

影像学检查在前列腺癌骨转移诊断中的研究进展

李松璋¹, 黄敏玉^{2*}, 付小金²

¹右江民族医学院研究生学院, 广西 百色

²右江民族医学院附属医院泌尿外科, 广西 百色

收稿日期: 2024年11月5日; 录用日期: 2024年11月29日; 发布日期: 2024年12月10日

摘要

前列腺癌(PCa)是全球男性除肺癌之外的第二大常见的恶性肿瘤,同时也是我国中老年男性最常见的恶性肿瘤之一,骨转移是其常见的并发症之一,骨转移导致的骨相关不良事件(SREs)严重影响患者的生活质量和预后,且我国患者相对而言大部分发现较晚,多数患者已出现骨转移等并发症,故早期发现并诊断出前列腺癌,对患者的治疗、生活质量及预后等具有重大影响。现阶段影像学检查因其经济、简便与无创等优势在前列腺癌的应用中备受重视,影像学检查主要包括超声检查、X线、计算机断层扫描(CT)、核磁共振成像(MRI)、单光子发射断层扫描(SPECT/CT)及PET/CT扫描,本文就以上检查方法的目前研究进展进行综述。

关键词

前列腺癌骨转移, 超声检查, X线检查, CT检查, MRI检查, SPECT/CT检查, PET/CT检查

Research Progress of Imaging Examination in the Diagnosis of Bone Metastasis of Prostate Cancer

Songzhang Li¹, Minyu Huang^{2*}, Xiaojin Fu²

¹Graduate School of Youjiang Medical University for Nationalities, Baise Guangxi

²Department of Urology, Affiliated Hospital of Youjiang Medical University for Nationalities, Baise Guangxi

Received: Nov. 5th, 2024; accepted: Nov. 29th, 2024; published: Dec. 10th, 2024

Abstract

Prostate cancer (PCa) is the second most common malignant tumor in men worldwide except lung

*通讯作者。

文章引用: 李松璋, 黄敏玉, 付小金. 影像学检查在前列腺癌骨转移诊断中的研究进展[J]. 临床医学进展, 2024, 14(12): 249-257. DOI: 10.12677/acm.2024.14123073

cancer, and it is also one of the most common malignant tumors in middle-aged and elderly men in China. Bone metastasis is one of the common complications, and bone-related adverse events (SREs) caused by bone metastasis seriously affect the quality of life and prognosis of patients, and the majority of patients in China are relatively late detected, and most of the patients have already suffered from complications such as bone metastasis. Therefore, early detection and diagnosis of prostate cancer has a significant impact on patients' treatment, quality of life and prognosis. At the present stage, imaging examination is highly valued in the application of prostate cancer because of its advantages of economy, simplicity and non-invasiveness, etc. Imaging examination mainly includes ultrasonography, X-ray, computed tomography (CT), magnetic resonance imaging (MRI), single photon emission tomography (SPECT/CT), and PET/CT scanning, and this paper reviews the current research progress of the above methods.

Keywords

Prostate Cancer Bone Metastasis, Ultrasound Examination, X-Ray Examination, Computed Tomography (CT) Scan, Magnetic Resonance Imaging (MRI) Scan, Single Photon Emission Computed Tomography/Computed Tomography (SPECT/CT) Scan, Positron Emission Tomography/Computed Tomography (PET/CT) Scan

Copyright © 2024 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. 简述

在全球的医疗统计数据中, 前列腺癌以其显著的发病率在男性恶性肿瘤中名列前茅。特别是在欧美地区, 男性患上这种癌症的比例更是惊人地高达 23%, 而且它的死亡率也同样位居前列, 在所有男性肿瘤类型中, 它的死亡率在男性癌症死亡人数中位居第二。这一严峻的事实表明了前列腺癌对男性健康构成了重大威胁[1]。骨转移是其最常见的并发症之一, 随之出现的骨相关不良事件(SREs)会增加患者的经济负担, 严重影响患者的生活质量和生存时间[2]。同时随着我国人民生活水平的提高和人均寿命的延长, 我国 PCa 的发病率也在呈上升的趋势[3], 骨是 PCa 患者发生远处转移最常见的部位[4], 部分患者在确诊时多已发生骨转移, 进入晚期阶段。因而对于此类骨转移的疾病, 如何早期确诊对于患者的预后及生活质量的重要性不言而喻。骨活检是骨转移疾病确诊的金标准, 但因其有创性、存在泌尿系感染、操作部位出血等风险可能, 相比而言病人更易接受具有简单、无创及低风险的影像学检查, 影像学检查主要包括超声检查、X 线、CT、MRI、SPECT/CT 及 PET/CT, 本文就以上检查方法的研究进展进行综述。

2. 超声检查在前列腺癌骨转移中的应用

彩色多普勒超声检查因其具有无创、简便等优势, 目前在临床上应用极其广泛, 是检查前列腺首选的影像学方法, 特别是在 PCa 早期诊疗方面, 是初步筛查前列腺病变的首选方式, 同时也是经直肠超声造影下行前列腺穿刺的重要辅助手段, 以至在临床上应用彩色多普勒超声和经直肠超声造影在 PCa 骨转移的预测和评估方面越来越多。其理论原理是肿瘤在发生转移时, 会有新生的血管形成, 这些新生血管因其走形不规则, 数量、密度及富集程度较高, 导致其与正常组织具有一定差异[5][6]。由此可知前列腺肿瘤中其新生血管的数量及富集程度在一定程度上也提示了肿瘤的转移与侵袭性的能力。

2.1. 彩超多普勒超声

经直肠超声是一种方便、快速、经济的非侵入性检测方法, 它能实时观察前列腺的形态、内部回声

及内部的血液流动,通过多普勒频谱提取多种血液流动参数。与正常前列腺组织比较,PCa 组织中的微血管密度显著增高,局部组织血流不均匀,为PCa 的诊断和定位提供了一定的价值。程丹[7]等研究表明:PCa 的骨转移与其血流动力学参数(PSV、RI、PI、S/D)密切相关,且4项指标在骨转移患者中都显著高于无骨转移患者,其诊断的准确率高达83%~86%,具有一定的临床应用价值。另有文献报道[8],PCa 患者的彩色多普勒血流参数(PSV、RI、S/D)值均高于前列腺癌非骨转移组和前列腺增生组,前列腺癌非骨转移组彩色多普勒血流参数(PSV、RI、S/D)值高于前列腺增生组,表明患者的血流参数值较高,意味着病灶组织中的血液供应更为充足,这一现象暗示着肿瘤细胞可能具有更强的侵袭性,从而使得它们在血液循环中更加活跃,增加了发生骨转移的风险,故高血流参数值成为了监测和评估肿瘤进展的一个重要指标。因此,彩色多普勒血流动力学参数在鉴别诊断和预测前列腺癌的恶性程度方面有很大的价值。

2.2. 超声造影技术

超声造影技术是一种利用超声波在人体组织中的传播特性,通过注入造影剂来增强超声图像的对比度,从而提高对病变组织的识别能力的影像学检查技术,崔凌煦[8]研究表明:通过对前列腺经直肠超声检查时所获取的特定参数以及患者血清中外泌体的浓度进行综合分析,可以有效地区分前列腺是否存在良性或恶性病变以及前列腺癌在不同发展阶段的危险度,包括那些已经转移到骨骼中和尚未转移至骨骼的,同时不仅可以预测前列腺癌患者发生骨转移的风险,而且为医生在临床诊断和治疗过程中提供了强有力的数据支持。吴春梅[9]通过对mp MR 图像进行细致分析,揭示了mp MR 影像上呈现的可疑异常与前列腺癌患者接受根治性切除手术后病理检查结果之间具有较高的一致性。但mp MRI 也并不是完美的,其对低危或直径小于5 mm 的PCa 的灵敏度较低[10]。王欢[11]等发现多参数磁共振成像-经直肠超声影像(MRF-TB)认知融合技术在前列腺穿刺术中的应用,与传统的超声引导技术相比,展现出了显著的诊断优势,它不仅提高了穿刺的精准度,还降低了操作过程中可能出现的并发症风险。该方法通过整合多项参数信息,为医生提供更为全面和精确的参考,因此此技术值得在临床上推广。

3. X 线、CT 检查在前列腺癌骨转移中的应用

骨 X 线平片作为一种广泛应用的影像学检查手段,在临床上对于骨质疾病的诊断起着至关重要的作用。然而,这种检查方法在诊断骨转移时的敏感性并不高,这意味着在病变的早期阶段,尤其是那些早期出现的微小转移灶,骨 X 线片往往无法及时发现。因此,因此它并不作为常规的骨转移检查项目。然而,骨 X 片因较高特异性在骨转移的诊断中占据了重要的地位。它不仅能够揭示骨骼结构中存在的异常情况,如骨质破坏、骨折等。而且还可以初步评估骨质破坏的程度和范围,从而对病理性骨折的风险进行初步判定,这对于制定治疗方案和预后评估具有重要意义。CT 比骨 X 线片更敏感,它能显示出 X 线所不能显示的微小骨质变化,在骨质破坏及软组织肿块方面也具有巨大优势,它能很好地反映骨转移灶的血液供应情况,病变范围及与周围组织的关系。对于骨扫描可疑而骨 X 线片检查阴性时,CT 对于已存在局部症状、需与脊柱良性骨折等病变患者的鉴别具有重大价值[12]。在骨转移瘤的早期阶段骨皮质变化不明显、评估是否发生骨髓浸润时,CT 的敏感性较低。近些年 CT 在骨转移瘤方面主要是通过与 PET 结合成 PET/CT 技术,其理论基础是将 CT 检查所得的影像学图像与 PET 的功能代谢图像相结合,实现优势互补,进而提高了诊断结果的准确性和全面性。

4. MRI 检查在前列腺癌骨转移中的应用

磁共振成像(MRI)具有软组织分辨率高,可以清楚地显示前列腺的解剖结构,从而可以精确地判断肿瘤周围浸润情况、大小和位置。MRI 在诊断骨转移瘤病灶方面相较于 SPECT 和 CT 具有显著的优势。

它能够提供更详细和精确的诊断信息,如能够更准确地识别出骨转移灶所侵犯的位置、大小以及是否侵犯了周围的软组织结构。特别是当这些骨转移灶涉及到脊柱部位或者骨转移灶仅存在骨髓内时,MRI的应用尤为重要,因为它能够清楚地展现这些病灶的具体情况,对于定位和评估治疗方案有着不可替代的作用[13]。对于SPECT和CT均不能诊断的可疑骨转移灶时,可选择行MRI检查,且MRI可以通过对比观察治疗后骨转移病灶区域是否出现了明显的变化或改善,从而更准确地评估治疗效果,为患者制定更为精准和有效的后续治疗方案[14]。然而,尽管MRI在诊断骨转移瘤方面展现了其独特的优势,它仍然存在一些局限性,例如在肋骨区域对病灶的准确检出容易受到呼吸动作的影响。此外,对于四肢长骨尤其是骨皮质部位转移的肿瘤,MRI的诊断能力也受到一定的限制[15]。随着时代的进步,磁共振成像(MRI)作为一种高分辨率的检查手段,为前列腺疾病的诊断提供了重要信息。针对前列腺的mpMRI扫描技术已经发展出多种序列以提高成像质量和灵敏度。其中,T1加权成像(T1WI)是通过测量组织内部水分子的弛豫时间来获取图像,这对于检测前列腺活检后的出血尤为敏感,因为它能够捕捉到较为细微的血流变化。此外,T1WI还有助于识别淋巴结或骨骼转移灶,另一方面,T2WI序列则利用不同物质在T1和T2两个不同磁化状态下的衰减差异来生成图像。它对前列腺腺体内结构的分辨能力较强,能够清晰地显示腺体各个部分以及任何可疑病灶的特征,特别是对于前列腺癌的早期发现有重要意义。此外,DWI(扩散加权成像)和DCE-MRI(动态对比增强成像)也提供了关于前列腺组织功能状态和微观结构变化的重要信息。DWI是一种快速且简便的功能影像学技术,可通过检测水分子的热量移动变化情况来反映组织的微结构,特别是对于高密度、细胞间水分扩散有限的前列腺癌细胞,其诊断更具优势,而DCE-MRI则能够显示出前列腺组织内部的血流模式,这对于理解肿瘤的生长和扩散有重要意义。有文献[16]指出,DWI是一种很有前途的影像学检查方法,可用于前列腺癌骨转移瘤的诊断和疗效评价。然而,由于前列腺癌细胞内水分子的移动并非完全服从高斯分布特征,以致其在临床上难以推广。DKI是DWI方法的扩展,它能更准确地反映组织内的微观结构,并对偏离高斯分布的水分子的扩散具有较好的敏感性[17],但目前的研究相对较少。

近年来,微管腔水成像(LWI)、限制能谱成像(RSI)、基于血管、细胞外和有限弥散的细胞计数(VERDICT)MRI、混合多维度MRI(HM-MRI)和MR指纹成像(MRF)等[18]-[20]新型MR成像方法,逐步被用于对前列腺结构进行更微观的观测和诊断。研究表明,对于前列腺癌患者而言,全身磁共振成像(whole-body magnetic resonance imaging, WB-MRI)比传统的骨显像方法显示出更高的检出率,尤其是在检测那些直径小于10毫米的转移灶方面,该研究通过对比骨扫描和WB-MRI,我们可以看到一个显著的差异,在骨扫描确定的骨转移病例中,有96.4%可以在WB-MRI中被识别出来,这意味着那些最初难以通过骨显像辨认的转移病灶,也能通过WB-MRI检查被发现。然而,当涉及那些已经被WB-MRI发现的转移灶时,仅有58.6%的这些转移灶能在骨扫描中找到对应位置,这一比例相对较低[21]。WB-MRI还能发现淋巴结、肺部、肝脏和大脑的病灶。CHEN等[22]的研究团队在其前瞻性设计中,通过对WB-MRI技术与多项临床参数进行了深入的分析,发现当结合使用WB-MRI扫描同时结合其他临床参数时,能够显著提升对骨转移诊断的准确性。这种方法相比传统的SPECT/CT技术更具优势。ABOU HEIDAR等[23]通过回顾性研究143个PCa患者的数据,发现mpMRI对骨盆内淋巴结转移的诊断率为73.7%,而CT为68.4%。另一项Meta分析比较了PSMA PET/CT和MRI在判断淋巴结转移中的有效性,发现两者的鉴别价值相当,而MRI对肿瘤包膜外浸润的检测具有更高的特异性[24]。

5. SPECT/CT 在前列腺癌骨转移中的应用

在《前列腺癌骨转移诊疗专家共识(2023版)》[25]中,专家们对前列腺癌骨转移的诊断和治疗提出了更为明确和全面的指导,也强调了单光子发射X射线计算机断层成像(SPECT)技术在评估骨转移方面的

重要性, 并推荐锝-99 亚甲基二磷酸盐($^{99m}\text{Tc-MDP}$) SPECT 作为首选的全身骨显像检测方法。SPECT/CT 断层显像结合 CT 解剖结构特征, 可获得三维的融合图像, 在此基础上, 进一步获得骨代谢状态、解剖结构等多方面的信息, 从而提高了对病灶的定位及骨密度成像结果的准确性, 该方法具有经济, 简便, 灵敏度高等优点。此外, 《转移性前列腺癌化疗中国专家共识(2019 版)》中也建议 $^{99m}\text{Tc-MDP}$ SPECT 对 PCa 病人进行 $^{99m}\text{Tc-MDP}$ SPECT 全身骨显像检查, 用来评估其在治疗前和术后 2~4 个月的效果, 但对于良性病变(如骨退变、骨折等)及对骨转移灶的识别及鉴别方面缺乏特异性, 只有 57%, 且不能量化评估病灶的疗效[26]。最新的 SPECT/CT 显像可以定量分析 ^{99m}Tc 在机体组织内的分布, 使得 SPECT 标准化摄取值(standard uptake value, SUV)评估骨转移提供了可能。陆海健[27]等学者通过 $^{99m}\text{Tc-MDP}$ SPECT/CT 显像定量分析对前列腺癌骨转移的诊断价值以及 SUV 的一致性研究发现, SUVmax 的一致性在同一观察者或不同观察者较 SUVmean 更好, 有利于临床评价前列腺癌骨转移患者的治疗效果; 闫君[28]等研究发现, SPECT/CT 骨定量分析的半定量指标 SUVmax 和 SUVmean, 可作为前列腺癌单发骨转移的一项诊断指标, 也可作为患者治疗、随访过程中的一项客观临床参考指标; 一项对 158 例确诊前列腺癌老年患者的 $^{99m}\text{Tc-MDP}$ SPECT/CT 鉴别诊断价值研究[29]显示, 恶性病灶的 SUVmax 明显高于良性病灶(43.93 ± 19.09 vs 15.26 ± 6.81 , $P < 0.01$)和正常椎体(6.54 ± 1.19 , $P < 0.01$), SUVmax ≥ 19.2 为诊断恶性病灶的最佳临界值, 该研究发现常规 SPECT/CT 和 SPECT/CT 骨定量诊断两者在准确度、敏感度、特异性以及阳性预测率和阴性预测率方面的存在差异, 具体来说, 常规 SPECT/CT 的准确度为 81.6%, 敏感度为 93.0%, 特异性为 96.5%; 而 SPECT/CT 骨定量诊断的这些指标分别高达 94.5%、96.5%、96.5%, 且 SPECT/CT 骨定量诊断的阳性预测率为 94.3%, 阴性预测率则是 94.9%; 而常规 SPECT/CT 的对应指标分别仅有 79.2%和 86.8%。这表明 SPECT/CT 骨定量诊断较常规 SPECT/CT 更具优势, 由此可知 SPECT/CT 骨定量分析在老年前列腺癌骨转移的鉴别诊断中具有重要临床应用价值和潜力。

6. PET/CT 检查在前列腺癌骨转移中的应用

在现代医学诊断领域, 正电子发射断层成像(positron emission tomography, PET)/CT 技术因其独特的成像原理而备受推崇, 这种先进的检测方法通过使用不同的放射性示踪药物, 它能够提供有关体内生物活动的重要信息, 随着新型显像剂的不断开发和临床应用, 特别是在评估骨相关病变方面, PET/CT 技术表现出了巨大的应用潜力和良好诊断效能。随着放射性示踪药物的应用日益广泛, $^{18}\text{F-NaF}$ 、 $^{18}\text{F-FDG}$ 、 $^{18}\text{F}/^{68}\text{Ga-PSMA}$ 等示踪药物因它们独特的成像能力而被广泛使用。这些药物进入患者体内后, 会根据人体内特定物质(如葡萄糖)的浓度变化来影响放射性示踪剂在体内的分布, 从而能够更好地反映出肿瘤细胞及其转移灶在体内分布的情况。 $^{18}\text{F-FDG}$ PET/CT 对于评估溶骨性转移和骨髓转移的程度灵敏度极高, 因为它可以追踪到骨骼中的异常葡萄糖代谢, 这是肿瘤细胞在骨组织中转移的典型改变之一。常用的放射性示踪药物有 $^{18}\text{F-NaF}$ 、 $^{18}\text{F-FDG}$ 、 $^{18}\text{F}/^{68}\text{Ga-PSMA}$, 其中 $^{18}\text{F-FDG}$ PET/CT 中对于溶骨性转移及骨髓转移的灵敏度高, 而 $^{18}\text{F-NaF}$ PET/CT 对于成骨性转移的灵敏度高, 两者均优于 $^{99m}\text{Tc-MDP}$ SPECT 骨显像; $^{18}\text{F-NaF}$ PET/CT 在骨转移诊断方面要优于 $^{18}\text{F-FDG}$ PET/CT, 但是 $^{18}\text{F-FDG}$ PET/CT 除了能够评价骨病灶外, 还可以评估全身脏器及淋巴结受累情况; 相比之下, $^{18}\text{F-NaF}$ PET/CT 也展现出了卓越的灵敏度, 尤其在成骨性转移的诊断方面表现出色, 进一步提升了骨转移的诊断准确率。虽然上述两种方法都明显优于 $^{99m}\text{Tc-MDP}$ SPECT 骨显像, 值得一提的是, $^{18}\text{F-FDG}$ PET/CT 不仅仅局限于评价骨病灶。该技术还可以应用在评估全身各脏器和淋巴结是否受到肿瘤影响。与此同时, $^{18}\text{F}/^{68}\text{Ga-PSMA}$ PET/CT 在前列腺癌的早期检查中显示出了更高的灵敏度。不仅在评价全身脏器和淋巴结受累方面具有显著优势, 而且在骨转移的评估上也超越了 $^{99m}\text{Tc-MDP}$ SPECT 和 $^{18}\text{F-FDG}$ PET/CT, 特别是, $^{18}\text{F}/^{68}\text{Ga-PSMA}$ PET/CT 在诊断骨转移方面的灵敏度与 $^{18}\text{F-NaF}$ PET/CT 相当, 为前列腺癌筛查提供了更精确、更敏感的手段[30] [31]。

6.1. ^{18}F -NaF PET/CT

PET/CT 与 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP SPECT 骨显像相比, 具有更高的灵敏度和特异性[32]。 ^{18}F -NaF 作为一种 PET 探针, 其独特之处在于其亲骨性特性。这种探针相比于传统骨扫描技术, ^{18}F -NaF PET/CT 不仅能良好地评估 PCa 治疗的效果, 而且适合在 PSA 水平较低时发现隐匿性的前列腺癌骨转移, 这对于临床治疗决策至关重要[33]。有研究[34]表明, ^{18}F -NaF 较 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP SPECT 骨显像效果更好, 其优势在于其与血浆蛋白质的结合速率较低, 骨吸收速率快, 空间分辨率高及靶本底比值增加等。标准摄取值(standard uptake value, SUV)不但能有效鉴别癌组织与癌旁正常组织, 还能鉴别胚性骨性病变和溶骨性病灶。

6.2. 胆碱 PET/CT

胆碱 PET/CT 是目前用于前列腺癌检测使用非常普遍的一种显像手段, 胆碱是细胞膜合成的重要成分, 它存在于磷脂酰胆碱和鞘磷脂的亲水头基中, 当 PCa 细胞发生恶变和快速分裂时, 癌细胞的胆碱运输和胆碱激酶水平明显升高, 以此对前列腺癌患者进行早期诊断和鉴别。 ^{18}F -NaF PET/CT 较 ^{18}F -FDG PET/CT 对肿瘤的早期检出更具优势, 但 ^{18}F -FDG PET/CT 则能较好地反映器官及淋巴结的侵犯情况。有研究[35]认为, 在对前列腺癌原发病灶为神经内分泌恶性肿瘤时, ^{18}F -FDG PET/CT 具有优势。

6.3. PSMA PET/CT

近些年来一种新型的基于 PSMA 的 PET/CT 成像技术, 在 PCa 的每个时期都得到了广泛的使用, 并且较其他显像方法具有更高的诊断精度[36] [37]。PSMA 是一类在前列腺癌组织中高表达的 II 型跨膜糖蛋白, 其在 PCa 组织中高表达, 且与 PCa 的侵袭力及恶性度关系密切, 因此, PSMA 的 PET/CT 成像对 PCa 病变具有高特异性, 有望成为 PCa 病变精确定位成像及晚期核素靶向治疗的良好靶标。有学者通过对 PSMA PET/CT、胆碱 PET/CT、NaF PET/CT、MRI 和骨显像对 PCa 骨转移患者的诊断效能进行对比研究发现, 每个患者的 PSMA-PET/CT、胆碱-PET/CT、NaF-PET/CT、MRI 和 BS 的汇总敏感性分别为 0.97、0.87、0.96、0.91 和 0.86, 合并的特异性分别为 1.00、0.99、0.97、0.96 和 0.95 [32]。另有研究[38]通过对比 ^{68}Ga -PSMA PET/CT 与 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 骨闪烁显像在检测 PCa 骨转移方面的准确性结果显示, ^{68}Ga PSMA PET/CT 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 纳入研究的患者敏感性分别为 91%~100%、50%~91%, 特异性分别为 88%~100%、19%~96%。彭静[39]学者通过研究 ^{18}F -PSMA-1007 PET/CT 显像与 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 全身骨显像诊断前列腺癌骨转移的临床价值, 以病变部位为单位进行分析: 在研究中通过最佳比较标准法诊断出了 124 处骨转移病灶。在这些病灶的诊断过程中, ^{18}F -PSMA-1007 PET/CT 显像技术显示出了其显著的优势, 它成功地识别并标记出 131 处骨转移灶, 其准确率高达 94.7%, 而 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 全身骨显像方法也识别出了 83 处骨转移灶, 尽管它的诊断准确率 51.1%, 低于 PET/CT 显像的准确率, 但这两种诊断准确率的差异是具有统计学意义的($P=0.001$)。由此体现了 PSMA PET/CT 对 PCa 骨转移的诊断效率更高, 具有良好的临床应用价值, 值得临床应用。PET/MRI 兼具 PET 和 MRI 两种成像技术的优势, 能早期发现较小、较多骨转移灶, 但扫描速度较慢, 患者耐受性不佳[40]。

7. 展望

综上所述, 对于 PCa 患者能否在疾病早期正确诊断出是否存在骨转移对患者制定最佳治疗计划及预后情况至关重要。超声检查是初步筛查前列腺病变的首选方式, 对 PCa 骨转移患者的鉴别诊断、预测肿瘤恶性程度具有十分重要的意义, 超声是早期诊断 PCa 的首选, 对于 PCa 的病人是否存在骨转移及预测其恶性程度, 有着非常重要的价值, 可为疾病的早期发现和处理提供更多有效的信息; X 线平片和 CT 对骨转移肿瘤病灶需具有一定的破坏程度才会显示异常, 故难以在病变的早期阶段及时发现骨转移灶; MRI

在骨转移瘤病灶的诊断方面较 SPECT 和 CT 具有较高的敏感性和特异性,能较准确地显示出骨转移灶所侵犯的情况,特别是对于侵犯脊柱部位的骨转移灶或仅存在于骨髓的转移灶尤其有价值;SPECT 全身骨显像为筛查前列腺癌骨转移的首选方法,在老年前列腺癌骨转移的鉴别诊断中具有重要临床应用价值和潜力;随着不同显像剂的种类的不断更新、影像学技术及人工智能的发展,越来越多的方法被用来弥补 ECT 检查的缺点,PET/CT 及 PET/MR 技术对 PCa 骨转移的早期检测结果也展示出较高的检测效率和优势,具有最高的灵敏度及特异度,但因其费用及患者耐受度等问题而未能在临床上广泛普及,但其目前所体现出的临床价值和潜力仍不可小觑;总的来说,上述影像学检查在 PCa 骨转移病灶的应用中各有优缺点,目前研究的主要热门方向是 PET/CT 及 PET/MRI,它们在临床上的应用潜力和应用价值有待进一步挖掘。

参考文献

- [1] 潘剑,朱耀,戴波,等. 2022 年度前列腺癌基础研究及临床诊疗新进展[J]. 中国癌症杂志, 2023, 33(3): 210-217.
- [2] 李宁,肖国有. 前列腺癌骨转移治疗的研究进展[J]. 肿瘤防治研究, 2020, 47(8): 641-646.
- [3] Xia, C., Dong, X., Li, H., Cao, M., Sun, D., He, S., *et al.* (2022) Cancer Statistics in China and United States, 2022: Profiles, Trends, and Determinants. *Chinese Medical Journal*, **135**, 584-590. <https://doi.org/10.1097/cm9.0000000000002108>
- [4] Huang, J., Shen, J., Li, X., Rengan, R., Silvestris, N., Wang, M., *et al.* (2020) Incidence of Patients with Bone Metastases at Diagnosis of Solid Tumors in Adults: A Large Population-Based Study. *Annals of Translational Medicine*, **8**, 482-482. <https://doi.org/10.21037/atm.2020.03.55>
- [5] Lee, J., Park, S.H., Koh, S., Lee, S.H., Kim, Y.J., Choi, Y.J., *et al.* (2014) Effectiveness and Safety of Cabazitaxel plus Prednisolone Chemotherapy for Metastatic Castration-Resistant Prostatic Carcinoma: Data on Korean Patients Obtained by the Cabazitaxel Compassionate-Use Program. *Cancer Chemotherapy and Pharmacology*, **74**, 1005-1013. <https://doi.org/10.1007/s00280-014-2579-5>
- [6] Schalk, S.G., Demi, L., Bouhouch, N., Kuenen, M.P.J., Postema, A.W., de la Rosette, J.J.M.C.H., *et al.* (2017) Contrast-enhanced Ultrasound Angiogenesis Imaging by Mutual Information Analysis for Prostate Cancer Localization. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, **64**, 661-670. <https://doi.org/10.1109/tbme.2016.2571624>
- [7] 程丹. 经直肠彩色多普勒超声诊断前列腺癌的临床价值研究[J]. 世界最新医学信息文摘(连续型电子期刊), 2020, 20(84): 267-268.
- [8] 崔凌煦. 经直肠前列腺超声造影参数与血清外泌体浓度在前列腺癌中的诊断价值[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古医科大学, 2023.
- [9] 吴春梅,李思琪,杨存霞,等. mpMRI 影像组学在前列腺癌诊疗中的研究进展[J]. 磁共振成像, 2023, 14(6): 166-170.
- [10] 徐姜南. mpMRI 阴性患者诊断有临床意义前列腺癌的危险因素分析与风险分层[D]: [硕士学位论文]. 苏州: 苏州大学, 2022.
- [11] 王欢,于慕渊. 多参数磁共振成像-经直肠超声认知融合在前列腺穿刺活检中的应用价值分析[J]. 影像研究与医学应用, 2023, 7(23): 188-190.
- [12] 袁昆,王国寿. CT、磁共振成像和 DR 在鉴别良恶性脊柱骨折中的应用价值分析[J]. 中国实用医药, 2020, 15(36): 87-88.
- [13] Turpin, A., Girard, E., Baillet, C., Pasquier, D., Olivier, J., Villers, A., *et al.* (2020) Imaging for Metastasis in Prostate Cancer: A Review of the Literature. *Frontiers in Oncology*, **10**, Article No. 55. <https://doi.org/10.3389/fonc.2020.00055>
- [14] Padhani, A.R., Lecouvet, F.E., Tunariu, N., Koh, D., De Keyzer, F., Collins, D.J., *et al.* (2017) Metastasis Reporting and Data System for Prostate Cancer: Practical Guidelines for Acquisition, Interpretation, and Reporting of Whole-Body Magnetic Resonance Imaging-Based Evaluations of Multiorgan Involvement in Advanced Prostate Cancer. *European Urology*, **71**, 81-92. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2016.05.033>
- [15] 周长友,陈久尊,何家维,等. 四肢骨转移瘤的影像学分析[J]. 实用放射学杂志, 2013, 29(11): 1823-1825, 1843.
- [16] Gong, X., Tao, Y., Wang, R., Liu, N., Huang, X., Zheng, J., *et al.* (2021) Application of Diffusion Weighted Imaging in Prostate Cancer Bone Metastasis: Detection and Therapy Evaluation. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*, **21**, 1950-1956. <https://doi.org/10.2174/1871520621666210118092641>

- [17] 景国东. 3.0TMR 多种新技术在前列腺癌诊断的临床价值[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 第二军医大学, 2014.
- [18] Dwivedi, D.K. and Jagannathan, N.R. (2022) Emerging MR Methods for Improved Diagnosis of Prostate Cancer by Multiparametric MRI. *Magnetic Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine*, **35**, 587-608. <https://doi.org/10.1007/s10334-022-01031-5>
- [19] Li, M., Guo, J., Hu, P., Jiang, H., Chen, J., Hu, J., et al. (2021) Tomoelastography Based on Multifrequency MR Elastography for Prostate Cancer Detection: Comparison with Multiparametric MRI. *Radiology*, **299**, 362-370. <https://doi.org/10.1148/radiol.2021201852>
- [20] Chatterjee, A., Harmath, C. and Oto, A. (2020) New Prostate MRI Techniques and Sequences. *Abdominal Radiology*, **45**, 4052-4062. <https://doi.org/10.1007/s00261-020-02504-8>
- [21] Ketelsen, D., Röthke, M., Aschoff, P., et al. (2008) Detection of Bone Metastasis of Prostate Cancer—Comparison of Whole-Body MRI and Bone Scintigraphy. *Rofo*, **180**, 746-752.
- [22] Chen, R., Yang, Q., Chen, W., Yang, Y., Cheng, C., Sun, Y., et al. (2021) Whole-Body MRI-Based Multivariate Prediction Model in the Assessment of Bone Metastasis in Prostate Cancer. *World Journal of Urology*, **39**, 2937-2943. <https://doi.org/10.1007/s00345-020-03571-8>
- [23] Abou Heidar, N., El-Doueihi, R., Merhe, A., Ramia, P., Bustros, G., Yacoubian, A., et al. (2021) The Role of Pre-Biopsy mpMRI in Lymph Node Staging for Prostate Cancer. *Urologia Journal*, **89**, 64-69. <https://doi.org/10.1177/03915603211016805>
- [24] Arslan, A., Karaarslan, E., Güner, A.L., Sağlıcan, Y., Tuna, M.B. and Kural, A.R. (2022) Comparing the Diagnostic Performance of Multiparametric Prostate MRI versus ⁶⁸Ga-PSMA PET-CT in the Evaluation Lymph Node Involvement and Extraprostatic Extension. *Academic Radiology*, **29**, 698-704. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2020.07.011>
- [25] 南方护骨联盟前列腺癌骨转移专家组, 陈东, 樊卫, 等. 前列腺癌骨转移诊疗专家共识(2023版)[J]. 中华腔镜泌尿外科杂志(电子版), 2023, 17(3): 201-208.
- [26] Even-Sapir, E., Metser, U., Mishani, E., et al. (2006) The Detection of Bone Metastases in Patients with High-Risk Prostate Cancer: ^{99m}Tc-MDP Planar Bone Scintigraphy, Single- and Multi-Field-of-View SPECT, ¹⁸F-Fluoride PET, and ¹⁸F-Fluoride PET/CT. *Journal of Nuclear Medicine*, **47**, 287-297.
- [27] 陆海健, 周勇, 林红萍, 等. ^{99m}Tc-MDP SPECT/CT 显像定量分析对前列腺癌骨转移的诊断价值以及 SUV 的一致性研究[J]. 浙江医学, 2023, 45(11): 1152-1156.
- [28] 闫君, 常雁荣, 李险峰. ^{99m}Tc-MDP SPECT/CT 定量分析预测前列腺癌单发骨转移的价值[J]. 山西医科大学学报, 2022, 53(8): 965-968.
- [29] 翟威豪, 何薇. SPECT/CT 骨定量 SUV_{max} 分析在老年前列腺癌骨转移中的鉴别诊断价值[J]. 分子影像学杂志, 2021, 44(6): 983-987.
- [30] Pomykala, K.L., Czernin, J., Grogan, T.R., Armstrong, W.R., Williams, J. and Calais, J. (2019) Total-Body ⁶⁸Ga-PSMA-11 PET/CT for Bone Metastasis Detection in Prostate Cancer Patients: Potential Impact on Bone Scan Guidelines. *Journal of Nuclear Medicine*, **61**, 405-411. <https://doi.org/10.2967/jnumed.119.230318>
- [31] Fanti, S., Goffin, K., Hadaschik, B.A., Herrmann, K., Maurer, T., MacLennan, S., et al. (2020) Consensus Statements on PSMA PET/CT Response Assessment Criteria in Prostate Cancer. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, **48**, 469-476. <https://doi.org/10.1007/s00259-020-04934-4>
- [32] Zhou, J., Gou, Z., Wu, R., Yuan, Y., Yu, G. and Zhao, Y. (2019) Comparison of PSMA-PET/CT, Choline-Pet/CT, Naf-Pet/CT, MRI, and Bone Scintigraphy in the Diagnosis of Bone Metastases in Patients with Prostate Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Skeletal Radiology*, **48**, 1915-1924. <https://doi.org/10.1007/s00256-019-03230-z>
- [33] Bénard, F., Harsini, S., Wilson, D., Zukotynski, K., Abikhzer, G., Turcotte, E., et al. (2022) Intra-Individual Comparison of ¹⁸F-Sodium Fluoride PET-CT and ^{99m}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. *The Lancet Oncology*, **23**, 1499-1507. [https://doi.org/10.1016/s1470-2045\(22\)00642-8](https://doi.org/10.1016/s1470-2045(22)00642-8)
- [34] Yoon, J., Ballas, L., Desai, B. and Jadvar, H. (2017) Prostate-Specific Antigen and Prostate-Specific Antigen Kinetics in Predicting ¹⁸F-Sodium Fluoride Positron Emission Tomography-Computed Tomography Positivity for First Bone Metastases in Patients with Biochemical Recurrence after Radical Prostatectomy. *World Journal of Nuclear Medicine*, **16**, 229-236. <https://doi.org/10.4103/1450-1147.207286>
- [35] Cohen, D., Hazut Krauthammer, S., Fahoum, I., Kesler, M. and Even-Sapir, E. (2023) PET Radiotracers for Whole-Body *In Vivo* Molecular Imaging of Prostatic Neuroendocrine Malignancies. *European Radiology*, **33**, 6502-6512. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09619-8>
- [36] Roberts, M.J., Maurer, T., Perera, M., Eiber, M., Hope, T.A., Ost, P., et al. (2022) Using PSMA Imaging for Prognostication in Localized and Advanced Prostate Cancer. *Nature Reviews Urology*, **20**, 23-47. <https://doi.org/10.1038/s41585-022-00670-6>

-
- [37] Maurer, T., Eiber, M., Schwaiger, M. and Gschwend, J.E. (2016) Current Use of PSMA-PET in Prostate Cancer Management. *Nature Reviews Urology*, **13**, 226-235. <https://doi.org/10.1038/nrurol.2016.26>
- [38] Daniels, H., Gilbert, R. and Bonin, L. (2023) The Diagnostic Accuracy of ^{68}Ga -PSMA PET/CT versus $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP Bone Scintigraphy for Identifying Bone Metastases in Persons with Prostate Cancer: A Systematic Review. *Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences*, **54**, 545-555. <https://doi.org/10.1016/j.jmir.2023.04.005>
- [39] 彭静. ^{18}F -PSMA-1007 PET/CT 与 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP 全身骨显像诊断前列腺癌根治术后疑诊进展患者骨转移的对比研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2022.
- [40] Riola-Parada, C., García-Cañamaque, L., Pérez-Dueñas, V., Garcerant-Tafur, M. and Carreras-Delgado, J.L. (2016) Simultaneous PET/MRI vs. PET/CT in Oncology. A Systematic Review. *Revista Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular (English Edition)*, **35**, 306-312. <https://doi.org/10.1016/j.remnie.2016.06.006>