿的诊断效能较好,测量VNCa图上的CT值有助于骨髓水肿的定量分析。

【关键词】膝关节急性骨损伤; 骨髓水肿;
单源能谱CT

【中图分类号】R681.8; R551.3

【文献标识码】A

【基金项目】中国中医科学院望京医院科研课题
项目(WJYY2020-12)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.10.049

Value of Single-energy CT in the Diagnosis of Bone Marrow Edema in Acute Knee Injury*

LI Wei, GENG Jin-chao, HUI Jin, WANG Dan, ZHOU Yu*.

Department of Radiology, Wangjing Hospital of CACMS, Beijing 100102, China

ABSTRACT

Objective To investigate the value of single-energy CT (SECT) in the diagnosis of bone marrow edema in acute knee injury. **Methods** From October 2020 to October 2021, 105 patients with acute knee injury were admitted to our hospital. All underwent knee MRI and SECT scan. MRI images and virtual non-calcium (VNCa) images were obtained. Each knee joint was divided into 12 regions of the lower end of the femur (6) and the upper end of the tibia (6), MRI and VNCa images were evaluated by 2 radiologists in a blinded manner. The CT values of bone marrow in conventional CT and VNCa images were measured. The receiver operating characteristic (ROC) curve was plotted to analyze the value of VNCa images for bone marrow edema in acute knee injury. **Results** There are 1260 areas in 105 knee joints, 630 areas each on the upper end of the femur and the upper end of the tibia. MRI images showed bone marrow damage in 194 areas of the lower femur, and 440 areas of the upper tibia. VNCa images showed bone marrow edema in 202 areas of the lower femur and 449 areas of the upper tibia. Using MRI as the gold standard for diagnosis, the sensitivity (Sen), specificity (Spe), positive predictive value (PPV), negative predictive value (NPV) and accuracy (ACC) of SECT to diagnose bone marrow edema at terminal femur and proximal tibia were 91.75%, 94.50%, 88.12%, 96.26%, 93.65% and 92.05%, 76.84%, 90.20%, 80.66%, 87.46%, showing good consistency with MRI (Kappa value=0.823, 0.698, $P<0.05$). The CT value of VNCa bone marrow in edema region of terminal femur (90.36 ± 14.97 Hu) was higher than that in the normal bone marrow region (68.56 ± 12.03 Hu), and the CT value of VNCa bone marrow in edema region of proximal tibia (100.94 ± 16.51 Hu) was higher than that in the normal bone marrow region (68.71 ± 11.80 Hu) ($P<0.01$). The area under the ROC curve (AUC) of VNCaCT of bone marrow edema in the terminal femur was 0.845 ($P<0.01$). The area under the ROC curve (AUC) of VNCaCT of bone marrow edema in the proximal tibia was 0.936 ($P<0.01$). **Conclusion** SECT can help to diagnose bone marrow edema in acute knee injury, and CT value on VNCa image is helpful for quantitative analysis of bone marrow edema.

Keywords: Acute Knee Injury; Bone Marrow Edema; Single-energy CT

膝关节急性骨损伤临床常见、多发,主要由外伤引起,可造成出血、骨髓水肿、骨小梁骨折等严重后果,降低患者生存质量^[1-2]。骨髓水肿为膝关节急性骨损伤的早期阶段,此时患者骨皮质及其软骨处于正常状态,隐匿性很强,若不及时治疗可导致损伤进一步加重,因此早期明确诊断并及时采取治疗十分有必要。MRI是目前膝关节急性骨损伤的首选无创影像检查方法,对软组织的分辨力较高,扫描范围较大,能获取多方面的诊断信息,但易受磁敏感伪影、搏动伪影干扰,且少部分体内有金属异物的患者无法行MRI检查,故而在评价急性骨损伤方面仍存在一定局限性^[3]。近年来,随着CT扫描技术的发展和普及,CT在骨髓水肿方面的临床应用及价值得到认可。但截至目前为止,临床有关骨髓水肿的研究多集中在双源CT方面^[4],对于单源能谱CT(single-energy CT, SECT)的报道还比较少。为探讨SECT对膝关节急性骨损伤中骨髓水肿的诊断价值,本研究以MRI检查结果为参考标准,对105例膝关节急性骨损伤患者进行SECT检查和分析,旨在为骨髓水肿的诊疗提供新思路。现报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 本研究属于前瞻性研究,符合《赫尔辛基宣言》相关规定。选取2020年10月-2021年10月中国中医科学院望京医院收治的105例膝关节急性骨损伤患者,男性65例,女性40例,年龄18~72岁,平均 (38.12 ± 12.34) 岁。

纳入标准:有膝部外伤史,患者均存在明显膝部疼痛伴功能障碍;符合《实用骨科学》^[5]中膝关节急性骨损伤诊断;精神、认知正常,可配合MRI、SECT检查;签订知情同意书。排除标准:膝关节周围骨折;交流障碍;合并严重器官疾病或心脑血管疾病;对造影剂或碘过敏。

1.2 检查方法 所有患者入院后均行MRI、CT检查。MRI检查:协助患者伸直膝关节并内旋5°~10°,采用SIEMENS MAGNETOM Skyra3.0T磁共振(MR)仪,选用膝关节15通道相控阵专用线圈。扫描参数:常规矢状位T₁WI/T₂WI: TSE序列,TR 600ms/2600ms,TE 12ms/41ms,厚层3.0mm/3.5mm,层间距3.5mm,矩阵240×320,视野(FOV)180mm×180mm;矢状位快速自旋回波质子加权序列(TSE-FS-PDWI): TR 3200ms,TE 21ms,厚层3mm,层间距0.6mm,激励次数(NEX)2,矩阵384×384,FOV 160mm×160mm。由2名放射科医师分别阅片,以MRI图像上不均匀或均匀T₁WI低信号,脂肪抑制序列T₂WI不规则形高信号定义为骨髓水肿。CT检查及数据处理:协助患者取仰卧位,双膝关节并拢,局部制动,采用SIEMENS Definition Edge CT(德国西门子公司)进行检查。扫描参数:管电压/管电流分别为80kV/165mAs,140kV/55mAs,

【第一作者】李 微,女,副主任技师,主要研究方向:能谱CT。E-mail: liwei3571@163.com

【通讯作者】周 宇,男,主治医师,主要研究方向:能谱CT。E-mail: zhouyu1974@163.com

模式为容积扫描模式，视野(FOV)260mm×260mm，矩阵512×512，螺距1.2，转速1.0s，准直128×0.6mm。扫描结束后，将2组扫描数据传入syngo via工作站，用Dual Energy中的Bone Marrow应用分析处理，生成虚拟去钙(VNcCa)图。以去除骨质结构的背景(正常骨髓)上的高密度影区域呈片状或斑点状，边界模糊，VNcCa图像显示骨髓密度改变定义为骨髓水肿。

1.3 图像分析 将MRI图像及CT图像进行评估分析，勾划感兴趣区域(ROI)水肿区域面积，测量骨髓常规CT值和经VNcCa技术处理后的CT值。分别由2名具有5年以上临床经验的放射科医师在随机双盲的条件下对图像进行分析判断，判断不一致时经商讨后达成共识。

1.4 观察指标 将膝关节划分为股骨下端(6个)和胫骨上端(6个)共12个区域，分别为内侧前部、中部靠前、外侧前部、内侧后部、中部靠后、外侧后部。记录骨髓水肿的检出率及CT测量参数，以MRI诊断为金标准，分析SECT在膝关节急性骨损伤中骨髓水肿的诊断价值。

1.5 统计学处理 采用SPSS 20.0软件处理数据，计量资料用($\bar{x} \pm s$)表示，行t检验；计数资料用例(n)或构成比(%)表示，行 χ^2 检验；以MRI诊断结果为金标准，计算SECT诊断骨髓水肿的灵敏度(Sen)、特异度(Spe)、阳性预测值(PPV)、阴性预测值(NPV)及准确度(ACC)；绘制受试者工作特征(ROC)曲线检验CT值对膝关节急性骨损伤中骨髓水肿的诊断效能。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

表1 MRI及VNcCa图像显示股骨下端和胫骨上端骨髓损伤的结果对照				
VNcCa图像		MRI		合计
		阳性	阴性	
股骨下端	阳性	178	24	202
	阴性	16	412	428
	合计	194	436	630
胫骨上端	阳性	405	44	449
	阴性	35	146	181
	合计	440	190	630

表2 SECT骨髓水肿诊断相关指标[n(%)]						
部位	Sen	Spe	PPV	NPV	ACC	Kappa值
股骨下端	91.75(178/194)	94.50(412/436)	88.12(178/202)	96.26(412/428)	93.65(590/630)	0.823
胫骨上端	92.05(405/440)	76.84(146/181)	90.20(405/449)	80.66(146/181)	87.46(551/630)	0.698

表3 阳性组与阴性组股骨下端骨髓CT值比较(Hu)		
组别	常规CT值	VNcCaCT值
阳性组(n=194)	58.14±13.97	90.36±14.97
阴性组(n=436)	56.56±12.31	68.56±12.03
t	1.425	19.424
P	0.155	<0.001

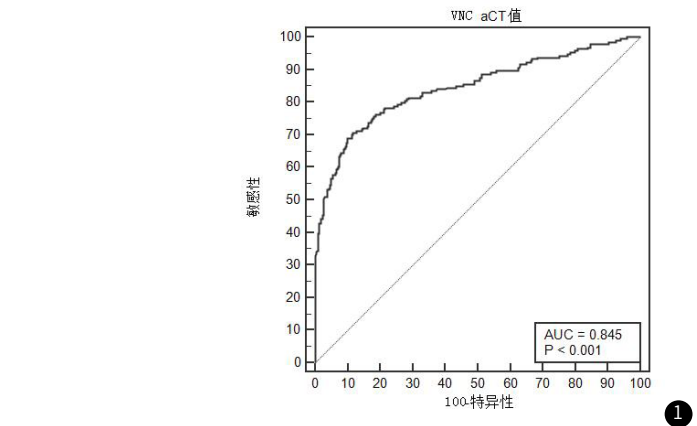


图1 VNcCaCT值诊断股骨下端骨髓水肿的ROC曲线；

2 结果

2.1 骨髓水肿检出结果 105例患者均顺利完成MRI和SECT检查，获得满意影像学图像。105个膝关节分为1260个区域(股骨上端和胫骨上端各630个区域)。MRI图显示股骨下端194个区域出现骨髓损伤，胫骨上端440个区域出现骨髓损伤，表现为T₁WI低信号，脂肪移植序列T₂WI高信号。VNcCa图显示股骨下端202个区域出现骨髓水肿，胫骨上端449个区域出现骨髓损伤，表现为VNcCa图像黑色背景中的片状边界不清的高密度影。MRI及VNcCa图像显示股骨上端和胫骨上端骨髓损伤的结果对照见表1。

2.2 SECT骨髓水肿诊断相关指标 以MRI诊断结果为金标准，SECT诊断股骨下端骨髓水肿的Sen、Spe、PPV、NPV及ACC分别为91.75%、94.50%、88.12%、96.26%、93.65%；SECT诊断胫骨上端骨髓水肿的Sen、Spe、PPV、NPV及ACC分别为92.05%、76.84%、90.20%、80.66%、87.46%。见表2。

2.3 阳性组与阴性组骨髓CT值比较 定量测量结果显示阳性组阴性组股骨下端、胫骨上端常规CT值比较无统计学差异(P>0.05)；阳性组股骨下端、胫骨上端骨髓的VNcCaCT值均高于阴性组(P<0.05)。见表3、表4。

2.4 VNcCaCT值对骨髓水肿的诊断效能 ROC曲线显示，VNcCaCT值诊断股骨下端、胫骨上端骨髓水肿的ROC曲线下面积(AUC)分别为0.845、0.936(P均<0.001)。见图1~2，表5。

2.5 典型病例分析 典型病例影像结果分析见图3~图4。

表5 VNcCaCT值对股骨下端、胫骨上端骨髓水肿的诊断效能						
水肿部位	AUC	95%CI	约登指数	Cut-off值	灵敏度	特异度
股骨下端	0.845	0.814~0.872	0.592	>83.25Hu	69.07	90.14
胫骨上端	0.936	0.914~0.954	0.758	>82.38Hu	85.23	90.53

表4 阳性组与阴性组胫骨上端骨髓CT值比较(Hu)		
组别	常规CT值	VNcCaCT值
阳性组(n=440)	58.59±12.43	100.94±16.51
阴性组(n=190)	57.27±12.35	68.71±11.80
t	1.226	24.352
P	0.221	<0.001

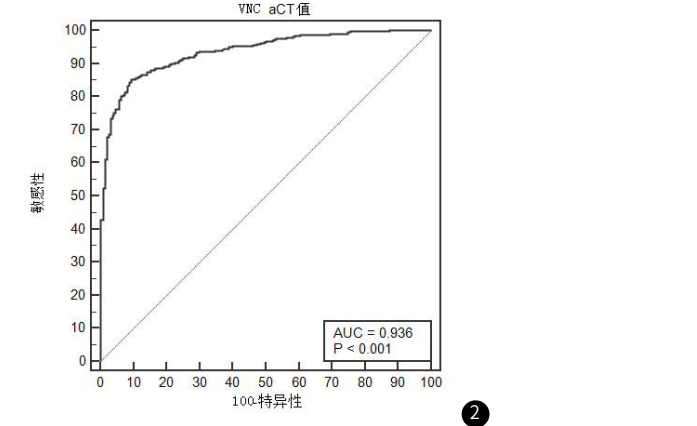


图2 VNcCaCT值诊断胫骨上端骨髓水肿的ROC曲线

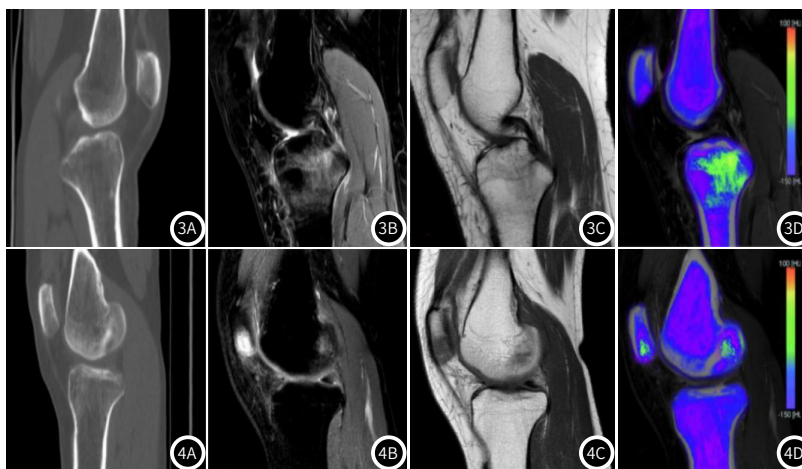


图3 患者,女,49岁,因右膝关节外伤就诊。影像检查结果:右膝关节矢状位常规CT骨窗图显示右膝骨质完整,未见明确骨折改变(图3A);MR脂肪抑制图像显示胫骨平台后缘骨髓水肿(图3B);MR T₂WI显示胫骨平台不规则低信号影(图3C);VNCa图像显示胫骨平台后缘高信号表现(图3D)。

图4 患者,男,37岁,因右膝关节外伤就诊。影像检查结果:右膝关节矢状位常规CT骨窗图显示右膝骨质完整,未见明确骨折改变(图4A);MR脂肪抑制图像显示髌骨下极骨髓水肿(图4B);MR T₂WI显示髌骨下极低信号影(图4C);VNCa图像显示髌骨下极高信号表现(图4D)。

3 讨论

膝关节是人体最大最复杂的关节,损伤机会亦较多。膝关节急性骨损伤为临床常见进展性关节病,其临床症状表现为:疼痛、膝软、关节肿胀及功能障碍等,此时由于膝关节软骨的再生能力较弱,极易产生关节磨损,导致损伤进一步加重,最终形成不可逆的骨性关节炎,严重影响患者生存质量^[6]。相关研究指出^[7],较多运动员的膝关节周围骨质可发现骨髓水肿,即骨髓内的骨小梁发生细小骨折,伴局部充血水肿,这提示膝关节软骨下骨髓水肿可能是膝关节骨损伤的典型信号特征,早期准确诊断并治疗骨髓水肿对于防止膝关节骨损伤进一步加重有重要意义。

CT是临床常用的影像学检查方法,适用于各种隐匿性骨折及其他急性病症的检出,具有快速扫描、可重复性强、价格适中等诸多优势,临床应用日益广泛。但常规CT检查产生的伪影较大,无法清晰显示软骨、滑膜、骨髓和肌腱改变,对骨髓水肿、滑膜炎等急性炎性改变的检出率较低^[8]。SECT是一种新技术,其利用单源CT获取高低管电压同源数据,通过原始数据配准并进行能谱分析,可在常规扫描剂量下获得清晰图像^[9]。目前临床上SECT可用于诊断痛风结石^[10]、消除金属内固定伪影^[11]、鉴别卵巢囊腺瘤和卵巢癌^[12]等,但有关诊断骨髓水肿的报道较少。本研究采用SECT对膝关节急性骨损伤患者进行检查,并结合VNCa图进行诊断,在以MRI诊断结果作为基准的前提下,SECT诊断股骨下端、胫骨上端骨髓水肿的Sen、Spe、PPV、NPV和ACC均较高,且与MRI诊断的一致性良好(Kapaa值=0.823、0.698)。证实了SECT用于诊断膝关节急性骨损伤中骨髓水肿的可行性。考虑原因可能是:正常情况下,骨髓腔脂肪成分含量很高,当骨质受损后会产生水肿、出血等反应,导致骨髓内液体和(或)细胞成分增加,骨髓密度发生改变,同时应用VNCa技术,能够去除骨髓中呢钙质成分,通过伪彩图像清晰显示骨髓水肿^[13]。

VNCa技术将人的骨松质成分分离为钙、脂肪、脱脂三部分,再利用相关软件去除钙成分,重建出灰阶图、彩色伪彩图及3D图像^[14]。该技术的问世,为临床应用提供了可视化骨髓成像方法,弥补了常规MRI及CT在骨关节疾病中的诊断缺陷。骨髓水肿的主要病理表现为:骨基质水肿、纤维组织增生及炎性细胞浸润^[15],其CT衰减随骨髓成分改变而增加。因此,VNCa不仅能实现骨髓水肿的定性分析,亦可用于相关定量检测。本研究定量测量结果显示股骨下端、胫骨上端骨髓水肿阳性区域骨髓VNCaCT值均高于阴性区域,且ROC曲线显示VNCaCT值诊断股骨下端、胫骨上端骨髓水肿的AUC均较高。说明骨髓水肿与骨髓正常区域的VNCaCT值存在差异,通过测量病灶的CT值有助于早期准确诊断骨髓水肿。这可能与膝关节急性骨损伤发生后,骨质内出现细胞水肿、渗出、出血等病理学改变,使得该区域脂肪含量减少有关^[16]。然而值得注意的是,有研究认为,骨质硬化可覆盖骨髓水肿,影响骨髓水肿

的VNCa图像显示,导致测量错误的VNCaCT值^[17]。因此,在使用VNCa技术诊断骨髓水肿时,还应将骨质硬化考虑在内,以避免漏诊、误诊、错诊。

综上所述,SECT诊断膝关节急性骨损伤中骨髓水肿有一定临床应用价值,测量其VNCa图上的CT值有助于骨髓水肿的定量分析。但本研究仍存在以下不足:(1)本研究为单中心前瞻性研究,纳入样本量有限,可能导致病例分布上的偏差,如本组病例中包括18~72岁年龄段的患者,年龄偏大的患者可能存在膝关节退行性病变,导致膝关节急性骨损伤所致的膝关节改变的比例增大;(2)本组患者行MRI和SECT检查的间隔时间未确定,若检查时间间隔较长,膝关节软骨、滑膜、骨髓等可能会发生变化,我们寄希望于后期开展多中心、大样本随机对照研究进一步验证SECT对膝关节急性骨损伤中骨髓水肿的诊断价值。

参考文献

- [1] 代岭辉. 膝关节软骨损伤修复重建指南(2021)[J]. 中国运动医学杂志, 2022, 41(4): 249-259.
- [2] 彭钰, 仲建全, 冯浩, 等. 膝关节损伤MSCT、MRI表现及诊断效能差异分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022(2): 172-174.
- [3] 于楠, 任占丽, 韩冬, 等. 能谱CT虚拟去骨图像评价膝关节急性外伤性骨髓损伤的临床研究[J]. 实用放射学杂志, 2019, 35(8): 1290-1293, 1302.
- [4] 钱小建, 杨志勇, 姜艳丽, 等. 单源双能量CT扫描单能谱成像技术基物质图像在痛风结节中的应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19(2): 154-155, 171.
- [5] 胥少汀, 葛宝丰, 徐印坎. 实用骨科学. 第4版[M]. 人民军医出版社, 2012: 526-527.
- [6] 许方娥, 刘彦荣, 曾果. 磁共振质子T₂WI成像与MSCT成像对膝关节损伤的临床诊断价值比较[J]. 罕少疾病杂志, 2022, 29(11): 86-87.
- [7] Kon E, Ronga M, Filardo G, et al. Bone marrow lesions and subchondral bone pathology of the knee[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2016, 24(6): 1797-814.
- [8] 行海涛. 膝关节周围骨髓水肿与股四头肌面积、半月板分级的相关性分析[J]. 罕少疾病杂志, 2021, 28(4): 90-91.
- [9] Li L, Cheng SN, Zhao YF, et al. Diagnostic accuracy of single-source dual-energy computed tomography and ultrasonography for detection of lateral cervical lymph node metastases of papillary thyroid carcinoma[J]. J Thorac Dis, 2019, 11(12): 5032-5041.
- [10] 高立栋, 侯金玲, 李生虎. 单源双能量CT低管电压扫描对痛风诊断价值的前瞻性研究[J]. 医学影像学杂志, 2020, 30(6): 1091-1094.
- [11] 余娜, 严敏, 傅浪舟, 等. 应用能谱CT技术去除颅内动脉瘤弹簧圈栓塞术后金属伪影[J]. 第三军医大学学报, 2020, 42(20): 2069-2074.
- [12] 李辉, 刘爱连, 田士峰, 等. 单源双能CT平扫能谱综合分析对卵巢囊腺瘤和非卵巢囊腺瘤的鉴别诊断价值[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2017, 23(6): 526-530.
- [13] Wu J, Lv Y, Wang N, et al. The value of single-source dual-energy CT imaging for discriminating microsatellite instability from microsatellite stability human colorectal cancer[J]. Eur Radiol, 2019, 29(7): 3782-3790.
- [14] 黄聪, 张恒胜, 周兴顺, 等. 双能CT的VNCa技术在军事训练导致急性膝关节挫伤诊断中的应用价值[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2021, 36(4): 412-414.
- [15] 章辉庆, 刘海燕, 邱晓晖, 等. 双能量CT虚拟去钙图诊断椎体骨髓水肿[J]. 中国医学影像学杂志, 2019, 35(2): 260-263.
- [16] Foti G, Mantovani W, Faccioli N, et al. Identification of bone marrow edema of the knee: diagnostic accuracy of dual-energy CT in comparison with MRI[J]. Radiol Med, 2021, 126(3): 405-413.
- [17] 沈瑞, 赵曼月, 曹国平, 等. 双能量CT虚拟去钙化成像诊断下肢关节外外伤性骨髓水肿[J]. 放射学实践, 2021, 36(2): 227-231.

(收稿日期: 2023-02-17)

(校对编辑: 韩敏求)