

前列腺癌诊断的最新进展：筛查、影像学检查与穿刺活检的综合评估

廖 扬¹, 罗楠阳¹, 肖文阳², 钟鹏伟², 李 辉², 范诗秋^{2*}

¹吉首大学医学院, 湖南 吉首

²湘西自治州人民医院泌尿外科, 湖南 吉首

收稿日期: 2026年8月2日; 录用日期: 2026年8月26日; 发布日期: 2026年9月2日

摘 要

前列腺癌是男性泌尿生殖系统最常见的恶性肿瘤之一, 其发病率在全球范围内呈上升趋势, 早期精准诊断对改善患者预后至关重要。当前, 前列腺特异性抗原(PSA)筛查虽广泛应用于临床, 但其特异性不足导致的过度诊断与过度治疗问题日益凸显, 亟需更优化的诊断策略。近年来, 多参数磁共振成像(mpMRI)、前列腺特异性膜抗原正电子发射断层扫描(PSMA PET/CT)及高分辨率微型超声等先进影像技术的快速发展, 显著提升了病灶定位与风险分层能力。

关键词

前列腺癌, 筛查, 多参数磁共振成像, PSMA PET/CT, 微型超声, 穿刺活检, 人工智能, 液体活检, 诊断进展

Recent Advances in Prostate Cancer Diagnosis: A Comprehensive Evaluation of Screening, Imaging, and Biopsy

Yang Liao¹, Nanyang Luo¹, Wenyang Xiao², Pengwei Zhong², Hui Li², Shiqiu Fan^{2*}

¹School of Medicine, Jishou University, Jishou Hunan

²Department of Urology, Xiangxi Autonomous Prefecture People's Hospital, Jishou Hunan

Received: August 2, 2026; accepted: August 26, 2026; published: September 2, 2026

Abstract

Prostate cancer is one of the most common malignant tumors of the male genitourinary system,

*通讯作者。

文章引用: 廖扬, 罗楠阳, 肖文阳, 钟鹏伟, 李辉, 范诗秋. 前列腺癌诊断的最新进展: 筛查、影像学检查与穿刺活检的综合评估[J]. 临床医学进展, 2026, 16(9): 281-290. DOI: 10.12677/acm.2026.1693046

with a rising global incidence; early accurate diagnosis is essential for improving prognosis, while conventional prostate-specific antigen (PSA) screening has insufficient specificity and tends to cause overdiagnosis and overtreatment. This review systematically summarizes recent advances in prostate cancer diagnosis, covering screening, imaging, and biopsy. By retrieving and synthesizing relevant studies and clinical guidelines published in recent years, we summarize progress in serum biomarkers and screening strategies, multiparametric MRI (mpMRI), PSMA PET/CT, micro-ultrasound, and prostate biopsy. The integration of multimodal imaging, targeted biopsy, artificial intelligence, and liquid biopsy represents the direction of precision diagnosis, and individualized diagnostic strategies should be implemented based on risk stratification.

Keywords

Prostate Cancer, Screening, mpMRI, PSMA PET/CT, Micro-Ultrasound, Prostate Biopsy, Artificial Intelligence, Liquid Biopsy, Diagnostic Advances

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. 前言

前列腺癌的早期诊断是提高治疗效果和患者生存率的关键。传统的血清前列腺特异性抗原筛查虽已广泛应用,但其在区分恶性与良性病变方面的诊断准确性仍存在争议[1],该检测常导致大量过度治疗[2]。例如,以 4 ng/mL 作为 PSA 筛查的临界值,其敏感性可达 94.12%,但特异性仅为 8.64%,阳性预测值仅为 30.19% [3]。

近年来,多参数磁共振成像、前列腺特异性膜抗原正电子发射断层扫描/计算机断层扫描及微型超声等先进影像技术的引入,极大提升了前列腺癌的检测灵敏度和特异性,尤其在识别临床显著性癌症方面表现突出[4]。mpMRI 通过结合 T2 加权成像、弥散加权成像及动态对比增强等多种序列,能够对前列腺良恶性病变及高低级别癌进行鉴别[5],有研究指出 mpMRI 阴性预测值为 92.6%,且当 PSAD > 0.15 ng/mL²、f/t PSA 比值 < 0.15 时不应避免前列腺活检[6]。研究表明,mpMRI 在检测前列腺癌方面的在该研究中敏感性为 100% (该研究 n = 63, 需更大样本验证),特异性为 92.30% [7]。

2. 前列腺癌筛查的现状与挑战

2.1. PSA 筛查的临床应用与局限性

前列腺特异性抗原是目前应用最广泛的前列腺癌(PCa)血清生物标志物,其筛查的临床应用显著降低了 PCa 的死亡率,但同时也伴随着不容忽视的局限性。PSA 筛查的核心价值在于其高敏感性,能够早期发现 PCa,从而为患者争取宝贵的治疗时间。一项基于芬兰随机筛查研究(FinRSPC)的长期随访数据显示,在初始 PSA 水平低于 3 ng/mL 的男性中,PCa 的累积死亡率仅为 0.6%,死亡率约为每万人年 4 例,这凸显了低 PSA 水平与极低 PCa 死亡风险的关联[8]。

然而,PSA 筛查的特异性不足是其最显著的局限性,这导致了较高的假阳性率和过度诊断问题。PSA 水平不仅受 PCa 影响,还易受多种非癌性情况干扰而升高[9]。例如,一项针对接受单纯前列腺切除术患者的研究发现,术后 PSA 动力学在区分良恶性病变时具有挑战性,良性 BPH 患者术后 PSA 平均降低 89%,而合并 PCa 的患者仅降低 78%,但仍有部分 PCa 患者术后 PSA 水平低于 2 ng/mL,难以与良性病变完全区分[10]。

2.2. 新型生物标志物与筛查策略

传统的基于前列腺特异性抗原的筛查策略因其特异性不足，常导致不必要的活检和过度诊断，这凸显了开发新型生物标志物以优化筛查策略的迫切性[11] [12]。为克服 PSA 的局限性，临床实践中已开始整合多种 PSA 衍生物及复合指标。例如，前列腺健康指数作为 FDA 批准的前列腺癌生物标志物，有潜力替代 PSA 区分 BPH 与前列腺癌、预测高级别癌症以避免不必要活检[13] [14]。

在血清标志物方面，除了 PSA 及其衍生物，多种蛋白质和自身抗体显示出临床潜力。例如，血清 ProGRP 被证实是前列腺癌骨转移的潜在新型标志物，当其与 T-PSA 和 F-PSA 联合检测时，诊断效能显著提升，AUC 可达 0.941 [15]。另一项研究发现，分泌型细胞外烟酰胺磷酸核糖转移酶(eNAMPT)在侵袭性前列腺癌患者血浆中水平显著升高，具有诊断和预测疾病进展的价值[16]。

2.3. 筛查人群的风险分层

基于年龄、家族史及遗传背景的个体化筛查方案设计，是现代前列腺癌筛查策略的核心发展方向。传统的“一刀切”式 PSA 筛查模式因其较高的过度诊断和过度治疗风险而备受争议，而风险分层策略旨在通过识别不同风险等级的个体，实施差异化的筛查起始年龄、筛查间隔和检测手段，从而在最大化筛查获益(降低 PCa 特异性死亡率)的同时，最小化其危害(减少不必要的活检和惰性癌的检出) [17] [18]。年龄是 PCa 最明确的危险因素之一。

家族史和遗传背景是风险分层中不可或缺的组成部分。一级亲属(尤其是父亲或兄弟)患有 PCa 的男性，其患病风险显著增加，且风险随受影响亲属的数量和确诊年龄的提前而升高。更重要的是，特定基因的胚系突变，特别是 DNA 损伤修复基因(如 BRCA2 和 BRCA1)的突变，与 PCa 的发病风险和侵袭性密切相关。

2.4. PSA 筛查的争议与优化方向

尽管 PSA 筛查显著降低了前列腺癌死亡率(ERSPC 21 年随访显示死亡率降低约 20%~27%)，但基于人群的筛查是否利大于弊仍是核心争议——每避免 1 例 PCa 死亡需邀请约 570 名男性筛查，其中相当比例为惰性癌。PHI、4Kscore 等新型标志物虽在多项研究中显示优于单纯 PSA 的诊断效能，但其增量临床获益的卫生经济学价值在不同医疗体系中结论不一。多基因风险评分(PRS)在非欧洲裔人群中的预测效能及 BRCA1/2 等罕见高外显率突变与常见变异的整合策略，仍是悬而未决的问题。未来，基于液体活检的多标志物联合模型及 MRI 作为独立初筛工具(REIMAGINE、ProScreen 试验)有望重塑筛查路径。

3. 多参数磁共振成像在前列腺癌诊断中的应用

3.1. mpMRI 技术原理及成像序列

多参数磁共振成像已成为前列腺癌临床管理中不可或缺的诊断工具，其核心在于整合多种成像序列以全面评估前列腺组织特征[19]。标准的 mpMRI 方案通常包括 T2 加权成像(T2WI)、扩散加权成像(DWI)以及动态对比增强磁共振成像(DCE-MRI) [19]。T2WI 能够提供高分辨率的解剖结构信息，清晰显示前列腺的带状解剖结构，而 DWI 则通过检测水分子在组织内的扩散运动来反映细胞密度，对于识别高细胞密度的肿瘤区域至关重要。

3.2. mpMRI 的诊断性能与临床价值

多参数磁共振成像在前列腺癌的诊断中扮演着核心角色，其卓越的诊断性能，尤其是对临床显著性前列腺癌的高敏感性和高阴性预测值(NPV)，是其临床价值的重要基石。多项研究证实，mpMRI 能够有

效识别需要干预的侵袭性肿瘤,同时帮助大量患者避免不必要的穿刺活检。一项针对初诊患者的荟萃分析显示,mpMRI 检测 csPCa 的汇总敏感度高达 0.94,阴性似然比仅为 0.1,表明阴性结果能有效排除 csPCa [20]。

在指导靶向穿刺活检方面,mpMRI 的价值同样不可替代。通过将 mpMRI 的异常信号与实时超声图像进行融合,医生能够对可疑病灶进行精准的靶向穿刺,显著提高了 csPCa 的检出率,并减少了低危、临床不显著前列腺癌的过度诊断。与传统的系统性穿刺相比,mpMRI 引导的靶向穿刺(如 MRI-TRUS 融合穿刺)能够以更少的穿刺针数获得更高的 csPCa 检出率。

3.3. mpMRI 应用的局限性与改进方向

尽管多参数磁共振成像在前列腺癌的诊断中扮演着日益重要的角色,但其临床应用仍存在显著局限性。首先,mpMRI 对低级别或临床非显著性前列腺癌的识别能力不足。一项针对 PI-RADS 评分 3 分病变的研究显示,尽管 80%的患者最终被诊断为 PCa,但其中 56%符合主动监测标准,且 40.8%的接受手术患者最终病理证实为临床显著性 PCa [21]。

其次,mpMRI 的解读高度依赖操作者的经验,存在显著的主观解读差异。不同放射科医生对同一图像的 PI-RADS 评分可能不一致,尤其是在处理边界不清或非典型病变时。例如,一项研究比较了 bpMRI 与 mpMRI 在前列腺癌局部分期的诊断性能[22]。

在争议焦点方面,双参数 MRI (bpMRI,省略 DCE)能否替代标准 mpMRI 是近年研究热点。bpMRI 可缩短检查时间、降低成本并避免钆造影剂风险,多项研究显示其 csPCa 检出效能与 mpMRI 相当;但 DCE 在 PI-RADS 3 分病变评估中具有升级价值,EAU/AUA 指南目前仍推荐 mpMRI 为标准方案。PI-RADS 3 分病变(csPCa 检出率范围 10%~54%)的管理方案缺乏共识,PSA 密度(PSAD) $< 0.15 \text{ ng/mL}^2$ 可辅助筛选安全避免活检的患者。未来,AI 辅助 PI-RADS 评分(PRIME-AI 试验显示低年资医生准确率从 72% 升至 89%)及新型定量 MRI 技术(MRF、DKI)有望突破传统定性评分的局限性。

4. 前列腺特异性膜抗原正电子发射断层扫描技术进展

4.1. PSMA PET/CT 的分子成像机制

前列腺特异性膜抗原(PSMA)是一种 II 型跨膜糖蛋白,在前列腺癌上皮细胞中呈现出极度过表达特性,这一特性使其成为前列腺癌分子成像的理想靶点[23]。PSMA 的胞外段具有独特的酶活性,能够高效内化与其结合的配体,这为放射性示踪剂的靶向递送和细胞内富集提供了分子基础。研究表明,除 Gleason 分级组 5 外,更高分级组的前列腺癌与更高 PSMA 表达相关[24]。

在示踪剂方面,目前临床上应用最广泛的是 ^{68}Ga 标记的 PSMA 配体,如 ^{68}Ga -PSMA-11。 ^{68}Ga 通过锗-68/镓-68 发生器生产,部分小型医院因无足够患者量难以配置现场 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 发生器[25]。 ^{68}Ga -PSMA-11 在临床应用中展现出卓越的诊断性能,一项研究显示,对于既往活检阴性但 PSA 持续升高的患者, ^{68}Ga -PSMA PET/CT 诊断临床显著性前列腺癌的在该研究中灵敏度为 100%,阴性预测值为 100% [26],但该结果来自小样本研究($n = 52$),需在更大规模队列中验证。

4.2. PSMA PET/CT 在初诊与复发检测中的诊断价值

前列腺特异性膜抗原正电子发射断层扫描/计算机断层扫描(PET/CT)已成为前列腺癌诊断与分期中一项革命性的分子影像技术,其在初诊和生化复发(BCR)检测中均展现出卓越的诊断价值。在初诊阶段,PSMA PET/CT 对局部病灶及转移灶具有高特异性的识别能力。多项研究证实,相较于传统的 CT 和骨扫描,PSMA PET/CT 在初始分期中具有更高的敏感性和准确性[27]。

在生化复发的检测中, PSMA PET/CT 的诊断价值尤为突出。对于根治性前列腺切除术后 PSA 水平较低(如 0.2~1 ng/mL)的患者, PSMA PET/CT 仍能保持较高的检出率, 一项研究显示其总体检出率可达 50%, 甚至在 PSA < 0.21 ng/mL 的亚组中也能发现临床相关的复发病灶[28]。与传统的胆碱 PET/CT 相比, PSMA PET/CT 在敏感性和特异性方面均表现出优势, 已成为疑似复发时的首选影像学方法[29]。

4.3. PSMA PET/CT 的推广挑战与未来方向

尽管前列腺特异性膜抗原 PET/CT 在前列腺癌的诊断、分期和生化复发检测中展现出卓越的效能, 但其在临床广泛应用中仍面临一系列挑战。首先, 设备成本与辐射剂量问题是制约其普及的重要因素。PSMA PET/CT 检查需要昂贵的回旋加速器或发生器来生产放射性示踪剂(如 ^{68}Ga 或 ^{18}F 标记的 PSMA 配体), 以及高端的 PET/CT 扫描设备, 这导致检查费用高昂, 限制了其在医疗资源有限地区的推广。

其次, PSMA PET/CT 对小病灶及低 PSA 水平患者的检测敏感性存在限制。尽管 PSMA PET/CT 在检测生化复发方面优于传统影像学, 但其灵敏度与血清 PSA 水平密切相关。多项研究证实, 在 PSA 水平极低(如 <0.2 ng/mL)的患者中, PSMA PET/CT 的检出率显著下降[28] [30]。

在示踪剂选择方面, ^{68}Ga -PSMA-11 (发生器生产, 半衰期 68 min)与 ^{18}F 标记示踪剂(回旋加速器生产, 半衰期 110 min, ^{18}F -PSMA-1007 因尿液排泄较低有利于盆腔病灶评估)的优劣尚无头对头大型比较研究。约 5%~10% 的前列腺癌呈 PSMA 低表达或阴性(尤其神经内分泌分化型), 故 PSMA PET 阴性结果不能完全排除恶性病变。未来, 新型双靶点示踪剂、AI 辅助全身肿瘤负荷自动量化及诊疗一体化(^{177}Lu -PSMA, VISION 和 TheraP 试验已证实总生存获益)的闭环管理是值得关注的前沿方向。

5. 微型超声及其他新兴影像技术

5.1. 高分辨率微型超声技术特点

高分辨率微型超声(Micro-ultrasound, microUS)是一种基于高频换能器(通常为 29 MHz)的新型成像技术, 其最显著的技术特点在于空间分辨率的大幅提升。MicroUS 是 29-MHz 的超声, 分辨率约为传统经直肠超声的三倍[31]。这种高分辨率特性使得 microUS 能够清晰显示传统超声无法分辨的细微解剖结构, 例如前列腺导管系统。

除了高分辨率, microUS 的另一核心优势在于其能够提供实时成像并直接指导靶向活检。与多参数磁共振成像需要将图像与超声设备进行融合或认知融合才能引导穿刺不同, microUS 可以在活检过程中实时、动态地观察可疑病灶, 并直接在超声图像上引导穿刺针进行精准取样[31] [32]。这种实时靶向能力避免了 MRI-超声融合过程中可能出现的配准误差, 从而提高了靶向活检的准确性。

5.2. 微型超声在前列腺癌诊断中的应用现状

微型超声在检测临床显著性前列腺癌方面已积累了一定的循证医学证据。多项单中心研究及近期多中心前瞻性试验显示, microUS 引导的靶向活检对 csPCa 的检出率与 mpMRI 相当, 两者在诊断效能方面具有可比性。

microUS 与 mpMRI 并非相互替代, 而是具有显著的互补性。mpMRI 存在可用性、成本和复杂性方面的限制, 微超声适用于不适合 mpMRI (造影剂过敏、假体等)的患者, 且较 mpMRI 费用更低、等待时间更短[33] [34]。microUS 则能提供实时、高分辨率的成像, 且成本更低、操作更便捷。

5.3. 其他新兴影像技术探索

在前列腺癌的诊断领域, 除了已广泛应用的 mpMRI 和 PSMA PET/CT 外, 一系列新兴影像技术正在

积极探索中,旨在解决现有技术的局限性,如对微小病灶的检测能力不足、对肿瘤代谢特征的评估欠缺以及诊断流程的标准化问题。其中,基于代谢的成像技术和人工智能辅助分析是两大核心探索方向。

在肿瘤代谢监测方面,虽然传统的磁共振波谱成像(MRSI)在临床应用中面临信噪比低、采集时间长等挑战,但以超极化 ^{13}C 标记底物为代表的代谢磁共振成像技术展现出巨大潜力。该技术通过动态监测肿瘤细胞的代谢重编程,如乳酸与丙酮酸的交换速率,能够实时、无创地评估肿瘤的侵袭性和治疗反应。尽管目前该技术主要处于临床前和早期临床研究阶段,但其在区分惰性侵袭性前列腺癌、早期评估放疗或化疗疗效方面的潜力,为精准医疗提供了新的视角。

5.4. microUS 的争议与新兴影像技术展望

microUS 的临床推广受限于操作者依赖性(学习曲线陡峭,PRI-MUS 评分系统的一致性尚未广泛验证)及多为单中心研究的循证基础。其能否作为 mpMRI 的一线替代方案是当前争议焦点——支持者强调实时成像、低成本和广泛可及性,审慎观点则指出其对前部和基底部病灶的显示能力有待验证,且目前缺乏大型头对头随机对照试验。超极化 ^{13}C MRI 仍处于临床前及早期验证阶段,AI 影像组学虽在前列腺癌检测中显示高精度(AUC 0.85~0.95),但其决策过程缺乏可解释性,构成临床信任与监管审批的关键障碍。

6. 穿刺活检技术的优化与综合应用

6.1. 系统性穿刺活检与靶向穿刺活检比较

系统性穿刺活检(SBx)作为前列腺癌诊断的传统金标准,其核心优势在于通过标准化的模板(如 12~14 针)对前列腺进行均匀采样,从而降低因肿瘤异质性或影像学漏诊而导致的风险。然而,PSA 特异性低导致过度诊断,进而引发不必要的活检和并发症(出血、感染) [35]。一项研究显示,经直肠超声引导下前列腺活检的患者整体癌症检出率约为 40.3% [36]。

相比之下,靶向穿刺活检(TBx)通过整合多参数磁共振成像等影像学信息,能够精准定位可疑病灶,从而显著提高了临床显著性前列腺癌的检出率。多项研究证实,与 SBx 相比,MRI-TBx 在检测 csPCa 方面具有明显优势。一项包含 26 项研究的荟萃分析显示,MRI-TBx 检测 csPCa 的风险比(RR)为 1.27,而检测临床非显著性 PCa 的风险比仅为 0.65,表明其在提高诊断效率的同时,有效减少了过度诊断 [37]。

6.2. 结合 mpMRI 和 PSMA PET/CT 的联合活检策略

多模态影像引导下的精准靶向活检技术是当前前列腺癌诊断领域的重要发展方向,其核心在于整合多参数磁共振成像与前列腺特异性膜抗原正电子发射断层扫描/计算机断层扫描的优势,以实现可疑病灶的精准定位和靶向穿刺。mpMRI 以其高软组织分辨率在局部肿瘤分期和病灶定位方面表现出色,而 PSMA PET/CT 则凭借其其对前列腺癌细胞表面 PSMA 的高亲和力,在检测微小病灶、淋巴结转移及远处转移方面具有独特价值 [38] [39]。一项前瞻性研究显示,mpMRI 在检测前列腺癌病灶方面的灵敏度为 95%,而 PSMA PET/CT 的灵敏度为 96.3%,两者均表现出较高的检出能力 [38]。

联合活检对减少漏诊和过诊的影响是评估其临床价值的关键指标。多项研究比较了 mpMRI 靶向活检与 PSMA PET/CT 靶向活检在诊断临床显著性前列腺癌方面的效能。一项针对 100 名患者的研究显示, ^{68}Ga -PSMA PET/CT 靶向活检(PSMA-TPBx)对 csPCa 的检出率为 95.4%,显著高于 mpMRI 靶向活检(mpMRI-TPBx)的 81.8%和系统活检(eSPBx)的 68.2% [40]。

6.3. 活检相关并发症及风险管理

前列腺穿刺活检是诊断前列腺癌的金标准,但其作为一种有创操作,不可避免地伴随着一系列并发

症风险。常见的并发症包括血尿、直肠出血，该研究纳入的所有患者均未发生穿刺后感染[41]。这些并发症的发生率与穿刺路径、穿刺针规格、穿刺针数以及患者自身因素密切相关。

为减少并发症并提高诊断准确性，多种新技术和风险管理策略已被引入临床实践。在技术层面，影像融合靶向穿刺技术，如多参数磁共振与经直肠超声的认知融合或软件融合，能够精确定位可疑病灶，减少不必要的穿刺针数，从而降低出血和疼痛等并发症的发生率[42][43]。一项研究证实，采用 mpMRI-TRUS 认知融合的经会阴靶向穿刺联合快速病理检查，能显著减少医源性血尿的发生并减轻患者的穿刺疼痛评分(VAS) [42]。

6.4. 病理诊断标准及不良病理特征识别

前列腺癌的病理诊断是临床决策的基石，其核心在于对穿刺活检或根治术后标本进行精确的组织学评估。国际泌尿病理学会分级系统是目前全球公认的前列腺癌病理分级标准，它基于 Gleason 评分系统，将前列腺癌分为 5 个预后等级组(Grade Group, GG)。ISUP 分级系统通过整合 Gleason 主要和次要结构模式，显著提高了病理分级的可重复性和预后预测能力。

除了 ISUP 分级，识别特定的不良病理特征对于前列腺癌的精准治疗和预后判断至关重要。这些特征包括筛状癌(cribiform morphology)、导管内癌(Intraductal Carcinoma of the Prostate, IDC-P)、包膜外侵犯(Extraprostatic Extension, EPE)、精囊侵犯、脉管侵犯和神经侵犯(Perineural Invasion, PNI)等。筛状癌形态被认为是前列腺癌侵袭性的一种重要组织学亚型，多项研究证实其与不良预后密切相关。

6.5. 活检结果对临床决策的影响

活检结果是前列腺癌临床决策的核心依据，其提供的组织学信息直接决定了治疗方案的选择。活检所确定的 Gleason 评分、肿瘤分级分组以及肿瘤的定量信息(如阳性针数、肿瘤最大百分比)是风险分层的关键参数，进而指导患者是接受主动监测、根治性治疗还是姑息性内分泌治疗。对于低风险前列腺癌(通常定义为 GG1，即 Gleason 评分 $3 + 3 = 6$)，主动监测已成为标准治疗方案，旨在避免对惰性肿瘤的过度治疗[44]。

活检阳性率与影像学表现，特别是多参数磁共振成像的 PI-RADS 评分，存在显著的相关性，这种相关性是制定精准活检策略和优化临床决策的基础。多项研究一致表明，PI-RADS 评分越高，前列腺癌和临床显著性前列腺癌的检出率也越高。例如，一项针对 PI-RADS 4 和 5 级病灶的研究显示，PCa 检出率分别为 68% 和 92% [45]。

6.6. 穿刺活检策略的争议与未来方向

如何平衡检测灵敏度与过度诊断之间的矛盾仍是穿刺活检的核心难题。单独依赖 MRI 靶向活检可能遗漏约 10%~15% 的 MRI 隐匿性病灶，因此多数学者推荐靶向联合系统性活检，但穿刺针数增加又提高了并发症风险。经会阴路径(接近零感染率、前部及尖部病灶优势)与经直肠路径(操作便捷、患者耐受好)之争尚未达成共识——EAU 指南已逐步将经会阴作为首选推荐，但全球推广受限于资源与培训。未来，AI 辅助实时融合导航、机器人辅助穿刺系统及液体活检的无创替代策略，有望推动穿刺活检向更精准、更微创的方向演进。

7. 结论

本综述系统梳理了前列腺癌诊断领域从筛查、影像学到穿刺活检的技术进展。PSA 筛查虽不可或缺，但基于多标志物联合及风险分层的精准筛查策略是减少过度诊断的必由之路。mpMRI 和 PSMA PET/CT

已在不同临床场景中确立了核心地位, 但 PI-RADS 3 病变的处理、bpMRI 能否替代 mpMRI 以及 PSMA PET/CT 在低 PSA 水平时的灵敏度限制仍是未解难题。微型超声等新兴技术展现出临床潜力, 但需多中心 RCT 验证。当前亟待解决的关键科学问题包括: 1) 如何整合血清标志物、影像组学与基因组学数据构建个体化风险预测模型; 2) PI-RADS 3 分病变的最优处理路径及 bpMRI 替代 mpMRI 的可行性; 3) AI 辅助影像解读、新型示踪剂及液体活检技术如何从研究验证走向临床实践。

参考文献

- [1] Guo, P. (2025) A Hematological and Inflammatory Marker-Based Model for Prostate Carcinoma Diagnosis. *American Journal of Cancer Research*, **15**, 2551-2563. <https://doi.org/10.62347/tvfq4646>
- [2] Weißbach, L., Boedefeld, E.A. and Herden, J. (2021) Active Surveillance—Viel Sicherheit, Wenig Rekrutierung. *Der Urologe*, **60**, 1304-1312. <https://doi.org/10.1007/s00120-021-01525-5>
- [3] Čamdžić, N., Kuskunović-Vlahovljak, S., Dorić, M., Radović, S., Lazović Salčin, E. and Babić, M. (2021) Serum Total Prostate-Specific Antigen (TPSA): Correlation with Diagnosis and Grading of Prostate Cancer in Core Needle Biopsy. *Medicinski Glasnik*, **18**, 122-127. <https://doi.org/10.17392/1204-21>
- [4] Rabie, A., Buscarini, M. and Zaytoun, O. (2026) Next-Generation Imaging in Prostate Cancer. *Frontiers in Urology*, **6**, Article 1826407. <https://doi.org/10.3389/fruro.2026.1829407>
- [5] Singla, A., Deep, N., Naik, S., Mohakud, S., Nayak, P. and Sable, M. (2023) Correlation of Multiparametric MRI with Histopathological Grade of Peripheral Zone Prostate Carcinoma. *Journal of Cancer Research and Therapeutics*, **19**, S569-S576. https://doi.org/10.4103/jcrt.jcrt_280_22
- [6] Bostancı, C. and Demir, D.Ö. (2024) The Effect of the Combination of Prostate-Specific Antigen Derivatives with Multiparametric Prostate Magnetic Resonance Imaging Scores on the Negative Predictive Value of It in Grey Zone Patients. *Actas Urológicas Españolas (English Edition)*, **48**, 238-245. <https://doi.org/10.1016/j.acuroe.2023.10.004>
- [7] Soni, B.K., Verma, P., Shah, A.K., Singh, R., Sonawane, S. and Asopa, R.V. (2021) Comparison of Multiparametric Magnetic Resonance Imaging and Gallium-68 Prostate-Specific Membrane Antigen Positron Emission Tomography/Computed Tomography for Detecting Carcinoma Prostate in Patients with Serum Prostate-Specific Antigen between 4 and 20 ng/ml. *Indian Journal of Nuclear Medicine*, **36**, 245-251. https://doi.org/10.4103/ijnm.ijnm_243_20
- [8] Ola, I.O., Talala, K., Tammela, T., Taari, K., Murtola, T.J., Kujala, P., et al. (2025) Long-Term Risk of Prostate Cancer Mortality among Men with Baseline Prostate-Specific Antigen below 3 ng/ml: Evidence from the Finnish Randomized Study of Screening for Prostate Cancer. *European Urology Oncology*, **8**, 452-459. <https://doi.org/10.1016/j.euo.2024.11.010>
- [9] Das, L. (2026) Comprehensive Biochemical Insights into Prostate-Specific Antigen: From Biomarker to Functional Mediator in Prostate Cancer Pathophysiology. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*, **26**, 1207-1221. <https://doi.org/10.2174/0118715206420493251029064813>
- [10] Livingston, A.J., Segal, D., Attia, S., Dvergsten, T., Gahan, J.C. and Morgan, T.N. (2026) Multi-Institutional Evaluation of Prostate Specific Antigen Dynamics after Simple Prostatectomy. *World Journal of Urology*, **44**, Article No. 243. <https://doi.org/10.1007/s00345-026-06345-w>
- [11] Tidd-Johnson, A., Sebastian, S.A., Co, E.L., Afaq, M., Kochhar, H., Sheikh, M., et al. (2022) Prostate Cancer Screening: Continued Controversies and Novel Biomarker Advancements. *Current Urology*, **16**, 197-206. <https://doi.org/10.1097/cu9.0000000000000145>
- [12] Kim, J.H. and Hong, S.K. (2021) Clinical Utility of Current Biomarkers for Prostate Cancer Detection. *Investigative and Clinical Urology*, **62**, 1-13. <https://doi.org/10.4111/icu.20200395>
- [13] Chen, J., Wang, P., Liu, M., Lyu, F., Ma, M., Ren, X., et al. (2023) Biomarkers for Prostate Cancer: From Diagnosis to Treatment. *Diagnostics*, **13**, Article 3350. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13213350>
- [14] Wu, J.C. and Wu, G.J. (2023) METCAM Is a Potential Biomarker for Predicting the Malignant Propensity of and as a Therapeutic Target for Prostate Cancer. *Biomedicines*, **11**, Article 205. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11010205>
- [15] Yu, M., Yang, C., Wang, S., Zeng, Y., Chen, Z., Feng, N., et al. (2020) Serum ProGRP as a Novel Biomarker of Bone Metastasis in Prostate Cancer. *Clinica Chimica Acta*, **510**, 437-441. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2020.08.007>
- [16] Sun, B.L., Sun, X., Casanova, N., Garcia, A.N., Oita, R., Algotar, A.M., et al. (2020) Role of Secreted Extracellular Nicotinamide Phosphoribosyltransferase (eNAMPT) in Prostate Cancer Progression: Novel Biomarker and Therapeutic Target. *eBioMedicine*, **61**, Article ID: 103059. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2020.103059>
- [17] De Vrieze, M., Hübner, A., Al-Monajjed, R., Albers, P., Radtke, J.P., Schimmöller, L., et al. (2024) Das Prostatakarzinom-

- Screening—Aktueller Überblick. *Die Radiologie*, **64**, 479-487. <https://doi.org/10.1007/s00117-024-01312-1>
- [18] Van Poppel, H., Hogenhout, R., Albers, P., van den Bergh, R.C.N., Barentsz, J.O. and Roobol, M.J. (2021) A European Model for an Organised Risk-Stratified Early Detection Programme for Prostate Cancer. *European Urology Oncology*, **4**, 731-739. <https://doi.org/10.1016/j.euo.2021.06.006>
 - [19] Tamada, T., Takeuchi, M., Moriya, K., Ueda, Y., Yamamoto, A. and Higaki, A. (2026) The Evolution of Prostate Multiparametric MRI and Its Application in Prostate Cancer Clinical Management. *International Journal of Urology*, **33**, e70338. <https://doi.org/10.1111/iju.70338>
 - [20] Becerra, M.F., Alameddine, M., Zucker, I., Tamariz, L., Palacio, A., Nemeth, Z., *et al.* (2020) Performance of Multiparametric MRI of the Prostate in Biopsy Naïve Men: A Meta-Analysis of Prospective Studies. *Urology*, **146**, 189-195. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2020.06.102>
 - [21] Di Trapani, E., Musi, G., Ferro, M., Cordima, G., Mistretta, F.A., Luzzago, S., *et al.* (2020) Clinical Evaluation and Disease Management of PI-RADS 3 Lesions. Analysis from a Single Tertiary High-Volume Center. *Scandinavian Journal of Urology*, **54**, 382-386. <https://doi.org/10.1080/21681805.2020.1798503>
 - [22] Christophe, C., Montagne, S., Bourrelrier, S., Roupert, M., Barret, E., Rozet, F., *et al.* (2020) Prostate Cancer Local Staging Using Biparametric MRI: Assessment and Comparison with Multiparametric MRI. *European Journal of Radiology*, **132**, Article ID: 109350. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.109350>
 - [23] Jafari, E., Ahmadzadehfard, H., Dadgar, H. and Assadi, M. (2020) An Overview on Prostate-Specific Membrane Antigen Uptake in Malignancies Other than Prostate Cancer: A Pictorial Essay. *World Journal of Nuclear Medicine*, **19**, 260-265. https://doi.org/10.4103/wjnm.wjnm_78_19
 - [24] Bahler, C.D., Johnson, M.M., Davicioni, E., Zhang, J., Cheng, L., Green, M.A., *et al.* (2020) Predictors of Prostate-Specific Membrane Antigen (PSMA/FOLH1) Expression in a Genomic Database. *Urology*, **144**, 117-122. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2020.06.025>
 - [25] Werner, R.A., Derlin, T., Lapa, C., Sheikbahaei, S., Higuchi, T., Giesel, F.L., *et al.* (2020) ¹⁸F-Labeled, PSMA-Targeted Radiotracers: Leveraging the Advantages of Radiofluorination for Prostate Cancer Molecular Imaging. *Theranostics*, **10**, 1-16. <https://doi.org/10.7150/thno.37894>
 - [26] Liu, C., Liu, T., Zhang, Z., Zhang, N., Du, P., Yang, Y., *et al.* (2020) ⁶⁸Ga-PSMA PET/CT Combined with PET/Ultrasound-Guided Prostate Biopsy Can Diagnose Clinically Significant Prostate Cancer in Men with Previous Negative Biopsy Results. *Journal of Nuclear Medicine*, **61**, 1314-1319. <https://doi.org/10.2967/jnumed.119.235333>
 - [27] Ravi Kumar, A.S., Lawrentschuk, N. and Hofman, M.S. (2020) Prostate-Specific Membrane Antigen PET/Computed Tomography for Staging Prostate Cancer. *Current Opinion in Urology*, **30**, 628-634. <https://doi.org/10.1097/mou.0000000000000799>
 - [28] Miksch, J., Bottke, D., Krohn, T., Thamm, R., Bartkowiak, D., Solbach, C., *et al.* (2020) Interobserver Variability, Detection Rate, and Lesion Patterns of ⁶⁸Ga-PSMA-11-PET/CT in Early-Stage Biochemical Recurrence of Prostate Cancer after Radical Prostatectomy. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, **47**, 2339-2347. <https://doi.org/10.1007/s00259-020-04718-w>
 - [29] Stolzenbach, L.F., Knipper, S. and Maurer, T. (2020) Salvage-Lymphadenektomie des lymphogenen Prostatakarzinomrezidivs. *Aktuelle Urologie*, **51**, 258-264. <https://doi.org/10.1055/a-1132-5180>
 - [30] Luiting, H.B., van Leeuwen, P.J., Remmers, S., Donswijk, M., Busstra, M.B., Bakker, I.L., *et al.* (2020) Optimal Timing of Prostate Specific Membrane Antigen Positron Emission Tomography/Computerized Tomography for Biochemical Recurrence after Radical Prostatectomy. *Journal of Urology*, **204**, 503-510. <https://doi.org/10.1097/ju.0000000000001012>
 - [31] Dias, A.B. and Ghai, S. (2024) Prostate Cancer Diagnosis with Micro-Ultrasound. *Radiologic Clinics of North America*, **62**, 189-197. <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2023.06.014>
 - [32] Dias, A.B., O'Brien, C., Correia, J. and Ghai, S. (2022) Multiparametric Ultrasound and Micro-Ultrasound in Prostate Cancer: A Comprehensive Review. *The British Journal of Radiology*, **95**, Article ID: 20210633. <https://doi.org/10.1259/bjr.20210633>
 - [33] Gryniewicz, M. and Wiewióra, M. (2024) A Current Role Status of Micro-Ultrasound Imaging in Prostate Cancer Diagnosis. *Clinical Hemorheology and Microcirculation*, **87**, 89-100. <https://doi.org/10.3233/ch-232024>
 - [34] Avolio, P.P., Piccolini, A., Saitta, C., Fasulo, V., Maffei, D., Moretto, S., *et al.* (2025) Enhanced Diagnostic Accuracy of Micro-Ultrasound in Prostate Cancer Detection: An Updated Series from a Single-Center Prospective Study. *Urologic Oncology: Seminars and Original Investigations*, **43**, 470.e19-470.e26. <https://doi.org/10.1016/j.urolonc.2025.03.012>
 - [35] Matuszczak, M., Schalken, J.A. and Salagierski, M. (2021) Prostate Cancer Liquid Biopsy Biomarkers' Clinical Utility in Diagnosis and Prognosis. *Cancers*, **13**, Article 3373. <https://doi.org/10.3390/cancers13133373>
 - [36] Benli, E., Kadim, N., Yüce, A., Çirakoğlu, A., Keleş, M. and Arslan, A. (2026) Is Standard Trus-Guided Prostate Biopsy the End of the Game? *Urology Research and Practice*, **51**, 237-241. <https://doi.org/10.5152/tud.2026.25103>

-
- [37] Xie, J., Jin, C., Liu, M., Sun, K., Jin, Z., Ding, Z., *et al.* (2022) MRI/Transrectal Ultrasound Fusion-Guided Targeted Biopsy and Transrectal Ultrasound-Guided Systematic Biopsy for Diagnosis of Prostate Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Oncology*, **12**, Article 880336. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.880336>
- [38] Lal, H., Malik, D., Singh, A., Prasad, R., Sureka, S., Nazar, A.H., *et al.* (2026) Preoperative Loco-Regional Assessment of Prostate Carcinoma Using Multi-Parametric MRI and Prostate-Specific Membrane Antigen Pet-Computed Tomography: Correlation with Histopathology. *Nuclear Medicine Communications*, **47**, 411-418. <https://doi.org/10.1097/mnm.0000000000002101>
- [39] Sen, I., Pallavi, U., Gogoi, S., Thakral, P., Malasani, V., Sharma, K., *et al.* (2020) Incremental Value of Ga-68 Prostate-Specific Membrane Antigen-11 Positron-Emission Tomography/Computed Tomography Scan for Preoperative Risk Stratification of Prostate Cancer. *Indian Journal of Nuclear Medicine*, **35**, 93-99. https://doi.org/10.4103/ijnm.ijnm_189_19
- [40] Pepe, P., Pepe, L., Tamburo, M., Marletta, G., Pennisi, M. and Fraggetta, F. (2022) Targeted Prostate Biopsy: ⁶⁸Ga-PSMA PET/CT vs. MPMRI in the Diagnosis of Prostate Cancer. *Archivio Italiano di Urologia e Andrologia*, **94**, 274-277. <https://doi.org/10.4081/aiua.2022.3.274>
- [41] Wu, W.W., Lü, C. and Liu, Z.X. (2020) [16-Gauge vs 18-Gauge Puncture Needle for Transrectal Ultrasound-Guided Prostate Biopsy in the Diagnosis of Prostate Cancer: Effect and Complications]. *National Journal of Andrology*, **26**, 31-35. (In Chinese) <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33345474/>
- [42] He, Y.Y., Zhi, Y.L., Pei, Y.H., *et al.* (2024) [Transperineal Targeted Prostate Puncture Combined with Rapid Pathological Examination in the Diagnosis of Prostate Cancer]. *Chinese Journal of Medical History*, **104**, 147-151. (In Chinese) <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38186136/>
- [43] Liao, H., Liu, X. and Zhu, X.J. (2022) [MRI-TRUS Targeted Biopsy Combined with Large-Section Prostate Pathology for Accurate Diagnosis of Prostate Cancer]. *National Journal of Andrology*, **28**, 37-42. (In Chinese) <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37459076/>
- [44] Amin, A. and Cheng, L. (2026) Active Surveillance for Prostate Cancer: Current Status and Future Directions. *Current Opinion in Urology*, **36**, 161-170. <https://doi.org/10.1097/mou.0000000000001364>
- [45] Vural, M., Coskun, B., Kilic, M., Durmaz, S., Gumus, T., Cengiz, D., *et al.* (2021) In-Bore MRI-Guided Prostate Biopsy in a Patient Group with PI-RADS 4 and 5 Targets: A Single Center Experience. *European Journal of Radiology*, **141**, Article ID: 109785. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2021.109785>