

多模态影像学方法在多发性骨髓瘤诊断及疗效评估中的研究进展

王楚昊, 刘家彤, 崔志新*

承德医学院附属医院放射科, 河北 承德

收稿日期: 2025年12月13日; 录用日期: 2026年1月7日; 发布日期: 2026年1月15日

摘要

多发性骨髓瘤是血液系统第二常见的恶性肿瘤, 通过影像学检查明确骨病变, 鉴定骨髓浸润及骨质破坏显得尤为重要。在多发性骨髓瘤的影像诊断及评估中, 全身低剂量CT (Whole body Low dose Computed Tomography, WBLDCT)、磁共振成像(Magnetic resonance imaging, MRI)、核医学技术(PET/CT)及双能CT (Dual-Energy Computed Tomography, DECT)等技术各有优势。WBLDCT对病人辐射剂量小, 可清晰显示骨质结构。多发性骨髓瘤是一个动态进展的过程, MRI凭借其骨髓微环境变化的高度敏感性, 早期即可发现骨髓浸润和软组织肿块。近年来, ^{18}F -FDG PET/CT因其能够在分子代谢水平上反映肿瘤活性, 被国际骨髓瘤工作组推荐为评估治疗反应的首选技术。随着DECT在临床的逐步普及, 其衍生的虚拟去钙技术(VNCA)可有效去除骨钙干扰, 清晰显示骨髓内的病理改变, 实现对骨髓浸润程度的可视化与定量分析。联合应用多种影像学方法形成的多模态评估体系, 不仅有助于提升多发性骨髓瘤的早期诊断率和分期准确性, 更为动态监测疾病演变、优化治疗策略及改善患者预后提供了强有力的支撑。在本篇综述中, 多方面地对骨髓瘤影像学特征进行综述, 探讨多发性骨髓瘤的影像学检查、诊断及疗效监测。

关键词

多发性骨髓瘤, 双能CT, 磁共振成像, 核医学, 骨髓浸润

Research Progress of Multimodal Imaging Methods in the Diagnosis and Efficacy Evaluation of Multiple Myeloma

Chuhao Wang, Jiatong Liu, Zhixin Cui*

Department of Radiology, Affiliated Hospital of Chengde Medical University, Chengde Hebei

Received: December 13, 2025; accepted: January 7, 2026; published: January 15, 2026

*通讯作者。

文章引用: 王楚昊, 刘家彤, 崔志新. 多模态影像学方法在多发性骨髓瘤诊断及疗效评估中的研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(1): 1431-1436. DOI: 10.12677/acm.2026.161184

Abstract

Multiple myeloma (MM) is the second most common malignant tumor of the hematological system. It is particularly important to clarify bone lesions, identify bone marrow infiltration and bone destruction through imaging examinations. In the imaging diagnosis and evaluation of MM, various technologies including whole-body low-dose computed tomography (WBLDCT), magnetic resonance imaging (MRI), nuclear medicine technology (PET/CT), and dual-energy computed tomography (DECT) have their own advantages. WBLDCT has a low radiation dose to patients and can clearly display bone structure. As a dynamically progressive disease, MM can be detected early for bone marrow infiltration and soft tissue masses by MRI, which is highly sensitive to changes in the bone marrow microenvironment. In recent years, 18F-FDG PET/CT has been recommended by the International Myeloma Working Group (IMWG) as the preferred technique for assessing treatment response due to its ability to reflect tumor activity at the molecular metabolic level. With the gradual popularization of DECT in clinical practice, its derived virtual non-calcium (VNCa) technology can effectively eliminate the interference of bone calcium, clearly display pathological changes in the bone marrow, and realize the visualization and quantitative analysis of the degree of bone marrow infiltration. The multimodal evaluation system formed by the combined application of multiple imaging methods not only helps to improve the early diagnosis rate and staging accuracy of MM, but also provides strong support for dynamically monitoring disease progression, optimizing treatment strategies, and improving patient prognosis. In this review, the imaging characteristics of myeloma are summarized in various aspects, and the imaging examination, diagnosis and efficacy monitoring of MM are discussed.

Keywords

Multiple Myeloma, Dual-Energy Computed Tomography, Magnetic Resonance Imaging, Nuclear Medicine, Bone Marrow Infiltration

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

多发性骨髓瘤(MM)约占血液系统恶性肿瘤的 10%，它是一种浆细胞恶性肿瘤，由骨髓中浆细胞的单克隆增殖引起。基于疾病进展阶段的分类为意义未明单克隆丙种球蛋白病(monoclonal gammopathy of undetermined significance, MGUS)，属于癌前病变，无临床症状；冒烟型多发性骨髓瘤(smoldering multiple myeloma, SMM)，介于意义未明单克隆丙种球蛋白病和症状性骨髓瘤之间，仍无症状；症状性多发性骨髓瘤(active multiple myeloma, aMM)，骨髓克隆浆细胞比例 $\geq 10\%$ 或存在浆细胞瘤，同时伴至少 1 项“CRAB”症状(高钙血症、肾功能损害、贫血、骨损伤)，或其他骨髓瘤性事件。初诊骨髓瘤患者中高达 80%存在溶骨性损害，因此骨病的检出是确诊骨髓瘤的关键依据之一，另一方面在骨髓瘤治疗过程中，骨病的变化是评估疗效的重要参考。目前常用的影像学方法有 CT、MRI、PET/CT 等。这些技术各具优势，可以把解剖结构与功能代谢信息整合起来，为临床提供全新的非侵入评估途径。

2. 全身低剂量 CT (WBLDCT)

全身低剂量 CT 相较于常规 CT 通过优化扫描参数，在保证诊断所需图像质量的前提下，显著降低了

辐射剂量,可检测 ≥ 5 mm 溶骨病变,对脊柱/骨盆病变敏感性高,但对活动性骨髓瘤与陈旧性病灶难以区分[1]。国际骨髓瘤工作组(IMWG)与美国国家综合癌症网络(NCCN)指南一致推荐:对于疑似多发性骨髓瘤(MM)患者,首诊应首选 WBLDCT 或 ^{18}F -FDG PET/CT;若基线仅做了 MRI,必须补做 WBLDCT 以排除溶骨性病变[2]。WBLDCT 被欧洲骨髓瘤网络(EMN)推荐为初始评估骨髓瘤相关溶骨性骨病变的首选影像方法,适用于疾病分期、随访及脊柱稳定性评估等。此外全身低剂量 CT 还能发现一些处骨髓外其他部位的病变,应用全身低剂量 CT 进行评估 93 例多发性骨髓瘤患者中,超过三分之一(36.6%,即约 34 人),在接受低剂量全身 CT (LDCT)检查时,意外发现了非骨骼系统的病变(NOIF),这些病变被认为具有临床意义,因此骨髓瘤病人建议仔细评估是否有非骨骼系统的病变[3]。WB-MRI 在骨髓瘤骨皮质未见破坏但具有骨髓浸润时具有较高的敏感性,但全身低剂量 CT 在评估骨结构方面具有较高的优势,全身低剂量 CT 在骨髓瘤的骨病灶的检出及随访中可替代 WBMRI,尤其在资源有限时[4]。并且全身低剂量 CT 在评估骨髓瘤骨质受累情况中,观察者间一致性总体可接受,尤其对典型溶骨性病变和明显骨折,但受限于不同观察者间的经验及图像质量,对观察者进行培训,可提升观察者间一致性[5]。

3. 磁共振成像(MRI)

正常骨髓不同时期在 MRI 上表现不同,当骨髓瘤病人有骨髓浸润时在 T1WI 表现为低信号,STIR/T2WI-FS 表现为高信号,DWI 高 b 值表现为高信号。MRI 也可根据骨髓瘤病人的骨髓浸润,可将其分为正常型、弥漫型、局灶型、混合型及椒盐型。MRI 是在评估 CT 模糊性发现时的首选影像学检查,可靠地可视化骨质细胞早期侵入,避免骨骼破坏。在多发性骨髓相关并发症和骨外表现中,MRI 是疑似脊髓压迫患者首选方法[6]。

传统影像学检查方式如常规 MRI 及 CT 对于多发性骨髓瘤病人诊断及评估来说具有一定的局限性,DWI 作为 MRI 功能性序列,可通过表观扩散系数图定量检测水分子的运动,对 MM 病人具有较高的敏感性,可优化骨髓瘤病人的诊断、分期、评估[7][8]。DWI 在检测多发性骨髓瘤患者时的诊断表现显示,合并敏感性和合并特异性分别为 86%和 63%;且 DWI 在升级分期方面优于传统 MRI。在治疗反应评估中,不同研究显示 ADC 均值变化的敏感性和特异性分别约为 78%和 73%,诊断性比值比(OR)为 7.21,可用于区分治疗有反应者与无反应者[9],因此 MRI 适用于 MM 病人的诊断、分期及治疗评估。双 b 值 DWI 与三 b 值 DWI 对于病灶的检出能力不同。有研究表明,用三 b 值与双 b 值重建 ADC 图,比较两者在病灶与正常骨髓区域的 ADC 差异,结构显示 ADC2b 与 ADC3b 总体一致性良好,但在 ADC 值介于 $650\sim 750\text{ }\mu\text{m}^2/\text{s}$ 的临界病灶中,ADC3b 更准确[10]。利用定量多参数 WB-MRI 分析骨髓瘤病人及 SMM 病人 ADC 值、FF 等,研究结果显示,MM 病人 ADC 值、FF 显著低于 SMM 病人,两者在中轴骨上差异更显著,定量多参数 WBMRI 可作为非侵入性工具,减少不必要的活检提高诊断率[11]。

4. 双能 CT (DECT)

相比于传统 CT,双能 CT 有着更高的诊断价值[12][13]。常规 CT 虽能显示溶骨性病变,但对弥漫性骨髓浸润敏感性有限,而 MRI 作为金标准却受限于禁忌症和检查时长。双能量 CT (DECT)通过虚拟去钙技术(VNCA)实现骨髓成像,为 MM 的诊断提供了新思路。VNCA-DECT 可在无 MRI 条件下,快速、无创、准确地检测骨髓水肿、出血、炎症或肿瘤浸润,已覆盖头、脊柱、四肢、血管等多系统[14]。活动性多发性骨髓瘤常由 MGUS 和 SMM 发展而来,伴有局灶性或弥漫性骨髓浸润。有研究显示,VNCA-DECT 成像与 MRI 在骨髓瘤骨髓浸润模式分类上一致性良好,可有效诊断骨髓浸润,且不同解剖部位需采用特异性诊断阈值[15],并且第三代 DECT 的 VNCA 骨髓成像可通过定量 CT 值准确区分骨髓瘤弥漫性浸润与正常骨髓及红骨髓(RBM),对重度骨髓瘤浸润与 RBM 的鉴别效能更优,为 MRI 禁忌患者提供了可行

的替代方案,对于临床诊断和治疗决策具有重要意义[16]。国外学者利用双能 CT 虚拟去钙图像的视觉和基于感兴趣区(骨髓浸润区和正常骨髓区)的定量分析发现双能 CT 在评估多发性骨髓瘤患者骨髓浸润方面具有优异的诊断性能,精度与 MR 成像相当[17]。在王勤[18]等人的研究中,利用 VNCa 图像测定椎体 CT 值,评价椎体 VNCaCT 值与 MRI 信号强度相关性。以 MRI 为参考标准,评价 VNCa 对 MM 弥漫浸润病变的诊断能力。结果 MM 弥漫浸润椎体组($n = 62$) VNCa 的平均 CT 值为 (-13.27 ± 18.96) HU,明显高于非弥漫浸润椎体组($n = 17$)的 (-63.31 ± 26.75) HU。刘剑芳[19]等人利用双能 CT 评估脂肪(羟基磷灰石)密度[DFat(HAP)]在临床上诊断未有骨病的多发性骨髓瘤,且提出将脊柱分组分段可以更好地获得诊断结果。

5. 核医学(PET/CT)

^{18}F -FDG 是一种葡萄糖类似物,通过被高代谢的肿瘤细胞摄取(反映糖酵解活性),在 PET 图像上表现为高放射性浓聚。 ^{18}F -FDG PET/CT 作为一种融合功能代谢与解剖结构的影像技术,可应用于多发性骨髓瘤的诊断、分期和疗效评估中[20]。 ^{18}F -FDG PET/CT 对骨髓瘤的骨质破坏及髓外病变(淋巴结、脾脏、肝脏、肌肉)具有较高的检出率,还可将骨髓瘤骨病在 ^{18}F -FDG PET/CT 显像中分为三型,分别为骨质破坏代谢活跃型(PET 及 CT 均阳性),病变形态包括虫蚀样或穿凿样溶骨性骨质破坏,骨病变 SUVmax $2.9 \sim 11.7$ (5.1 ± 3.26);骨质破坏代谢正常型,表现为虫蚀样或穿凿样溶骨性骨质破坏,较周围正常骨质无明显放射性摄取增高;骨髓弥漫代谢活跃型(PET 阳性 CT 阴性),表现为全身尤其是中轴骨的骨髓弥漫性代谢增高,相应区域无明显的骨质破坏,仅表现为骨质疏松或髓腔密度增高, SUVmax 范围 $6.1 \sim 10.2$ [21]。IMPeTUs 标准适用于多发性骨髓瘤 ^{18}F -FDG PET/CT 的标准化视觉解读体系,旨在统一 MM 的 PET/CT 评估流程与判读结果。Sachpekidis [22]等人首次系统验证了新型 IMPeTUs 标准解读 ^{18}F -FDG PET/CT 对新诊断多发性骨髓瘤患者的预后评估价值,尤其针对接受大剂量化疗联合自体干细胞移植的人群。该研究的临床意义在于确立 IMPeTUs 标准的规范化应用价值,为不同中心的结果对比及临床研究开展提供统一依据。

国外一项研究中所选的多例骨髓瘤患者同期行 PET/CT 与 WB-MRI 检查,结果显示对于不同类型骨髓瘤的检出率, MRI 对骨髓瘤骨质破坏的检出率高于 PET/CT,尤其是在检测骨髓浸润和微小局灶性病变时, MRI 效果更好;治疗后残留病灶的评估中, ^{18}F -FDG PET/CT 特异性显著高于全身 MRI,因其可通过代谢活性区分残留肿瘤与治疗后的纤维化/水肿[23]。CT 与 MRI 两种方法对骨内病灶的识别能力高度一致并且在骨髓瘤的 ISS/DS 分期中 PET/CT 与 MRI 无显著差异($P > 0.05$) [24]。PET/CT 也可检出 CT 未发现的病灶,在一项研究中 19 处 ^{18}F -FDG PET/CT 检出阳性病灶, SUV 为 2.81 ± 0.98 ($1.30 \sim 6.00$)共检出病灶 303 处其中 PET/CT 有 222 处表现为 ^{18}F -FDG 摄取增高; CT 检出 268 处灶状溶骨性改变。PET 和 CT 同时检出的病灶为 187 处;同时 CT 检出的 PET 未检出病灶 81 处[25]。PET/CT 在鉴别骨髓瘤及骨转移方面也有一定优势,骨髓瘤与骨转移瘤的病灶部位 80%以上累及胸部骨、脊柱及骨盆,其次好发于四肢,并且两者多呈溶骨性改变,骨髓瘤的 SUVmax 明显低于骨转移瘤患者。骨髓瘤对 ^{18}F -FDG 多表现为弥漫性轻微摄取,骨转移瘤对 ^{18}F -FDG 多表现为不均匀高摄取,异有统计学意义($P < 0.05$) [26]。随着 PET/CT 的发展, ^{18}F -NaF PET/CT 的应用也越来越多, ^{18}F -NaF-PET/CT 在初诊 MM 中灵敏度低于 MRI 但高于 ^{18}F -FDG PET/CT,且一次扫描 15 min,适用于金属植入或幽闭恐惧患者;缺点是假阳性略高,费用高且存在辐射暴露[27]。

6. 总结与展望

过去十年, WBLDCT、DECT、MRI、PET/CT 在初诊、复发与疗效评估中完成了从“配角”到“主

角”的角色转换。了解多发性骨髓瘤的主要成像特征和不同成像方式的应用在肿瘤成像领域是至关重要的。AI与影像组学已广泛用于多发性骨髓瘤诊疗,可通过CT提取纹理、形态等特征,结合算法构建模型预测移植预后,还能辅助PET/CT、MRI实现病灶定量、疗效监测和复发预警,显著优于传统评估手段。但却存在单中心样本、病灶分割主观、成像设备差异等短板,这些均为当前亟待解决的问题。

未来,多模态影像学的发展将聚焦现有技术的深度优化与高效应用:进一步完善WBLDCT、WB-MRI、DECT、PET/CT的临床适配场景,通过优化检查流程、细化评估标准提升诊断精准度与效率,在保障诊疗质量的同时降低成本、减少辐射,让现有多模态技术更高效地服务于多发性骨髓瘤全程管理。

参考文献

- [1] Pop, V.S., Tomoaia, G. and Parvu, A. (2022) Modern Imaging Techniques for Monitoring Patients with Multiple Myeloma. *Medicine and Pharmacy Reports*, **95**, 377-384.
- [2] Hillengass, J., Usmani, S., Rajkumar, S.V., *et al.* (2019) International Myeloma Working Group Consensus Recommendations on Imaging in Monoclonal Plasma Cell Disorders. *The Lancet Oncology*, **20**, e302-e312.
- [3] Surov, A., Bach, A.G., Tcherkes, A. and Schramm, D. (2014) Non-Osseous Incidental Findings in Low-Dose Whole-Body CT in Patients with Multiple Myeloma. *The British Journal of Radiology*, **87**, Article 20140185. <https://doi.org/10.1259/bjr.20140185>
- [4] Ippolito, D., Giandola, T., Maino, C., Gandola, D., Ragusi, M., Bonaffini, P.A., *et al.* (2021) Whole Body Low Dose Computed Tomography (WBLDCT) Can Be Comparable to Whole-Body Magnetic Resonance Imaging (WBMRI) in the Assessment of Multiple Myeloma. *Diagnostics*, **11**, Article 857. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11050857>
- [5] Zacchino, M., Bonaffini, P.A., Corso, A., Minetti, V., Nasatti, A., Tinelli, C., *et al.* (2015) Inter-Observer Agreement for the Evaluation of Bone Involvement on Whole Body Low Dose Computed Tomography (WBLDCT) in Multiple Myeloma (MM). *European Radiology*, **25**, 3382-3389. <https://doi.org/10.1007/s00330-015-3733-0>
- [6] Treitl, K.M., Ricke, J. and Baur-Melnyk, A. (2022) Whole-Body Magnetic Resonance Imaging (WBMRI) versus Whole-Body Computed Tomography (WBCT) for Myeloma Imaging and Staging. *Skeletal Radiology*, **51**, 43-58. <https://doi.org/10.1007/s00256-021-03799-4>
- [7] Wang, K., Lee, E., Kenis, S., Hallam, S., Haroon, A., Wan, S., *et al.* (2022) Application of Diffusion-Weighted Whole-Body MRI for Response Monitoring in Multiple Myeloma after Chemotherapy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *European Radiology*, **32**, 2135-2148. <https://doi.org/10.1007/s00330-021-08311-z>
- [8] Hameed, M., Sandhu, A., Soneji, N., Amiras, D., Rockall, A., Messiou, C., *et al.* (2020) Pictorial Review of Whole Body MRI in Myeloma: Emphasis on Diffusion-Weighted Imaging. *The British Journal of Radiology*, **93**, Article 20200312. <https://doi.org/10.1259/bjr.20200312>
- [9] Torkian, P., Mansoori, B., Hillengass, J., Azadbakht, J., Rashedi, S., Lee, S.S., *et al.* (2023) Diffusion-Weighted Imaging (DWI) in Diagnosis, Staging, and Treatment Response Assessment of Multiple Myeloma: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Skeletal Radiology*, **52**, 565-583. <https://doi.org/10.1007/s00256-022-04119-0>
- [10] Zerunian, M., Masci, B., Pugliese, D., Nardacci, S., Polici, M., Pucciarelli, F., *et al.* (2025) ADC Measurement in Whole-Body MRI for Multiple Myeloma: A Three B-Values vs. Two B-Values DWI Comparison. *La radiologia medica*, **130**, 1275-1282. <https://doi.org/10.1007/s11547-025-02026-7>
- [11] Feliciani, G., Loi, E., Amadori, E., Antognoni, E., Iamurri, A.P., Diano, D., *et al.* (2025) Radiopsy: A Prospective Observational Study on Quantitative Multiparametric Whole-Body Magnetic Resonance Imaging to Discriminate between Smoldering and Multiple Myeloma. *Haematologica*, **110**, 3104-3108. <https://doi.org/10.3324/haematol.2025.287563>
- [12] Carotti, M., Salaffi, F., Beci, G. and Giovagnoni, A. (2019) The Application of Dual-Energy Computed Tomography in the Diagnosis of Musculoskeletal Disorders: A Review of Current Concepts and Applications. *La radiologia medica*, **124**, 1175-1183. <https://doi.org/10.1007/s11547-019-01015-x>
- [13] McLaughlin, P.D., Mallinson, P., Lourenco, P. and Nicolaou, S. (2015) Dual-Energy Computed Tomography: Advantages in the Acute Setting. *Radiologic Clinics of North America*, **53**, 619-638. <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2015.02.016>
- [14] D'Angelo, T., Albrecht, M.H., Caudo, D., Mazziotti, S., Vogl, T.J., Wichmann, J.L., *et al.* (2021) Virtual Non-Calcium Dual-Energy CT: Clinical Applications. *European Radiology Experimental*, **5**, Article No. 38. <https://doi.org/10.1186/s41747-021-00228-y>
- [15] Liang, L., Xiao, F., Liang, L., Luo, C., Peng, F., Ning, X., *et al.* (2025) Visual Assessment and Quantitative Analysis of Dual-Energy CT Virtual Non-Calcium in Imaging Diagnosis of Multiple Myeloma. *Skeletal Radiology*, **54**, 1059-1070.

- <https://doi.org/10.1007/s00256-024-04805-1>
- [16] Wang, T., Zhou, B., Zhang, K., Yan, C. and Guan, X. (2024) Value of Third-Generation of VNCa Dual-Energy CT for Differentiating Diffuse Marrow Infiltration of Multiple Myeloma from Red Bone Marrow. *Medicine*, **103**, e38003. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000038003>
- [17] Kosmala, A., Weng, A.M., Heidemeier, A., Krauss, B., Knop, S., Bley, T.A., *et al.* (2018) Multiple Myeloma and Dual-Energy CT: Diagnostic Accuracy of Virtual Noncalcium Technique for Detection of Bone Marrow Infiltration of the Spine and Pelvis. *Radiology*, **286**, 205-213. <https://doi.org/10.1148/radiol.2017170281>
- [18] 王勤, 孙照勇, 李烁, 等. 第3代双源双能CT虚拟去钙骨髓成像在多发骨髓瘤弥漫浸润性病变评价中的应用[J]. 中国医学科学院学报, 2017, 39(1): 114-119.
- [19] Jiang, N., Xia, Y., Luo, M., Chen, J., Qiu, Z. and Liu, J. (2024) Diagnosis of Newly Developed Multiple Myeloma without Bone Disease Detectable on Conventional Computed Tomography (CT) Scan by Using Dual-Energy CT. *Journal of Bone Oncology*, **48**, Article 100636. <https://doi.org/10.1016/j.jbo.2024.100636>
- [20] Nanni, C., Deroose, C.M., Balogova, S., Lapa, C., Withofs, N., Subesinghe, M., *et al.* (2024) EANM Guidelines on the Use of [^{18}F]FDG PET/CT in Diagnosis, Staging, Prognostication, Therapy Assessment, and Restaging of Plasma Cell Disorders. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, **52**, 171-192. <https://doi.org/10.1007/s00259-024-06858-9>
- [21] 谢丽璇, 杨秀蓉, 卢静, 等. ^{18}F -FDG PET/CT 显像在多发骨髓瘤中的诊断价值及影像学表现分型[J]. 华南国防医学杂志, 2022, 36(6): 440-443+466.
- [22] Sachpekidis, C., Merz, M., Raab, M., Bertsch, U., Weru, V., Kopp-Schneider, A., *et al.* (2021) The Prognostic Significance of [^{18}F]FDG PET/CT in Multiple Myeloma According to Novel Interpretation Criteria (IMPeTUs). *EJNMMI Research*, **11**, Article No. 100. <https://doi.org/10.1186/s13550-021-00846-y>
- [23] Gómez León, N., Vicuña-Andrés, I., Aguado-Bueno, B., Garrido-Enjamio, F., Galán-González, I., Castillo-Morales, V., *et al.* (2025) Whole-Body MRI versus [^{18}F]FDG PET/CT in Diagnosing and Monitoring Plasmacytomas: A Comparative Study. *Clinical Nuclear Medicine*, **50**, 695-706. <https://doi.org/10.1097/rlu.0000000000005954>
- [24] 周存凉, 丁男生, 沈月红. PET/CT 和 MRI 在多发骨髓瘤诊断中的应用价值及影像表现分析[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2019, 17(12): 143-145+152.
- [25] 叶香华, 吴湖炳, 王全师, 等. ^{18}F -FDG PET/CT 诊断多发骨髓瘤[J]. 中国医学影像技术, 2009, 25(5): 897-900.
- [26] 郑庆中, 苏洁敏, 李小玲, 等. ^{18}F -FDG PET/CT 显像对多发骨髓瘤与骨转移瘤的鉴别诊断价值[J]. 中国实验血液学杂志, 2020, 28(4): 1267-1271.
- [27] Dyrberg, E., Hendel, H.W., Al-Farra, G., *et al.* (2017) A Prospective Study Comparing Whole-Body Skeletal X-Ray Survey with ^{18}F -FDG-PET/CT, ^{18}F -NaF-PET/CT and Whole-Body MRI in the Detection of Bone Lesions in Multiple Myeloma Patients. *Acta Radiologica Open*, **6**, Article 205846011773880. <https://doi.org/10.1177/2058460117738809>