

综述

骨盆功能不全性骨折的影像学研究进展*

刘力硕 姜双士 涂宁
王科 冯洪燕 卜丽红*武汉大学人民医院PET与核医学中心
(湖北 武汉 430060)

【摘要】骨盆功能不全性骨折(pelvic insufficiency fracture, PIF)属于应力性骨折的一种,是在正常生理应力或轻微外力作用于骨组织减少及骨弹性抵抗力降低的骨骼发生的骨折,多见于绝经后老年女性患者及盆腔放疗后人群,以骶骨最为常见。因其无明显外伤史,临床症状缺乏特异性,临床上对于PIF的诊断和治疗往往都是延迟的,同时还易被误诊为骨转移瘤,导致不必要的检查和抗肿瘤治疗。因此,熟悉了解PIF的影像学特征及选择合适的影像学检查方法,早期准确地诊断PIF对临床治疗和改善预后具有重要意义。本文就PIF的影像学检查方法的临床应用及研究进展进行综述。

【关键词】骨盆骨折; 功能不全性骨折;
X线计算机; 计算机断层摄影;
磁共振成像;
单光子发射计算机断层成像;
正电子发射断层成像

【中图分类号】R445.2

【文献标识码】A

【基金项目】国家自然科学基金(81871419)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.07.056

Imaging Research Progress of Pelvic Insufficiency Fractures*

LIU Li-shuo, JIANG Shuang-shi, TU Ning, WANG Ke, FENG Hong-yan, BU Li-hong*.

PET-CT/MRI and Nuclear Medicine Center, Renmin Hospital of Wuhan University, Wuhan 430060, Hubei Province, China

ABSTRACT

Pelvic insufficiency fracture (PIF) is a kind of stress fracture, which occurs in bones with reduced bone tissue and bone elastic resistance under normal physiological stress or slight external force. It is mostly seen in postmenopausal elderly female patients and people after pelvic radiotherapy, with sacral bone being the most common. Because it has no obvious history of trauma and lacks specificity of clinical symptoms, the diagnosis and treatment of PIF are often delayed in clinic, and it is also easy to be misdiagnosed as bone metastasis, resulting in unnecessary examination and anti-tumor treatment. Therefore, it is of great significance to be familiar with and understand the imaging characteristics of PIF and select the appropriate imaging examination methods, and to diagnose PIF early and accurately for clinical treatment and improving prognosis. This article reviews the clinical application and research progress of imaging methods for PIF.

Keywords: Pelvic Fracture; Insufficiency Fractures; X-Ray Computed; Computer Tomography; Magnetic Resonance Imaging; Singlephoton Emission Computed Tomography; Positron Emission Tomography

功能不全性骨折(insufficiency fracture, IF)又称衰竭骨折,属于应力性骨折的一种特殊类型^[1]。IF是由于多种原因导致骨组织骨质疏松、骨矿物质含量减少或弹性抵抗力减弱,使得骨组织在轻微的外力或维持正常生理应力作用时即可造成骨皮质或骨小梁的断裂而形成骨折。该病常见于绝经后老年女性患者及盆腔恶性肿瘤放疗后人群,其中以骨盆最为常见,骨质疏松是其发生的病理基础^[2-3]。此外,长期激素治疗、类风湿性关节炎、甲状旁腺功能亢进症、Paget病、肾性骨病、成骨不全症等引起的病理性骨代谢紊乱也是PIF发生的重要危险因素^[3-5]。骨盆功能不全性骨折(pelvic insufficiency fracture, PIF)由Lourie^[6]于1982年首次描述。PIF患者多无明确的外伤史,临床上约有61%有明显症状但缺乏特异性,常表现为腰背部、臀部、髌部、腹股沟等受累部位的局部疼痛、水肿及活动受限,并且呈多发性^[7-8]。此外,患者也可能出现模仿神经根疾病或脊髓病变的症状,包括下肢无力、坐骨神经痛和尿潴留等^[9]。

IF好发于骨骼受力的集中区或易受扭曲力作用的非承重区域,其中骨盆最为常见,并且多呈多发性。在所有PIF中,以骶骨最为常见,约占73.6%,其次为耻骨(13.0%)^[8,10]。PIF最初通常发生在双侧骶骨翼部分的垂直骨折,方向多与骶髂关节平行,只有在进一步持续应力作用下,才可能出现骶椎体前缘的横行骨折,此时可表现为特征性的“H”形改变^[2,11-13]。Denis等人^[14]于1988年创建了第一个广泛使用的骨盆骨折分类系统,该系统将骶骨分为3个可预测神经功能缺陷的解剖区:孔外侧(1区)、穿过孔(2区)和孔内侧(3区)。其中1区是累及最外侧的骶骨翼骨折,是PIF患者最常见的骨折部位;2区是累及神经孔的骶骨骨折;3区是累及骶椎体和中央横管的内侧骨折。由于骶椎横行骨折常累及骶管,并可能伴有明显的神经功能缺损,所以在Denis系统中被归类为3区。

由于骨盆解剖结构复杂,并且常合并潜在性病变,加之临床及影像科医生对该疾病的认识不足,常规的DR、CT、MRI及全身骨显像(Whole-Body Scintigraphy, WBS)对于PIF的诊断具有一定的局限性,所以在鉴别PIF和骨转移瘤时,尤其是对于合并有恶性肿瘤病史的老年患者,临床上极易漏诊或误诊为骨转移瘤^[15-17]。然而,单光子发射计算机断层成像/计算机断层扫描(Single Photon Emission Computed Tomography/Computer Tomography, SPECT/CT)与正电子发射断层成像/计算机断层扫描(Positron Emission Tomography/Computer Tomography, PET/CT)的临床应用,可以更早、更全面的发现并观察病灶,在PIF的诊断和鉴别中具有重要作用,最重要的是PET可以在病变区域出现形态学改变前,就可以提前探测到病变区域代谢活性的变化,显著提高了PIF诊断的灵敏度、特异性及准确性^[18-20]。

随着我国社会人口老龄化程度的增加,老年人骨质疏松性骨折的发病率也逐年上升^[21]。尽管PIF是一种自限性疾病,但其发病隐匿、持续时间长,且致死致残率高,未来将会带来巨大的社会经济负担。因此,早期、正确、合理的选择影像学检查,不仅有利于临床早期诊疗,避免或减少骨折错位、延迟愈合等并发症的发生,还可以避免不必要的活检及抗肿瘤治疗,从而极大地减轻患者负担^[22-23]。因此,加强对PIF的早期影像学诊断具有重要的临床意义。本文通过综述不同影像学检查方法,为临床疾病早期诊断及治疗提供参考价值,现综述如下。

【第一作者】刘力硕,男,在读研究生,主要研究方向:分子影像学。E-mail: 2064253428@qq.com

【通讯作者】卜丽红,女,主任医师,主要研究方向:分子影像学。E-mail: bulihongs@whu.edu.cn

1 DR检查

在急诊科中,由于操作简单、方便快捷,数字化X线摄影(DR)检查通常被用作评估骨盆骨折的初始影像学方法。然而,DR检查的灵敏度及特异性均较低^[24-26]。既往研究发现,对于无明显外伤史的骨盆功能不全性骨折(PIF)患者,单独使用DR检查的假阴性率较高,约为22%-34%,而对于极易漏诊的骶骨骨折,DR的检出率仅为10.5%-20%^[27-29]。PIF的典型X线表现为病变区可见线状透亮的骨折线影,边缘可伴有骨质硬化,其中发生于骶骨者多位于骶骨翼,且骨折线多与骶髂关节平行^[30]。

影响传统X线检查诊断准确性的原因主要包括以下几个方面^[25,27,31-32]:(1)成像技术问题:DR为平面图像,成像质量受技术人员操作规范、曝光时间和电压设置等因素的影响较大。此外,危重患者配合较差和体位不当也会影响成像结果的准确性;(2)结构遮挡:位于骨盆后环的骶骨病变容易被肠道气体、软组织和骨盆前环等邻近结构的重叠影像掩盖,从而干扰骨折线的清晰显示;(3)骨质改变:老年患者常伴有骨质疏松症和退行性病变,这些病理改变会掩盖骨折线,不利于骨折线的准确识别;(4)诊断认识不足:临床及影像科医生对PIF的疾病特征和诊断要点认识不足,也是导致漏诊和误诊率增加的重要原因。

2 CT检查

目前,对于疑似骶骨骨折的患者,计算机断层扫描(CT)被认为是评估盆腔骨折的首选影像学检查方法,具有较高的灵敏度和特异性^[33]。多项研究证实,CT在检测PIF方面的灵敏度明显优于DR,其灵敏度约为77%-88%,特异性约为98%^[34-36]。CT检查生成的是断层图像,具有良好的对比度和分辨率,不仅可以有效避免了骨盆结构影像重叠问题,准确显示细小骨折线或局部骨质密度变化,还可以通过CT三维重建技术全面、精确地观察骨折部位的空间结构及骨盆的立体形态^[25,37-38]。

在CT图像上,PIF常表现为双侧骶骨翼可见纵行的“线样”“锯齿样”低密度骨折线影,其走行多与骶髂关节平行,还可伴有骨皮质不连续、错位、游离骨片、周围骨质硬化及骨痂形成等表现。同时,骨盆骨骼可表现为较为明显的骨质疏松改变,部分病例可见周围软组织肿胀。当双侧骶骨翼纵向骨折合并有骶椎体的横行骨折时,表现为特征性的“H”形改变^[13,39]。

CT检查对PIF的假阳性诊断较少,其诊断关键在于发现骨折线,而这也是PIF诊断中的难点。分析原因可能包括以下几点^[17,32,35,40]:(1)常规CT图像容易受横断面成像和软组织分辨率的限制,难以清晰显示骶骨横行骨折,但通过CT三维重建技术可以弥补这一不足;(2)对于早期隐匿性骨折或者未累及骨皮质的轻微改变,CT可能无法观察到骨折线;(3)当患者合并有严重骨质疏松或盆腔放疗后的骨并发症时,骨质密度不均匀,背景不够清晰,从而增加了发现低密度骨折线的难度;(4)无骨折线PIF在CT上仅表现为局部骨密度不均匀增高或混杂密度,与骨转移瘤的表现类似,仅通过CT检查很难进行区分。因此,对于上述情况,需结合临床病史及其他影像学检查进行综合诊断。

3 MRI检查

磁共振成像(MRI)能够进行多平面、多方位成像,可全面显示骨和软组织的损伤,从而弥补了CT以单一断面成像为主的缺陷。同时,MRI具有较高的分辨率,通过多种不同的成像序列,对于早期隐匿性骨折的骨髓水肿及软组织水肿显示具有很高的敏感性,但其信号异度较差,对骨质的分辨率较CT低^[38,41]。多项研究表明,在PIF的检测中,MRI的灵敏度明显高于CT,其中MRI灵敏度约为96.3%-100%,而CT仅为69%-77%,尤其在骶骨骨折检测中,MRI灵敏度高达98.6%,CT仅有66.1%^[35,39,42]。因此,对于疑似骶骨骨折且CT结果为阴性的老年患者,MRI可作为下一步诊断性检查。另外,Zhong等人^[43]研究发现,在MRI检查中,冠状位脂肪抑制T2加权成像(FS-T2WI)比T1加权成像(T1WI)或增强T1WI对检测骨髓水肿和骨折线更敏感,更有利于发现骶骨翼纵行和骶椎横行的骨折线。

在MRI图像上,PIF的特征性表现为在高信号区内出现“线样”或“锯齿样”的T1低信号骨折线影,病变区域可见大片无明显边界的T1低信号、T2高信号的骨髓水肿信号影,脂肪抑制序列亦呈高信号,且无明显软组织肿块形成,部分可伴有周围软组织水肿。增强扫描可见无强化T1低信号骨折线,病变区域骨髓水肿呈不均匀强化^[29,43-44]。但在早期PIF未累及骨皮质时,MRI仅表现为病变区域的片状T1低信号、T2高信号的骨髓水肿信号影^[42-43]。

尽管MRI具有较高的灵敏度和分辨率,但其信号改变的特异性较差,且与其它疾病重叠较多,其中假阳性诊断主要见于某些早期隐匿的骨转移性肿瘤或缺血性骨质坏死等。此外,MRI中PIF的骨折线检出率约为64.6%-81.0%^[41,43]。因此,当MRI表现不典型且骨髓水肿信号明显时,容易被误诊为骨转移^[10,45-46]。然而,Byun等人^[46]研究发现,骶骨弥散加权成像(DWI)在PIF中均显示低信号,但在转移瘤中均显示高信号,这一特点有助于PIF的鉴别诊断。

4 全身骨显像检查

^{99m}Tc-亚甲基二膦酸盐(^{99m}Tc-MDP)全身骨显像(WBS)是检测骨盆功能不全性骨折(PIF)最敏感的影像学检查方法之一。WBS能够在骨骼损伤早期,骨质及骨膜发生变化后(6~72h),灵敏地发现隐匿性骨折,反映骨组织的异常代谢情况,同时避免了MRI中骨髓水肿信号掩盖骨折线的问题^[47-48]。

在WBS图像中,PIF主要表现为沿骨折线走行区域的灶性、梭形或条带状的显像剂异常浓聚区。其中,典型的“Honda”征可为PIF的诊断依据,即位于双侧骶骨翼的垂直带和骶椎体的水平带相连接的“H”形或“蝶”形的异常浓聚区,但在临床中较为少见。临床上更多见的是“H”征变异,即单侧或双侧骶骨翼、单侧或双侧骶骨翼及部分水平带异常浓聚区,呈梭形或双轨道征、“H”字母部分缺失的形状^[19,49-51]。此外,耻骨与坐骨PIF病变则表现为“纺锤形”的异常浓聚区^[52]。

尽管WBS能够早期灵敏地发现骨骼病灶,但其组织结构分辨率较差,特异度较低(约47.9%),原因主要包括以下几个方面^[18,51,53]:(1)WBS为前后位成像,无法准确定位病灶具体解剖位置及骨折线情况,也无法判断有无骨质破坏等信息;(2)当膀胱残留有显像剂时,骨盆骨骼与膀胱重叠会遮掩耻骨及骶骨可疑的病变;(3)当病灶与周围正常骨骼的显像剂浓聚程度相似时,也可能造成假阴性结果;(4)当WBS表现为不典型的“H”征变异时,很难直接与恶性肿瘤骨转移、骶髂关节退行性变及炎症反应等相鉴别。因此,对于疑似PIF的患者,临床上通常联合局部骨盆SPECT/CT断层融合显像来准确地进行诊断。

5 SPECT/CT检查

全身骨显像(WBS)联合骨盆SPECT/CT断层融合显像不仅可以提供病变解剖位置的清晰视图,避免膀胱显像剂残留的影响,对WBS中的异常浓聚灶进行准确定位,还能进一步观察病变骨骼的异常改变、骨代谢及病灶周围软组织的情况。既往研究表明,当WBS中表现为不典型的PIF显像剂异常浓聚灶时,联合骨盆局部SPECT/CT断层融合显像能够显著提高PIF的诊断准确率。其中,SPECT/CT准确率约为89.6%-90.0%,而WBS仅为46%-47.9%^[18,53-54]。

PIF的SPECT/CT图像特征性表现为双侧骶骨翼和骶椎体形成的“H”形的显像剂异常浓聚区,部分病例可见骨折线和骨质硬化改变;此外,耻骨的PIF表现为“纺锤形”异常浓聚区,髂骨翼的PIF可见与相邻关节面平行的弧形、Y形或反S形异常浓聚区^[18,52,55]。

与WBS相比,SPECT/CT对恶性肿瘤原发灶及转移灶的诊断具有较高的灵敏度与特异性,但其灵敏度和空间分辨率较PET/CT低。有研究发现,SPECT/CT显像的假阴性诊断多见于骶髂关节或髋关节的恶性病变或CT无明显骨质改变的恶性病灶^[56]。因此,对于SPECT/CT中关节附近的显像剂异常浓聚,需要谨慎判断,必要时可进一步行MRI检查明确诊断。

6 PET检查

¹⁸F-FDG PET/CT显像作为一种全身显像技术,目前已广泛应用于良恶性肿瘤的诊断及鉴别诊断、肿瘤分期、复发监测、治疗疗效及预后评价。当发生骨盆功能不全性骨折(PIF)后,骨骼在损伤修复过程中,成骨细胞及炎性细胞会摄取利用葡萄糖。PET/CT显像通过将功能影像和解剖影像相结合,不仅可以敏感的显示骨折部位的异常代谢情况,还可以通过同机CT对病变部位的解剖结构进行多方位精确定位,从而能够精准地发现微小病灶,有效的避免漏诊的发生^[20,57]。

此外,¹⁸F-FDG PET/MRI在PET功能成像的基础上,增加了MRI多参数成像信息,其中PET/CT和PET/MRI病变部位的代谢水平及代谢形态无显著差异,但目前关于PET/MRI用于诊断PIF的报道较为少见。Azumi等^[58]人研究发现,PET/MRI不仅有助于减少患者的辐射暴露,还可用于诊断PIF,并且能够比PET/CT显像更早地检测到PIF病变。因此,对于早期未累及骨皮质的PIF病变,PET/MRI具有更高的灵敏度和准确性。

PET/CT图像的主要表现为病变部位骨皮质皱褶或不连续,部分病灶可见明显低密度骨折线影,骨质密度可增高或正常,且无溶骨性破坏及软组织肿块形成,病变区域放射性摄取呈轻-中度增高。其中PIF典型表现为双侧髂骨翼的纵行和骶椎椎体的横行的骨折线影,见条片或斑片样放射性摄取轻-中度增高,呈“H”形、“蝶”形或弓形放射性浓聚影^[20,59-60]。

目前,PET很少直接用于仅诊断PIF,临床上多是在其他影像学检查疑似肿瘤骨转移,或在恶性肿瘤患者治疗后复查中,行PET/CT或PET/MRI时发现并诊断PIF。近来,另有学者研究发现^[61],¹⁸F-NaF PET/CT对PIF的检出率高于¹⁸F-FDG;但在鉴别PIF和骨转移瘤时,¹⁸F-FDG的敏感度和特异度均优于¹⁸F-NaF。因此,两者联合应用可以提高PIF的检出率。虽然PIF与骨转移瘤的代谢水平范围存在重叠,但两者存在一定的差异性,其中PIF代谢水平通常较恶性病变更低^[20,57],并且随着骨折的发生时间推移,代谢水平会逐渐降低或恢复正常。另一方面,病理性骨折通常表现为髓腔内局限且边界较清晰的放射性摄取增高,而PIF多表现为骨折部位的骨皮质条片样且边界不清的放射性摄取轻-中度增高^[59,62]。同时,许多良性病变(如骶髂关节炎、感染性病变等)也会显示不同程度的放射性摄取,因此不能仅通过最大标准摄取值(SUVmax)的高低来评判骶骨病灶的性质,还需结合代谢形态及CT表现来进行鉴别。此外,由于目前PET检查费用昂贵,很难成为PIF的常规检查方法。

综上所述,在骨盆功能不全性骨折(PIF)的诊断,常规DR检查的灵敏度及特异性均较低,且假阴性率较高,极易导致漏诊。CT检查对于骨折线明显的骨折具有较高的诊断准确率,但对于早期未累及骨皮质的隐匿性骨折则难以进行准确判断。MRI检查对早期PIF的骨髓水肿病变诊断灵敏度更高,但信号特异性较差,并对骨折线的观察存在不足。全身骨显像(WBS)比MRI和CT能够更灵敏地发现早期骨骼的异常病灶,但其特异度较低,容易误诊。因此,全身骨显像联合局部SPECT/CT断层显像具有更高的诊断准确性。PET/CT和PET/MRI检查更为敏感,能够更早、更全面的发现和观察病灶,具有更高的灵敏度、特异性及准确性。然而,对于不典型的PIF病变,仍需结合病史综合判断。因此,在临床诊断PIF时,需综合运用多种影像学检查方法,并结合患者的临床病史及随访结果,以提高诊断准确率,从而为PIF的治疗方案选择提供更多更有价值的信息。

参考文献

- [1] Zaman F M, Frey M, Slipman C W. Sacral stress fractures[J]. Curr Sports Med Rep, 2006, 5(1): 37-43.
- [2] Linstrom N J, Heiserman J E, Kortman K E, et al. Anatomical and biomechanical analyses of the unique and consistent locations of sacral insufficiency fractures[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2009, 34(4): 309-315.
- [3] Razavian N, Laucis A, Sun Y, et al. Radiation-induced insufficiency fractures after pelvic irradiation for gynecologic malignancies: a systematic review[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2020, 108(3): 620-634.

- [4] Park J W, Park S M, Lee H J, et al. Mortality following benign sacral insufficiency fracture and associated risk factors[J]. Arch Osteoporos, 2017, 12(1): 100.
- [5] Ramlov A, Pedersen E M, Røhl L, et al. Risk factors for pelvic insufficiency fractures in locally advanced cervical cancer following intensity modulated radiation therapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2017, 97(5): 1032-1039.
- [6] Lourie H. Spontaneous osteoporotic fracture of the sacrum. An unrecognized syndrome of the elderly[J]. Jama, 1982, 248(6): 715-717.
- [7] Kim H J, Boland P J, Meredith D S, et al. Fractures of the sacrum after chemoradiation for rectal carcinoma: incidence, risk factors, and radiographic evaluation[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2012, 84(3): 694-699.
- [8] Sapienza L G, Salcedo M P, Ning M S, et al. Pelvic insufficiency fractures after external beam radiation therapy for gynecologic cancers: a meta-analysis and meta-regression of 3929 patients[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2020, 106(3): 475-484.
- [9] Schindler O S, Watura R, Cobby M. Sacral insufficiency fractures[J]. J Orthop Surg (Hong Kong), 2007, 15(3): 339-346.
- [10] Kinoshita H, Miyakoshi N, Kobayashi T, et al. Comparison of patients with diagnosed and suspected sacral insufficiency fractures[J]. J Orthop Sci, 2019, 24(4): 702-707.
- [11] Haque M, Hossen M S. Insights into pelvic insufficiency fracture following pelvic radiotherapy for cervical cancer: a comparative review[J]. BMC Womens Health, 2024, 24(1): 306.
- [12] Urzúa A, Marré B, Martínez C, et al. Isolated transverse sacral fractures[J]. Spine J, 2011, 11(12): 1117-1120.
- [13] Bakker G, Hattingen J, Stuetzer H, et al. Sacral insufficiency fractures: how to classify? [J]. J Korean Neurosurg Soc, 2018, 61(2): 258-266.
- [14] Denis F, Davis S, Comfort T. Sacral fractures: an important problem. Retrospective analysis of 236 cases[J]. Clin Orthop Relat Res, 1988, 227: 67-81.
- [15] Lapina O, Tiškevičius S. Sacral insufficiency fracture after pelvic radiotherapy: a diagnostic challenge for a radiologist[J]. Medicina (Kaunas), 2014, 50(4): 249-254.
- [16] 梁春蕊, 王茜, 赵赟赟, et al. 骨质疏松性骨折与骨转移瘤的骨显像鉴别诊断[J]. 中国骨质疏松杂志, 2021, 27(02): 248-251.
- [17] Rehman H, Clement R G, Perks F, et al. Imaging of occult hip fractures: CT or MRI? [J]. Injury, 2016, 47(6): 1297-1301.
- [18] Zhang L, He Q, Jiang M, et al. Diagnosis of insufficiency fracture after radiotherapy in patients with cervical cancer: contribution of technetium tc 99m-labeled methylene diphosphonate single-photon emission computed tomography/computed tomography[J]. Int J Gynecol Cancer, 2018, 28(7): 1369-1376.
- [19] Al-faham Z, Rydberg J N, Oliver Wong C Y. Use of SPECT/CT with 99mTc-MDP bone scintigraphy to diagnose sacral insufficiency fracture[J]. J Nucl Med Technol, 2014, 42(3): 240-241.
- [20] Ji Y, Shao C, Cui Y, et al. Sacral insufficiency fracture after radiotherapy for cervical cancer: appearance and dynamic changes on 18f-fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography[J]. Contrast Media Mol Imaging, 2021, 2021: 5863530.
- [21] Si L, Winzenberg T M, Jiang Q, et al. Projection of osteoporosis-related fractures and costs in China: 2010-2050[J]. Osteoporos Int, 2015, 26(7): 1929-1937.
- [22] Schramm S, Kopschina C, Gaßmann K G, et al. Is the conservative treatment of sacral insufficiency fractures still up to date? Retrospective clinical observational study in 46 patients[J]. Orthop Traumatol Surg Res, 2023, 109(2): 103495.
- [23] Andresen J R, Radmer S, Andresen R, et al. Comparative outcome of different treatment options for fragility fractures of the sacrum[J]. BMC

- Musculoskelet Disord, 2022, 23 (1): 1106.
- [24] Ohishi T, Ito T, Suzuki D, et al. Occult hip and pelvic fractures and accompanying muscle injuries around the hip[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2012, 132 (1): 105-112.
- [25] 杨瑜玲, 李鹏. 多层螺旋CT三维重建技术与X线影像学检查在盆骨骨折诊治中应用比较[J]. 中国CT和MRI杂志, 2017, 15 (11): 141-143.
- [26] 霍平. 隐匿性骨折应用多层螺旋CT与放射DR平片的临床诊断价值对比分析[J]. 罕少疾病杂志, 2022, 29 (12): 81-82.
- [27] Schicho A, Schmidt S A, Seeber K, et al. Pelvic X-ray misses out on detecting sacral fractures in the elderly - Importance of CT imaging in blunt pelvic trauma[J]. Injury, 2016, 47 (3): 707-710.
- [28] Ma Y, Mandell J C, Rocha T, et al. Diagnostic accuracy of pelvic radiographs for the detection of traumatic pelvic fractures in the elderly[J]. Emerg Radiol, 2022, 29 (6): 1009-1018.
- [29] Graul I, Vogt S, Strube P, et al. Significance of lumbar MRI in diagnosis of sacral insufficiency fracture[J]. Global Spine J, 2021, 11 (8): 1197-1201.
- [30] 罗小兰, 唐继芳, 张勇, et al. 骶骨衰竭骨折的影像学表现[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2019, 17 (05): 535-536.
- [31] Weitz M, Schwartz C, Scheinfeld M H. Radiologic blind spots in hip and pelvic radiographs[J]. Emerg Radiol, 2023, 30 (5): 569-575.
- [32] Barber L A, Katsuura Y, Qureshi S. Sacral fractures: a review[J]. HSS J, 2023, 19 (2): 234-246.
- [33] Wedegärtner U, Gatzka C, Rueger J M, et al. [Multislice CT (MSCT) in the detection and classification of pelvic and acetabular fractures] [J]. Rofo, 2003, 175 (1): 105-111.
- [34] Mandell J C, Weaver M J, Khurana B. Computed tomography for occult fractures of the proximal femur, pelvis, and sacrum in clinical practice: single institution, dual-site experience[J]. Emerg Radiol, 2018, 25 (3): 265-273.
- [35] Henes F O, Nüchtern J V, Groth M, et al. Comparison of diagnostic accuracy of Magnetic Resonance Imaging and Multidetector Computed Tomography in the detection of pelvic fractures[J]. Eur J Radiol, 2012, 81 (9): 2337-2342.
- [36] Young J W, Burgess A R, Brumback R J, et al. Pelvic fractures: value of plain radiography in early assessment and management[J]. Radiology, 1986, 160 (2): 445-451.
- [37] 杨力, 蒲红, 朱雯. MSCT扫描及三维重建技术在降低隐匿性骨折漏诊率中的临床应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2017, 15 (7): 137-140.
- [38] 陈勇, 韩金花, 刘青云, 等. MRI、MSCT后处理技术对隐匿性骨折的诊断价值分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19 (2): 162-4.
- [39] Cabarrus M C, Ambekar A, Lu Y, et al. MRI and CT of insufficiency fractures of the pelvis and the proximal femur[J]. AJR Am J Roentgenol, 2008, 191 (4): 995-1001.
- [40] 张元保. 比较多排螺旋CT与X线平片诊断隐匿性骨折的临床意义[J]. 罕少疾病杂志, 2022, 29 (8): 90-91.
- [41] 苏运新, 姜加学, 郑瑜, 等. 骶骨衰竭骨折影像学特点分析及临床意义[J]. 南京医科大学学报(自然科学版), 2022, 42 (06): 867-870.
- [42] Yamauchi T, Sharma S, Chandra S, et al. Superiority of MRI for evaluation of sacral insufficiency fracture[J]. J Clin Med, 2022, 11 (17).
- [43] Zhong X, Zhang L, Dong T, et al. Clinical and MRI features of sacral insufficiency fractures after radiotherapy in patients with cervical cancer[J]. BMC Womens Health, 2022, 22 (1): 166.
- [44] Ugurluer G, Akbas T, Arpacı T, et al. Bone complications after pelvic radiation therapy: evaluation with MRI[J]. J Med Imaging Radiat Oncol, 2014, 58 (3): 334-340.
- [45] 蒋志勇, 杨炼, 王源, 等. 肿瘤患者MRI骨盆T2高信号鉴别诊断[J]. 影像研究与医学应用, 2018, 2 (02): 181-182.
- [46] Byun W M, Jang H W, Kim S W, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging of sacral insufficiency fractures: comparison with metastases of the sacrum[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2007, 32 (26): E820-E824.
- [47] Kola S, Granville M, Jacobson R E. The association of iliac and sacral insufficiency fractures and implications for treatment: the role of bone scans in three different cases[J]. Cureus, 2019, 11 (1): e3861.
- [48] Wat S Y, Seshadri N, Markose G, et al. Clinical and scintigraphic evaluation of insufficiency fractures in the elderly[J]. Nucl Med Commun, 2007, 28 (3): 179-185.
- [49] Wu C X, Gao M J, Li D S, et al. [Analysis of radioactive distribution in the sacrum in whole-body bone scanning] [J]. Nan Fang Yi Ke Da Xue Xue Bao, 2009, 29 (6): 1257-1258.
- [50] 丁浩源, 陈跃, 朱艳, 等. 功能不全性骨折的全身骨显像及局部SPECT/CT断层显像特点[J]. 中国医学影像学杂志, 2017, 25 (11): 858-861, 863.
- [51] Fujii M, Abe K, Hayashi K, et al. Honda sign and variants in patients suspected of having a sacral insufficiency fracture[J]. Clin Nucl Med, 2005, 30 (3): 165-169.
- [52] Lim S T, Jeong H J, Sohn M H. Atypical findings of pelvic insufficiency fractures involving the iliac wing demonstrated by bone scintigraphy[J]. Clin Nucl Med, 2008, 33 (2): 128-130.
- [53] 张汝森, 张林启, 何巧, 等. $^{99\text{Tc}}\text{-MDP}$ SPECT/CT诊断宫颈癌放疗后骨盆不全骨折[J]. 中国医学影像学技术, 2019, 35 (2): 222-225.
- [54] 丁浩源, 蔡亮, 陈跃, 等. $^{99\text{Tc}}\text{-m-MDP}$ 全身骨显像联合局部SPECT/CT断层显像在骶骨功能不全性骨折中的诊断价值[J]. 中国医学影像学杂志, 2019, 27 (8): 612-617.
- [55] 蒋巧玲, 郭水洁, 郭会利. 骨盆衰竭骨折的影像学表现分析[J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2017, 15 (06): 757-759.
- [56] Schillaci O, Danieli R, Manni C, et al. Is SPECT/CT with a hybrid camera useful to improve scintigraphic imaging interpretation? [J]. Nucl Med Commun, 2004, 25 (7): 705-710.
- [57] Park S H, Kim J C, Lee J E, et al. Pelvic insufficiency fracture after radiotherapy in patients with cervical cancer in the era of PET/CT[J]. Radiat Oncol J, 2011, 29 (4): 269-276.
- [58] Azumi M, Matsumoto M, Suzuki K, et al. PET/MRI is useful for early detection of pelvic insufficiency fractures after radiotherapy for cervical cancer[J]. Oncol Lett, 2021, 22 (5): 776.
- [59] 房娜, 靳飞, 曾磊, 等. 宫颈癌放疗后骶骨衰竭骨折的 $^{18}\text{F-FDG}$ PET/CT图像特征分析[J]. 医学影像学杂志, 2023, 33 (01): 166-169.
- [60] 杨岗, 张联合, 洪江, 等. 骶骨衰竭骨折的 $^{18}\text{F-FDG}$ PET/CT显像分析[J]. 中国医学影像学技术, 2017, 33 (12): 1874-1877.
- [61] 夏雨霄, 丁浩源, 赵艳红, 等. 联合 $^{18}\text{F-FDG}$ 和 $^{18}\text{F-NaF}$ PET/CT对骶骨衰竭性骨折及转移瘤的鉴别诊断价值[J]. 国际医学放射学杂志, 2020, 43 (4): 414-419.
- [62] 张杰平, 林端瑜, 李生栩, 等. $^{18}\text{F-FDG}$ PET/CT显像对宫颈癌放疗后骶骨不全骨折与转移瘤的鉴别诊断[J]. 中国医学影像学杂志, 2020, 28 (12): 952-957.

(收稿日期: 2024-07-20)

(校对编辑: 姚丽娜、翁佳鸿)