

• 综述 •

影像学技术评估慢性骨髓炎感染范围的研究进展

史卫东, 韩文兴, 张建政, 张熔基, 何红英
(中国人民解放军总医院第四医学中心, 北京 100084)

【摘要】 慢性骨髓炎清创不彻底是导致复发的主要因素。在治疗慢性骨髓炎时, 彻底清除感染源是防止复发的关键。这一过程不仅包括全面清除感染灶、死骨、增生的瘢痕组织和肉芽组织, 还包括消除死腔和改善局部血液循环。在这些步骤中, 清创是一项核心程序, 判断清创范围又是能否彻底清创的前提。本文系统回顾了不同影像学技术在评估慢性骨髓炎感染范围中的应用, 并探讨了其未来发展趋势。传统 X 线平片虽然能初步提示骨髓炎, 但难以明确感染范围; CT 扫描具有精确的解剖定位功能, 对于术前评估骨感染范围有重要的意义, 但对软组织信息识别有限; MRI 则以其高敏感性清晰区分感染骨与软组织, 对软组织感染的评估有重要的提示作用, 但可能高估骨感染范围。核素技术如 ^{18}F -FDG PET/CT 和 SPECT/CT 在术前精准评估感染范围上展现出巨大潜力。未来, 通过优化不同影像学技术的组合应用, 结合临床症状、术中情况与病理结果, 并开发基于人工智能的影像分析平台, 将能更精准地评估感染范围, 为慢性骨髓炎患者提供更为有效、个性化的治疗方案, 提升治疗效果, 显著改善患者的生活质量。

【关键词】 影像学技术; 慢性骨髓炎; 估计值; 感染范围; 综述

中图分类号: R681.2

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.20240445

Progress on imaging techniques to assess the extent of chronic osteomyelitis

SHI Wei-dong, HAN Wen-xing, ZHANG Jian-zheng, ZHANG Rong-ji, HE Hong-ying (The Fourth Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100084, China)

ABSTRACT Incomplete debridement of chronic osteomyelitis is the main factor leading to recurrence. For the treatment of chronic osteomyelitis, the complete elimination of the source of infection is the key to preventing recurrence. This process includes not only the complete removal of infected lesions, dead bone, accreted scar tissue and granulation tissue, but also the elimination of dead space and improved local blood circulation. In these steps, debridement is a core procedure, and judging the scope of debridement is the premise of whether it could be completely debridement. This article systematically reviewed the application of different imaging techniques in evaluating the scope of chronic osteomyelitis infection, and discusses its future development trend. Although traditional plain X-ray film could preliminarily indicate osteomyelitis, it is difficult to determine the infection scope. CT scan has the function of accurate anatomic localization, which is important for preoperative assessment of the scope of bone infection, but the recognition of soft tissue information is limited. MRI, with its high sensitivity, clearly distinguishes between infected bone and soft tissue, which plays an important role in the evaluation of soft tissue infection, but may overestimate the extent of bone infection. Nuclide techniques such as ^{18}F -FDG PET/CT and SPECT/CT show great potential for accurately assessing the extent of infection before surgery. In the future, by optimizing the combination of different imaging technologies, combining clinical symptoms, intraoperative conditions and pathological results, and developing an image analysis platform based on artificial intelligence, it will be able to more accurately assess the scope of infection, provide more effective and personalized treatment plans for patients with chronic osteomyelitis, enhance treatment effects, and significantly improve quality of life of patients.

KEYWORDS Imaging technology; Chronic osteomyelitis; Estimate; Infection range; Review

慢性骨髓炎是一种严重的骨感染性疾病, 发病率在全世界范围内呈现上升趋势。该病最常见于糖尿病患者、创伤后或手术后的感染等高风险人群。慢性骨髓炎不仅会引发极大的疼痛和功能障碍, 影响患者的生活质量, 还可能导致严重的并发症, 如骨折

不愈合、肢体畸形, 甚至需要截肢等极端手术, 给患者带来沉重的经济负担和心理压力。彻底清创是慢性骨髓炎治疗的首要条件, 盲目扩大清创范围, 固然可实现彻底清创, 但增加了骨及软组织缺损量, 增加了Ⅱ期重建的难度^[1]。姑息性清创则容易引起感染复发^[2]。因此, 精准清创是兼顾彻底清创和最小组织破坏的最佳选择, 感染范围的精准评估是实现精准清创的关键, 也是困扰临床医生的主要问题^[3-4]。目

通信作者: 何红英 E-mail: doctorhehongying@163.com

Corresponding author: HE Hong-ying E-mail: doctorhehongying@163.com

前临床用于骨髓炎感染范围评估的影像学技术包括 X 线平片、计算机断层扫描 (computed tomography, CT)、磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 以及核医学技术等, 每种影像技术具有独特的优点和局限性, 通过对这些影像学技术的深入分析, 可以为临床医生在慢性骨髓炎的评估与精准清创中提供重要的参考。

综上所述, 慢性骨髓炎的危害不容忽视, 而感染范围的精确评估是成功清创和后续重建的关键。通过对影像学技术的系统综述, 本文将为临床实践提供新的见解和思路, 助力于应对这一难题。

1 X 线平片

X 线平片作为传统的影像学检查手段, 是慢性骨髓炎诊断和评估的一线影像学技术。X 线平片能够通过观察骨结构变化、骨皮质破坏情况以及周围软组织反应来提供感染部位的初步判断, 但不能在多层次、多方位观察骨质变化, 在骨质重叠部位无法观察病变, 只有病变进展到一定阶段, 如骨溶解、骨膜反应、死骨等特征明显表现时, 才能够帮助医生判断感染范围, 其敏感性相对较低, 因此, 仅靠 X 线片无法明确界定感染程度及清创范围。不过, X 线平片有自身的优势, 操作简单, 单次曝光辐射剂量低, 收费便宜, 能够显示患处骨质解剖的大体情况, 用于初步排外肿瘤、骨折等可能, 可以联合其他影像学检查评估感染范围, 是目前四肢长骨慢性骨髓炎的必要检查^[5]。此外, X 线平片可以作为后续随访的手段, 通过动态监测感染区域的变化, 为临床调整治疗方案提供参考。

总体而言, X 线平片在慢性骨髓炎的评估中具有不可替代的地位, 虽然其在早期检测方面存在不足, 但对于监测疾病进展和评估治疗效果而言, 仍然是一种经济、便捷的选择。未来, 结合其他更为先进的影像学技术, 如 CT 和 MRI, 将有望进一步提升慢性骨髓炎感染范围的评估准确性。因此, 进一步完善 X 线检查与现代影像技术的联用, 将为慢性骨髓炎的有效管理提供更全面的支持。

2 CT

CT 通过断层轴向成像技术可以发现细微的感染病灶, 分辨率优于 X 线平片, 可以更清晰地显示骨皮质破坏、骨膜增生、软组织扩张、死骨及异物等与感染有关的因素, 帮助医生准确评估感染扩展的范围^[6-9]。其次, CT 可以提供感染部位的解剖学定位信息, 通过三维重建技术提供立体影像, 有助于医生更加直观地了解感染的局部解剖结构, 能够准确定位增厚、硬化的骨皮质及窦道等, 引导穿刺活检和术前设计最佳骨皮质开窗位置, 提高外科手术的精确

性^[10]。此外, CT 检查对于术后的随访也具有极大的便利性, 可以快速监测骨愈合情况和感染复发的风险, 指导临床调整治疗方案。但是, CT 容易受到金属内植物的影响, 金属伪影严重影响着感染范围的评估。近年来, 随着 CT 金属伪影抑制技术的发展, 金属伪影对成像质量的影响在逐渐降低。不同研究的 CT 诊断准确性差异较大, WU 等^[11]基于机器学习的 CT 慢性骨髓炎诊断价值发现, CT 诊断的敏感性为 88.0%, 特异性为 77.0%。BIRES 等^[12]发现在慢性骨髓炎感染范围评估时, 其敏感性仅 67%、特异性为 50%。另外, CT 对死骨的评估优于 MRI, 在评估慢性骨髓炎是否合并骨折及骨缺损的整体状况时具有独特优势^[13-15]。因此, 该技术在评估慢性骨髓炎感染范围时仍有很好的参考价值。

综上, CT 在慢性骨髓炎的感染范围评估中具有重要的应用价值, 其独特的成像优势和较高的准确性使其成为慢性骨髓炎管理中的一项关键工具。尽管 CT 在辐射剂量方面存在一定的担忧, 但结合其在临床决策中的不可替代性, 合理使用 CT 技术仍然是提高慢性骨髓炎诊疗水平的重要手段。未来, 将 CT 与其他影像学技术相结合, 以实现更为全面和精准的评估, 将是进一步提升慢性骨髓炎管理效果的关键方向。

3 MRI

近年来, MRI 在慢性骨髓炎感染范围评估中受到广泛关注。研究表明, MRI 在识别骨髓炎的病变方面具有显著优势, 在活动期, T1 加权相和 T2 加权相均为高信号^[8]。在静止期, T1 加权相和 T2 加权相信号均降低, 能够通过观察骨髓水肿、软组织感染和液体积聚等变化来精确判断感染范围^[16]。MRI 能够区分局限于骨皮质、伴有软组织缺损的骨髓炎和累及整个髓腔的弥散性骨髓炎; 可以确定细小范围的解剖结构, 在术前能够准确评估骨感染程度及清创边界, 是评估感染范围最佳影像学手段。相比具有辐射的 X 线平片、CT 和核素扫描等检查技术, MRI 不涉及放射性辐射, 更加安全, 特别适合于需要多次随访的慢性骨髓炎患者, 动态监测疾病发生发展; 其次, 该技术具有良好的骨与软组织对比度, 敏感度优于 CT 及 X 线平片^[16]。BIRES 等^[12]研究发现, MRI 诊断的敏感性为 78%~90%, 特异性为 60%~90%。MRI 难以鉴别水肿和感染病灶, 可能会过大评估感染范围^[17], 其特异性较低。LEE 等^[18]研究发现, MRI、自体白细胞标记闪烁显像和正电子发射断层成像 (positron emission tomography, PET) 在慢性骨髓炎诊断的特异性分别为 60%、77%、91%。此外, MRI 对于骨性结构包括死骨的显像明显不及 CT 精准^[8,19]; 其

检查环境空间相对狭小,幽闭恐惧症患者难以完成检查;体内有心脏起搏器患者禁用。金属植入物引起的伪影可以显著降低 MRI 图像^[8],磁化率伪影表现为一个被高信号环包围的信号空洞,这种效应在脂肪抑制序列上比在正常的 T1 加权自旋回波序列上更强烈,影响评估准确度^[6]。不过,随着合成材料技术的发展,MRI 也逐渐能够兼容内固定物存在的情况进行检查^[20]。临床应用中,MRI 能提供精细解剖信息,使得临床医生能够更全面地评估感染的深度和范围,这对于制定清创手术方案至关重要。此外,MRI 在治疗效果评估及并发症监测方面也展现出了良好的应用潜力,能够及时反映疾病进展和复发,从而促进个体化治疗方案的调整。

综上所述,MRI 在慢性骨髓炎的感染范围评估中发挥了重要作用,其优越的成像特性和对软组织变化的高度敏感性使其成为评估慢性骨髓炎的首选工具。尽管 MRI 检查对于患者的时间和费用成本较高,但其独特的优势使其在慢性骨髓炎的诊断和管理中具有重要的临床应用价值。未来,结合其他影像学技术的应用,将为提高慢性骨髓炎患者的早期诊断和综合治疗效果提供新的思路与方向。

4 核医学技术

核医学技术是一种通过使用放射性示踪剂来生成体内组织、器官和各种生理过程图像的医学技术。这些放射性药物在体内会发出伽马射线或正电子,专用的影像设备如伽马相机或 PET 扫描仪可以检测到这些射线并形成图像。这些图像能够提供关于解剖结构和生理功能的详细信息,有助于疾病的早期诊断。

4.1 18F-氟代脱氧葡萄糖(18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography, 18F-FDG)PET/CT

18F-FDG 是葡萄糖的类似物,由氟-18 标记,在体内,18F-FDG 会被细胞吸收,但由于其化学结构与葡萄糖不同,不会被完全代谢,而会滞留在细胞中,这一特性使得 18F-FDG 特别适用于评估组织的葡萄糖代谢活动^[8]。18F-FDG PET 是一种高级的医学成像技术,结合了 18F-FDG 示踪剂和 PET 扫描设备,用于评估体内组织和器官的新陈代谢和功能活动。在炎症、感染、肿瘤部位、白细胞聚集、葡萄糖高消耗方面,18F-FDG PET 能够高效地识别并定位炎症、感染及肿瘤病灶^[21]。18F-FDG PET/CT 将 18F-FDG PET 功能显像与 CT 解剖显像进行融合,是显示不同组织糖利用率的一种断层显像技术,是非常有前景的评估骨感染范围的影像学技术^[22],在评估慢性骨髓炎方面优势明显。PET 相机系统在检测光子方面有更大的效率,空间分辨率为 3~4 mm^[23],不

受金属植入物的影响,三维定位和解剖形态准确性均得到改善,局部骨质代谢更加清晰,因此在评估感染范围方面优势最佳^[24]。WENTER 等^[25]研究发现 18F-FDG PET/CT 在慢性骨髓炎诊断中的敏感性为 88%,特异性为 76%,准确性为 82%。该技术对判断骨不连是否存在感染同样也有很高价值。其缺点是价格昂贵,难以普及;另一方面,在 2 型糖尿病患者中由于外周组织存在胰岛素抵抗,不能将 FDG 转运进细胞内,令该技术的使用受到制约^[26]。

综上所述,18F-FDG PET/CT 技术在慢性骨髓炎感染范围的评估中展现出独特的优势。其融合代谢与解剖成像的特性,加上较高的准确性,使其成为当今骨髓炎管理中的重要工具。尽管 PET/CT 的成本相对较高,但其在提高诊断准确性及优化临床决策中的显著作用,值得进一步推广和应用。

4.2 单光子发射计算机断层扫描(single-photon emission computed tomography, SPECT)/CT

SPECT 成像依赖于放射性示踪剂(如锝-99m)注入体内,这些示踪剂会聚集在特定的器官或组织中(如心脏、脑部或骨骼)。伽马相机可以捕捉这些放射性示踪剂发出的伽马射线,计算机则根据这些伽马射线的数据生成 3D 图像。SPECT/CT 是将 SPECT 和 CT 结合在一起的混合成像技术。这种方法结合 SPECT 和 CT 各自的优势,提供了功能信息和解剖信息的整合图像,极大地提高了诊断的准确性和全面性。PLATE 等^[27]研究显示 SPECT/CT 在骨髓炎及骨科植入物诊断感染的总体敏感性、特异性及准确性分别为 77.8%、94.1%和 88.5%。在一些伴有软组织感染的骨髓炎病例中,SPECT/CT 能够更精确地判断感染程度。研究发现,SPECT/CT 在慢性骨髓炎的定性及定位方面均有很高的价值,并且可以区分急性、慢性感染^[28-29]。四肢骨折后出现骨不连单纯应用 CT 或 X 线平片难以判断是否存在感染^[30]。SPECT/CT 技术可以提高骨扫描的效果,对判断四肢长骨干骨不连是否存在感染有更好的价值^[31]。HORGER 等^[32]发现 SPECT/CT 在判断慢性骨髓炎感染范围时比单独 SPECT 具有更高的特异性(分别为 89%和 78%)。

综上所述,SPECT/CT 技术在慢性骨髓炎感染范围的评估中展现出良好的应用前景。其独特的成像特性使其能够提供细致的病理生理信息,帮助临床医生更精确地判断感染情况。尽管 SPECT/CT 在设备和操作方面要求较高,但其综合优势在慢性骨髓炎的早期诊断、手术规划和术后监测中不可替代。未来可继续探索 SPECT/CT 与其他影像学技术的联合应用,以实现慢性骨髓炎的全面评估和管理,进

一步提高患者的治疗效果和生活质量。

4.3 骨三相扫描

骨三相扫描(three phase bone scintigraphy)通过使用放射性示踪剂(通常是锝-99m 标记的磷酸盐化合物),检测骨骼的血流量、软组织活性和骨代谢活动。这种骨闪烁显像包括 3 个阶段。第 1 阶段是灌注阶段,或血流相,在给药后的前 2 min 内动态进行;第 2 阶段是血池相,也可以直接在第 1 阶段之后(在注射后 2~5 min)进行;第 3 阶段是延迟相,描述了放射性药物进入骨基质,通常在给药 3 h 后进行。可以将延迟相与 SPECT/CT 相结合,以定位骨代谢增加的区域。在怀疑骨感染的情况下,所有 3 个阶段都是必要的,同时了解骨血流情况和代谢活动。骨三相扫描被广泛使用,相对便宜,易于执行,并可快速完成,检测敏感,并可在症状出现后 2 d 内呈阳性^[33]。EL-MAGHRABY 等^[34]报道,使用 99mTc 标记的亚甲基二磷酸酯进行骨闪烁扫描以评估骨髓炎的标准方法是三阶段手术,所有 3 个阶段的阳性摄取对骨髓炎高度敏感(敏感性 73%~100%)。PALESTRO 等^[35]研究发现,骨三相扫描诊断骨髓炎的准确率>90%。

综上所述,不同影像学技术对评估慢性骨髓炎感染范围各有优缺点,因此,多种影像学技术相结合才能比较准确地判断感染范围^[36]。X 线平片虽不能明确区分感染骨和非感染骨之间的界限,但仍是必要检查;CT 扫描提供感染部位的解剖学定位信息,可用于引导穿刺活检和设计最佳骨皮质开窗位置;MRI 技术评估慢性骨髓炎感染范围敏感性最佳,能将骨与软组织对比并清晰区分开来,了解病变大致范围。尽管可能高估感染范围,但仍是重要参考,临床可结合 CT 判断感染范围。18F-FDG PET/CT 和 SPECT/CT 使用前景较大,使术前感染范围精准判断成为可能,如条件允许同样可作为必要检查。

5 结语与展望

慢性骨髓炎诊断与治疗过程中,准确评估感染范围一直是临床挑战的核心。X 线平片、CT 扫描、MRI 以及 18F-FDG PET/CT 和 SPECT/CT 等多种影像学技术各有侧重,例如 CT 在解剖定位方面优势明显,而 MRI 对感染范围的敏感性最高,SPECT/CT 和 18F-FDG PET/CT 则更适用于术前精准评估。综合分析表明,有效控制感染且避免过度清创的关键在于精准的术前设计。因此,建议临床医生应结合患者症状和体征,充分发挥多种影像学技术的优势,采取综合应用策略,精确评估感染范围,为精准治疗慢性骨髓炎奠定基础,最终提高治疗效果并改善患者生活质量。未来研究可进一步探索不同影像学技术组合方案的最佳搭配策略,以及人工智能辅助诊断等

新技术的应用,为慢性骨髓炎诊治提供更精准、更有效的解决方案。

利益冲突:所有作者声明不存在利益冲突。

参考文献

- [1] SAMBRI A, SPINNATO P, TEDESCHI S, et al. Bone and joint infections: the role of imaging in tailoring diagnosis to improve patients' care[J]. J Pers Med, 2021, 11(12): 1317.
- [2] ANDRZEJOWSKI P, MASQUELET A, GIANNODIS P V. Induced membrane technique (masquelet) for bone defects in the distal Tibia, foot, and ankle: systematic review, case presentations, tips, and techniques[J]. Foot Ankle Clin, 2020, 25(4): 537-586.
- [3] PINEDA C, ESPINOSA R, PENA A. Radiographic imaging in osteomyelitis: the role of plain radiography, computed tomography, ultrasonography, magnetic resonance imaging, and scintigraphy[J]. Semin Plast Surg, 2009, 23(2): 80-89.
- [4] 中华医学会骨科学分会, 沈杰, 陈林, 等. 膜诱导技术治疗感染性骨缺损临床循证指南 (2023 版)[J]. 中华创伤杂志, 2023, 39(2): 107-120.
- CHINESE ORTHOPEDIC ASSOCIATION, SHEN J, CHEN L, et al. An evidence-based clinical guideline for the treatment of infectious bone defect with induced membrane technique (version 2023)[J]. Chin J Trauma, 2023, 39(2): 107-120. Chinese.
- [5] ILIADIS A D, SHIVJI F, DEBUKA E, et al. Current concepts in the prevention, diagnosis and treatment of fracture-related infection (FRI)[J]. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2021, 31(5): 957-966.
- [6] GEURTS J, HOHNEN A, VRANKEN T, et al. Treatment strategies for chronic osteomyelitis in low- and middle-income countries: systematic review[J]. Trop Med Int Health, 2017, 22(9): 1054-1062.
- [7] DYM H, ZEIDAN J. Microbiology of acute and chronic osteomyelitis and antibiotic treatment[J]. Dent Clin North Am, 2017, 61(2): 271-282.
- [8] ZHOU A K, GIRISH M, THAHIR A, et al. Radiological evaluation of postoperative osteomyelitis in long bones: which is the best tool[J]. J Perioper Pract, 2022, 32(1/2): 15-21.
- [9] KUBIK J, AITKEN S, BUCKLEY R. Induced membrane technique for bone loss in the lower limb—Does the Masquelet technique work as well as its reputation says it does[J]. Injury, 2022, 53(2): 224-226.
- [10] ZHANG X H, LU Q, LIU T, et al. Bacterial resistance trends among intraoperative bone culture of chronic osteomyelitis in an affiliated hospital of South China for twelve years[J]. BMC Infect Dis, 2019, 19(1): 823.
- [11] WU Y F, LU X, HONG J Q, et al. Detection of extremity chronic traumatic osteomyelitis by machine learning based on computed-tomography images: a retrospective study[J]. Medicine, 2020, 99(9): e19239.
- [12] BIRES A M, KERR B, GEORGE L. Osteomyelitis: an overview of imaging modalities[J]. Crit Care Nurs Q, 2015, 38(2): 154-164.
- [13] CHASTAIN D B, DAVIS A. Treatment of chronic osteomyelitis with multidose oritavancin: a case series and literature review[J]. Int J Antimicrob Agents, 2019, 53(4): 429-434.
- [14] FANTONI M, TACCARI F, GIOVANNENZE F. Systemic antibiotic treatment of chronic osteomyelitis in adults[J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2019, 23(2 Suppl): 258-270.
- [15] VAN VUGT T A G, WALRAVEN J M B, GEURTS J A P, et al. An-

- tibiotic-loaded collagen sponges in clinical treatment of chronic osteomyelitis: a systematic review[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2018, 100(24): 2153–2161.
- [16] WEAVER J S, OMAR I M, MAR W A, et al. Magnetic resonance imaging of musculoskeletal infections[J]. *Pol J Radiol*, 2022, 87: e141–e162.
- [17] PUGMIRE B S, SHAILAM R, GEE M S. Role of MRI in the diagnosis and treatment of osteomyelitis in pediatric patients[J]. *World J Radiol*, 2014, 6(8): 530–537.
- [18] LEE Y J, SADIGH S, MANKAD K, et al. The imaging of osteomyelitis[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2016, 6(2): 184–198.
- [19] CRAIG J G, AMIN M B, WU K, et al. Osteomyelitis of the diabetic foot: MR imaging–pathologic correlation[J]. *Radiology*, 1997, 203(3): 849–855.
- [20] SOLDATOS T, DURAND D J, SUBHAWONG T K, et al. Magnetic resonance imaging of musculoskeletal infections: systematic diagnostic assessment and key points[J]. *Acad Radiol*, 2012, 19(11): 1434–1443.
- [21] BUCHRITS S, MCNEIL R, AVNI T, et al. The contribution of 18F FDG PET–CT for the investigation of fever of unknown origin and inflammation of unknown origin[J]. *Am J Med*, 2024, 137(7): 629–639.
- [22] MARTINEZ –LORCA A, AJURIA –ILLARRAMENDI O, ORDU –ÑA –DIEZ M D P. Osteomyelitis detected by 18F–FDG PET–CT[J]. *An Pediatr*, 2024, 100(5): 390–391.
- [23] GOVAERT G A M, GLAUDEMANS A W J M. Nuclear medicine imaging of posttraumatic osteomyelitis[J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2016, 42(4): 397–410.
- [24] LLEWELLYN A, JONES –DIETTE J, KRAFT J, et al. Imaging tests for the detection of osteomyelitis: a systematic review [J]. *Health Technol Assess*, 2019, 23(61): 1–128.
- [25] WENTER V, MÜLLER J P, ALBERT N L, et al. The diagnostic value of [(18)F] FDG PET for the detection of chronic osteomyelitis and implant–associated infection[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2016, 43(4): 749–761.
- [26] SCHWEGLER B, STUMPE K D M, WEISHAUPT D, et al. Unsuspected osteomyelitis is frequent in persistent diabetic foot ulcer and better diagnosed by MRI than by 18F–FDG PET or 99mTc–MOAB[J]. *J Intern Med*, 2008, 263(1): 99–106.
- [27] PLATE A, WEICHSELBAUMER V, SCHÜPBACH R, et al. Diagnostic accuracy of 99mTc–antigranulocyte SPECT/CT in patients with osteomyelitis and orthopaedic device –related infections: a retrospective analysis[J]. *Int J Infect Dis*, 2020, 91: 79–86.
- [28] ARICAN P, OKUDAN B, SEFIZADE R, et al. Diagnostic value of bone SPECT/CT in patients with suspected osteomyelitis[J]. *Mol Imaging Radionucl Ther*, 2019, 28(3): 89–95.
- [29] 姜楠, 余斌. 骨折内固定术后感染的诊治最新进展[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2020, 22(12): 1098–1104.
- JIANG N, YU B. Current diagnosis and treatment of infection after internal fixation[J]. *Chin J Orthop Trauma*, 2020, 22(12): 1098–1104. Chinese.
- [30] KLEBER C, SCHASER K D, TRAMPUZ A. Komplikationsmanagement bei infizierter Osteosynthese: therapeutischer Algorithmus bei periimplantären Infektionen [complication management of infected osteosynthesis; therapy algorithm for peri-implant infections] [J]. *Chirurg*, 2015, 86(10): 925–34.
- [31] FILIPPI L, SCHILLACI O. Usefulness of hybrid SPECT/CT in 99mTc–HMPAO–labeled leukocyte scintigraphy for bone and joint infections[J]. *J Nucl Med*, 2006, 47(12): 1908–1913.
- [32] HORGER M, ESCHMANN S M, PFANNENBERG C, et al. The value of SPET/CT in chronic osteomyelitis[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2003, 30(12): 1665–1673.
- [33] PALESTRO C J, LOVE C, MILLER T T. Infection and musculoskeletal conditions: Imaging of musculoskeletal infections[J]. *Best Pract Res Clin Rheumatol*, 2006, 20(6): 1197–1218.
- [34] EL–MAGHRABY T A F, MOUSTAFA H M, PAUWELS E K J. Nuclear medicine methods for evaluation of skeletal infection among other diagnostic modalities[J]. *Q J Nucl Med Mol Imaging*, 2006, 50(3): 167–192.
- [35] PALESTRO C J, LOVE C, TRONCO G G, et al. Combined labeled leukocyte and technetium 99m sulfur colloid bone marrow imaging for diagnosing musculoskeletal infection[J]. *Radiographics*, 2006, 26(3): 859–870.
- [36] 张扬, 刘亦杨, 沈立锋, 等. 慢性骨髓炎患者骨组织的转录组特征分析[J]. *中国骨伤*, 2024, 37(5): 519–526.
- ZHANG Y, LIU Y Y, SHEN L F, et al. Transcriptomic characteristics analysis of bone from chronic osteomyelitis[J]. *China J Orthop Traumatol*, 2024, 37(5): 519–526. Chinese.

(收稿日期: 2024–09–23 本文编辑: 李宜)