

本文引用格式:朱焱钰,黄晓红,石野宽,等.¹⁸F-NaF PET/CT在骨骼疾病诊断中的应用与研究进展[J].安徽医学,2024,45(3):376-379.DOI:10.3969/j.issn.1000-0399.2024.03.022

· 综述 ·

¹⁸F-NaF PET/CT在骨骼疾病诊断中的应用与研究进展

朱焱钰 黄晓红 石野宽 游金辉

[摘要] ¹⁸F-氟化钠(¹⁸F-NaF)具有良好的理化特性和药代动力学特点。¹⁸F-NaF正电子发射断层扫描/计算机断层扫描(PET/CT)全身骨骼显像技术已在恶性肿瘤骨转移、原发性骨肿瘤、良性骨骼病变等多种骨骼疾病中得到应用,与其他显像方式相比具有诊断效能高、检查时间短、靶/背景比(T/B)高等优点,可从代谢和解剖等方面为临床提供丰富的信息。本文简要综述¹⁸F-NaF PET/CT在骨骼疾病诊断中的应用与研究进展,以期提高其在骨骼疾病诊治中的临床效率。

[关键词] ¹⁸F-氟化钠;正电子发射断层扫描/计算机断层扫描;¹⁸F-氟脱氧葡萄糖;骨骼疾病

doi:10.3969/j.issn.1000-0399.2024.03.022

19世纪,¹⁸F-氟化钠(¹⁸F-sodium fluoride, ¹⁸F-NaF)首次被Blau等^[1]用于骨骼疾病的研究,后由于检查设备的限制,^{99m}Tc-(^{99m}Technetium-)标记的显像剂占据主流。21世纪以后,由于正电子发射断层扫描/计算机断层扫描(positron emission tomography / computed tomography, PET/CT)和医用回旋加速器的发展,¹⁸F-NaF PET/CT检查技术被广泛应用于恶性肿瘤骨转移、原发性骨肿瘤、良性骨骼病变等疾病的诊断。¹⁸F-NaF PET/CT检查技术的工作原理是¹⁸F随血液流经骨骼组织时,与骨骼中的OH⁻交换而浓聚于骨组织中;当局部骨组织发生病变时,由于病变骨组织代谢活跃、血流量增加,病变组织摄取的骨显像剂也相应增多^[2]。可见,骨组织的血流量和代谢活跃程度对¹⁸F-NaF PET/CT显像效果起着至关重要的作用。

¹⁸F-NaF PET/CT在骨骼疾病诊断中有着医疗界公认的优势,主要有以下几方面的特点:一是探测效能高。¹⁸F发射的高能量正电子,具有更好的组织穿透性、散射更少,最终到达扫描仪探测器的射线更多,图像效果更好。二是骨吸收量高。骨骼对¹⁸F-NaF的吸收量更多,文献^[3]显示骨骼对¹⁸F-NaF的吸收量是^{99m}Tc-亚甲基二膦酸盐(^{99m}Tc-methylene diphosphonate, ^{99m}Tc-MDP)的两倍,故采用¹⁸F-NaF PET/CT技术可提高对骨骼病变的视觉辨识度,形成质量较好的诊断图像。三是血液清除速度快。¹⁸F-NaF几乎不与血浆蛋白结合,并可被血液和肾脏快速清除,加上注射后早期的高骨吸收,成就了¹⁸F-NaF PET/CT高靶/背景比(target/background, T/B)的特点^[3-4]。四是显像速度快。文献^[5]显示,¹⁸F-NaF PET/CT给药后1 h内即可显像,而^{99m}Tc-MDP单光子发射计算机断层扫描/计算机断层扫描(single-photon emission computed tomography, SPECT/CT)给药后3~4 h后才能显像,¹⁸F-NaF PET/CT显像时间的缩短得益于其良好的药代动力学特性。五是方便易接受。¹⁸F-NaF PET/CT显像不需要空腹,患者可以服用其每天的所有药物^[6],相较于¹⁸F-氟脱氧葡萄糖(¹⁸F-fluorodeoxyglucose, ¹⁸F-FDG)PET/CT更加方便。最

后,诊断骨骼疾病的敏感性高。¹⁸F-NaF PET/CT对诊断成骨性和溶骨性病变均有较高的灵敏度^[7],但对骨骼疾病的良恶性鉴别尚存在一定局限性。

综上所述,¹⁸F-NaF PET/CT具备成像速度快、靶背景比高、诊断效能高、方便易接受等优点,在恶性肿瘤骨转移、原发性骨肿瘤、良性骨骼病变等各种骨骼疾病方面的应用与研究正在日益得到重视。本文就¹⁸F-NaF PET/CT在骨骼疾病诊断中的应用与研究进展做简要综述,以期提高其在骨骼疾病诊治中的临床效率。

1 ¹⁸F-NaF PET/CT与转移性骨肿瘤

1.1 ¹⁸F-NaF PET/CT与肺癌骨转移 肺癌早期即可发生骨转移,骨转移病灶的识别有利于明确分期和优化治疗方案。Rao等^[8]将肺癌骨转移患者分为两对照组进行研究,得出两组不同显像剂的灵敏度和特异度,即¹⁸F-NaF PET/CT(100.0%、98.9%)和^{99m}Tc-MDP SPECT(95.8%、80.8%)。覃瑞雪^[9]在40例疑有骨转移的肺癌患者中,比较¹⁸F-NaF PET/CT和¹⁸F-FDG PET/CT检出转移灶的灵敏度,两种检查方法分别为93.06%和91.02%。以上两项研究表明¹⁸F-NaF PET/CT对肺癌骨转移病灶的诊断具有较高的灵敏度,有利于检出肺癌早期骨转移灶,实现病变的早期干预。

1.2 ¹⁸F-NaF PET/CT与前列腺癌骨转移 前列腺癌易发生成骨细胞性骨转移,¹⁸F-NaF PET/CT对其成骨性转移灶的检出优势已在多名学者的研究中得到验证,Tanaka等^[10]回顾性分析了26例确诊或怀疑骨转移的前列腺癌患者,进行定量^{99m}Tc-MDP SPECT/CT和¹⁸F-NaF PET/CT检查,定量¹⁸F-NaF PET/CT通过数据重建得到的标准摄取值(standardized uptake value, SUV)明显高于SPECT/CT得到的SUV值,说明¹⁸F-NaF的趋骨性更好。Sheikhabaei等^[11]通过meta分析总结了14项有关前列腺癌骨

基金项目:四川省科技厅(编号:2022ZDZX0023)

作者单位:637000 四川南充 川北医学院附属医院核医学科

通信作者:游金辉, youjh@126.com

转移患者的研究,其中6项研究证明了 ^{18}F -NaF PET/CT检出骨转移病灶的能力优于 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP骨扫描;4项研究比较了 ^{18}F -NaF PET/CT和全身磁共振扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)对骨转移病灶的灵敏度,前者优于后者(95.0% vs. 83.0%),表明 ^{18}F -NaF PET/CT可较为敏感的识别出早期前列腺癌骨转移灶。Liu等^[12]的meta分析纳入45项研究,基于患者水平,对前列腺癌骨转移灶的诊断准确性, ^{68}Ga -前列腺特异性膜抗原(^{68}Ga -prostate specific membrane antigen, ^{68}Ga -PSMA) PET/CT最优, ^{18}F -NaF PET/CT、 ^{18}F -FDG PET/CT次之。但PMSA识别骨转移灶具有一定程度的非特异性^[13],而且对检出小于10.0 mm的成骨性病变的灵敏度相较于 ^{18}F -NaF PET/CT稍差^[14],因此, ^{68}Ga -PSMA PET/CT和 ^{18}F -NaF PET/CT结合应用,或许能提供更多的信息,其作用有待进一步探究。

1.3 ^{18}F -NaF PET/CT与乳腺癌骨转移 乳腺癌可经血液和淋巴管转移至骨,众多学者探究了 ^{18}F -NaF PET/CT对转移灶在骨的乳腺癌患者的临床价值。石庆学等^[15]回顾性分析了35例乳腺癌患者,由于解剖结构、骨转移灶的病变性质等诸多因素影响,在乳腺癌骨病灶水平发现 ^{18}F -NaF PET/CT的诊断性能优于 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP SPECT全身骨显像。Bénard等^[16]通过前瞻性研究进一步验证了此结论。Panagiotidis等^[17]在66例乳腺癌可疑脊柱骨转移患者中,通过显像发现 ^{18}F -NaF PET/CT的灵敏度为97.5%,特异度为96.15%;另外,MRI和 ^{18}F -NaF PET/CT在发现骨转移灶方面,一致性达97%(64/66),因此,以上研究表明 ^{18}F -NaF PET/CT可有效降低乳腺癌远处骨骼转移的漏诊率,且否定了乳腺癌骨转移患者进行两种检查的必要性。另外,有研究^[18]显示其全骨SUV的平均值和最大值可预测乳腺癌骨转移患者总生存期(overall survival, OS)。

1.4 ^{18}F -NaF PET/CT与鼻咽癌骨转移 鼻咽癌有早期扩散到咽旁间隙并侵犯颅底骨的倾向^[19],因其发生部位的特殊性,早期骨受累的诊断尚有一定的困难。因此,张伟^[20]回顾性分析了48例鼻咽癌患者,在鼻咽癌累及颅底骨的患者中发现 ^{18}F -NaF PET/CT相较于 ^{18}F -FDG PET/CT和MRI诊断优势更大(灵敏度96.15%比69.23%比92.31%),同时,在发生骨转移的鼻咽癌患者中,其灵敏度也表现出明显的优势(97.81%比44.81%比95.63%)。Wang等^[4]在19名被诊断为鼻咽癌骨转移的患者中发现 ^{18}F -NaF PET/CT显像相较于 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP SPECT/CT可准确地发现更多的病灶。可见 ^{18}F -NaF PET/CT在发生部位特殊、早期骨受累的骨转移灶方面有明显优势,有望提高临床诊断效率。

上述研究表明, ^{18}F -NaF PET/CT在恶性骨转移中具有敏感性更高,诊断效能更优等优势。除上述肿瘤外, ^{18}F -NaF PET/CT在甲状腺髓样癌(medullary thyroid carcinoma, MTC)骨转移灶中被证明同样具有诊断效能更优的特点^[21],也可作为预测泌尿系恶性肿瘤骨转移患者预后的有效工具^[22],在恶性肿瘤骨转移中临床应用前景广阔。

2 ^{18}F -NaF PET/CT与原发性骨肿瘤

骨肉瘤是原发性骨恶性肿瘤中的一类,儿童、青少年和青壮年最常见^[23]。Morland等^[24]报告1例右股骨成骨性骨肉瘤的男性患者, ^{18}F -NaF PET/CT可显示毫米级胸膜转移,CT和 ^{18}F -FDG PET/CT均未见上述病变,表明 ^{18}F -NaF PET/CT对检出远

处骨肉瘤成骨性病变的极高敏感性。Kairemo等^[23]纳入18例骨肉瘤患者,分别于基线和 $^{223}\text{RaCl}_2$ 治疗后进行 ^{18}F -NaF PET/CT显像,其SUV值在所有治疗后的患者中都发生了变化,在有反应的肿瘤中变化更明显,表明 ^{18}F -NaF PET/CT可用于精准地评估接受Ra-223治疗的骨肉瘤患者的疗效。因此, ^{18}F -NaF PET/CT在追踪骨肉瘤发生转移的远处成骨性病灶、监测骨肉瘤患者治疗效果方面有重要作用。

3 ^{18}F -NaF PET/CT与良性骨关节疾病

3.1 ^{18}F -NaF PET/CT与骨质疏松症 破骨细胞和成骨细胞的动态平衡维持骨骼系统的完整性,当动态失衡时,就会发生骨质疏松等病理性骨质状况^[25]。Park等^[26]对14名女性和6名男性骨质疏松症患者行 ^{18}F -NaF PET/CT检查,对女性骨质疏松症的灵敏度和特异度均优于男性(78.6%, 89.7%比50.0%, 66.7%),提示 ^{18}F -NaF PET/CT对诊断骨质疏松症具有良好的诊断效能,特别是在女性患者中。Rhodes等^[27]使用 ^{18}F -NaF PET/CT显像研究骨质疏松患者股骨颈局部代谢变化,利用局部骨组织与全股骨颈SUV的比值衍生出一种称为骨代谢评分(bone metabolism score, BMS)的指标,用于早期发现骨代谢异常,并通过骨密度(bone mineral density, BMD)来监测疾病进展和预测骨折风险。Sheppard等^[28]通过列举多项研究证明静态 ^{18}F -NaF PET/CT扫描的SUV值可以敏感地评估骨代谢情况和抗骨质疏松治疗反应;动态 ^{18}F -NaF PET/CT的动力学参数可能提供更有用的研究数据,例如评估骨灌注、深入了解骨细胞外液容量和成骨细胞活性等。Zhang等^[29]报道 ^{18}F -NaF PET/CT可以监测双磷酸盐对骨质疏松症的治疗效果。以上研究结果表明, ^{18}F -NaF PET/CT不仅可用于骨质疏松的诊断,还可用于代谢定量、病情评估和疗效监测等方面。

3.2 ^{18}F -NaF PET/CT与强直性脊柱炎 Son等^[30]报道了 ^{18}F -NaF PET/CT对68例强直性脊柱炎(ankylosing spondylitis, AS)患者的肌腱、韧带联合和骶髂关节病变诊断的敏感性为72.1%。同时有研究表明,在接受TNF- α 拮抗剂治疗的AS患者中, ^{18}F -NaF PET/CT的SUV_{max}可以准确地区分出有应答者和无应答者^[31]。Bruijnen等^[32]对10例AS患者进行 ^{18}F -NaF PET/CT扫描,所有患者的脊柱或骶髂关节处都出现了PET阳性的骨形成性病变;在TNF- α 拮抗剂治疗的12周内, ^{18}F -NaF PET/CT显示治疗有效者的原有病灶数较前减少,而无反应者则没有变化;24周时,治疗有效者原有病灶中 ^{18}F -NaF PET/CT摄取显著减少。以上研究表明 ^{18}F -NaF PET/CT显像为AS的诊断和疗效监测带来了希望。

3.3 ^{18}F -NaF PET/CT与类风湿性关节炎 Park等^[33]对17例类风湿性关节炎(rheumatoid arthritis, RA)进行 ^{18}F -NaF PET/CT扫描,发现关节SUV可敏感且准确地预测滑膜炎的发生,其灵敏度和特异度分别为83.2%和92.7%; ^{18}F -NaF PET/CT预测类风湿性关节炎疾病活动性的准确性为100.0%,提示其可以作为评估类风湿性关节炎疾病活动性的有效工具。

3.4 ^{18}F -NaF PET/CT与痛风性关节炎 痛风性关节炎是尿酸钠晶体沉积于全身各部位的一组综合征。近几年,核医学对痛风有了新的探索,Prigent等^[34]报道了1例 ^{18}F -FDG高摄取的纵隔痛风石沉积的病例。Emsen等^[35]应用 ^{18}F -FDG PET/CT对1

例颈椎溶骨性病变的老年女性进行显像,病灶呈高代谢,后证实为痛风石。Wang 等^[36]对 1 例多年痛风患者行 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP SPECT/CT 显像,多个关节和腰椎可见异常浓聚增高灶,术后病理诊断为痛风性脊柱炎。这些研究表明 ^{18}F -FDG PET/CT、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP SPECT/CT 在发现全身痛风性病变方面有优势,但目前只有少数文献报道其在痛风方面的应用, ^{18}F -NaF PET/CT 的作用尚需进一步探讨。

4 总结和展望

^{18}F -NaF 作为一种寻骨显像剂,具有多种优势,在骨骼良恶性疾病的诊断、病情评估和疗效监测中优势明显,并可作为进一步鉴别疑难骨骼病例的良好选择。在上述常见的恶性疾病骨转移中, ^{18}F -NaF PET/CT 检查技术已相对成熟,在骨质疏松、AS、RA 等良性骨骼病变中的应用已有相关文献报道,临床应用前景较为肯定。然而,尚需探索其更多的可应用领域,如某些病理分子的表达程度与 ^{18}F -NaF PET/CT 显像相关参数的相关性、评估良恶性骨骼疾病病灶的分布与严重程度和疗效监测的可行性等。 ^{18}F -NaF PET/CT 显像可在疾病的不同阶段扮演不同的角色,能否利用其寻骨的特点,进一步发展有关骨骼病灶方面的靶向治疗药物,有待进一步探索。虽然 ^{18}F -NaF PET/CT 显像在某些良恶性疾病诊断中有重要作用,但其鉴别能力尚有不足,如何更加有效提高其诊断特异性成为 ^{18}F -NaF PET/CT 诊断效率提升的关键环节,未来在此方面需要更多的研究,相信其潜在价值会给病人带来更多的福音。

参考文献

- [1] BLAU M, NAGLER W, BENDER M A. Fluorine-18: a new isotope for bone scanning[J]. J Nucl Med, 1962,3(4):332-334.
- [2] 黄钢,李亚明,李方.核医学[M].2版.北京:人民卫生出版社,2021:191-194.
- [3] AHMED N, SADEQ A, MARAFI F, et al. Therapy-induced bone changes in oncology imaging with ^{18}F -sodium fluoride (NaF) PET-CT[J]. Ann Nucl Med, 2022,36(4):329-339.
- [4] WANG D, YANG Y, ZENG Z, et al. Comparison of bone metastases between ^{18}F -NaF PET/CT, ^{18}F -NaF PET, and planar $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP bone scintigraphy in patients with newly diagnosed nasopharyngeal carcinoma[J]. Contrast Media Mol Imaging, 2022,2022:5975338.
- [5] PURI T, FROST M L, COOK G J, et al. [^{18}F] Sodium fluoride PET kinetic parameters in bone imaging[J]. Tomography, 2021, 7(4):843-854.
- [6] DADGAR H, NOROUZBEIGI N, JOKAR N, et al. Comparison of ^{18}F -NaF imaging, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP scintigraphy, and ^{18}F -FDG for detecting bone metastases[J]. World J Nuclear Med, 2022, 21:1-8.
- [7] VAZ S, USMANI S, GNANASEGARAN G, et al. Molecular imaging of bone metastases using bone targeted tracers[J]. Q J Nucl Med Mol Imaging, 2019,63(2):112-128.
- [8] RAO L, ZONG Z, CHEN Z, et al. ^{18}F -Labeled NaF PET-CT in detection of bone metastases in patients with preoperative lung cancer[J]. Medicine(Baltimore), 2016,95(16):34-90.
- [9] 覃瑞雪. ^{18}F -NaF PET/CT 与 ^{18}F -FDG PET/CT 诊断肺癌骨转移的对比研究[D]. 湖北:三峡大学,2021.
- [10] TANAKA K, NORIKANE T, MITAMURA K, et al. Quantitative [$^{99\text{m}}\text{Tc}$]Tc-MDP SPECT/CT correlated with [^{18}F]NaF PET/CT for bone metastases in patients with prostate cancer [J]. EJNMMI Phys, 2022,9(1):83.
- [11] SHEIKHBAHAEI S, JONES K M, WERNER R A, et al. ^{18}F -NaF-PET/CT for the detection of bone metastasis in prostate cancer: a meta-analysis of diagnostic accuracy studies[J]. Ann Nucl Med, 2019,33(5):351-361.
- [12] LIU F, DONG J, SHEN Y, et al. Comparison of PET/CT and MRI in the diagnosis of bone metastasis in prostate cancer patients: a network analysis of diagnostic studies[J]. Front Oncol, 2021,11:736-654.
- [13] SEIFERT R, TELLI T, OPITZ M, et al. Non-specific PSMA-1007 bone uptake evaluated through PSMA-11 PET, bone scan and MRI triple validation in patients with biochemical recurrence of prostate cancer[J]. J Nucl Med, 2022, 118: 215-434.
- [14] UPRIMNY C, SVIRYDENKA A, FRITZ J, et al. Comparison of [^{68}Ga]Ga-PSMA-11 PET/CT with [^{18}F]NaF PET/CT in the evaluation of bone metastases in metastatic prostate cancer patients prior to radionuclide therapy[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2018,45(11):1873-1883.
- [15] 石庆学,许欣茹,郭佳,等. ^{18}F -NaF PET/CT 显像与 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP SPECT 骨显像对乳腺癌患者骨转移诊断的对比研究[J]. 中国临床医学影像杂志, 2021,32(1):40-43.
- [16] BENARD F, HARSINI S, WILSON D, et al. Intra-individual comparison of ^{18}F -sodium fluoride PET-CT and $^{99\text{m}}\text{Tc}$ bone scintigraphy with SPECT in patients with prostate cancer or breast cancer at high risk for skeletal metastases (MITNEC-A1): a multicentre, phase 3 trial [J]. Lancet Oncol, 2022,23 (12):1499-1507.
- [17] PANAGIOTIDIS E, PANT V, VINJAMURI S. Review of the role of MRI and ^{18}F -sodium fluoride PET/computed tomography in the characterisation of spinal bone metastases in a cohort of patients with breast cancer[J]. Nucl Med Commun, 2023,44(3):219-225.
- [18] GOMES MARIN J F, DUARTE P S, ORDONES M B, et al. Whole skeletal mean SUV measured on ^{18}F -NaF PET/CT studies as a prognostic indicator in patients with bone metastatic breast cancer[J]. J Nucl Med Technol, 2021, 121: 262-907.
- [19] XIAO J, WANG D, GUO B, et al. Observer agreement and accuracy of ^{18}F -sodium fluoride PET/computed tomography in the diagnosis of skull-base bone invasion and osseous metastases in newly diagnosed nasopharyngeal carcinoma[J].

- Nucl Med Commun, 2020,41(9):942-949.
- [20] 张伟. ^{18}F -NaF PET/CT、 ^{18}F -FDG PET/CT及MRI对鼻咽癌患者颅底骨质受侵及骨转移的评估价值比较[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022,20(4):28-31.
- [21] UEDA C E, DUARTE P S, DE CASTRONEVES L A, et al. Comparison of ^{18}F -NaF PET/CT with other imaging methods in the detection of bone metastases in patients with medullary thyroid cancer: a report of a series of 31 cases[J]. Nucl Med Mol Imaging, 2020,54(6):281-291.
- [22] LIM I, LINDENBERG M L, MENA E, et al. ^{18}F -Sodium fluoride PET/CT predicts overall survival in patients with advanced genitourinary malignancies treated with cabozantinib and nivolumab with or without ipilimumab[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2020,47(1):178-184.
- [23] KAIREMO K, ROSZIK J, ANDERSON P, et al. ^{18}F -sodium fluoride positron emission tomography (NaF-18-PET/CT) radiomic signatures to evaluate responses to alpha-particle Radium-223 dichloride therapy in osteosarcoma metastases[J]. Curr Probl Cancer, 2021,45(5):100797.
- [24] MORLAND D, GODARD F, LALIRE P, et al. Superiority of NaF PET/CT over chest CT in a case of osteosarcoma[J]. Clin Nucl Med, 2021,46(7):584-585.
- [25] PARK P S U, RAYNOR W Y, SUN Y, et al. ^{18}F -Sodium Fluoride PET as a diagnostic modality for metabolic, autoimmune, and osteogenic bone disorders: cellular mechanisms and clinical applications[J]. Int J Mol Sci, 2021,22(12):6504.
- [26] PARK P S U, RESTO D A, KHURANA N, et al. The utility of ^{18}F -NaF-PET/CT in measuring the metabolic activity of aging spine: implications for osteoporosis[J]. Spine, 2023,10:1097.
- [27] RHODES S, BATZDORF A, SORCI O, et al. Assessment of femoral neck bone metabolism using (18)F-sodium fluoride PET/CT imaging[J]. Bone, 2020,136:115351.
- [28] SHEPPARD A J, PARAVASTU S S, WOJNOWSKI N M, et al. Emerging role of ^{18}F -NaF PET/computed tomographic imaging in osteoporosis: a potential upgrade to the osteoporosis toolbox[J]. PET Clin, 2023,18(1):1-20.
- [29] ZHANG V, KOA B, BORJA A J, et al. Diagnosis and monitoring of osteoporosis with total-body ^{18}F -Sodium Fluoride-PET/CT[J]. PET Clin, 2020,15(4):487-496.
- [30] SON S M, KIM K, PAK K, et al. Evaluation of the diagnostic performance of (18)F-NaF positron emission tomography/computed tomography in patients with suspected ankylosing spondylitis according to the Assessment of SpondyloArthritis International Society criteria[J]. Spine J, 2020,20:1471-1479.
- [31] KIM K, SON S M, GOH T S, et al. Prediction of response to tumor necrosis value-alpha blocker is suggested by (18)F-NaF SUVmax but not by quantitative pharmacokinetic analysis in patients with ankylosing spondylitis[J]. AJR, 2020,214:1352-1358.
- [32] BRUIJNEN S T G, VERWEIJ N J F, VAN DUIVENVOORDE L M, et al. Bone formation in ankylosing spondylitis during anti-tumour necrosis factor therapy imaged by ^{18}F -fluoride positron emission tomography[J]. Rheumatology (Oxford), 2018,57(4):770.
- [33] PARK H J, CHANG S H, LEE J W, et al. Clinical utility of F-18 sodium fluoride PET/CT for estimating disease activity in patients with rheumatoid arthritis[J]. Quant Imaging Med Surg, 2021,11(4):1156-1169.
- [34] PRIGENT K, JEAN-JACQUES B, HEYNDRIKX M, et al. Atypical gouty mediastinal tophus mimicking thymoma on ^{18}F -FDG PET/CT[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2019,46(12):2623-2624.
- [35] EMSEN B, FITOUSSI A, CHALAYE J, et al. FDG PET/CT of cervical gout with spinal cord compression[J]. Clin Nucl Med, 2020,45(1):29-31.
- [36] WANG Y, ZHA Y, SHE R, et al. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -methylene diphosphonate SPECT/CT imaging of gout spondylitis: a case report [J]. J Int Med Res, 2022,50(10): 3000605221129557.
- (2023-07-18收稿)
(本文编校:闵敏,张迪)